



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

남강댐 하류하천의 오염원별 기여도
및 낙동강 본류의 수질 영향 평가



2016년 08월

부경대학교 산업대학원

환 경 공 학 과

조 광 석

공 학 석 사 학 위 논 문

남강댐 하류하천의 오염원별 기여도
및 낙동강 본류의 수질 영향 평가

지도교수 김 일 규

이 論文을 공학碩士學位論文으로 提出함.

2016년 08월

부경대학교 산업대학원

환 경 공 학 과

조 광 석

이 논문을 조 광 석의 공학석사
학위논문으로 인준함

2016년 08월

주 심 공학박사 이 병 헌



위 원 공학박사 이 태 운



위 원 공학박사 김 일 규



List

| | |
|----------------------|-----------|
| List | i |
| List of Tables | iii |
| List of Figures | iv |
| Abstract | v |
| | |
| 제 1 장 서론 | 1 |
| | |
| 제 2 장 이론적 배경 | 4 |
| 2.1 유역 현황 | 4 |
| 2.2 수질오염총량관리제도 | 7 |
| 2.2.1 개요 | 7 |
| 2.2.2 오염배출부하량 | 8 |
| 2.3 통계분석 이론 | 9 |
| 2.3.1 요인분석 | 9 |
| 2.3.2 상관성 분석 | 14 |
| 2.3.3 회귀 분석 | 16 |
| | |
| 제 3 장 연구 방법 | 18 |
| 3.1 자료 수집 및 수질 특성 분석 | 18 |
| 3.1.1 강우관측시설 | 18 |
| 3.1.2 수위관측시설 | 19 |
| 3.1.3 수질관측시설 | 20 |
| 3.1.4 남강댐 | 22 |
| 3.1.5 수문 및 수질 특성 분석 | 24 |
| 3.2 통계분석방법 | 28 |
| | |
| 제 4 장 결과 및 고찰 | 29 |
| 4.1 오염배출부하량(TMDL) 분석 | 29 |
| 4.1.1 오염원 현황 | 29 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| 4.1.2 오염배출부하량 기여율 분석..... | 36 |
| 4.2 요인 분석..... | 40 |
| 4.2.1 입력자료..... | 40 |
| 4.2.2 요인분석 결과..... | 42 |
| 4.3 상관성 분석..... | 44 |
| 4.3.1 주요항목 상관관계 분석..... | 44 |
| 4.4 부영양화 지수(TSI)..... | 53 |
| 4.5 회귀 분석..... | 57 |
| 4.5.1 클로로필-a 회귀분석..... | 57 |
| 4.5.2 분류영향 평가..... | 59 |
| | |
| 제 5 장 결론 | 62 |
| | |
| 참고문헌 | 64 |

List of Tables

| | |
|--|----|
| Table 1 남강 유입지천의 개요..... | 6 |
| Table 2 Five main steps of factor analysis..... | 13 |
| Table 3 강우관측시설 현황..... | 18 |
| Table 4 수위관측소 현황..... | 20 |
| Table 5 수질측정망 지점..... | 21 |
| Table 6 남강댐 제원..... | 22 |
| Table 7 용수공급계획자료..... | 23 |
| Table 8 2005~2015년 남강댐 연평균 방류량..... | 25 |
| Table 9 남강유역 처리형태별 인구현황..... | 30 |
| Table 10 남강유역 처리형태별 물 사용량 현황..... | 30 |
| Table 11 남강유역 산업체수와 발생·방류량 현황..... | 31 |
| Table 12 남강유역 축산 규제내역 및 사육두수..... | 33 |
| Table 13 남강유역 토지이용현황..... | 34 |
| Table 14 남강유역 양식장 시설면적 현황..... | 34 |
| Table 15 남강유역 매립시설 현황..... | 35 |
| Table 16 Water Quality and Water Level Stations Used in the Analysis | 40 |
| Table 17 Parameters(Variables) for Statistical Analysis..... | 41 |
| Table 18 Water Quality and Water Level Stations for each Case..... | 42 |
| Table 19 Factor analysis result | 43 |
| Table 20 Trophic state index(TSI) range for the evaluation of trophic state in lakes..... | 54 |
| Table 21 TSI(Chl.a) and TSI(T-P) at points(Evaluation Annual)..... | 55 |
| Table 22 회귀분석을 이용한 남강댐 방류에 따른 클로로필-a 개선 효과 분석 | 61 |

List of Figures

| | |
|---|----|
| Fig. 1 연구대상지역 현황..... | 5 |
| Fig. 2 두 측정형 변수의 상관관계 산점도 패턴..... | 15 |
| Fig. 3 회귀분석에 따른 실측데이터 비교(예시)..... | 17 |
| Fig. 4 남강유역 강우관측소 위치..... | 19 |
| Fig. 5 남강유역 수질측정망..... | 21 |
| Fig. 6 2005~2015년 남강댐 방류량 및 강우량 | 24 |
| Fig. 7 2005~2015년 남강댐 방류량 계절별 분석..... | 26 |
| Fig. 8 2005~2015년 남강댐 방류량 월별 분석..... | 26 |
| Fig. 9 Analysis of Water Quality Monitoring Station in Nam River Watershed..... | 27 |
| Fig. 10 남강유역 발생 및 배출부하량..... | 36 |
| Fig. 11 남강유역 장래부하량..... | 37 |
| Fig. 12 오염원별 발생부하량 기여율 분석..... | 39 |
| Fig. 13 오염원별 배출부하량 기여율 분석..... | 39 |
| Fig. 14 토지지목별 배출부하량 기여율 분석..... | 39 |
| Fig. 15 남강유역 상관성 분석 수질측정망..... | 44 |
| Fig. 16 남강댐 하류 지점별 BOD/클로로필-a 산점도..... | 45 |
| Fig. 17 남강댐 하류 지점별 T-P/클로로필-a 산점도..... | 46 |
| Fig. 18 남강1지점 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도..... | 47 |
| Fig. 19 남강2지점 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도..... | 49 |
| Fig. 20 남강3지점 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도 | 50 |
| Fig. 21 남강4지점 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도..... | 51 |
| Fig. 22 지점별 댐 방류량에 따른 클로로필-a 산점도..... | 52 |
| Fig. 23 Trophic state index(Chl.a) at points..... | 56 |
| Fig. 24 Trophic state index(T-P) at points..... | 56 |
| Fig. 25 남강댐 하류 분석 지점 수질측정망..... | 58 |
| Fig. 26 남강댐 방류량에 따른 남강4 지점 클로로필-a 회귀분석..... | 60 |
| Fig. 27 남강댐 방류량에 따른 남강4 지점 클로로필-a 회귀분석..... | 60 |

The contribution of the contaminant sources in the
dam of the Nam river downstream and the
evaluation of the water quality in the Nakdong
River mainstream

Kwang-Seok Cho

*Department of Environmental Engineering
Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

The Nam River basin is divided into the Nam river dam rage sphere and the Nam River rage sphere. The Nam River rage sphere's length is 77.6 km from the dam of the Nam river. And many cities (Jinju, Haman, Uiryeong, Goseong-gun, etc.) and Jinju-Changping industrial complex is located in the rage sphere, so there is the high probability that contamination occurs. Nevertheless it also has a key point of the solution of the water supply in Western Gyeongnam there are few of the studies of the Nam River in term of the watershed management.

This study estimates the pollutant load per the pollution source in the downstream watershed of the dam of the Nam River, and investigates and analyzes the point/non-point sources and the characteristics of the tributaries center. This research

also estimates the effect of the water pollution in the dam of the Nam River to the main stream of the Nakdong River and to achieve a water quality improvement. Futhermore, the correlation analysis and exploratory factor analysis between the parameters are performed to identify the contamination contribution of the major turbidities in the Nam River watershed. This study is expected to present a customized plan to manage the Nam River Basin in the future through integrated watershed management techniques.



제 1 장 서 론

남강은 낙동강의 제1지류로서 동경 127° 30' ~ 128° 28' , 북위 35° 00' ~ 35° 46' 사이의 서부 경남에 위치하며 북쪽으로는 황강유역, 서쪽으로는 섬진강 유역, 남쪽으로는 남해안 유역과 접하고 있으며 유역면적은 3,466.3km², 유로연장은 186.8km로서 낙동강 전체 유역면적의 14.5%를 차지하고 있다(경남환경기술센터, 2011). 경상남도 거창군 서상면의 덕유산(EL. 1,594m)에서 발원하여 남하하면서 함양군 함양읍 지점에서 함양위천, 산청군 신암면 지점에서 남강의 제1지류인 양천과 합류하며 이후 남류를 하다가, 덕천강을 합류한 후 남강댐에 유입한다. 남강댐 유입 후 경상남도 진주시를 관류하면서 유로를 급변시켜 동북방향으로 수차 사행류하면서 나불천, 영천강, 대곡천, 의령천 등 주요지류를 합류한 후 함안군 법수면 지점에서 남강 제1지류이며 직할하천인 함안천을 합류시킨 후 경상남도 의령군 지정면 성산리 지점에서 낙동강 본류와 합류한다(경남지역환경기술개발센터, 2011).

남강 권역은 경남 사천시, 진주시, 고성군, 산청군, 의령군, 하동군, 함안군, 함양군, 함천군과 전북 남원시, 전남 구례군을 포함하고 있으며, 낙동강 수계에서 가장 큰 지류이다. 행정구역 별 면적은 경남 산청군이 787km²로 전체면적의 23%, 함양군이 718.2km²로 전체면적의 21%를 차지하고 있다. 경남 진주시는 666.5km²로 전체면적의 19%, 경남 함안군은 292.0km²로 전체면적의 8%, 경남 의령군은 280.1km²로 전체면적의 5%, 경남 사천시는 50.3km²로 전체면적의 1%, 전남 구례군은 19.4km²로 전체면적의 1%를 차지하는 것으로 나타났다(경남지역환경기술개발센터, 2011).

남강댐 하류부 구간은 진주시를 가로지르며, 남강수중보와 교량 등의 인공 구조물과 만곡흐름을 특징으로 하는 하천으로서 하상경사가 매우 완만하고 유속이 비교적 느리므로 체류시간이 크고 하천수질이 환경기초시설의 방류농도와 남강댐 방류량에 큰 영향을 받는다(경남발전연구원, 2010). 이는 남강유역

유량이 부족할 경우 수질 악화 문제는 언제나 발생할 가능성이 있다는 것을 의미한다.

남강댐 하류지역의 연도별 평가수질을 살펴보면 남강댐 방류지점인 남강C 단위유역은 수질변화가 크지 않은 반면, 남강하류지역에 해당하는 남강D 단위유역과 남강E 단위유역은 수질오염총량관리제 시행 이후 악화되다가 2단계를 지나면서 개선되고 있는 것으로 나타난다. 수질개선의 원인으로 다양한 인자가 존재하겠지만 수질오염총량관리제 시행 이후 수질개선을 위한 대책으로 하수처리장 확충 및 방류수 수질개선의 노력 또한 개선의 인자 중 하나인 것으로 판단된다. 2015년 6월에 환경부 승인을 받은 3단계 경상남도 낙동강수계 수질오염총량관리제에 의하면 남강유역 말단지점의 3단계 목표수질이 하향 설정되었다. 오염원전망계획과 삭감계획 등을 고려하여 3단계 최종년도인 2020년에 만족 가능한 목표수질이 설정되었다고는 하지만 남강유역처럼 자생BOD와 남강댐방류량에 지배를 많이 받는 곳은 향후 수질개선에 대한 노력을 꾸준히 강구해 나가야 할 것이다. 따라서 효과적인 수질관리를 위해서는 각 하천의 수질에 영향을 미치는 여러 인자들의 정확한 평가가 필요하다. 하천의 수질에 영향을 미치는 인자는 크게 내부오염원과 외부오염원으로 구분할 수 있으며, 각 오염원별 기여율 분석이 필요하다. 또한 분석된 자료를 고려하여 수립된 수질개선 대책을 과학적이고 합리적으로 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 남강댐 하류유역의 오염원별 오염부하량을 산정하고, 지류 중심의 소권역별 점/비점오염원 현황 및 배출특성을 조사 및 분석하여 남강댐 하류의 낙동강 본류에의 수질오염 영향을 산정하고, 유역맞춤형 수질개선방안을 도출하고자 한다. 또한 남강유역내의 물관리 기초자료를 구축하여 수질항목간의 상관성 분석 및 탐색적 요인분석을 통한 인자간 공통성을 해석하여 남강 본류 수질변동에 대한 오염 기여도를 파악하고자 한다. 본 연구를 통해 항

후 통합적인 유역 관리기법을 통한 남강 유역의 맞춤형 수질관리방안을 제시
할 수 있을 것으로 판단된다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 유역 현황

남강은 낙동강의 제1지류로서 동경 $127^{\circ} 29' \sim 128^{\circ} 28'$, 북위 $35^{\circ} 00' \sim 35^{\circ} 46'$ 사이의 낙동강유역 남서쪽에 위치한 유역으로 서쪽으로는 백두대간의 지리산 자락(소백산맥)이 섬진강 유역과 경계를 이루며 남서쪽으로는 섬진강 하류 중권역, 북쪽으로는 황강 유역과 남쪽으로는 남남정맥을 분수령으로 하여 낙동강 남해 대권역과 경계를 이루고 있다. 남강의 유역면적은 $3,467.52\text{km}^2$ 유로연장은 189.83km , 유역평균폭 18.27km , 형상계수는 0.10 이며 유역형상은 하천형태학적으로 수지상형태로 유수가 하천에 일시에 집중되는 일은 없으나 홍수위가 오래 지속되는 경우가 발생하며, 유역의 평균 고도는 EL. 319.96m 이고 평균경사는 31.86% 이다. 유역을 구성하고 있는 행정구역은 경상남도 함안군, 함양군, 산청군, 진주시, 합천군, 의령군, 하동군, 사천시, 고성군 및 전라남도 구례군, 전라북도 남원시 등 3도 3시 8군으로 이루어져 있다. 남강은 경상남도 함양군(咸陽郡) 덕유산(德裕山)에서 발원하여 남류하면서 자우천과 합류되기 전 지방2급하천이 형성되어 계속 남류하면서 안의천 등이 유입된다. 남강의 지류인 지방1급 하천인 함양위천이 합류되는 지점부터 국가하천 구간의 시점이 되며, 계속 남류한 후 임천, 양천 등이 유입하고, 남강의 좌안으로 유입되는 덕천강으로 합류시킨 후 남강댐으로 유입된다. 남강댐을 기점으로 남강은 동류하면서 나불천, 영천강, 반성천, 의령천이 그리고 국가하천인 함안천이 유입하여 낙동강 본류와 합류한다(남강하천기본계획, 2008).

남강 하류수계 내 29개 하천의 총 유역면적은 700.6km^2 로 그 중 경남 진주 이반성에서 시작되어 경남 진주 사봉을 종점으로 하는 반성천이 125.98km^2 로 가장 큰 유역면적을 가지고 있다. 반면 경남 함안 군북에서 시작하여 경남 함안 법수를 종점으로 하는 석교천의 길이가 19.2km 로서 가장 길다. 또한 경남

진주 사봉을 시작으로 하여 경남 진주 사봉을 종점으로 하는 마성천의 유역면적은 2.13km²으로서 가장 작은 면적을 가지고 있다. 경남 진주 내동을 시작으로 하여 경남 진주 내동을 종점으로 하는 독산천의 하천길이는 0.8km로서 가장 짧은 하천길이를 가지고 있다.

남강 권역은 5개의 단위유역으로 구성되어 있으며, 남강A, 남강B, 남강C, 남강D와 남강E로 명명된다. 단위유역별 면적은 남강A가 1,013.7km²로 전체면적 중 29%를 차지하여 가장 넓은 면적을 차지하였으며, 남강B는 679.8km²로 전체면적의 20%를 나타냈다. 남강D가 623.4km²로 전체면적의 18%, 남강C가 572.9km²로 전체면적의 17%, 남강E가 553.4km²로 전체면적의 16%순으로 나타났다. 이 중 남강E 단위유역은 행정구역상 경남 진주시, 의령군, 함안군을 포함하고 있다. 진주시는 1개의 소유역으로 구성되어 있으며, 전체면적은 16.7km²이다. 의령군은 5개의 소유역으로 구성되어 있으며 전체면적은 244.7km²이고, 함안군은 7개의 소유역으로 구성되어 있으며 전체면적은 292.0km²이다.



Fig. 1 연구대상지역 현황.

