

수계별 주요 유량 지점에 대한 강수량과 기저유출 기여도 분석

최운호 · 박윤식* · 류지철 · 이동준** · 김용석 · 최중대** · 임경재**†

국립환경과학원 유역총량연구과

*Agricultural Biological Engineering, Purdue University

**강원대학교 지역건설공학과

Analysis of Baseflow Contribution to Streamflow at Several Flow Stations

Youn Ho Choi · Youn Shik Park* · Jichul Ryu · Dong June Lee** · Yong Seok Kim ·
Joongdae Choi** · Kyoung Jae Lim**†

Department of Water Environment Research, National Institute of Environmental Research

*Agricultural Biological Engineering, Purdue University

**Department of Regional Infrastructures, Kangwon National University

(Received 24 April 2014, Revised 25 July 2014, Accepted 29 July 2014)

Abstract

Streamflow is typically divided into two components that are direct runoff and baseflow, it is required to analyze and estimate behaviors of those two flow components to understand watershed characteristics so that watershed management plan can be effective in pollutant reductions. Since pollutant load behaviors in a stream or river are variable by flow component behaviors, best management practices need to be applied in a watershed based on the pollutant load behaviors varying with flow components. Thus, baseflow behaviors were analyzed separating baseflow from streamflow data collected from fifteen streamflow gaging stations in the 4 major river watersheds which are the Han river, Nakdong river, Guem river, and Yeongsan-Somjin river watersheds. Moreover, precipitation trends throughout the 4 River Systems were investigated, thus daily precipitation data were collected from sixty-five locations. The Hank river watershed displayed the largest precipitation (925.2 mm) in summer but the lowest precipitation (71.8 mm) in winter, indicating the watershed has the most fluctuating precipitation characteristic. While the precipitation trends in the Four River Systems varied, a distinct feature in baseflow trends was not found, moreover baseflow percentages to streamflow were typically greater than 50% in the Four River Systems. As shown in this study, it would be expected significant amount of pollutants could be contributed to the stream in the form of baseflow at the watershed.

Key words : Baseflow, Direct runoff, Pollutant load, Separating baseflow, Streamflow

1. Introduction

우리나라의 1인당 수자원은 세계 평균의 1/11에 불과하고 몬순기후대에 속하여 강우가 집중되는 여름철에 양의 비점오염원이 하천이나 강으로 유입되며 더욱이 여름철의 고온으로 인하여 조류의 과다 번식 등 수질오염 현상이 발생하고 있으며, 겨울철에는 적은 양의 강수로 인해 고농도의 오염물질이 유역 내에서 발생하여 수질오염 악화 현상이 나타나고 있다(NIERD, 2012). 이에 정부는 이러한 문제점을 근본적으로 해결하고 물관리 정책을 선진 수준으로 끌어올리기 위해 수질오염총량제도를 도입 시행하고 있다. 수질오염총량제도는 관리하고자 하는 하천의 목표수질을 정하고 목표수질을 달성·유지하기 위한 오염물질의 허용부하량(허용총량)을 산정하여 해당유역에서 배출되는 오염물

질의 부하량(배출총량)을 허용총량 이하로 관리하는 제도이다(MOE, 2004). 수질오염총량제도의 효과적인 시행을 위해서는 계획과 이행사항에 대한 평가를 통해 목표수질 달성 평가 및 허용총량 초과 시 개선방안을 도출을 통해 목표를 달성하여야 한다. 또한 이 제도의 이점 및 한계점은 타 지역에 효율적이고 정확성 높은 계획수립이 가능하기 때문에 이행사항 평가는 매우 중요하다(Brandes et al., 2005).