Table 1 남강 유입지천의 개요(국가수자원관리종합정보시스템, 2009)

| 하천명 | 시작지점 | 종점 | 길이 (km) | 유로연장 (km) | 유역 면적 (km ²) |
|-----|-----------|----------|------------|--------------|--------------------------------|
| 판문천 | 경남 진주 명석 | 경남 진주 평거 | 2.7 | 6.33 | 6.92 |
| 독산천 | 경남 진주 내동 | 경남 진주 내동 | 0.8 | 5.1 | 5.88 |
| 나불천 | 경남 진주 명석 | 경남 진주 남성 | 15.7 | 18.68 | 10.1 |
| 가좌천 | 경남 진주 정촌 | 경남 진주 가좌 | 4 | 14.8 | 6.06 |
| 영천강 | 경남 고성 영현 | 경남 진주 금산 | 31 | 6.5 | 32.8 |
| 용아천 | 경남 진주 금산 | 경남 진주 금산 | 5 | 5.5 | 10.29 |
| 하촌천 | 경남 진주 하촌 | 경남 진주 초전 | 5 | 5.2 | 11.16 |
| 지내천 | 경남 진주 집현 | 경남 진주 집현 | 13.5 | 15.8 | 30.95 |
| 향양천 | 경남 진주 미천 | 경남 진주 대곡 | 9.5 | 10.5 | 41.92 |
| 현지천 | 경남 진주 금산 | 경남 진주 금산 | 3.2 | 3.6 | 4.07 |
| 대곡천 | 경남 진주 대곡 | 경남 진주 대곡 | 13 | 15.3 | 28.97 |
| 반성천 | 경남 진주 이반성 | 경남 진주 사봉 | 17 | 17.8 | 125.98 |
| 마성천 | 경남 진주 사봉 | 경남 진주 사봉 | 2 | 2 | 2.13 |
| 대필천 | 경남 진주 지수 | 경남 진주 사봉 | 2.6 | 2.8 | 5.49 |
| 대방천 | 경남 진주 대곡 | 경남 진주 대곡 | 2.8 | 4.75 | 3.44 |
| 상정천 | 경남 의령 화정 | 경남 의령 화정 | 7 | 8.18 | 26.86 |
| 지수천 | 경남 진주 지수 | 경남 진주 지수 | 5.5 | 6.76 | 14.35 |
| 화정천 | 경남 의령 화정 | 경남 의령 화정 | 3.4 | 3.58 | 3.82 |
| 영운천 | 경남 함안 군북 | 경남 함안 군북 | 4 | 5 | 4.3 |
| 수곡천 | 경남 함안 군북 | 경남 함안 군북 | 4.2 | 5 | 3.64 |
| 의령천 | 경남 의령 칠곡 | 경남 의령 의령 | 19 | 21 | 113.29 |
| 석교천 | 경남 함안 군북 | 경남 함안 법수 | 19.2 | 20 | 62.07 |
| 월현천 | 경남 의령 정곡 | 경남 의령 정곡 | 7 | 7.5 | 26.64 |
| 함안천 | 경남 함안 여항 | 경남 함안 함안 | 8.4 | 10.4 | 48.8 |
| 백야천 | 경남 의령 지정 | 경남 의령 지정 | 4.2 | 4.67 | 10.08 |
| 대산천 | 경남 함안 대산 | 경남 함안 대산 | 7.2 | 8 | 18.82 |
| 부목천 | 경남 함안 대산 | 경남 함안 대산 | 4 | 4.78 | 6.45 |
| 봉곡천 | 경남 의령 지정 | 경남 의령 지정 | 9 | 10 | 26.09 |
| 두곡천 | 경남 의령 지정 | 경남 의령 지정 | 3.8 | 6.48 | 9.23 |

2.2 수질오염총량관리제도

2.2.1 개요

하천 또는 호소수역에 대한 오염원이 지속적으로 증가하는 경우에는 일반적인 농도규제 방식만으로는 수질개선에 한계가 존재하게 된다. 수질오염총량관리제는 과학적 바탕위에서(scientific), 수질관리의 효율성을 제고하고(efficient), 각 경제 주체들의 책임성을 강화하여(responsible), 행정목표(목표수질)를 적기에 달성하고자 하는 제도로서, 목표수질 한도 내에서 지역과 배출원에 오염물질 배출총량을 할당하고 ‘환경과 개발’을 함께 고려하는 지속가능성을 확보할 수 있는 핵심적 유역관리제도이며, 공공수역의 수질보전은 물론 수자원의 이용과 관련된 지역 간의 분쟁해소 및 유역공동체의 경제적, 환경적 형평성과 상생을 꾀하는 것으로 볼 수 있다.

하천의 허용 오염부하량을 고려하지 않는 배출허용기준 중심의 농도 규제만으로는 오염부하의 양적증가(배출허용기준이하 오페수의 양적팽창에 따른 오염부하의 증가)를 통제할 수 없어 수질개선에 한계가 있으며, 일률적인 농도규제는 오염원이 밀집한 경우에는 지나치게 무력하고 오염원이 희소한 경우에는 지나치게 엄격한 규제가 되는 제도라 볼 수 있다. 또한 우리나라 하천의 중, 하류에는 인구 및 산업시설이 과도하게 밀집되어 있어 현재의 농도규제 방식으로는 하천의 환경기준 달성에 근본적으로 한계가 있다.

2.2.2 오염배출부하량

수질오염총량관리 단위유역으로부터 배출되는 부하량은 오염원으로부터 직접 배출되는 개별배출부하량과 공공처리시설의 관거로 유입되어 관거이송과정에서 배출되는 관거배출부하량 및 처리후 배출되는 방류부하량으로 구성된다. 수질오염총량관리를 위한 최종 목표년도의 할당부하량은 기본계획 강우조건을 기준으로 하여 산정된다. 기본계획에서 할당부하량이 정해지면 목표수질을 초과하는 단위유역에서는 시행계획을 수립하여 최종년도의 할당부하량을 준수할 수 있도록 연차별 배출부하량을 정하여 관리한다(환경부, 2002). 이행평가시에는 단위유역의 할당부하량 준수여부를 평가하기 위하여 기본계획에서 산정된 할당부하량과 연차별 배출부하량을 비교평가한다(환경부, 2005). 연차별 배출부하량을 평가하는 것은 기본계획과 대비하여 연도별 오염원의 자연증감, 지역개발 및 삭감계획의 이행 등에 따른 상대적인 배출부하량 차이를 파악하기 위한 것이다.

국내에서 원단위를 이용하여 인구, 축산, 산업, 토지 등의 배출 오염원별부하량을 산정하는 경우에 대부분 4대강에서 시행중인 수질오염총량관리제에서 제시된 원단위와 산정방법에 따라 발생부하량 및 배출부하량을 산정한다. 원단위를 이용하여 오염부하량을 산정하는 경우 유역의 배출오염원별 영향을 파악할 수 있고 타 유역과의 상대적인 오염부하량을 파악할 수 있다.

2.3 통계분석 이론

2.3.1 요인분석

요인분석은 많은 변수의 상호관련성을 소수의 공통요인으로 집약하는 방법이다. 표본 전체의 변수에 공통적인 요인이 있다고 가정하고 이 요인을 찾아내어 각 변수가 어느 정도 영향을 받고 있는지 그 정도를 산출하기도 하고 그 집단의 특성이 무엇인가를 설명하려는 통계분석 방법이다.

요인분석을 수행하기 위해서는 다음과 같은 선행조건이 지켜져야 한다. 첫째, 요인분석의 대상이 되는 모든 변수는 등간척도 이상의 연속형이어야 한다. 또 각 변수는 정규분포를 이루어야 하고, 각 변수의 값은 상호 독립적이며, 각 변수의 분산은 같아야 한다. 둘째, 표본의 수는 일반적으로 최소한 50 이상이어야 하고 100 이상이어야 양호한 결과를 얻을 수 있으며, 분석하려는 변수의 약 4배 이상의 표본으로 분석하는 것이 일반적이다.

요인 수를 결정하는 방법에는 최소고유값(minimum eigenvalue)기준, 스크리 검정(Scree test), 분산의 비율(Percentage of variance), 선행이론 방법이 있다. 이중 최소고유값(minimum eigenvalue)기준 방법은 가장 많이 사용되는 방법의 하나로 적용이 매우 간단하지만 기본 모형으로 주대각성분 분석법 또는 공통요인 분석법을 사용하는가에 따라 적용이 달라진다. 주대각성분 분석법에서는 상관행렬의 대각에 '1'이 들어간다는 것을 상기하면 분석에서 전체 변량이 고려된다. 주대각성분분석법에서 요인들은 고유값이 '1'보다 적을 경우에는 의미가 없는 것으로 간주하고 무시한다. 공통요인 분석법을 선택할 경우 고유치는 약간 하향 조정되어야 한다. 요인 수의 결정에 있어서 최소고유값 기준 하나만으로 결정하는 것은 매우 위험하다. 다른 기준들도 고려한 후 결정하는 것이 좋다. SPSS에서는 요인추출을 결정하는 최소고유값은 기본값이 '1'이다(원태연 & 정성원, 2010). 고유값(eigenvalue)은 한 요인 설명력을 나타내는

데 “ 한 요인에 대한 요인 적재 값 제공의 합” 을 가리킨다. 그러므로 고유값이 높다는 것은 그 요인이 변수들 간의 분산을 잘 설명한다는 것을 의미한다 (박찬진, 2014).

요인분석은 p 개의 변수들이 상호 어떤 관계가 있는지 결정하여 변수들을 m 개의 변수 그룹으로 나누는데 목적이 있다.

$$\underline{x} = L\underline{f} + \underline{\eta} \iff \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1m} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{p1} & l_{p2} & \cdots & l_{pm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

\underline{x} 는 원 변수 벡터, f_1, f_2, \dots, f_m 들은 공통 인자 (요인: common factor), l_{ij} 들은 인자 부하 (factor loading): i 번째 변수에 j 번째 요인이 미치는 영향, $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_p$ 특정 인자 (specific factor)라 한다. η_j 는 j 번째 변수에 한정된 오차 변동

원 변수의 상관계수 행렬(R)에 대해 $R = LL' + \psi$ 이 성립하므로 $R = LL' + \psi$ 이고, $R = (LP)(LP)' + \psi$ 에 의해 이를 만족하는 L은 무수히 많다(무수히 많은 성질을 이용하여 요인의 부하 값을 잘 구별할 수 있도록 요인 회전방법을 사용).

변수의 상관계수 행렬(R)에 대한 eigen-value(고유치)와 eigen-vector(고유 벡터)를 구하여 그것을 각각 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$, e_1, e_2, \dots, e_p 라고 가정하고 여기서 부터 구한 주성분을 y_1, y_2, \dots, y_p 라 가정하면 요인 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
x_1 &= y_1 e_{11} + y_2 e_{12} + \dots + y_p e_{1p} \\
x_2 &= y_1 e_{21} + y_2 e_{22} + \dots + y_p e_{2p} \\
&\vdots \\
x_p &= y_1 e_{p1} + y_2 e_{p2} + \dots + y_p e_{pp}
\end{aligned} \tag{2}$$

요인은 $f_1 = y_1 / \sqrt{\lambda_1}, f_2 = y_2 / \sqrt{\lambda_2}, \dots, f_p = y_p / \sqrt{\lambda_p}$ 이므로

$$\begin{aligned}
x_1 &= \sqrt{\lambda_1} e_{11} f_1 + \sqrt{\lambda_2} e_{12} f_2 + \dots + \sqrt{\lambda_p} e_{1p} f_p \\
x_2 &= \sqrt{\lambda_1} e_{21} f_1 + \sqrt{\lambda_2} e_{22} f_2 + \dots + \sqrt{\lambda_p} e_{2p} f_p \\
&\vdots \\
x_p &= \sqrt{\lambda_1} e_{p1} f_1 + \sqrt{\lambda_2} e_{p2} f_2 + \dots + \sqrt{\lambda_p} e_{pp} f_p
\end{aligned} \tag{3}$$

요인의 부하 값은 $l_{ij} = \sqrt{\lambda_j e_{ij}}$ 이고, 특정 인자(오차)는 $\psi_j^2 = \sigma_j^2 - (l_{j1}^2 + l_{j2}^2 + \dots + l_{jm}^2)$ 이다.

부하(loading) 값의 의미는 각 요인이 원 변수를 설명하는 정도(크기)를 나타내며 요인은 변수들의 내재된 관계에서 공통부분에 해당된다. 그러므로 각 요인에서 부하 값의 절대 값이 큰 변수들을 선택하여 그룹화 한다(음의 부호는 동일 개념의 반대 척도).

Kaiser 판단(eigen-value)은 변수들의 상관관계가 0이면(관계가 없으면) 상관 계수 행렬(R)은 항등 행렬 I이다. 이 경우 원 변수의 개수와 주성분의 개수가 같아지고 주성분의 분산은 모두 1 이므로 각 주성분이 가지는 분산 평균도 1 이다. 그러므로 R 로부터 구한 고유치가 평균인 1 이상이 되어야 한다는 판단 하에 고유치가 1 이상인 것으로 요인의 개수를 정한다.

Scree Plot: 총 변동 80 %에 연연하지 않고 주성분 분산 설명 변동의 크기 (고유치)가 앞의 값과 비교하여 큰 차이를 보이며 작은 값이 평준화되는 현상을 보일 때, 평준화되기 직전의 값으로 요인의 개수로 정한다.

요인 분석에서 요인의 부하 값은 요인(공통 개념)과 원 변수의 상관관계 정도를 나타내는 크기로 해석될 수 있으므로 부하 값에 의해 원 변수를 그룹화한다. 그러나 하나의 원 변수에 부하 값이 큰 요인이 2개 이상 존재하거나, 인자의 크기가 0을 중심으로 ±의 작은 값이 있는 경우 부하 값으로 변수를 그룹화 하는 것은 불가능하다. 요인 회전은 각 요인이 상대적으로 큰 부하 값을 갖도록 요인을 회전(rotate)하는 것으로 QUARTIMAX rotation, OBLIQUE rotation, PROMAX rotation 방법 등이 있는데, 가장 많이 사용되는 것은 직교 회전방법인 VARIMAX rotation 방법이다. 이는 Kaiser가 제안한 것으로 간단한 구조의 측정치로 요인 행렬의 각 열 내의 부하 제곱의 분산의 합을 제안하고 이 분산을 최대화 하는 회전 방법이다.

요인 회전이 가능한 것은 앞에서 언급하였듯이 인자의 개수(m)가 원 변수의 개수(p) 보다 적은 경우 $\Sigma = LL' + \Psi$ 을 만족하는 행렬 L 은 무수히 많이 존재한다. 이 성질로 인하여 요인의 회전이 가능하게 된다. 부하의 값들이 잘 구별되도록 요인을 회전하여도 요인 방정식을 만족하는 해가 존재하는 것이다. 즉, $\Sigma = LL' + \Psi$ 을 만족하는 행렬을 L 이라 하면 직교 변환 $L^* = LP$ (p는 직교 행렬)도 $\Sigma = LL' + \Psi$ 을 만족한다.

Table 2 Five main steps of factor analysis (원태연 & 정성원, 2010)

| 요인분석의 과정 | |
|--|--------------------------------|
| 1. 요인분석의 적용 가능성 점검 | |
| Bartlett의 단위행렬 점검 공통변량의 점검 KMO의 표본적합도 점검 | 고유값의 점검 잔영상관행렬의 점검 |
| 2. 최초 요인의 추출 | |
| 주대각성분 분석법 최우추정요인 추출법 알파요인 추출법 | 최소제곱법 주축요인 추출법 이미지요인 추출법 |
| 3. 요인의 수 결정 | |
| 최소고유값(Eigenvalue) 기준 통계적 가설검정 선행 이론 | 스크리검정(Scree test) 분산의 비율 |
| 4. 요인의 회전 | |
| 쿼티멕스회전 이쿼멕스회전 오브리민회전 | 베리멕스회전 프로멕스회전 |
| 5. 분석결과의 해석 | |

2.3.2 상관성 분석

상관분석은 변수간의 관련성을 분석하기 위하여 두 변수간의 선형적인 상관 관계를 파악하는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 기법이다. 보편적으로 자주 이용되는 척도로는 Pearson 상관계수(Correlation Coefficient, r)가 많이 이용되며, Pearson 상관계수는 두 변수가 각각 간격척도 혹은 비율척도로 측정된 경우 상관관계의 크기를 의미한다. 변수들이 정규 분포를 따른다는 가정 하에 적용하는 상관계수로 -1에서 1까지의 값을 취하는데 절댓값이 1에 가까울수록 상관성이 강하다. 즉, 상관계수는 선형관계(linearity)를 나타내는 척도로 사용하는 것으로 해석에 주의를 요한다.

두 변수 사이의 관계를 알아보하고자 할 때 가장 먼저 해볼 수 있는 일은 산점도(scatterplot)를 그려보는 것이다(원태연 & 정성원, 2010). 산점도란 X 와 Y 값의 n 개의 쌍으로 구성된 자료를 좌표 상에 옮겨 그린 그림으로서, 산점도를 이용하면 여러 형태의 두 변수 간의 상관관계를 파악할 수 있다. 직선적으로 관련된 정도를 측정하기 위한 척도의 성질 중의 하나는 분명히 변수들에 대해 원점을 선택하는 것과는 무관해야 한다. 이러한 성질은 변수 자체보다 표준편차를 정의할 때처럼 오히려 변수들의 평균으로부터의 편차를 사용함으로써 충족될 수 있다. 또 다른 성질은 관계를 나타내는 척도가 X 와 Y 의 측정에 사용되는 단위와 무관해야 한다. 또한 X 와 Y 의 값이 두 배가 되더라도 변수들 간의 관련성은 변하지 않아야 한다(남기성, 2010).

일반적으로 모수통계에서 사용되는 상관계수 r 은 피어슨의 적률상관(Pearson's product moment correlation)을 말한다. 상관계수 r 은 결정계수 r^2 로 해석된다. r 이 클 때 예언의 오차가 작다는 것은 변량적 관점에서 예언되지 않는 변량(오차변량)이 작다는 것을 말한다. 간단히 'Y의 전체변량 = X에 의해 예측되는 변량 + X에 의해 예측되지 않는 변량' 이라고 하면, $r = \pm 1.0$ 일

때 X에 의해 예측되지 않는 변량은 0이 된다. 즉 Y의 전체변량이 X에 의해
예언됨을 말한다.

$$S^2 = S_y^2 + S_{y.x}^2 \Rightarrow r = \pm 1.0 \rightarrow S_{y.x}^2 = 0, S^2 = S_y^2 \quad (4)$$

r은 전체변량에서 예언되는 부분이므로 r^2 은 X에 의해 설명되는 Y의 변량비
율이다.

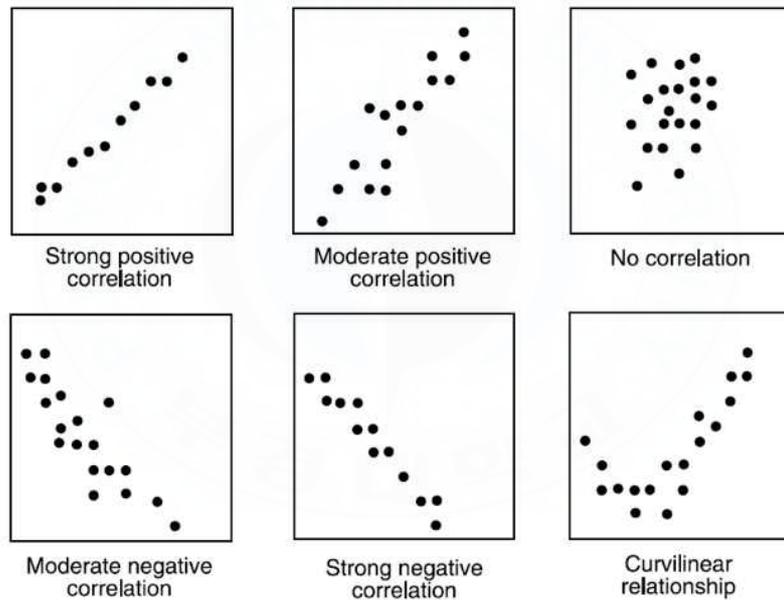


Fig. 2 두 측정형 변수의 상관관계 산점도 패턴.

2.3.3 회귀 분석

회귀분석은 구성된 회귀식을 통해 회귀모형의 적합도를 평가할 수 있다. 회귀식은 변수간의 관계성을 나타내므로 관계성이 좋은 예측모형인지를 판단하는 것이 된다. 설명량을 나타내는 R^2 이 통계적으로 유의미하면 회귀모형이 적합한 것으로 평가한다. 단순회귀분석의 식은 $Y' = \beta_0 + \beta_1 x_1$ (혹은 $Y = bx + c$)이므로 변수 x 에 의해 y 가 잘 예측되는 경우, R^2 의 값이 커지고 좋은 회귀모형이 된다.

다중회귀분석의 경우, 여러 독립변수가 회귀식에 투입되므로 이들 독립변수의 상대적인 기여도, 즉 어떤 독립변수가 종속변수 Y 를 가장 잘 예측하는가의 문제를 해결할 수 있다. 보통 회귀분석에서 독립변수는 ‘예측변수(predictor)’라 하고 종속변수는 ‘준거변수(criterion)’라 한다. 회귀모형의 적합성이 확인되고 독립변수들의 상대적 기여도가 밝혀지면, 새로운 독립변수를 추가하면서도 모델의 예측력을 높이기 위해 새로운 변수를 회귀식에 추가하거나 기존 변수와 조합된 새로운 모델을 만들어 가면서 독립변수의 효과를 검증할 수 있다.

회귀분석은 사실 변량분석과 동일하게 생각할 수 있다. ANOVA의 GLM은 결국 집단간 차이를 일반선형회귀모델처럼 분석하는 것에 불과하다. 변량분석이 인과성을 밝히는 강력한 방법이기는 하지만, 통계적 설명에 있어 회귀분석은 훨씬 풍부하고 다양한 통계치를 가지고 있어 효율적이다. 변량분석과 마찬가지로 다중회귀분석에서는 독립변수간의 상호작용 효과를 검증할 수 있다. 이 경우 회귀식에 투입되는 상호작용 항(term)을 만들어 주어야 하는데, 간단히 두 변수의 단순 곱을 구하거나 각 변수의 평균으로부터의 편차를 구한 다음 편차의 곱을 상호작용항으로 만들면 된다.

회귀분석은 공변량분석의 대안적인 방법으로 사용되기도 한다. 특정 변수를 통제된 상태에서 독립변수의 효과를 검증하는 것으로 독립변수 이외의 종속변수에 유의미하게 영향을 주는 변수를 통제하거나 독립변수와와의 다중공선성

(multicollinearity)이 높은 변수를 통제된 상태에서 독립변수의 효과를 분리해 낼 수 있다. 이를 위해서는 위계적 다중회귀분석이라는 방법을 사용하며, 전체 R^2 에서 공변인의 설명량(R^2)을 제외한 나머지 R^2 로 독립변수의 효과를 평가한다.

다중회귀분석은 여러 회귀모형을 비교하는 목적으로도 사용된다. 어떤 현상을 설명하는 모델은 하나만이 존재하는 것이 아니므로 회귀분석은 이러한 모델들을 비교하는데 좋은 분석 툴을 제공한다. 회귀모형의 비교는 R^2 의 차이를 통계 검증함으로써 가능하다.

회귀분석을 통해 검증된 하나의 회귀모형이 다른 표본(집단)에게도 동일하게 적용되는지를 알기 위해서 회귀분석이 이용될 수 있다. 이러한 경우는 주로 타당화 연구에서 많이 사용되고 있다.

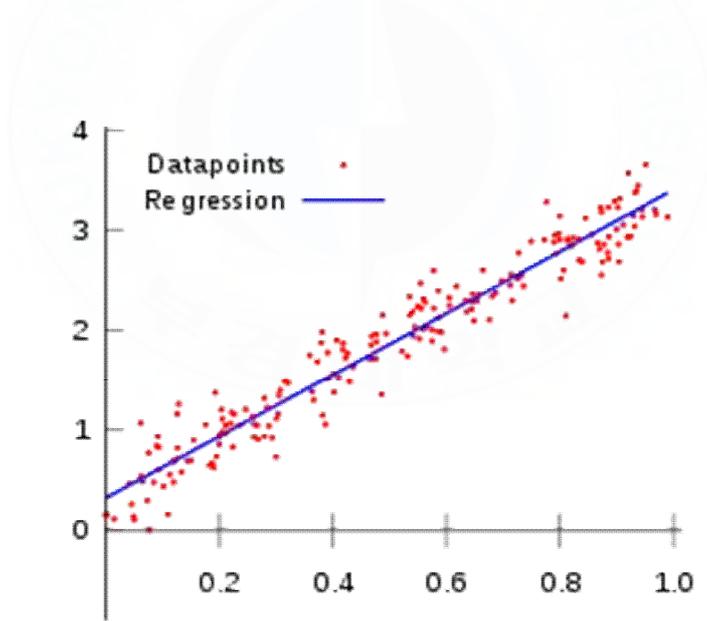


Fig. 3 회귀분석에 따른 실측데이터 비교(예시).

제 3 장 연구 방법

3.1 자료 수집 및 수질 특성 분석

3.1.1 강우관측시설

남강유역의 수문량을 분석하기 위하여 강우관측소를 조사한 결과 유역내에 위치한 관측소는 36개소, 유역 외에 위치한 관측소는 6개소로 총 40개 관측소가 운영 중인 것으로 조사되었다. 이를 관할 행정기관별로 구분하면 국토교통부 산하 관측소는 14개소, 수자원공사 산하 관측소 22개소, 그리고 기상청 산하 관측소는 4개소인 것으로 나타났다. 이중 거룡강, 두문, 정암, 진양, 진주, 칠곡, 함안 관측소는 남강댐 하류 유역에 위치한 강우관측소이다. Table 3은 남강유역의 강우관측소 현황이며, Fig. 4는 강우관측소 위치를 나타낸 것이다.

Table 3 강우관측시설 현황

| 구 분 | 관할기관 | | | 총계 | |
|-----|-------|-----|-------------|----|-------------|
| | 국토교통부 | | 기상청 (자기) | | 한국수자원 공사 |
| | 자기 | T/M | | | |
| 남 강 | 7 | 7 | 4 | 22 | 40 |

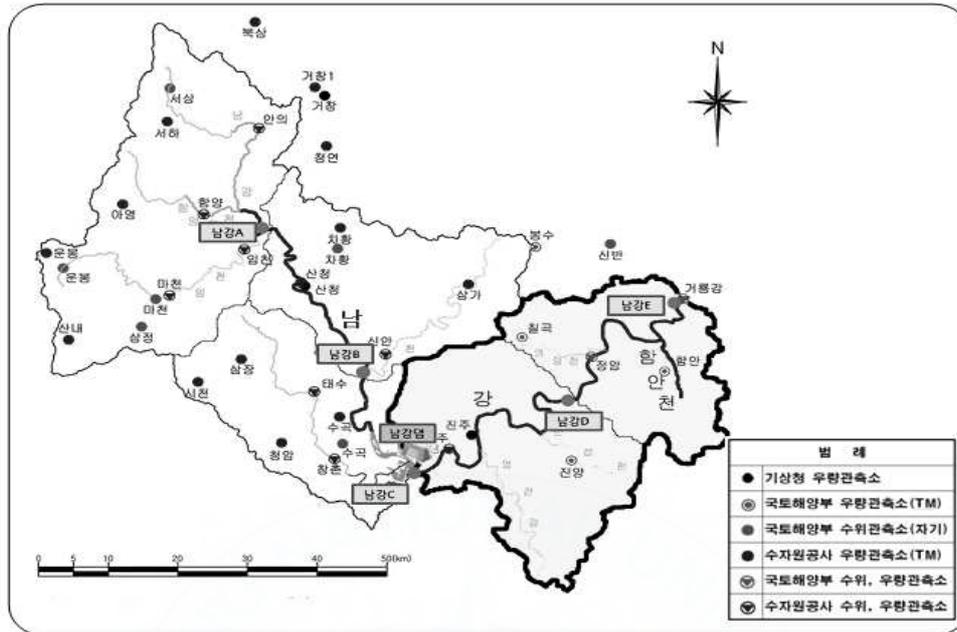


Fig. 4 남강유역 강우관측소 위치 (경남발전연구원, 2010).

3.1.2 수위 관측시설

수자원개발계획 수립, 하천관리 및 이용에 필요한 수문자료를 제공하기 위해서는 수위관측소를 설치하여 지속적인 수위관측 및 유량측정을 실시하여 수위-유량관계를 정립하는 것이 필요하다. 이러한 수위관측소의 설치에 특별한 기준이 있는 것은 아니지만 주요 지천의 특성과 하천의 인위적인 사용특성에 따라서 조밀하게 할 필요가 있으며, 과거에는 수위관측소의 설치목적이 주로 홍수량자료 수집에 국한되었으나 최근에는 물관리 부분을 주요 관심사로 하여 관측소를 설치하고 있는 실정이다. 남강수계내의 수위관측소는 남강 본류에 안의, 산청, 판문, 진주, 정암, 거룡강 관측소가 위치하며, 함양위천에 함양, 임천에 마천과 임천, 양천에 신안과 삼가, 덕천강에 태수, 창촌, 내평 등 총 15개의 수위관측소가 위치하고 있다. 이를 관할 행정기관별로 정리하면 남강 본류 구간에 국토교통부 산하 3개소, 수자원공사 산하 4개소가 있으며, 남강 전체

수계에 대하여 국토교통부 관할 산하에 3개소, 수자원공사산하에 12개소가 운영 중인 것으로 조사되었으며, Table 4는 남강 수계 내 수위관측소 현황이다. 이중 거룡강, 대곡, 덕곡, 정암, 진주는 남강댐 하류에 위치한 수위관측소이다.

Table 4 수위관측소 현황

| 구 분 | 국토교통부 | | 한국수자원공사 | | 총계 |
|------|-------|-----|---------|-----|----|
| | 자기 | T/M | 자기 | T/M | |
| 남 강 | - | 2 | - | 5 | 7 |
| 함양위천 | - | - | - | 1 | 1 |
| 임천 | - | - | - | 2 | 2 |
| 양천 | - | - | - | 2 | 2 |
| 덕천강 | - | - | - | 3 | 3 |

3.1.3 수질관측시설

환경부에서는 전국 하천 및 호소 등 수질보전대상 공공수역에 대하여 수질 현황을 종합적으로 파악하여 수질변화 추세를 파악하고 주요정책 사업의 효과를 분석하여 장래 수질보전정책수립을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 수질 측정망을 운영하고 있다. 측정지점은 하천 및 호소 등 수계수질관리 필요지점, 상수원수 및 농업용수 취수지점, 배출업소 관리를 위한 공단배수 및 도시관류 지점을 기본으로 선정하고 있다. 또한 환경부에서는 수질오염총량관리 기본방침에 따라 수질오염총량관리 목표수질지점에 대한 수질 및 유량조사를 실시하고 있다. 본 연구의 대상 유역인 남강댐 하류 유역에는 Table 5와 같이 수질측정망 5개 지점과 수질오염총량관리의 수질 측정지점 남강C, 남강D가 있으며 Fig. 5에 그 위치를 나타내었다.

Table 5 수질측정망 지점

| 측정지점 | 주소 | 비고 |
|-------|--------------------|----------|
| 남강1 | 진주시 칠암동 | 월평균 자료 |
| 남강2 | 진주시 초전동 | 월평균 자료 |
| 남강3 | 의령군 의령읍 정암리 | 월평균 자료 |
| 남강4 | 의령군 지정면 마산리 | 월평균 자료 |
| 남강4-1 | 함안군 대산면 장암리 오천4배수장 | 월평균 자료 |
| 남강D | 진주시 대곡면 대곡리 장박교 | 8일 간격 자료 |
| 남강E | 함안군 대산면 장암리 거룡강수위국 | 8일 간격 자료 |

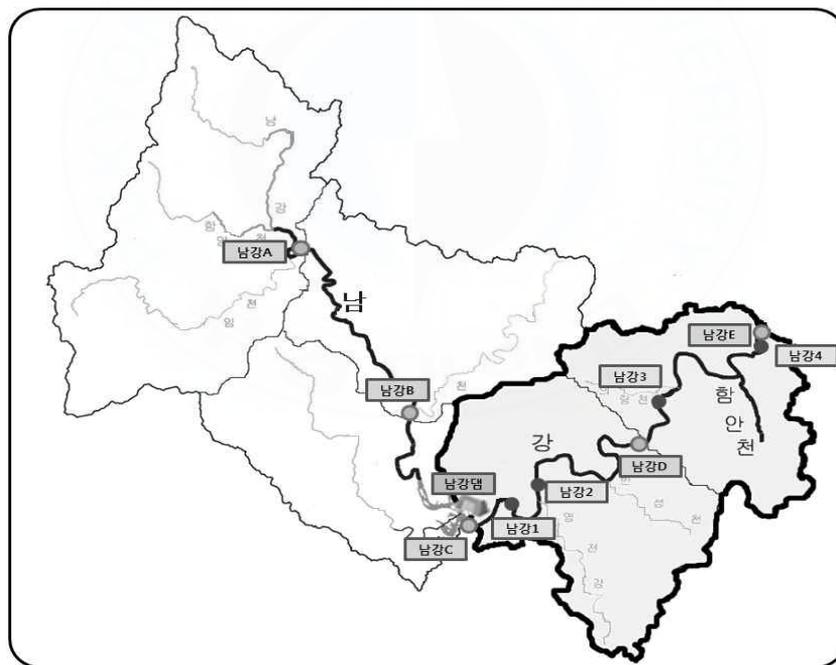


Fig. 5 남강유역 수질측정망(경남발전연구원, 2010).

3.1.4 남강댐

남강댐의 주요 시설물은 높이 43m, 길이 1,126m의 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐인 본댐과 문비 3문을 갖춘 여수로, 시설용량 14,000kW의 발전소, 그리고 홍수 시 사천만으로 홍수를 방류하기 위한 높이 31m, 길이 258m의 콘크리트 중력식 제수문 구조물 등으로 구성된다. 본댐 지점은 진주시 서남측에 위치한 기존 남강댐의 직하류로서 댐 좌측은 경남 진주시 판문동에 댐 우측은 경남 진주시 내동면 삼계리에 위치한다. 댐의 형식은 댐 지점의 두꺼운 퇴적층에 따른 기초처리 및 인근의 이용가능한 축조재료 등을 고려하여 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐으로 축조되었으며, Table 6에 남강댐의 제원을 나타내었다.

Table 6 남강댐 제원

| 구분 | 하천 | 형식 | 높이(m) | 길이(m) | 정상 표고 (EL.m) | 체적 (천m ³) |
|-----|-----------------------------|-----------|----------|-------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 댐 | 남강 | C.F.R.D | 34.0 | 1,126.0 | 51.0 | 1,280.0 |
| 구분 | 유역면적(km ²) | | | 연간용수공급량(106m ³) | | |
| 유역 | 2,285.0 | | | 573.0 | | |
| 구분 | 계획 방류량(m ³ /sec) | | | 문비 | | |
| 여수로 | 800 | | | 4문(14×9.7m) | | |
| 구분 | 계획 방류량(m ³ /sec) | | | 문비 | | |
| 제수문 | 3,250 | | | 8문(8.4×9.0m) 4문(8.4×16.3m) | | |
| 구분 | 수차발전기 | 시설용 량 | 정격낙 차 | 연간발전량 | | |
| 발전소 | 횡축 Kaplan(Bulb) | 14천 kW | 16m | 41백만 kW | | |

자료)한국수자원공사 수자원시설건설관리 자료인용

남강댐영향권 지역사회의 발전에 남강댐의 역할을 증대시키고자 기존 남강댐 직하류 지점에 남강다목적댐을 1987년에 착공하여 2001년 준공하였다. 남강댐 건설로 대부분의 홍수는 방수로를 통하여 직접 사천만으로 방류하여 남강연안의 상습적인 홍수피해를 경감하게 되었고, 진주시, 사천시 및 통영시 등 경남 서부일원에 충분한 생·공용수와 관개용수를 적기에 공급할 수 있게 되었으며, 무공해 수력에너지를 생산하는 등 경남 서부권 경제발전에 원동력이 되어왔다 또한 남강댐이 보강되어 설계방류량이 기존 댐의 7,460^m³/sec에서 4,050^m³/sec로 감축된다. 이는 남강댐 방류량의 약 50%를 감축하는 것으로써 홍수피해경감 편익은 연간 약 126억원으로 댐 하류 진주시 및 사천만 연안의 홍수피해를 크게 경감시킬 것이다.

남강댐을 취수원으로 광역상수도 사업을 통하여 용수를 공급받는 곳은 통영시, 사천시, 고성군, 진주시, 거제시, 고성군, 하동군, 남해군 등이다 남강댐은 총 573.3 백만톤 중에서 생·공업용수 224.4 백만톤, 농업용수 226.8 백만톤, 하천유지용수 122.1 백만톤을 공급하고 있다.