우리나라의 수질오염총량제도는 기본계획과 시행계획을 통해 오염원별 장래 오염부하량을 산정하고, 수질오염총량제 계획기간을 5년으로 하여 오염원별 장래에 대한 오염원 변화와 토지이용의 면적 변화를 예측한다. 수질관리 계획수립을 위하여 미계측 지역 또는 광범위 지역에서 토지이용별 원단위 값을 사용한다. 이때 사용되는 원단위는 강우시 지표표를 통해 발생하는 유출량과 수질농도를 이용하여 산정하기 때문에 토양으로 침투하여 하천으로 유입되는 기저유량에 대한 고려를 하지 않는다(Shin et al., 2010). 그리고 산림의 원단위를 산정할 때 강우시 발생하는 유량 및

† To whom correspondence should be addressed.
kjkim@kangwon.ac.kr

수질농도를 이용하여 원단위를 산정하기 때문에 원단위가 과다 산정될 수 있다고 하였으며, 비강우시에 발생하는 오염물질의 특성을 고려하여 산정할 필요가 있다고 하였다 (Shin et al., 2010). 또한 Schilling (2002)은 질소부하가 여름과 늦가을 동안 기저유출을 통해 가장 크게 발생한다고 하였으며, Choi et al. (1999)은 농업 소유역 하천의 질산성 질소의 농도는 주변 지하수의 질산성 질소와 매우 유사하다고 하였다. 또한 Schilling and Zhang (2004)은 질소농도가 하천으로 유입되는 것을 차단하고 저감하기 위해서는 기저유출에 의한 질소의 시간에 따른 변동과 양의 정량화가 필요하다고 하였다. Toor et al. (2008)은 유사량의 농도는 하천에서의 유량과 상관관계를 보인 반면, 총질소의 경우 상관관계를 찾기 힘들다고 보고한 바 있다. 또한 Tesoriero et al. (2009)는 수용성 인과는 달리 질소의 농도는 기저유출량에 영향을 많이 받는다고 보고한 바 있다.

따라서 유역 내 오염원의 하천 유입 거동을 이해하기 위해서는 하천이나 강에서의 총유량에서 직접유출과 기저유출을 분리하는 과정이 필요한 것으로 생각된다. Santhi et al. (2008)은 토지이용과 기저유출량의 상관관계를 보기 위해서 미국 전 지역에 대해 토지이용을 20개로 분류하고, 이 과정에서 총유량에서 기저유출을 분리하였다. Brandes et al. (2005)는 미국 내 10개 유역에 대한 1940년부터 2000년까지의 인구수 및 인구밀도 변화 등을 고려하면서 도시화와 지하수량의 상관관계 분석을 위해, 총유량에서 기저유출량을 분리한 바 있다. Gebert et al. (2007) 연간 기저유출량을 예측하기 위해, 미국 위스콘신 내에 위치한 118개의 각 지점에 대해 장기간의 총유량 자료로부터 기저유출량을 분리하여, 토양특성 등과 같은 유역의 특성을 이용한 연평균 기저유출 예측 회귀식을 개발한 바 있다.

현재 시행되고 있는 우리나라의 수질오염총량제도는 유역에서의 오염물질을 관리하기 위한 것이기 때문에 유역 내 오염물질의 거동에 대한 이해가 필요하다. 또한 오염물질의 거동은 강우 특성뿐만 아니라, 직접유출과 기저유출에 따라 달라질 수 있기 때문에, 수질오염총량제도가 시행되는 지역에 대해 이와 같은 분석이 필요한 것으로 생각된다. 특히 유역에서의 하천 수체의 오염물질 이동 메커니즘 측면에서 볼 때 수체에 영향을 미치는 인자들을 복잡 다양하다. 현재 수질오염총량제에서는 계획 수립시 강우, 직접유출, 상류유입, 지하수유입(하수관거로부터) 등을 고려하여 정량적으로 평가 관리하고 있다고 볼 수 있다. 그리고 기저유출/퇴적물 등에 대해서는 수질모델링을 통해 고려되고 있으나 정량적인 해석은 부족하다고 볼 수 있다. 이는 건기시 때 하천유량에 영향을 미치므로 수질관리에 있어서 많은 문제점이 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 정량적으로 해석되지 않고 있는 기저유출에 대한 관리의 필요성을 제시하고자 한다. 이에 본 연구의 목적은 우리나라 4대강 수계별 주요 유량관측지점을 선정하여 수계별·계절별로 강수량 특성을 분석하고, 직접유출 및 기저유출 특성을 분석하여 수계별·계절별 하천유출량에서 기저유출이 미치는 기여도를 평가하는데 있