Table 7 용수공급계획자료

(단위:백만톤)

| 구 분 | 용수공급능력 | | | |
|-----|--------|--------|-------|--------|
| | 계 | 생·공업용수 | 농업용수 | 하천유지용수 |
| 남강 | 573.3 | 224.4 | 226.8 | 122.1 |

출처)수자원개발가능지점및광역배분계획기본조사보고서('96.4,건설교통부);

기존댐용수공급능력조사보고서(건설교통부); 다목적댐운영실무편람('98,수자원공사)

3.1.5 수문 및 수질 특성 분석

유역형상은 수지상 형태로 유수가 하천에 일시에 집중되는 일은 없으나 홍수위가 오래 지속되는 경우가 발생한다. 북쪽에 소백산맥이 있어 여름에 남서쪽에서 오는 저기압이 산맥에 부딪쳐서 형성되는 지형성 강우가 자주 발생한다. 또한 남강댐 하류부 구간은 진주시를 가로지르며, 남강 수중보와 교량 등의 인공구조물과 만곡흐름을 특징으로 하는 하천으로서 하상경사가 매우 완만하고 유속이 비교적 느리므로 체류시간이 크고 하천수질이 환경기초시설의 방류농도와 남강댐 방류량에 큰 영향을 받는다(경남발전연구원, 2010).

본 연구에서는 2005년부터 2015년까지의 남강댐 방류량 및 유역 월평균 강우량 실측자료를 바탕으로 Fig. 6과 같이 그래프로 나타내었다. 남강댐은 강우량에 따른 댐 방류량이 지배적인 것으로 나타났으며, 과거 10년간 강우량과 댐 방류량은 일정한 패턴을 보이는 것으로 나타났다.

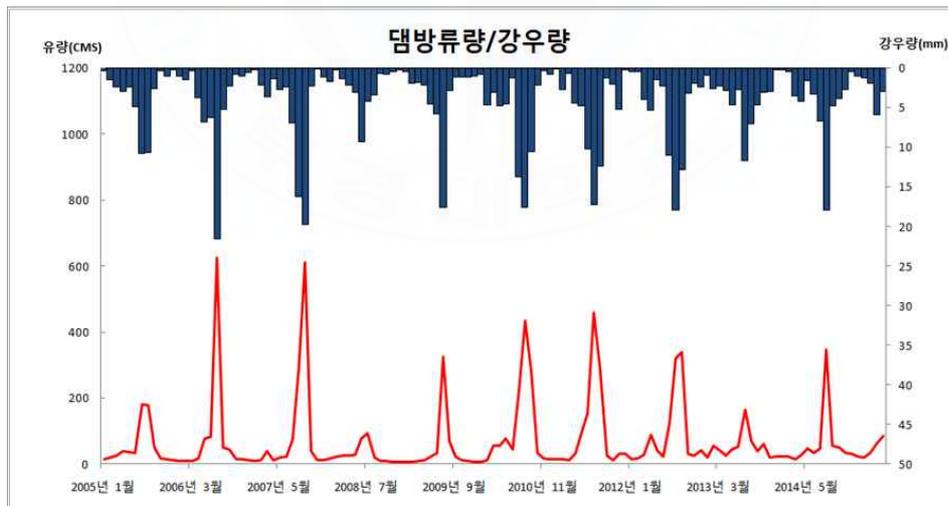


Fig. 6 2005~2015년 남강댐 방류량 및 강우량.

Table 8은 2005년부터 2015년 7월까지의 남강댐 연도별 평균 방류량을 나타낸 것이며, 2010년 이후 연도별 평균 남강댐 방류량은 지속적으로 감소하는 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 과거 10년 남강댐 평균 방류량은 70.2 CMS 이며, 2013년부터 2005~2015년 평균 방류량보다 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다.

Table 8 2005~2015년 남강댐 연평균 방류량

| | 연도 | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 평균 |
| 방류량 (CMS) | 52.3 | 80.5 | 96.4 | 28.9 | 44.8 | 104. 7 | 98.1 | 91.4 | 51.5 | 61.6 | 55.4 | 70.2 |

Fig. 7은 2005년부터 2015년 7월까지의 계절별 남강댐 방류량을 나타낸 것이며, 봄(3, 4, 5월), 여름(6, 7, 8월), 가을(9, 10, 11월), 겨울(12, 1, 2월)로 구분하여 2005~2007년, 2008~2011년, 2012~2015년의 댐 방류량을 분석하였다. 2005년부터 현재까지 댐 방류량은 감소하는 추세이며, 하천환경변화 사업 이후 2012년부터 이전보다 댐 방류량이 감소하는 것으로 나타났다. 2005년부터 2011년까지 여름철 집중된 댐 방류량은 2012년부터 크게 감소하였으며, 여름 > 가을 > 봄 > 겨울 순으로 계절별 댐 방류량의 패턴이 나타났다. 이는 Fig. 8과 같이 여름철 댐 방류량이 지배적인 것에 반해 2012년 이후 7, 8, 9월의 댐 방류량은 우리나라 기후특성상 여름철에 집중되는 강우가 줄어들면서 댐 방류량 또한 감소하는 패턴을 나타내는 것으로 판단된다.

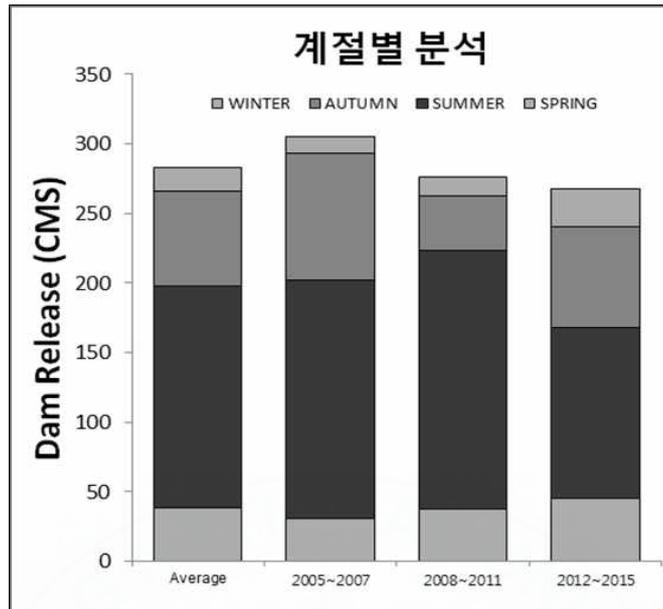


Fig. 7 2005~2015년 남강댐 방류량 계절별 분석.

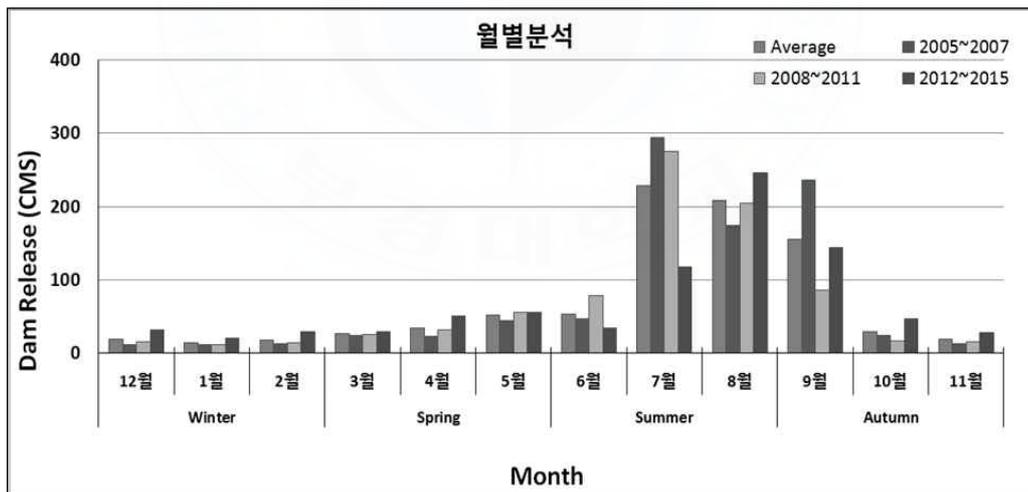


Fig. 8 2005~2015년 남강댐 방류량 월별 분석.

Fig. 9는 남강댐 하류부 수질측정망 지점에서의 최근 6년간의 평균적인 분포를 나타낸 것인데, 남강 하류부로 갈수록 BOD, Chl.a, TN, TP의 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 특히 Chl.a의 경우 1, 2지점보다 3, 4지점에서 훨씬 높게 나타난다. BOD, T-N, T-P의 경우에는 2지점부터 높아지는데, 이는 2지점 상류에 위치한 환경기초시설의 방류수 영향인 것으로 판단된다.

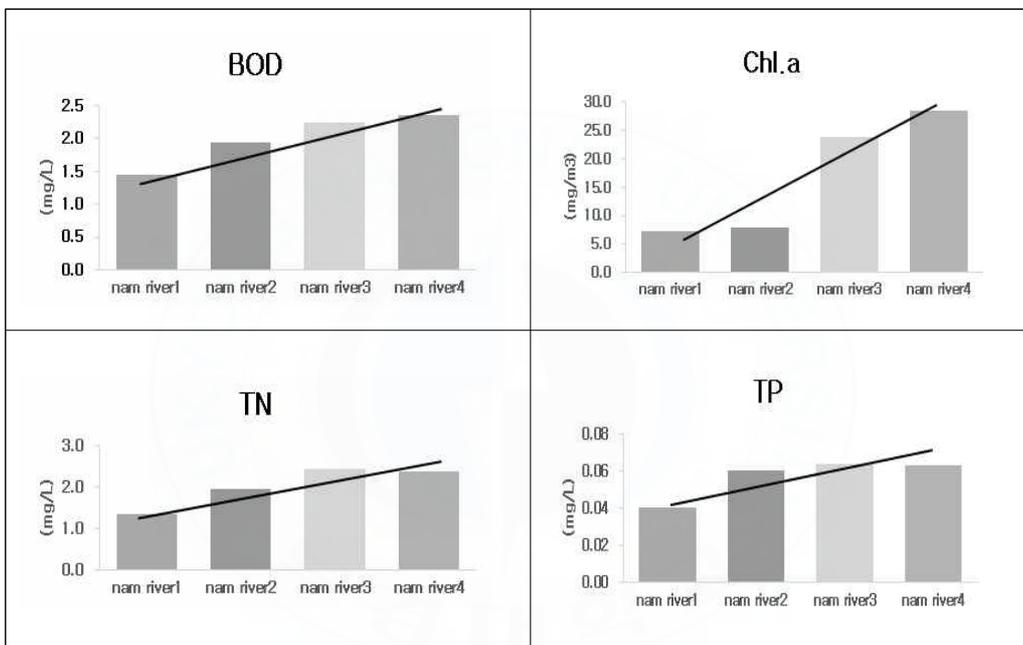


Fig. 9 Analysis of Water Quality Monitoring Station in Nam River Watershed.

3.2 통계분석방법

본 연구에서는 수집된 수리, 수문, 수질자료를 바탕으로 상관분석과 회귀분석을 실시하였고 프로그램은 통계분석 프로그램인 SPSS(ver. 18.0)를 통해 분석하였다. 요인분석은 통계처리 프로그램인 SAS(University Edition)을 활용하여 실시하였다. 요인분석을 실행하여 조사대상구간의 수질변동 특성을 파악하고자 하였으며, 통계분석을 실시하기에 앞서 주요 수질항목이 정규분포를 따르는지를 검토하였고 정규분포를 따르지 않는 항목에 대해서는 적절한 자료의 변환을 검토하였다. 다변량 분석의 여러 가지 기법 중에서도 가장 기본이 되는 분석 방법으로서 변수 간에 상관성을 갖는 여러 종류의 특성치들의 정보를 큰 손실 없이 요약 표현이 가능하며, 상호 유관한 특성치들의 변화 양상으로부터 이들 속에 내재하고 있는 상호 독립적인 고유의 패턴을 도출할 수 있다. 또한 다변량으로 구성되는 데이터로부터 소수의 특징적인 변량을 합성하여 주성분을 산출하고, 차원이 축소되어 데이터 분석이 용이해진 주성분을 사용하여 전체 다변량 데이터의 경향을 분석하게 된다.

고유치(Eigen Value)를 기준으로 실시하였다. 고유치는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타내는 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분석을 설명해 준다는 것을 의미하며, 고유치가 1보다 작다는 것은 1개의 요인이 변수 1개의 분산도를 설명해 줄 수 없다는 것을 의미하므로 주요인을 추출하기 위해서는 통상 고유치가 1이상을 기준으로 결정한다. 또한 변수들이 여러 요인에 대하여 비슷한 요인부하량(Factor Loading)을 나타낼 경우에 변수들이 어느 요인에 속하는지 분별하기가 어렵다. 따라서 변수들의 요인부하량이 어느 한 요인에 높게 나타나도록 하기 위한 방법인 Varimax 방식을 이용하여 주요 요인을 판별하였다.

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 오염배출부하량(TMDL) 분석

4.1.1 오염원 현황

오염원은 경상남도의 2014년도 이행평가 오염원을 해당 시군으로부터 받아 『낙동강수계 오염총량관리계획수립 지침(환경부 고시 제2009-8호, 2009.2.2, 이하 ‘수립지침’이라 한다)』에 따라 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계 등으로 구분하여 조사하였다. 수립지침에 따라 행정구역별, 오염원별로 조사를 실시하였다.

국내에서 원단위를 이용하여 인구, 축산, 산업, 토지 등의 배출 오염원별 부하량을 산정하는 경우에 대부분 4대강에서 시행중인 수질오염총량관리제에서 제시된 원단위와 산정방법에 따라 발생부하량 및 배출부하량을 산정한다. 원단위를 이용하여 오염부하량을 산정하는 경우 유역의 배출오염원별 영향을 파악할 수 있고 타 유역과의 상대적인 오염부하량을 파악할 수 있다.

(1) 인구현황 및 물사용량 분석

인구에 의해 발생하는 오염물질은 주로 각 가정에서 배출되는 생활오수와 영업장 및 공공시설에서 발생하는 영업오수로 배출되는데, 하천에 유입되는 오수는 유역내 인구와 밀접한 상관관계가 있으므로 배출량의 산정을 위하여 정확한 인구와 물사용량의 파악이 필요하다. 남강유역의 인구현황 및 물사용량은 2014년 전국오염원조사자료와 행정구역별 오염원별 점유율 자료를 참고하였다. 남강 유역내에는 총 505,235명이 거주하고 있으며, 총 인구의 81.6%가 하수처리 인구이고 그 중 81.5%가 분류식처리 인구로 조사되었다. 남강유역 내에서는 진주시, 고성군, 의령군이 위치하고 있는 남강D 단위유역에

334,783명이 거주하는 것으로 조사되어 66%를 차지하며 인구 밀집도가 가장 높은 것으로 조사되었다.

Table 9 남강유역 처리형태별 인구현황 (단위 : 인)

| 단위 유역 | 하수처리 | | 하수미처리 | | | 합계 |
|----------|---------|--------|--------|--------|-------|---------|
| | 분류식 | 합류식 | 오수처리 | 단독정화 | 수거식 | |
| 남강A | 27,581 | 3,636 | 15,049 | 6,349 | 1,251 | 53,866 |
| 남강B | 21,552 | 0 | 4,927 | 7,566 | 1,169 | 35,214 |
| 남강C | 10,928 | 1,592 | 3,028 | 5,996 | 111 | 21,655 |
| 남강D | 241,021 | 66,908 | 8,978 | 17,205 | 671 | 334,783 |
| 남강E | 34,773 | 4,149 | 4,931 | 15,466 | 398 | 59,717 |
| 총합계 | 335,855 | 76,285 | 36,913 | 52,582 | 3,600 | 505,235 |

Table 10 남강유역 처리형태별 물 사용량 현황 (단위 : m³/d)

| 단위 유역 | 하수처리 | | 하수미처리 | | | 합계 |
|----------|-----------|----------|----------|----------|-------|-----------|
| | 분류식 | 합류식 | 오수처리 | 단독정화 | 수거식 | |
| 남강A | 6,406.4 | 2,032.1 | 5,605.5 | 1,305.1 | 201.2 | 15,550.3 |
| 남강B | 5,384.9 | 0.0 | 1,936.2 | 1,904.4 | 211.7 | 9,437.2 |
| 남강C | 2,193.7 | 443.6 | 3,642.5 | 1,363.7 | 18.8 | 7,662.3 |
| 남강D | 78,686.7 | 22,122.5 | 4,175.6 | 3,554.9 | 110.8 | 108,650.5 |
| 남강E | 8,187.9 | 1,298.0 | 4,811.6 | 3,061.1 | 72.6 | 17,431.2 |
| 총합계 | 100,859.6 | 25,896.2 | 20,171.4 | 11,189.2 | 615.1 | 158,731.5 |

(2) 산업계 현황분석

남강유역 내 위치한 산업시설을 2014년 전국오염원조사자료를 참고하여 조사하였다. 남강유역 내 사업장은 총 811개소로 조사되었으며 남강D단위유역이 392개소로 가장 많은 사업체가 운영 중인 것으로 조사되었다.

Table 11 남강유역 산업체수와 발생·방류량 현황 (단위 : m³/d)

| 단위유역 | 규모 | 개소수 | 발생량 | 방류량 |
|--------|----|-----|---------|---------|
| 남강A | 2종 | 1 | 559.0 | 559.0 |
| | 3종 | 4 | 48.0 | 38.0 |
| | 4종 | 6 | 394.9 | 394.9 |
| | 5종 | 86 | 1,142.9 | 226.3 |
| 남강A 소계 | | 97 | 2,144.8 | 1,218.2 |
| 남강B | 4종 | 2 | 44.4 | 44.4 |
| | 5종 | 60 | 270.1 | 116.4 |
| 남강B 소계 | | 62 | 314.5 | 160.8 |
| 남강C | 2종 | 1 | 0.0 | 0.0 |
| | 3종 | 1 | 0.0 | 0.0 |
| | 4종 | 1 | 138.4 | 138.4 |
| | 5종 | 32 | 351.0 | 133.4 |
| 남강C 소계 | | 35 | 489.4 | 271.8 |
| 남강D | 1종 | 1 | 7,648.0 | 6,290.0 |
| | 2종 | 5 | 2,307.0 | 2,307.0 |
| | 3종 | 3 | 807.0 | 807.0 |
| | 4종 | 18 | 1,380.6 | 1,084.4 |
| | 5종 | 365 | 2,310.9 | 978.4 |

| 단위구역 | 규모 | 개소수 | 발생량 | 방류량 |
|--------|----|-----|----------|----------|
| 남강D 소계 | | 392 | 14,453.5 | 11,466.8 |
| 남강E | 1종 | 1 | 0.0 | 0.0 |
| | 2종 | 3 | 2,000.0 | 1,500.0 |
| | 3종 | 4 | 797.0 | 797.0 |
| | 4종 | 12 | 539.7 | 539.7 |
| | 5종 | 205 | 10,198.1 | 364.7 |
| 남강E 소계 | | 225 | 13,534.7 | 3,201.4 |
| 총합계 | | 811 | 30,936.9 | 16,319.0 |

(3) 축산계 현황분석

축산폐수의 특성은 폐수의 발생이 주로 가축의 분뇨와 축사의 세척수 및 사료의 찌꺼기에 의하고 있으며, 폐수의 성상은 고농도의 유기물과 부유물 그리고 영양염류가 포함되어 있는데 이들 성분은 미생물에 의해 분해가 용이하고 영양성분을 골고루 갖추고 있어 수거 후 사료나 비료로 사용할 수 있지만 처리를 하지 않고 수계로 유출될 경우 질소와 인 함량이 대단히 높아 부영양화의 주요인이 될 수 있다(황, 2013). 남강유역의 가축사육 두수 현황은 행정구역별 2014년 전국오염원 조사 자료의 가축사육두수와 단위구역별 축산계 점유율 자료를 참고하여 조사하였다. 남강유역 내 가축사육 현황을 조사한 결과 가금이 가장 많이 사육되었고, 가금은 남강D 단위구역에서 가장 많이 사육되는 것으로 조사되었다. 유역 전체에 한우 82,521 두, 젓소 11,419 두, 돼지 377,801 두, 가금 5,404,053 두가 사육 중인 것으로 조사되었다. 이 중 신고미

만시설에서 처리시설을 제대로 거치지 않고 배출되는 축산두수에 의해 강우시 하천으로 유입되는 비점오염원의 주요 원인이 될 수 있다.

Table 12 남강유역 축산 규제내역 및 사육두수 (단위 : 두수)

| 단위유역 | 규제내역 | 한우 | 젓소 | 돼지 | 가금 |
|--------|------|--------|--------|---------|-----------|
| 남강A | 신고 | 8,345 | 509 | 21,892 | 1,409,829 |
| | 허가 | 12,624 | 1,510 | 83,697 | 0 |
| | 신고미만 | 1,118 | 0 | 3 | 12,697 |
| 남강A 소계 | | 22,087 | 2,019 | 105,592 | 1,422,526 |
| 남강B | 신고 | 7,684 | 63 | 2,846 | 922,858 |
| | 허가 | 8,628 | 703 | 66,489 | 0 |
| | 신고미만 | 5,513 | 1 | 47 | 480,580 |
| 남강B 소계 | | 21,825 | 767 | 69,382 | 1,403,438 |
| 남강C | 신고 | 1,902 | 140 | 744 | 219,833 |
| | 허가 | 1,657 | 929 | 62,916 | 0 |
| | 신고미만 | 2,076 | 64 | 25 | 124,438 |
| 남강C 소계 | | 5,635 | 1,133 | 63,685 | 344,271 |
| 남강D | 신고 | 3,903 | 1,889 | 9,418 | 752,117 |
| | 허가 | 3,360 | 1,320 | 36,278 | 0 |
| | 신고미만 | 7,903 | 441 | 592 | 746,294 |
| 남강D 소계 | | 15,166 | 3,650 | 46,288 | 1,498,411 |
| 남강E | 신고 | 5,199 | 416 | 1,850 | 729,442 |
| | 허가 | 8,660 | 3,431 | 91,002 | 0 |
| | 신고미만 | 3,949 | 3 | 2 | 5,965 |
| 남강E 소계 | | 17,808 | 3,850 | 92,854 | 735,407 |
| 총합계 | | 82,521 | 11,419 | 377,801 | 5,404,053 |

(4) 토지계 현황분석

남강 유역은 임야가 70.0%로 가장 넓은 면적을 차지하고 있었으며, 그 뒤를 답, 전이 차지하는 것으로 나타내고 있었다. 단위유역의 총면적은 남강A 단위유역이 1,029.85 km²로 가장 크고 그 다음으로 남강B, 남강D, 남강C, 남강E 순으로 조사되었다. 남강유역 중 대지의 면적은 남강D 단위유역 58.44 km²로 31%를 차지하며 가장 넓은 것으로 조사되었고, 농경지의 면적은 남강A 단위유역이 156.47 km²로 25.7%를 차지하며 가장 넓은 것으로 조사되었다.

Table 13 남강유역 토지이용현황

(단위 : km²)

| 단위유역 | 전 | 답 | 임야 | 대지 | 기타 | 합계 |
|------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| 남강A | 54.05 | 102.42 | 786.10 | 40.69 | 46.59 | 1,029.85 |
| 남강B | 30.62 | 76.00 | 513.19 | 31.12 | 40.94 | 691.87 |
| 남강C | 18.60 | 44.02 | 432.52 | 19.94 | 53.97 | 569.05 |
| 남강D | 56.67 | 92.18 | 411.69 | 58.44 | 56.21 | 675.19 |
| 남강E | 47.61 | 87.16 | 286.10 | 38.11 | 47.13 | 506.11 |
| 총합계 | 207.55 | 401.78 | 2,429.60 | 188.30 | 244.84 | 3,472.07 |

(5) 양식계 현황분석

양식업에 의한 양식계 오염원은 남강B 단위유역에는 없는 것으로 조사되었고, 남강A 단위유역의 사료투여량이 가장 많은 것으로 조사되었다.

Table 14 남강유역 양식장 시설면적 현황

(단위 : m², kg/월)

| 단위유역 | 시설면적 | 사료투여량 |
|------|---------|---------|
| 남강A | 114,174 | 179,680 |
| 남강C | 179,664 | 37,800 |
| 남강D | 90,024 | 12,000 |

| | | |
|-----|---------|---------|
| 남강E | 54,600 | 11,080 |
| 총합계 | 438,462 | 240,560 |

(6) 매립계 현황분석

매립시설에 의한 매립계 오염원은 남강C, 남강D 단위유역에는 없는 것으로 조사되었고, 침출수방류유량은 남강B가 남강유역의 72%를 차지하며 가장 많은 것으로 조사되었다.

Table 15 남강유역 매립시설 현황

(단위 : m³/d)

| 단위 유역 | 매립장명 | 침출수발생 유량 | 침출수방류 유량 |
|----------|-----------------|-------------|-------------|
| 남강A | 함양군농촌폐기물종합처리장 | 72.5 | 72.5 |
| 남강A 소계 | | 72.5 | 72.5 |
| 남강B | 부리매립장 | 13.2 | 13.2 |
| | 산청농촌폐기물종합처리장 | 194.4 | 253.8 |
| | 삼가농어촌폐기물종합처리시설 | 566.7 | 598.9 |
| | 생비량(가계)매립장 | 3.6 | 3.6 |
| | 의령군(추산)쓰레기위생처리장 | 201.7 | 201.7 |
| 남강B 소계 | | 979.6 | 1,071.2 |
| 남강E | 함안폐기물종합처리장 | 335.9 | 335.9 |
| 남강E 소계 | | 335.9 | 335.9 |
| 총합계 | | 1,388.0 | 1,479.6 |

4.1.2 오염배출부하량 기여율 분석

(1) 발생 및 배출부하량

남강 유역내 인구, 축산, 산업 및 토지이용 등의 오염원에 의해 발생하는 전체 발생부하량 산정결과 BOD 138,503 kg/day, T-N 1,160.6 kg/day, T-P 213.1 kg/day로 산정되었으며, 전체 배출부하량은 BOD 890.4 kg/day, T-N 692.9 kg/day, T-P 54.3 kg/day로 산정되었다.

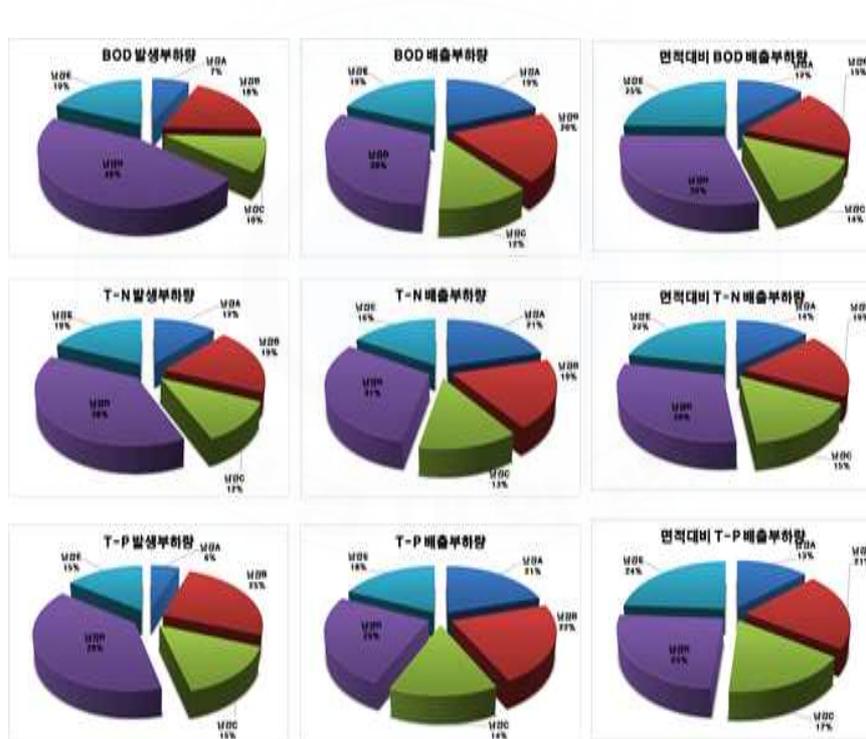


Fig. 10 남강유역 발생 및 배출부하량.

(2) 장래부하량

유역 내 오염원의 자연 증감에 의한 장래부하량을 산정하였다. 남강유역 내 오염원 중 산업시설과 가축사육두수의 변화는 없는 것으로 가정하였으며, 인구는 국내의 일반적인 경향처럼 점차 감소하며 토지는 개발 등의 영향으로 대지가 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 오염부하량 산정 결과 생활계부하량은 감소하나 토지계부하량의 증가로 유역 내 전체 오염부하량은 증가하는 경향을 나타내었다. BOD 오염부하원단위가 큰 대지의 증가로 BOD 오염부하가 가장 크게 증가하였다.

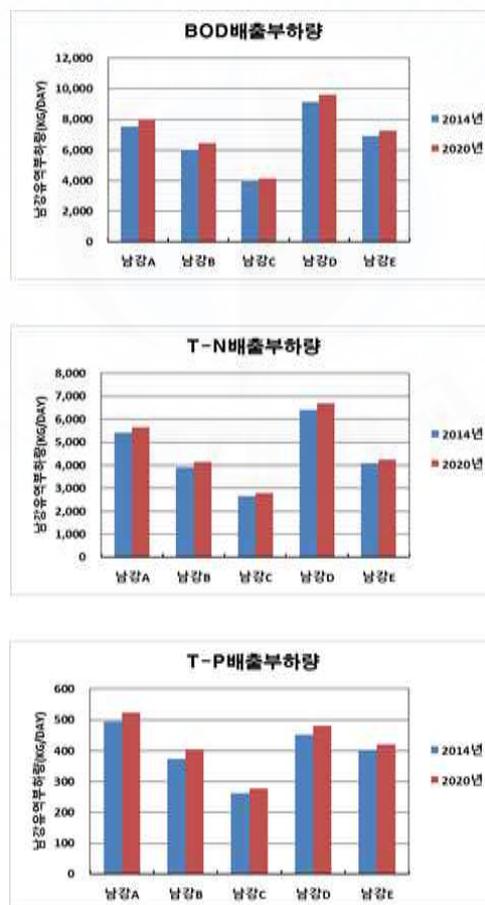


Fig. 11 남강유역 장래부하량.

(3) 오염원별 기여율 분석

유역 내 오염원별 남강유역 수질에 미치는 영향은 앞서 산정한 부하량을 참고하여 분석하였다. 각 단위유역의 오염원별 발생부하량을 비교하여 보면 BOD의 경우 대부분의 유역에서 가축사육에 의하여 발생하는 축산계 발생부하량이 전체부하량의 약 70%이상을 차지하고 있었다. 각 소유역의 오염원별 배출부하량을 비교하여 보면 발생부하량에서 가장 큰 비중을 차지하였던 가축에 의하여 발생하는 축산계 배출부하량이 자원화 등에 의하여 삭감되어 대부분의 유역에서 토지계 배출부하량의 비중이 증가하였다. 또한 하수처리인구가 타 유역에 비하여 비교적 적은 유역에서 생활계 배출부하량의 비중도 커진 것으로 산정되었다. 따라서 오염부하 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 토지계 비점오염원을 저감할 수 있는 대책이 필요할 것으로 사료된다.

또한 토지계 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있는 축산계 오염부하를 저감시킬 수 있는 대책과 점오염원 중에는 남강유역의 생활계 배출부하량을 저감시킬 수 있는 대책이 필요한 것으로 사료된다. 배출부하량 증가 비중이 큰 토지계 부하량을 지목별로 세부 산정하여 분석하였다. BOD는 대지의 오염부하 기여율이 약 68.7%를 차지하는 반면, T-N과 T-P는 임야의 비중이 각각 53.9%, 48.7%로 가장 큰 것으로 산정되었다. BOD만 대지의 부하량이 큰 것은 부하량 산정을 위한 원단위 중 BOD는 대지의 원단위가 다른 지목에 비하여 훨씬 크기 때문인 것으로 판단된다.

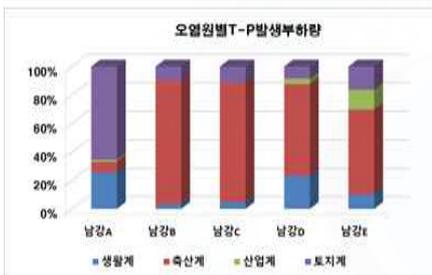
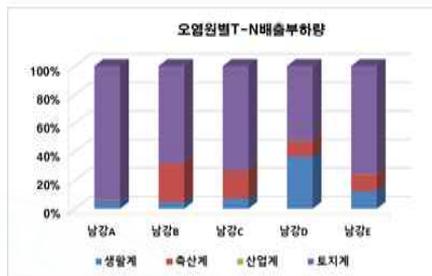
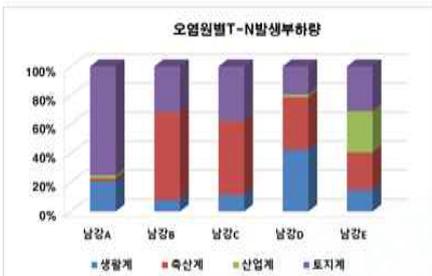
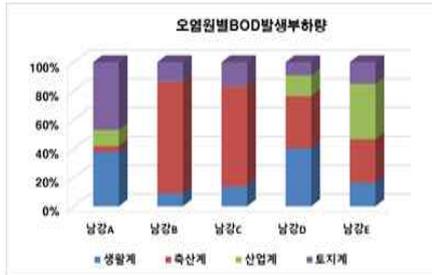


Fig. 12 오염원별 발생부하량 기여율 분석.

Fig. 13 오염원별 배출부하량 기여율 분석.

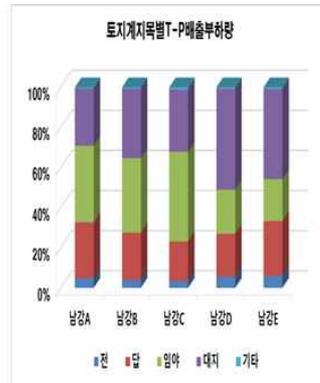
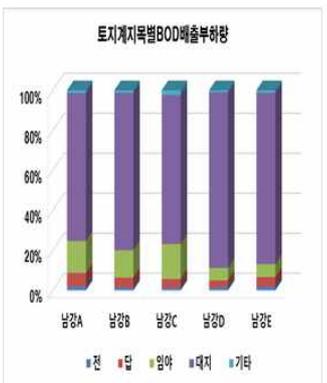


Fig. 14 토지지목별 배출부하량 기여율 분석.

4.2 요인 분석

4.2.1 입력자료

본 연구에서는 남강댐 하류유역에서 측정되고 있는 수질측정망 및 수위관측소 그리고 기상관측소의 자료를 이용하여 다변량 통계 분석기법인 요인분석을 실시하였다. 수질 자료는 국립환경과학원 낙동강물환경연구소와 경상남도에서 운영하는 수질측정망 자료를 이용하였으며, 유량자료는 남강댐 방류량과 정암수위관측소, 거룡강 수위관측소의 관측자료를 이용하였다. 그리고 기상자료는 유역 내 일사량 및 일조시간을 측정하는 진주종관기상관측소 자료를 이용하였으며, Table 16과 분석 시 사용한 입력자료를 나타낸 것이다.

Table 16 Water Quality and Water Level Stations Used in the Analysis

| Water Quality Station | Water Level Station | Period | Sample (N) | Variable (N) | Note |
|-----------------------|---------------------|--------|------------|--------------|--------------|
| NamGang | NamGang Dam | 2009 ~ | 244 | 11 | Monthly Data |
| NamGang1 | NamGang Dam | 1992 ~ | 123 | 13(14) | Monthly Data |
| NamGang2 | NamGang Dam | 1990 ~ | 128 | 13(14) | Monthly Data |
| NamGang 2A | JungAm | 2008 ~ | 247 | 11 | Monthly Data |
| NamGang3 | JungAm | 1990 ~ | 126 | 13(14) | Monthly Data |
| NamGang4 | GeoRyoung Gang | 1992 ~ | 125 | 13(14) | Monthly Data |
| NamGang 4-1 | GeoRyoung Gang | 2007 ~ | 368 | 14 | Monthly Data |

요인분석은 2가지 조건에 따라 실시하였다. Case 1은 남강댐 하류 유역 전체에 분포해 있는 일반수질측정망 자료를 이용하여 분석을 실시하였으며, Case 2는 그 중 상·중·하류 각 구간의 수질 및 지류에 의한 영향을 살펴볼 수 있으며, 다양한 수질인자에 대해 살펴볼 수 있는 4개 측정망 자료를 이용하였다. 분석에 사용된 변수 및 수질자료는 Table 17, Table 18과 같다.