다. 그리고 수계별·계절별 강수량 특성은 GIS 프로그램을 이용하여 공간 보간후 강수량 특성을 분석하였고, 기저유출 평가 방법은 WHAT(Web-based Hydrograph Analysis Tool) 시스템을 이용하였다. 본 연구 결과는 향후 기저유출을 통한 하천 오염부하 특성을 평가하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. Materials and Methods

2.1. 연구지점 선정

본 연구에서는 우리나라의 4대강 수계에 대해 강수량 특성을 분석하고, 수계에서의 직접유출과 기저유출이 미치는 기여도를 분석하여 평가하고자 연구지점을 선정하였다. 4대강 수계의 수계별 및 계절별 강수량 특성 분석하기 위한 연구지점은 한강권역 18개 지점, 낙동강권역 22개 지점, 금강권역 14개 지점, 영산강·섬진강권역 11개 지점으로 총 65개의 강우측정지점을 선정하였고(Fig. 1), 측정지점으로부터 최근 5년간(2008~2012년)의 일별 자료를 이용하여 분석하였다. KMA(2014) 자료에 의하면 한강권역은 북위 36°30'~38°55', 동경 126°24'~129°02'에 걸쳐 한반도 중앙부에 위치하며 유역면적은 총 41,957 km² 정도로 이 중 남한의 한강권역 면적은 33,003 km²이다. 낙동강권역은 한반도 남동부의 북위 35°03', 동경 127°27'~129°18'에 위치하는 권역이며 북쪽으로는 한강권역, 서쪽으로는 금강권역 및 영산·섬진강권역과 접하고 있으며 전체면적은 31,785.04 km²이다. 금강권역은 한반도 중앙의 서쪽에 위치하며 북위 35°35'~37°05', 동경 126°41'~128°25'에 위치하고 있으며 북쪽으

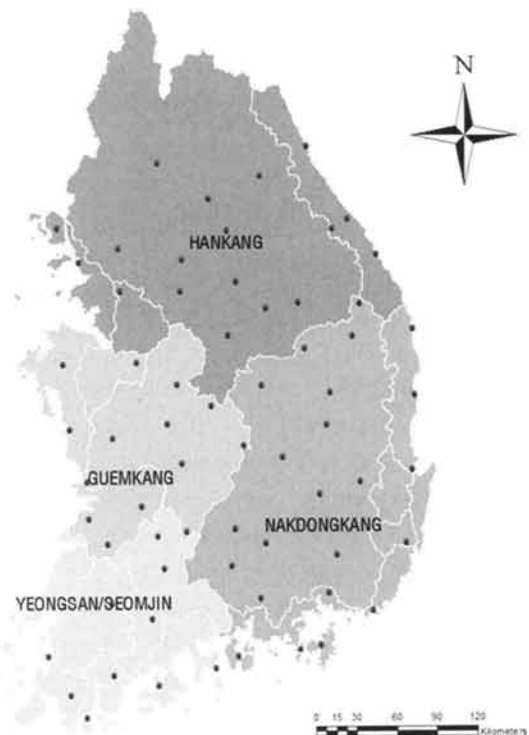


Fig. 1. Sixty five precipitation stations at four river watersheds.



Fig. 2. Fifteen flow gaging stations at four river watersheds.

로는 한강권역 동쪽으로는 낙동강권역, 남쪽으로는 영산·섬진강권역에 맞닿아 있으며 전체면적은 17,537.03 km²이다.