Table 17 Parameters(Variables) for Statistical Analysis

| Variable | Abbreviation | Unit |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|
| Water Temperature | WT | °C |
| Flow Rate | Q | m ³ /sec |
| Hydrogen ion concentration | pH | - |
| Electric Conductivity | E.C. | µmhos/cm |
| Dissolved Oxygen | DO | mg/L |
| Total Organic Carbon | TOC | mg/L |
| Chlorophyll-a | Chl-a | mg/m ³ |
| Biochemical Oxygen Demand | BOD | mg/L |
| Chemical Oxygen Demand | COD | mg/L |
| Total Nitrogen | T-N | mg/L |
| Total Phosphorus | T-P | mg/L |
| Nitrate as Nitrogen | NO ₃ -N | mg/L |
| Ammonium as Nitrogen | NH ₃ -N | mg/L |
| Phosphate as Phosphorus | PO ₄ -p | mg/L |
| Temperature | T | °C |
| Daily Precipitation | Pre. | mm |
| Wind Speed | W.S. | m/sec |
| Relative Humidity | R.H. | % |
| Duration of Sunshine | Sunshine | hr |
| Quantity of Solar Radiation | Radiation | Mj/m ² |

Table 18 Water Quality and Water Level Stations for each Case

| Water Quality Station | Water Level Station | Case 1 | Case 2 |
|-----------------------|---------------------|--------|--------|
| NamGang | NamGang Dam | ● | |
| NamGang 1 | NamGang Dam | ● | ● |
| NamGang 2 | NamGang Dam | ● | ● |
| NamGang 2A | JungAm | ● | |
| NamGang 3 | JungAm | ● | ● |
| NamGang 4 | GeoRyoung Gang | ● | ● |
| NamGang 4-1 | GeoRyoungGang | ● | |

4.2.2 요인분석 결과

낙동강수계에 유입되는 주요 지류 중 큰 오염원을 배출하는 남강의 남강댐 하류유역을 대상으로 기상, 유량 및 수질 자료를 이용하여 다변량 통계분석인 요인분석을 실시하였고, 상관성이 높은 변수들을 분류하여 수질오염 원인을 파악하였다(Table 19).

온도가 높은 물은 수중 염류의 활동이 활발해져 이온의 확산속도가 빨라지기 때문에 전기전도도가 높게 측정되고 온도가 낮은 물은 전기전도도가 낮게 측정되는데, 수온(WT)과 전기전도도(E.C.)가 음의 상관성을 보이며 같은 요인으로 분류되며, 기상 변수인 일사량(Radiation), 일조시간(Sunshine), 상대습도(R.H.), 강수량(Pre.)이 같은 요인으로 분류되는 것으로 보아 각 변수들의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

남강 상류는 COD와 영양염류 같은 수질항목이 같은 요인으로 분류되며, 상류 쪽 유기물질 유입에 대한 경로 및 환경기초시설의 배출부하량과의 상관관계를 고려해야 할 것으로 판단된다. 남강 하류는 BOD와 Chl-a가 같은 요인으로 분류되어 있으며 이는 수리학적으로 정체된 흐름으로 인해 Chl-a 증가에 따른 자생 BOD가 증가하면서 상관관계가 높은 것으로 판단된다.

Table 19 Factor analysis result

| | Water Quality Station | Factor1 | Factor2 | Factor3 |
|--------|-----------------------|---|------------------------------------|---|
| Case 1 | NamGang | DO, T-N, E.C., WT | T-P, Q, pH | BOD, Chl-a, COD, TOC |
| | NamGang 1 | NO ₃ -N, T-N, DO, COD, WT | Q, T-P, E.C. | NH ₃ -N, PO ₄ -P |
| | NamGang 2 | DO, NH ₃ -N, T-N, WT, Chl-a | Q, T-P, COD | PO ₄ -P, BOD, E.C. |
| | NamGang 2A | COD, TOC, T-P, BOD, Chl-a | DO, T-N, E.C., WT | pH, Q |
| | NamGang 3 | T-N, E.C., NH ₃ -N, NO ₃ -N, DO, WT | BOD, Chl-a, COD | PO ₄ -P, T-P, Q |
| | NamGang 4 | T-N, E.C., NH ₃ -N, NO ₃ -N, DO, WT | Chl-a, BOD, COD, pH | PO ₄ -P, T-P, Q |
| | NamGang 4-1 | T-N, Chl-a, T-P, E.C., WT | COD, TOC, BOD | Q, pH |
| Case 2 | NamGang 1 | WT, COD, pH, DO | NH ₃ -N, E.C., T-N | PO ₄ -P, T-P |
| | NamGang 2 | BOD, T-N, COD, T-P, NH ₃ -N | WT, Q, DO | PO ₄ -P, Chl-a |
| | NamGang 3 | Chl-a, BOD, pH, COD, E.C. | DO, NO ₃ -N, T-N, Q, WT | T-P, PO ₄ -P, NH ₃ -N |
| | NamGang 4 | T-N, NO ₃ -N, NH ₃ -N, DO, E.C., WT | Chl-a, BOD, COD, pH | PO ₄ -P, T-P |

4.3 상관성 분석

4.3.1 주요항목 상관관계 분석

앞서 연구결과와 마찬가지로 남강댐 하류지역은 남강 수중보와 교량 등의 인공구조물과 만곡흐름을 특징으로 하는 하천으로서 하상경사가 매우 완만하고 유속이 비교적 느리므로 체류시간이 크고 하천수질이 환경기초시설의 방류농도와 남강댐 방류량의 큰 영향을 크게 받을 것으로 볼 수 있다. 따라서 댐 방류량 및 수질오염총량제의 대상물질인 BOD와 T-P와 원단위 물질인 T-N, 조류를 대표하는 클로로필-a를 중심으로 상관분석을 실시하였으며, Fig. 15에 나타나 있는 남강댐 하류의 남강1, 남강2, 남강3, 남강4 지점까지 총 4개 지점의 수질특성을 분석하였다.



Fig. 15 남강유역 상관성 분석 수질측정망.

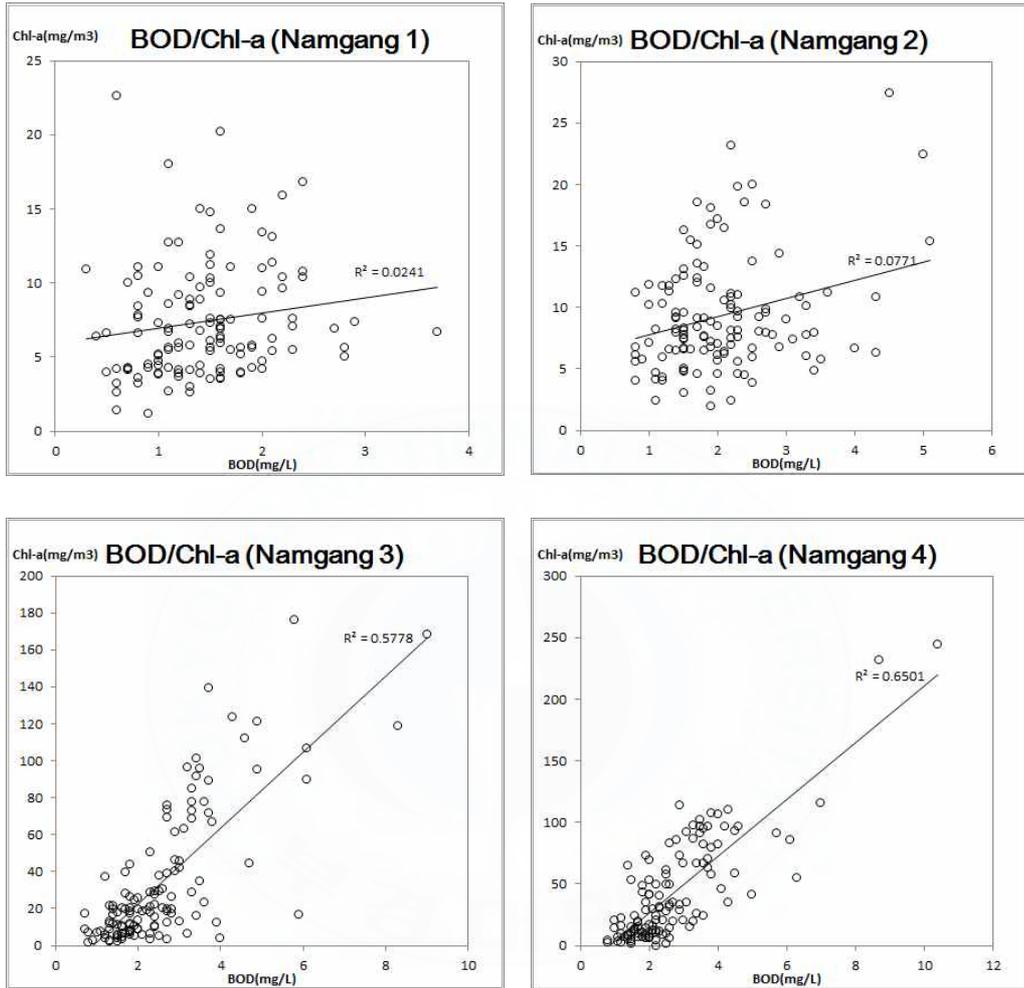


Fig. 16 남강댐 하류 지점별 BOD/클로로필-a 산점도.

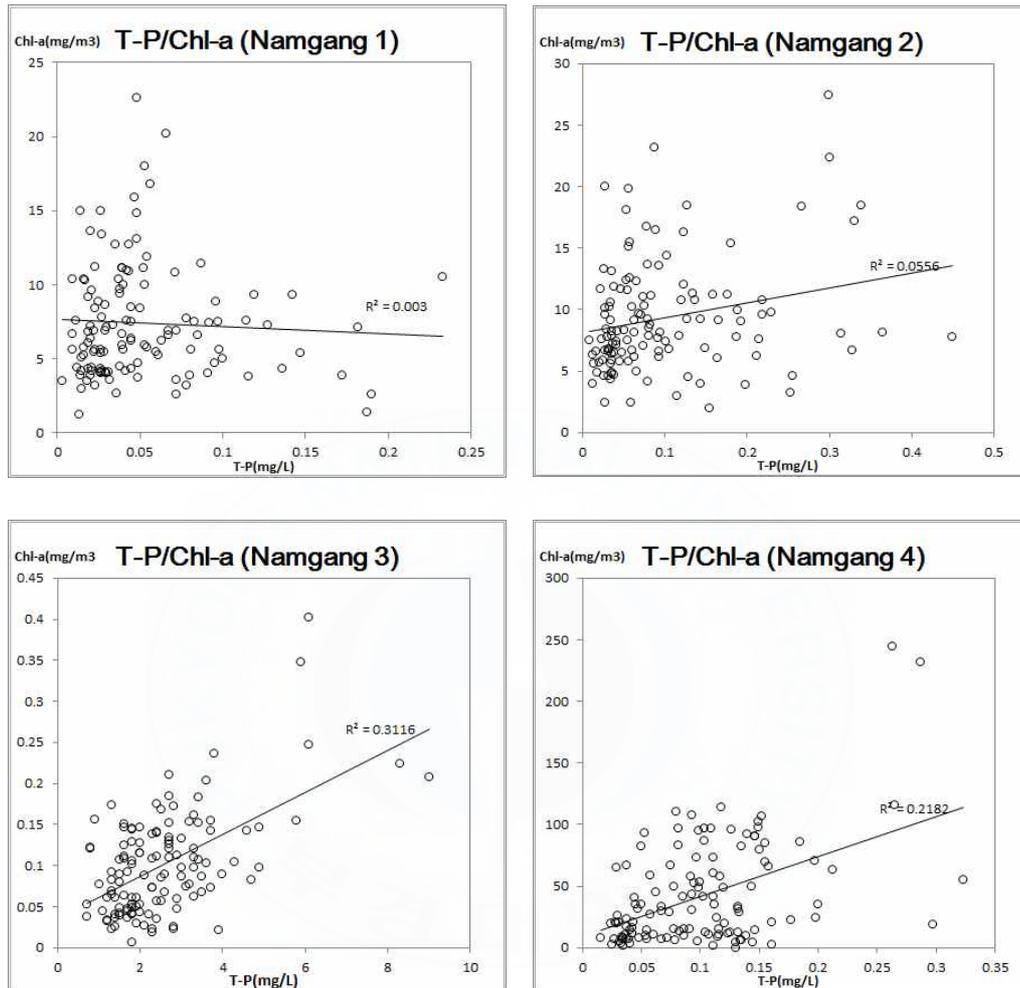


Fig. 17 남강댐 하류 지점별 T-P/클로로필-a 산점도.

클로로필-a와 BOD, T-P의 수질 상관분석을 위해 Fig. 16, Fig. 17과 같이 상관성 분석을 실시하였다. Fig. 16에서는 하류지점인 남강4 지점으로 갈수록 BOD와 클로로필-a와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 이는 남강댐 방류부터 낙동강 본류 합류까지 하류로 갈수록 조류증식에 의한 물질대사 요인인 Chl-a 즉 내부 유기물 생산량이 이 수역의 유기물 오염의 주요 기원으로 추

정된다. Fig. 17에서도 지점별 클로로필-a와 T-P의 상관성은 BOD보다 높은 것은 아니지만 하류지점으로 갈수록 상관관계가 커지는 것으로 나타났다.

Fig. 18은 남강댐 방류량에 따른 남강1 지점의 수질항목별 상관성 분석을 나타낸 것이다. BOD와 클로로필-a는 댐 방류량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내며, T-N과 T-P 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났다.

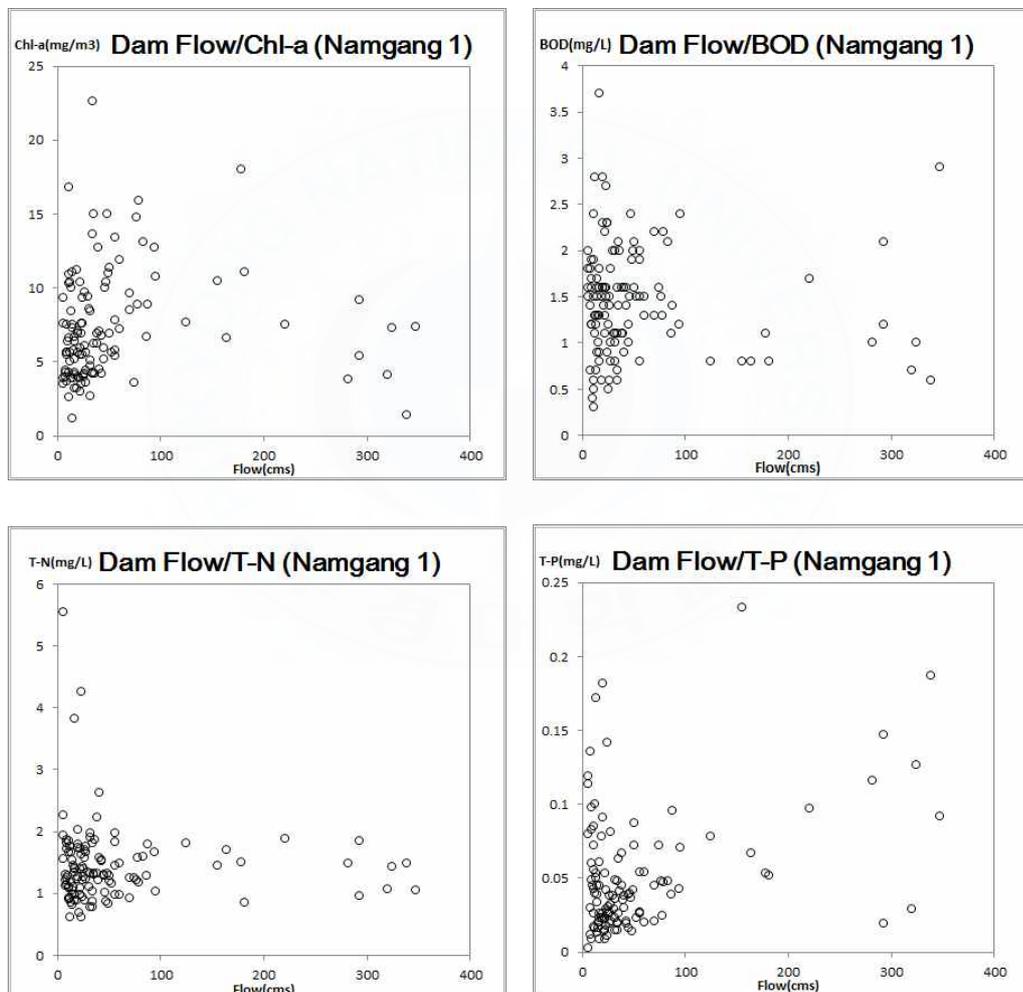


Fig. 18 남강1지점 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도.