그리고 수계에서의 기저유출이 미치는 기여도를 평가하기 위해 2004년부터 2013년의 일별 유량자료 중 연속적인 자료를 검토하여 한강 4개 지점, 낙동강 2개 지점, 금강 4개 지점, 영산·섬진강 5개 지점, 4대강 수계에 대해 총 15개 지점을 선정(Fig. 2)하였다.

2.2. 강수량 특성

강수 자료는 수문, 수질, 대기, 생태 등 다양한 분야에서 매우 중요한 인자로 사용되기 때문에, 강수 시간적·공간적 분포해석이 필요하다. 강수량, 기온, 오염농도 등과 같은 유역 내 특성은 공간상 연속적으로 분포하나, 일반적으로 특정 지점에 대해 이러한 자료에 대한 관측이 이루어지며, 따라서 특정 지점을 선정하여 관측지점 값을 얻은 후 이를 이용하여 미관측 지점 값을 예측하는 공간보간(spatial interpolation) 방법들이 이용될 수 있다(Cho and Jeong 2006). 본 연구에서는 GIS 보간 방법 Interpolation Toolset의 IDW (Inverse Distance Weighting) Tool 프로그램을 이용하여 우리나라 4대강 수계에서 대해서 수계별 계절별 강수량을 특성을 분석하였다. 강수량 특성 분석은 강수량 이외의 입력 자료가 필요하지 않은 공간보간 방법을 이용하여 4대강 수계에서 관측되고 있는 지점 중 가용할 수 있는 총 65개(한강 18개, 낙동강 22, 금강 14개, 영산·섬진강 11개) 지점으로부터 최근 5년(2008~2012년) 동안의 자료를 수집하여 사용하였다.

2.3. 기저유출 분리

유역에서 강우가 발생하면 지표면으로부터 증발, 침투하거나 지표면을 통한 유출로 하천이나 강으로 흘러들어간다. 유출은 강수로 내린 물이 유역 출구지점까지 흘러가는 과정은 크게 지표면유출, 지표하유출 또는 중간유출, 그리고 지하수유출로 나눌 수 있으며 실무적인 목적으로 유출해석을 할 경우 하천을 통한 총 유출은 일반적으로 직접유출과 기저유출로 분류하게 된다. 직접유출은 강수나 눈이 녹은 직후 하천으로 비교적 단시간에 흘러 들어가는 유출의 한 부분을 말하며, 기저유출은 강수 중 지표를 투수하여 토양층을 거친 뒤 하천으로 유입되는 유출이며, 지하수유출과 지체지표하유출로 나눌 수 있다. 이러한 유출 중 기저유출은 하천의 형성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 알은 지하수 대수층의 특성을 정량화하는 것이 지속적인 지하수 사용과 농업 및 공업용수로서의 지표수 이용 및 하·폐수 배출에 따른 하류 하천에서의 오염 영향 분석을 위해 매우 중요하다(Joo et al., 2007; Ryu et al., 2012). 하지만 직접유출과 기저유출로 분리하는 수문곡선(hydrograph) 분리는 유역 및 기상 특성에 따라 변화하기 때문에 생각만큼 쉽지 않다.

지난 100여 년간 기저유출 감수 특성을 조사하기 위하여 많은 수문학자들에 의해 연구가 수행되어왔다. 대표적인 방법으로는 주 지하수감수곡선법, 수평직선분리법, N-Day 법, 수정 N-day 법, 가변경사법 등이 있다. 주 지하수감수곡선법은 과거 수문곡선으로부터 수문곡선의 감수곡선들을 중첩시켜 얻은 유역의 대표 지하수 감수곡선으로 직접·기저유출을 분리하는 방법이며, 수평직선분리법은 지표면유출이 발생하는 지점(상승부 기점)에서 감수곡선과 만나는 수평선에 그어 직접·기저유출을 분리하는 방법이다. 그리고 N-day 법은 침투 유량이 발생한 시저부터 N일 후의 감수곡선에 해당하는 지점을 택해 직접유출이 발생하는 상승부 지점과 연결하여 직접·기저유출을 분리하는 방법이며, 수정 N-day 법은 고정기저시간법(fixed base method)라고도 불리며 특정 강우가 발생하기 바로 전의 지하수 감수곡선은 강우가 계속되더라도 어느 정도 기간 동안은 감소하게 되는 이러한 효과를 고려하기 위한 직접·기저유출을 분리하는 방법이고, 가변경사법은 감수곡선에서 경사가 급변하는 지점을 결정하여 그 지점부터 하강부 곡선의 변곡점 발생 시간까지 거꾸로 보간 하여 침투 발생시의 기저유출량과 직선으로 연결하여 직접·기저유출을 분리하는 방법이다.

그러나 기존 방법들은 많은 시간과 노력이 필요하며, 동일한 자료를 가지고 분석을 하더라도 결과에 큰 차이가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 미국지질조사국(USGS: US Geological Survey)의 자료를 이용한 USGS HYSEP(Sloto and Crouse (1996), PART (Rutledge, 1998), RECESS (Anderson and Burt, 1980) 등의 모형 등을 비롯한 디지털 필터링(Digital filtering) 방법이 있다. Lyne and Hollick (1979)은 총유출에서 직접유출량과 기저유출량을 한 개의 매개변수(β , filter parameter)를 이용하여 분리하는 방법을 제안한 바 있으며(식 (1)), Nathan and McMahon

(1990)은 식 (1)에 의한 기저유출량(q)과 Master Recession Curve (MRC)에 의한 기저유출량과 비교하면서 식 (1)의 β 에 대해 0.925의 값을 제안한 바 있다. Arnold and Allen (1999)는 식 (1)과 0.925의 β 값을 이용하여 미국 내 여러 지점에서의 총유량을 직접유출량과 기저유출량으로 분리하여 MRC에 의한 기저유출량을 월단위로 비교한 바 있다. Eckhardt(2005)는 식 (1)의 수학적 접근을 통해, BFI_{max} 와 β 를 이용하는 식 (2)를 이끌어 냈다. 여기서 BFI_{max} 는 최대 BFI(baseflow index)를 의미하며, BFI는 장기간에 대한 총유량에 대한 기저유출량의 비율(무차원)을 가리킨다. Eckhardt (2005)는 β 에 대해 0.98의 값을 제안했으며, 또한 BFI_{max} 에 대해 투수층을 가진 영구하천(Perennial streams, porous aquifer)에는 0.8을, 투수층을 가진 간헐하천(Ephemeral streams, porous aquifer)에는 0.5를, 암반층을 가진 영구하천(Perennial streams, hard rock aquifer)에는 0.25의 값을 제안했다. Collischonn and Fan(2012)은 BFI_{max} 의 값을 산정하는 데에 있어, 총유량의 90 퍼센타일(Q_{90})과 50 퍼센타일(Q_{50})을 이용하여 구하는 방법을 제안하기도 했다(식 (3)).

$$q_t = \beta \times q_{t-1} + \frac{(1+\beta) \times (Q_t - Q_{t-1})}{2} \quad (1)$$

$$q_t = \frac{(1 - BFI_{max}) \times \beta \times q_{t-1} + (1 - \beta) \times BFI_{max} \times Q_t}{1 - \beta \times BFI_{max}} \quad (2)$$

$$BFI_{max} = 0.8344 \times \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0.2146 \quad (3)$$

여기서 q_t : t 시간 단계에서 분리된 기저유출량, β : 매개변수, Q_t : t 시간 단계에서 총유량, q_{t-1} : $t-1$ 시간 단계에서 분리된 기저유출량, Maximum baseflow index (BFI_{max}): 장기간의 총유량에 대한 기저유출량의 최대값으로 대수층 특성 대변, Q_t 는 t 시간 단계에서 총유량을 말한다.