Fig. 4.19은 남강댐 방류량에 따른 남강2 지점의 수질항목별 상관성 분석을 나타낸 것이며, BOD와 클로로필-a는 댐 방류량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었고, T-N과 T-P는 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났다. Fig. 20은 남강댐 방류량에 따른 남강3 지점의 수질항목별 상관성 분석을 나타낸 것이며, Fig. 21은 남강댐 방류량에 따른 남강4 지점을 분석하여 나타낸 것이다. Fig. 22는 남강댐 하류의 지점별로 댐 방류량에 따른 클로로필-a 상관도 상관성 분석을 나타낸 것이며, 4개 지점 모두 댐 방류량이 증가할수록 클로로필-a는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 댐 방류량에 따라 수체의 흐름 변화폭이 커지면서 클로로필-a 농도에 직접적인 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

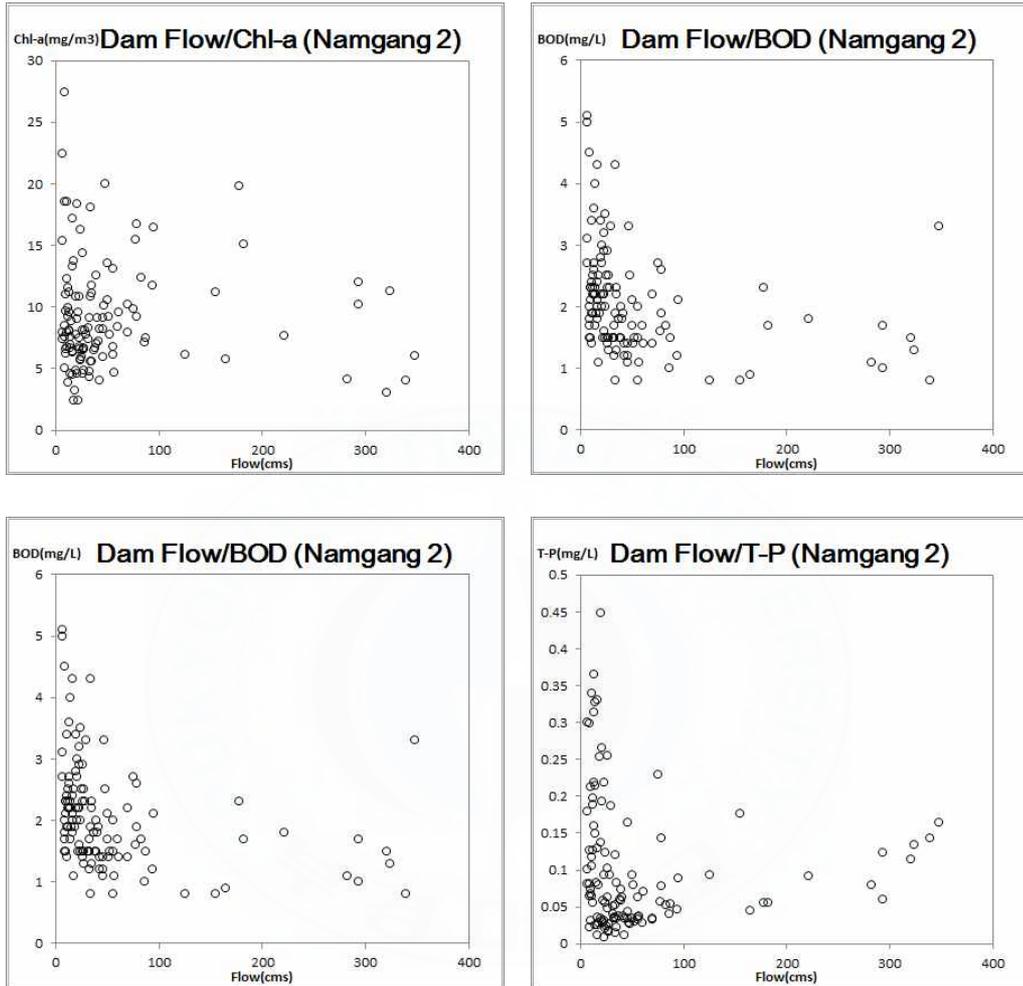


Fig. 19 남강2 지점의 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도.

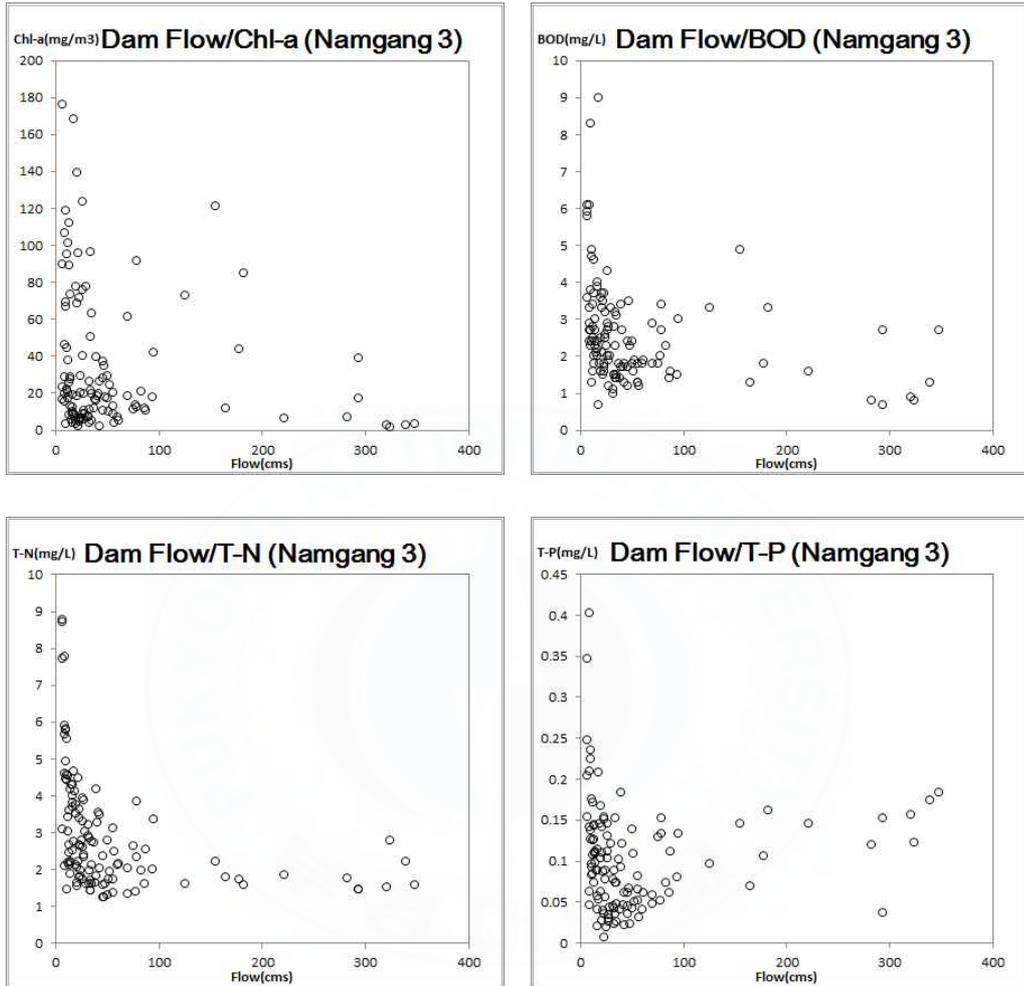


Fig. 20 남강3 지점의 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도.

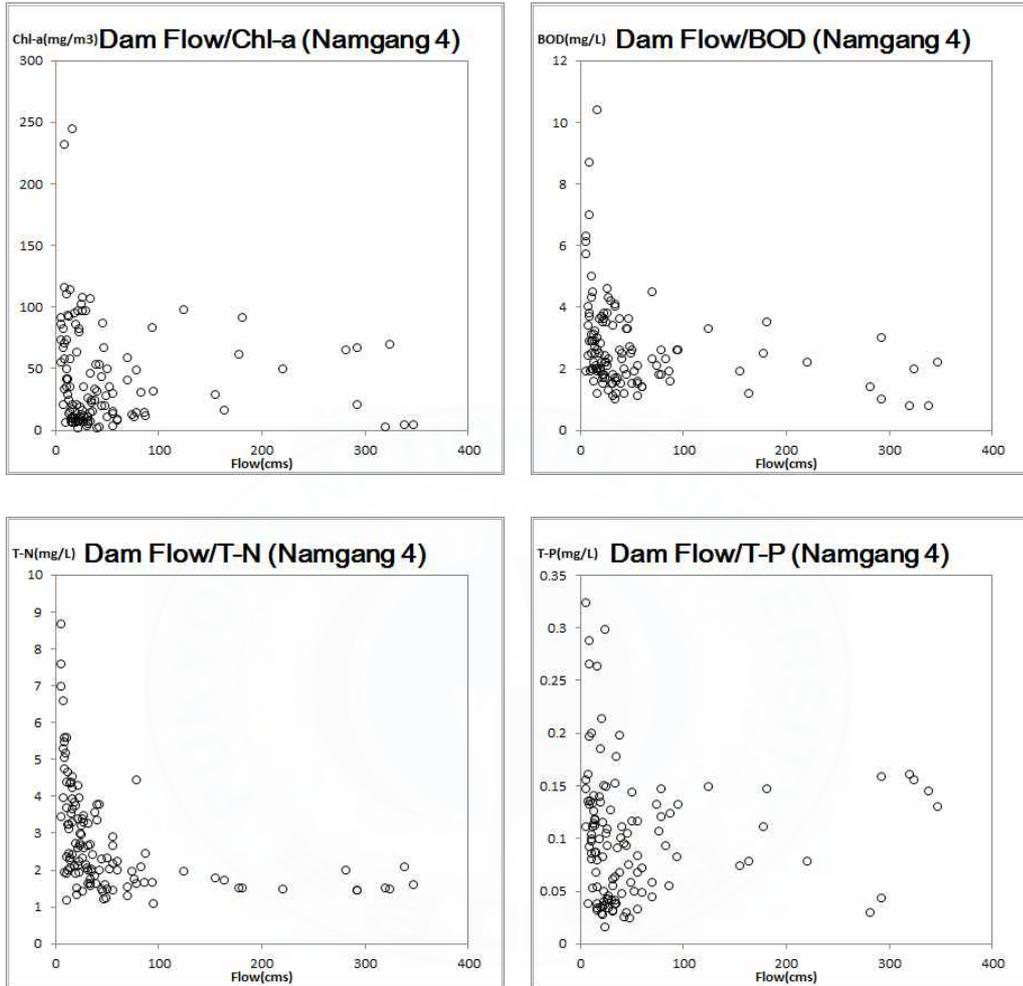


Fig. 21 남강4 지점의 댐 방류량에 따른 수질항목별 산점도.

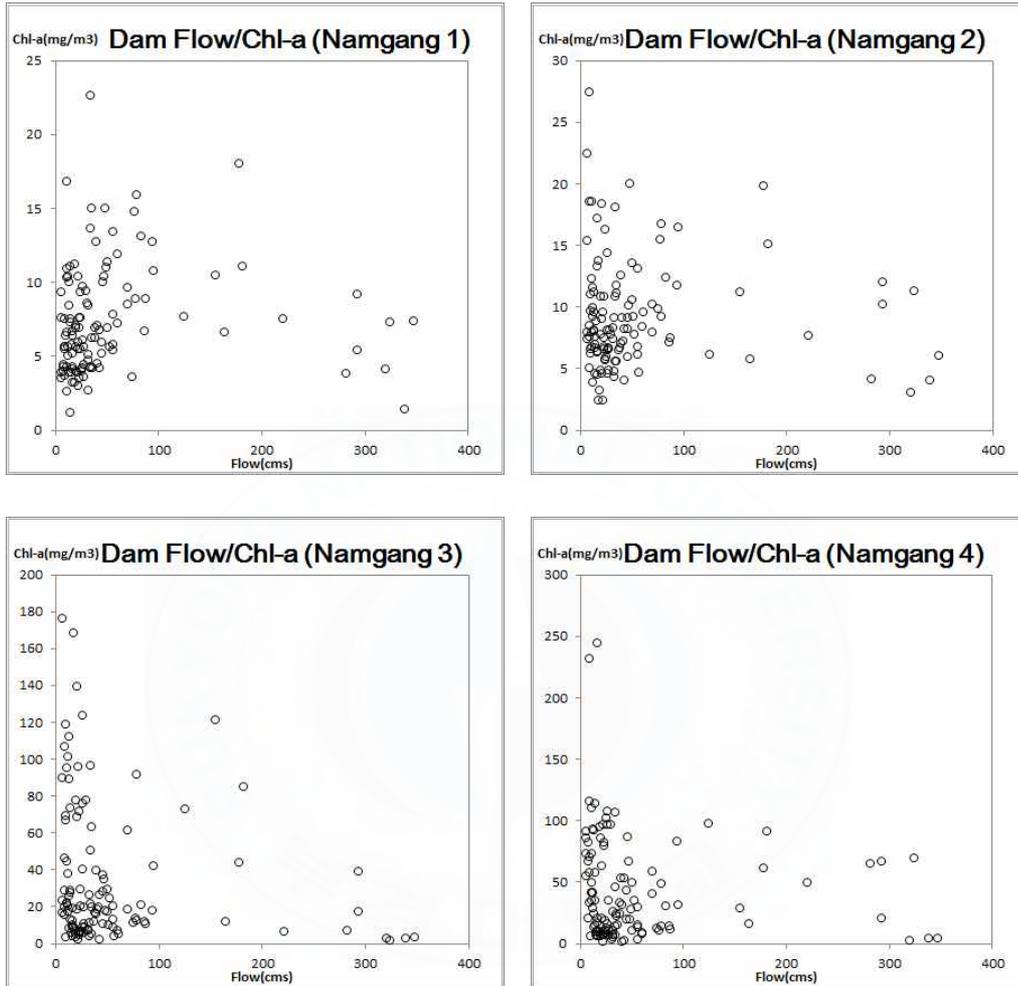


Fig. 22 지점별 댐 방류량에 따른 클로로필-a 산점도.

4.4 부영양화 지수(TSI)

남강 하류수계는 하상구배가 매우 완만하며 유속이 느리다. 따라서 물의 체류시간이 호수와 비슷한 양상을 보이고 있다. 더욱이 남강 하류수계는 주변의 도시와 농경지로부터 물의 소모량이 크기 때문에 하류수계의 물의 흐름이 더욱 완만해지고 이로 인하여 수질 악화가 가속화되고 수역의 영양단계가 점점 증가하는 부영양화 현상이 발생되고 있다. 이러한 부영양화의 상태를 알아보기 위해 Carlson의 부영양화지수에 의한 방법을 이용하여 남강 하류지역의 2005년부터 2015년까지 TSI를 조사하였다.

측정기간 동안의 부영양화 정도는 Table 20과 같다. 최근 2015년의 남강 3 지점은 TSI(Chl.a)가 68.1, TSI(T-P)가 79.3를 나타냈으며, 남강4 지점은 TSI(Chl.a)가 72.8, TSI(T-P)가 79.5를 나타내어 남강 최말단인 4지점의 부영양화단계가 가장 심화되어 있음을 알 수 있다.

TSI는 SD와 Chl.a간의 경험식을 통하여 구하였다(Carlson, 1977).

■ TSI(chl.a) 식 도출

$$TSI(SD) = 10 \times (6 - (\ln(SD)/\ln 2))$$

여기서, $SD = 7.69(chl.a)^{-0.68}$ <SD와 Chl.a간의 경험식>

$$\therefore TSI(chl.a) = 10 \times (6 - (2.04 - 0.68\ln(chl.a)/\ln 2))$$

■ TSI(TP) 식 도출

$$TSI(chl.a) = 10 \times (6 - (2.04 - 0.68\ln(chl.a)/\ln 2))$$

여기서, $\ln(chl.a) = 1.449\ln(TP) - 2.442$ <Chl.a과 TP간의 경험식>

$$\therefore TSI(TP) = 10 \times (6 - ((\ln 48 / \ln TP) / \ln 2))$$

Table 20 Trophic state index (TSI) range for the evaluation of trophic state in lakes (Kratzer and Brezonik. 1981)

| Trophic state index (TSI) | Status of nutrition in lake |
|---------------------------|-----------------------------|
| < 20 | highly oligotrophic |
| 30-40 | Oligotrophic |
| 45-50 | Mesotrophic |
| 53-60 | Eutrophic |
| > 70 | Hypertrophic |

Table 21 TSI(Chl.a) and TSI(T-P) at points (Evaluation Annual)

| | 남강1 | | 남강2 | | 남강3 | | 남강4 | |
|------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | TSI (Chl.a) | TSI (T-P) | TSI (Chl.a) | TSI (T-P) | TSI (Chl.a) | TSI (T-P) | TSI (Chl.a) | TSI (T-P) |
| '05년 | 49.4 | 77.1 | 51.3 | 92.5 | 59.1 | 87.4 | 58.6 | 58.9 |
| '06년 | 49.5 | 79.7 | 51.9 | 86 | 62.9 | 88.9 | 0 | 90.2 |
| '07년 | 47.2 | 80.6 | 51.1 | 90.1 | 59.1 | 87.2 | 61.6 | 88.1 |
| '08년 | 48.3 | 79.7 | 51.7 | 89 | 65.4 | 87.7 | 67 | 87 |
| '09년 | 47.3 | 80.3 | 53.1 | 88.2 | 64.6 | 80.2 | 67.8 | 90.4 |
| '10년 | 46.3 | 79.6 | 47.6 | 0.1 | 54.8 | 82.3 | 60.1 | 82.3 |
| '11년 | 59.5 | 78.0 | 61.2 | 82.1 | 76.2 | 82.5 | 76.3 | 81.3 |
| '12년 | 55.0 | 78.8 | 57.7 | 80.1 | 70.4 | 81.9 | 72.3 | 82.4 |
| '13년 | 58.3 | 76.2 | 57.8 | 77.2 | 64.2 | 77.5 | 68.6 | 78.1 |
| '14년 | 62.2 | 76.7 | 61.8 | 78.6 | 67.9 | 79.3 | 71.0 | 78.9 |
| '15년 | 60.5 | 75.5 | 61.0 | 77.5 | 68.1 | 79.3 | 72.8 | 79.5 |

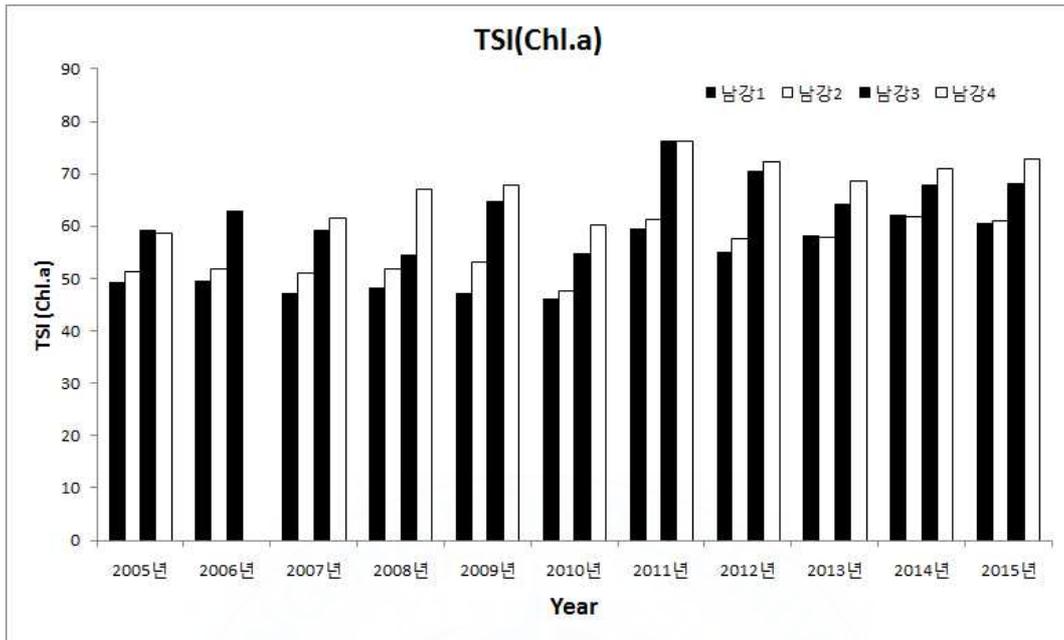


Fig. 23 Trophic state index(Chl.a) at points.