수학적이고 경험적인 기저유출 분리 방법과 함께, 이러한 분리방법을 이용하여 컴퓨터 소프트웨어도 개발되어 왔다. 그리고 Eckhardt (2008)은 BFLOW (Arnold and Allen, 1999), HYSEP (Sloto and Crouse, 1996), PART (Rutledge, 1998), UKIH (Piggott et al. 2005), 식 (2)에 의한 기저유출량을 비교한 바 있다.

그러나 이러한 기저유출 분리 방법은 데이터의 입력과 실행, 결과 값의 후처리 과정 또한 매우 복잡하여 사용자가 구동하기에 많은 불편함이 있기 때문에 Lim et al. (2005)은 비전문가도 쉽게 유역의 유출 수문자료를 이용하여 직접 기저 유출을 분리할 수 있도록 Web based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) 시스템을 개발하였으며, Lim et al. (2010)은 감수곡선의 특성을 반영한 매개변수 산정에 관한 연구를 통해 유역 특성에 맞는 BFI_{max} 값을 제시할 수 있는 툴을 개발하여 WHAT 시스템에 추가하였다(Lim et al., 2010; Ryu et al., 2012). 그 동안 많이 이용되어 오던 N-day 법, 수

정 N-day 법 등의 그래픽 방법은 분석자에 따라 그 결과에 많은 차이를 보일 수 있는 문제점이 있다. 이러한 주관적인 요소를 최소화하기 위해 Lim et al. (2005)에 의해 개발된 Web GIS-based WHAT system을 이용하여 직접유출과 기저유출을 분리하였다. 이 시스템은 세 개의 기저유출 분리 모듈을 이용하여 기저유출을 분리할 수 있다. 첫 번째는 "Local Minimum Method" 모듈로 수문곡선이 감소하였다가 다시 증가되는 지역적인 최소값을 연결하여 수문곡선을 분석방법으로 이는 USGS에서 개발한 HYSEP의 방법과 비슷하다. 두 번째는 디지털 필터인 BFLOW 필터를 이용하는 방법이다. 세 번째는 BFLOW 필터를 수정하여 대수층의 특성을 고려할 수 있는 Eckhardt 필터를 이용하는 방법이다. 그리고 웹 브라우저만을 이용하여 손쉽게 직접유출과 기저유출을 분리할 수 있는 시스템이다. 미국에서는 USGS (US Geological Survey)의 유량자료를 실시간으로 다운로드 하여 수문분석을 수행하는 사용자 중심 시스템이다. 또한 전세계 사용자를 위하여 유량자료를 직접 입력하거나 WHAT Web GIS 서버로 업로드를 할 수 있는 모듈을 제공하고 있다. 이렇듯 기존의 데스크톱 기반의 모형들에 비하여 웹 기반의 직접유출/기저유출 분리 프로그램의 장점은 인터넷에 존재하는 다양한 수문 자료를 실시간으로 이용하여 분석할 수 있는 장점이 있다. 최근 들어 이 시스템을 확장하여 USGS HYSEP, USGS PART 모듈을 추가한 EX-WHAT 시스템이 개발되어 다양한 수문 및 비점오염 평가에 활용되고 있다(Kum et al., 2013).

이에 본 연구에서는 우리나라의 4대강 수계에 대해 수계별로 계절별로 기저유출이 미치는 기여도를 분석하였다. 4대강 수계에 대해서 총 15개 관측지점에 대해 최근 10년 (2004 ~ 2013년) 동안의 양질의 유량자료를 수집하여 분석하고자 하였으나 수계별 일부 관측지점의 유량자료의 경우, 고정측정일수 및 몇일 동안 동일한 값으로 지속되는 경우에 해당되는 관측지점과 해당년도 자료는 분석에서 제외하여 최근 5년 (2009 ~ 2013년) 동안의 유량자료를 수집하였다. 이렇게 수집된 하천유량은 WHAT system을 이용하여 기저유출을 분리하였다. 이 시스템을 이용한 분리방법은 다음과 같다.

첫 번째는 연구대상지역에 Web GIS 기반의 WHAT system을 이용하여 직접유출과 기저유출을 분리하였다. 그리고 WAHT system을 이용 직접유출 및 기저유출 분리시 이용되는 BFI_{max} 변수 값은 투수층을 가진 영구하천 조건인 0.80으로 가정하였다. 두 번째는 이렇게 분리된 직접유출 및 기저유출을 다시 강수량이 10 mm 이하인 날짜의 경우, 직접으로 분리되더라도 직접유출은 발생하지 않고 기저유출로 발생한다고 가정하였다. 그리고 산정된 직접유출 및 기저유출 결과를 이용하여 우리나라의 4대강 수계의 주요 지점에 대한 5년 평균 (2009 ~ 2013년) 기저유출 기여도를 평가하기 위하여 분석하였고, 4대강 수계별로 기저유출률에서의 하천유량과 기저유출 수문곡선을 도식화하였다. 또한 4대강 수계별로 10년 평균 (2004 ~ 2013년) 기간에 해당되는 대표지점에 대해 월평균 기저유출 기여도를 평가하기 위하여 분석하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 수계별·계절별 강수량 특성

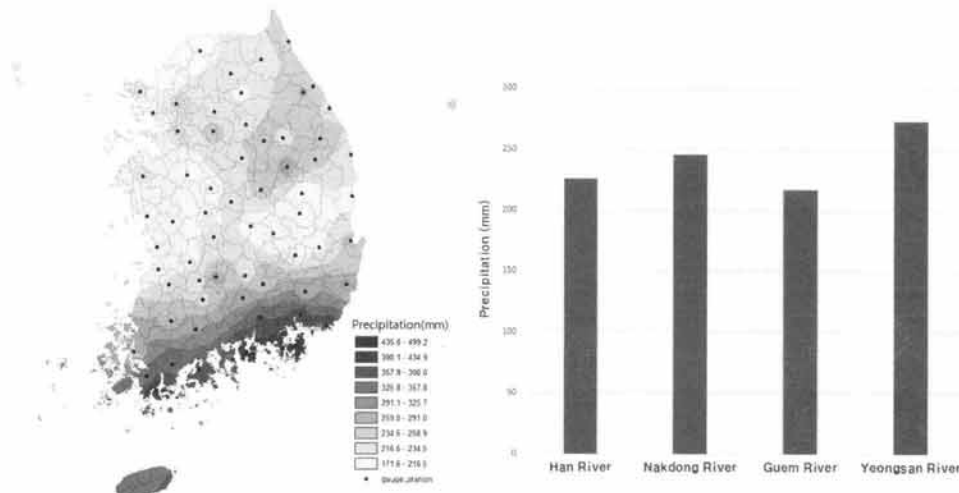
4대강 수계에 대해 수계별·계절별로 강수량 특성을 분석한 결과는 Table 1~2와 Fig. 3~4와 같다. 한강수계는 71.8mm(겨울철)에서 925.2mm(여름철)의 강수량 분포를 나타내었다. 낙동강수계는 82.6mm(겨울철)에서 693.7mm(여름철)의 강수량 분포를 나타냈다. 금강수계는 87.1mm(겨울철)에서 823.6mm(여름철)의 강수량 분포를 나타냈다. 영산·섬진강수계는 118.8mm(겨울철)에서 785.9mm(여름철)의 강수량 분포를 나타내었다.

그리고 4대강 수계 중 계절별 평균 강수량 특성 결과, 봄철에는 금강수계가 216.9mm로 가장 낮았으며, 영산·섬진강수계가 272.5mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 여름철에는 낙동강수계가 693.7mm로 가장 낮았으며, 한강수계가 925.2mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 가을철에는 영산·섬진강수계가 196.9 mm