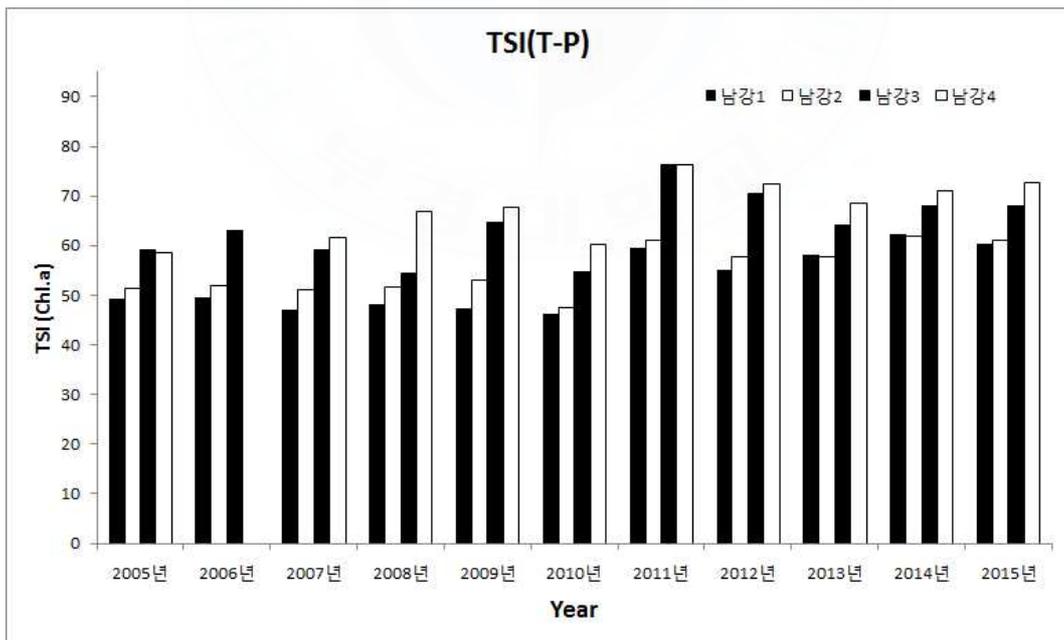


Fig. 24 Trophic state index(T-P) at points.

4.5 회귀 분석

4.5.1 클로로필-a 회귀분석

남강댐 하류지역은 특성상 물의 흐름이 느려져 이로 인해 수질악화가 가속화되어 수역의 영양단계가 점점 증가하는 부영양화 현상이 자주 발생하며, 부영양화 된 수역에서 BOD농도는 유역으로부터 발생한 유입 BOD 외에도 흐름이 느린 하천 내에서 미처리된 영양염을 이용한 식물플랑크톤의 생산에 의해 공급되는 자생 BOD의 합으로 나타난다. 이러한 현상은 앞서 분석한 요인분석 및 상관성 분석을 통해 도출되었으며, 식물플랑크톤의 지표인 클로로필-a의 관리가 중요할 것으로 보여진다.

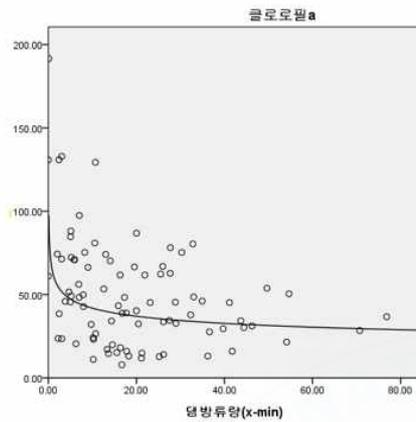
수질경향을 본다면 유기물 오염도가 높은 시기인 봄철에 BOD농도가 목표수질을 초과하고 있으며, 현재 남강댐 하류 하천유지용수로 계획된 방류량은 수질관리 측면에서 상당히 부족한 양이라 할 수 있다. 따라서 근본적으로 식물플랑크톤 증식을 제어하고 영양염류 저감을 위해 저·갈수기 남강댐 하류유역 본류구간 수질개선 대책으로 남강댐의 수문조작을 통한 적절한 유량을 유지해주는 것이 효과적일 것으로 판단된다(Kim et. al., 2013)

수체의 안정성, 즉 체류시간이 조류에 영향을 미친다는 개념은 새로운 것이 아니다. Brook and Woodward (1956)는 4개의 스코틀랜드 호수에서 체류시간이 길어질수록 식물성플랑크톤이 더 많아진다는 연구를 발표했다. 비슷하게 Dickman (1969)도 소규모 호수의 경우, 유입유량(discharge rate, 즉 호수의 체류시간을 결정하는 중요한 요소)이 영양물질, 빛 또는 온도보다 조류의 성장을 결정하는데 중요한 인자라고 주장하였다. 많은 다른 연구자들도 비교실험인 빛 분석을 통해 체류시간이 짧은 호수가 긴 호수보다 더 적은 클로로필-a의 농도를 보여줌을 증명하였다(Oconnell and Andrews, 1987). Vollenweider and Kerekes (1980)는 클로로필-a 농도, 인 농도, 플러싱 정도의 관계를 이용하여

4.5.2 본류영향 평가

남강댐 방류에 따른 남강4 지점의 클로로필-a 농도 회귀분석뿐만 아니라 낙동강 본류인 남강 합류직후 지점인 칠서 취수장 부근인 남지 지점의 클로로필-a 농도의 회귀분석을 통한 개선효과를 분석하였다. 남강4 지점의 클로로필-a 개선효과 분석 시 낙동강 본류 합류직전의 남강하류 영향뿐만 아니라 낙동강 본류로 유입하여 칠서취수장 부근인 남지지점에서의 영향 또한 고려되어야 한다. 남강댐 방류에 따른 남강 말단의 수질측정망 지점인 남강4 지점의 회귀분석을 실시하였으며, 남강 유입 후 낙동강 본류의 칠서취수장 부근인 남지측정망 또한 회귀분석을 통해 개선효과를 나타냈다.

Fig. 26과 Fig. 27은 통계프로그램 SPSS를 이용하여 2차 곡선이 제공된 데이터를 적용한 남강댐 방류량에 따른 남강하류 남강4 지점과 남강 합류 후 낙동강본류 지점인 남지 지점의 클로로필-a 농도와의 곡선추정 회귀분석 결과를 나타낸 것이다.



분산분석

| | 제곱합 | 자유도 | 평균 제곱 | 거짓 | 유의확률 |
|-------|--------|-----|-------|--------|------|
| 회귀 모형 | 5.762 | 1 | 5.762 | 15.351 | .000 |
| 잔차 | 31.907 | 85 | .375 | | |
| 합계 | 37.669 | 86 | | | |

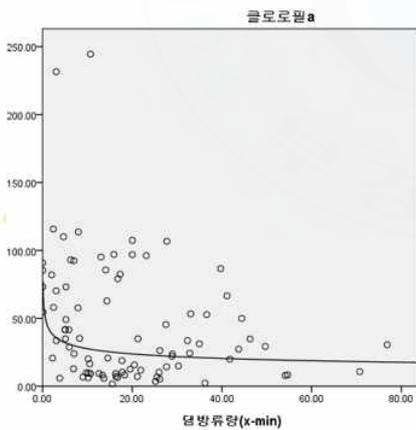
독립변수는 댐방류량입니다.

계수

| | 비표준화 계수 | | 표준화 계수 | | t | 유의확률 |
|----------|---------|-------|--------|--|--------|------|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | |
| ln(댐방류량) | -.178 | .045 | -.391 | | -3.918 | .000 |
| (상수) | 62.981 | 8.150 | | | 7.728 | .000 |

종속변수는 ln(클로로필_a)입니다.

Fig. 26 남강댐 방류량에 따른 남강4 지점의 클로로필-a 회귀분석.



분산분석

| | 제곱합 | 자유도 | 평균 제곱 | 거짓 | 유의확률 |
|-------|---------|-----|--------|-------|------|
| 회귀 모형 | 10.072 | 1 | 10.072 | 9.441 | .003 |
| 잔차 | 91.749 | 86 | 1.067 | | |
| 합계 | 101.821 | 87 | | | |

독립변수는 댐방류량입니다.

계수

| | 비표준화 계수 | | 표준화 계수 | | t | 유의확률 |
|----------|---------|-------|--------|--|--------|------|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | |
| ln(댐방류량) | -.216 | .070 | -.315 | | -3.073 | .003 |
| (상수) | 45.350 | 9.110 | | | 4.978 | .000 |

종속변수는 ln(클로로필_a)입니다.

Fig. 27 남강댐 방류량에 따른 남강4 지점의 클로로필-a 회귀분석.

Table 22는 과거(2005년 1월 ~ 2015년 5월) 실측자료를 토대로 곡선추정 회귀식을 도출하여 남강댐 추가방류에 따른 클로로필-a 농도의 개선효과를 나타낸 것이다.

남지 지점에서 2005년 1월부터 2015년 5월까지 강우량에 따른 수문방류 및 집중강우가 있었던 월은 제외한 평균 클로로필-a 농도 값은 37.192 mg/m³이며, 남강4 지점은 23.932 mg/m³로 나타났다. 이에 따른 남강댐 평균 방류량 대비 지점별 클로로필-a 농도는 남지 지점보다 남강4 지점의 개선효과가 높은 것을 확인할 수 있다. 이것은 남강댐 방류에 따른 클로로필-a의 개선효과가 남지 지점보다 남강4 지점이 직접적인 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

Table 22 회귀분석을 이용한 남강댐 방류에 따른 클로로필-a 개선 효과 분석

| 구분 | 댐 방류량 (m ³ /s) | 클로로필-a(mg/m ³) | | 개선효과(%) | |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------|------------------|------------------|
| | | 남지 | 남강4 | 남지 | 남강4 |
| 평균방류량 (2005~2015) | 25.283 | 37.192 | 23.932 | - | - |
| 평균 대비 10% 증가 | 27.811 | 36.385 | 23.304 | 2.2% (▽0.81) | 2.6% (▽0.63) |
| 평균 대비 50% 증가 | 37.925 | 34.000 | 21.463 | 8.6% (▽3.19) | 10.3% (▽2.47) |
| 평균 대비 100% 증가 | 50.566 | 32.040 | 19.971 | 13.9% (▽5.15) | 16.6% (▽3.96) |
| 평균 대비 200% 증가 | 75.849 | 29.577 | 18.123 | 20.5% (▽7.62) | 24.3% (▽5.81) |

제 5 장 결 론

본 연구는 남강댐 하류 지역의 오염원별 오염부하량을 산정하고, 오염원별 기여율을 분석하였으며, 물관리 데이터를 통해 통계분석을 실시하여 남강본류 수질특성을 파악하고 맞춤형 수질관리 방안을 도출하였다.

- (1) 남강댐은 강우량에 따른 댐 방류량이 지배적인 것으로 나타났으며, 과거 10년간 강우량과 댐 방류량은 일정한 패턴을 보이는 것으로 나타났다.
- (2) 남강댐 하류부 수질측정망 지점에서의 최근 6년간의 평균적인 분포는 하류로 갈수록 BOD, Chl.a, TN, TP의 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, BOD, T-N, T-P는 상류에 위치한 환경기초시설 영향인 것으로 판단된다.
- (3) 남강 유역 내 인구, 축산, 산업 및 토지이용 등의 오염원에 의해 발생하는 전체 발생부하량 산정결과 BOD 138,503 kg/day, T-N 1,160.6 kg/day, T-P 213.1 kg/day로 산정되었으며, 전체 배출부하량은 BOD 890.4 kg/day, T-N 692.9 kg/day, T-P 54.3 kg/day로 산정되었다.
- (4) 남강 유역 내 소유역의 오염원별 배출부하량을 비교하여 보면 발생부하량에서 가장 큰 비중을 차지하였던 가축에 의하여 발생하는 축산계 배출부하량이 자원화 등에 의하여 삭감되어 대부분의 유역에서 토지계 배출부하량의 비중이 증가하였으며, 토지계 비점오염원을 저감 할 수 있는 대책이 필요할 것으로 사료된다.
- (5) 요인분석 결과, 남강 상류는 COD와 영양염류 같은 수질항목이 같은 요인으로 분류되며, 상류 쪽 유기물질 유입에 대한 경로 및 환경기초시설의 배출부하량과의 상관관계를 고려해야 할 것으로 판단된다. 남강 하류는 BOD와 Chl-a가 같은 요인으로 분류되어 있으며 이는 수리학적으로 정체된 흐름으로 인해 Chl-a 증가에 따른 자생 BOD가 증가하면서 상관관계가 높은 것으로 판단된다.

- (6) 상관성 분석 결과, 남강 하류로 갈수록 BOD와 클로로필-a간의 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, BOD와 클로로필-a는 댐 방류량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 댐 방류량에 따라 수체의 흐름 변화폭이 커지면서 클로로필-a 농도에 직접적인 영향을 끼치기 때문이다.
- (7) 남강댐 하류지역은 특성상 물의 흐름이 느려져 이로 인해 수질악화가 가속화되어 수역의 영양단계가 점점 증가하는 부영양화 현상이 자주 발생하며, 근본적으로 식물플랑크톤(클로로필-a) 증식을 제어하고 영양염류 저감을 위해 저·갈수기 남강댐 하류 유역 본류구간 수질개선 대책으로 남강댐의 수문조작을 통한 적절한 유량을 유지해 주는 것이 효과적일 것으로 판단된다.
- (8) 댐 방류량에 따른 클로로필-a 농도의 회귀분석식을 도출하였으며, 클로로필-a 회귀분석 시 낙동강 본류 합류직전의 남강4 지점 분석 뿐만 아니라 낙동강 본류로 유입하여 칠서취수장 부근인 남지지점에서의 회귀분석을 실시하여 본류에 대한 영향도 평가하였다.

참 고 문 헌

- Brook, A. J. and Woodward, W. B.(1956) Some Observations on the Effects of Water Inflow and Outflow on the Plankton of Small Lakes. *J Animal Ecology* 25(1) : 22-35
- Calson, R. E.(1977) A trophic state index for lakes. *Limnol. Ocenogr.* 22 : 361-369
- Dickman, M.(1969) Some Effects of Lake Renewal on Phytoplankton Productivity and Species Composition. *Limnology and Oceanography* 14(5) : 660
- Oconnell, M. F. and C. W. Andrew(1987) Plankton Ecology in Relation to Flushing Rate in Four Newfoundland Ponds. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 72(4) : 487-515
- Vollenweider, R. A. and Kerekes, J (1980) The loading concept as a basis for controlling eutrophication : philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. *Prog. wat. technol* 12 : 5-38
- 건설교통부(1994) 기존댐용수공급조사보고서
- 건설교통부(1996) 수자원개발가능지점 및 광역배분계획 기본조사보고서
- 건설교통부(2008) 남강하천기본계획
- 경남발전연구원(2010) 남강댐 하류 수질개선 방안
- 경남지역환경기술개발센터(2011) 남강하류 정체수역의 자생 BOD 기여도 및 수질영향평가
- 국립환경과학원(2012) 수계오염총량관리 기술지침
- 김경훈(2013) 남강댐 하류유역 수질측정자료의 시·공간적 특성분석. *한국방재학회*. 13(6) pp.429-437

- 남기성(2010) (SPSS를 이용한) 통계분석은 어떻게. 파주: 자유아카데미
- 박찬진(2014) 다변량 통계분석을 이용한 영산강 유역의 수질특성평가. 전남대학교 석사학위논문.
- 수자원공사(2015) 댐추가 방류로 인한 수질 및 환경개선의 사회적 편익 산정
- 원태연, 정성원 (2010) 통계조사분석 : SPSS PASW Statistics 18.0. 한나래출판사
- 환경부(2002) 수질오염총량관리기본방침
- 환경부(2005) 3대강수계 오염총량관리시행계획 이행평가기준
- 황수덕(2011) 남강하류에서의 자생 BOD의 영향에 의한 수질모델링 연구. 인제대학교 석사학위논문.
- 황진영(2016) A Study on Application of Watershed Model and Contribution Analysis of Pollutant Factors for Improving Water Quality of the Namgang Dam Downstream. 인제대학교 박사학위논문
- 황현동(2013) 수문-수질모델을 이용한 호소오염총량제 수질평가 방법에 관한 연구. 충남대학교 박사학위논문