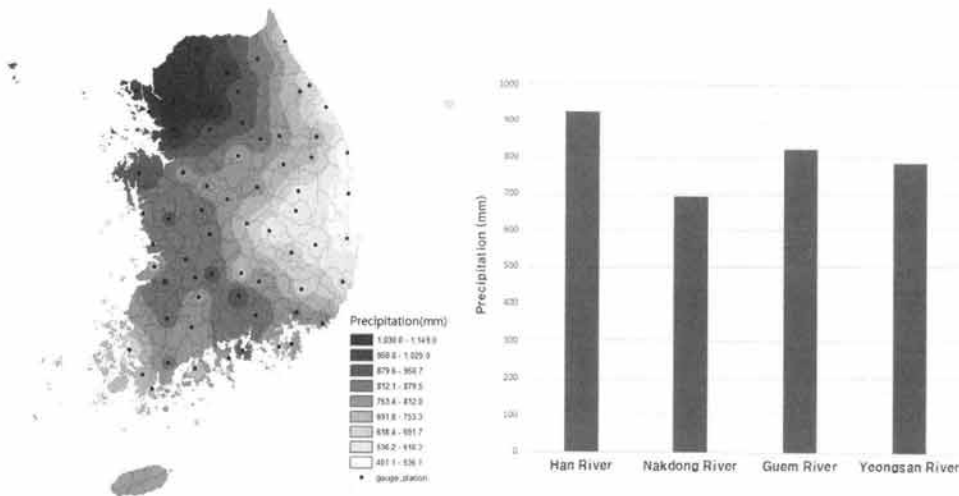
Table 1. Seasonal minimum, maximum and average precipitation from year 2008-2012 in the 4 major river system

4 major River system		Precipitation(mm)			
		Spring	Summer	Fall	Winter
Han	Min.	194.3	586.9	209.8	46.8
	Max.	270.8	1,149.5	309.1	127.1
	Avg.	226.2	925.2	256.7	71.8
Nakdong	Min.	171.6	474.2	167.4	56.0
	Max.	392.5	950.9	284.9	124.0
	Avg.	245.7	693.7	215.3	82.6
Guem	Min.	194.4	686.5	167.6	71.5
	Max.	271.5	923.6	255.1	111.6
	Avg.	216.9	823.6	211.9	87.1
Yeongsan/Seomjin	Min.	222.5	642.7	186.1	109.5
	Max.	336.8	865.3	217.8	129.9
	Avg.	272.5	785.9	196.9	118.8

로 가장 낮았으며, 한강수계가 256.7mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 겨울철에는 한강수계가 71.8mm

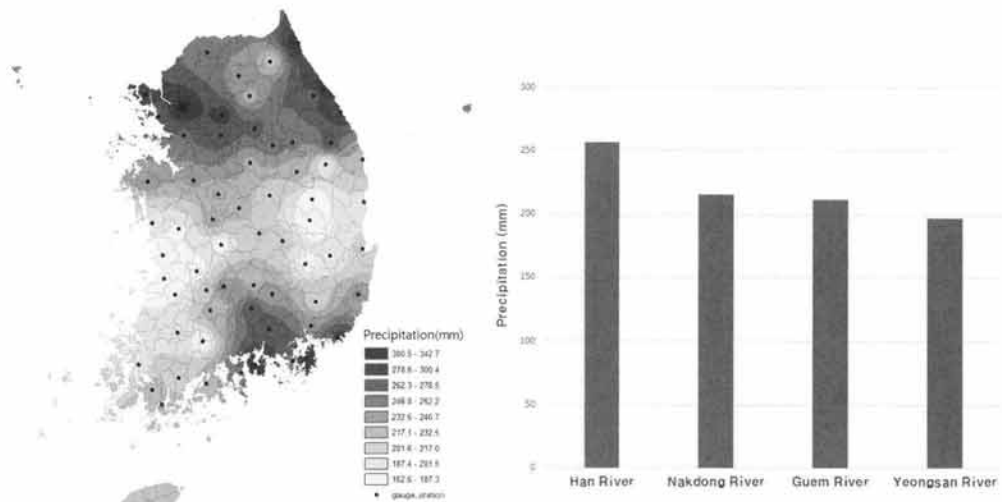


(a) Average Precipitation of Spring for 2008-2012

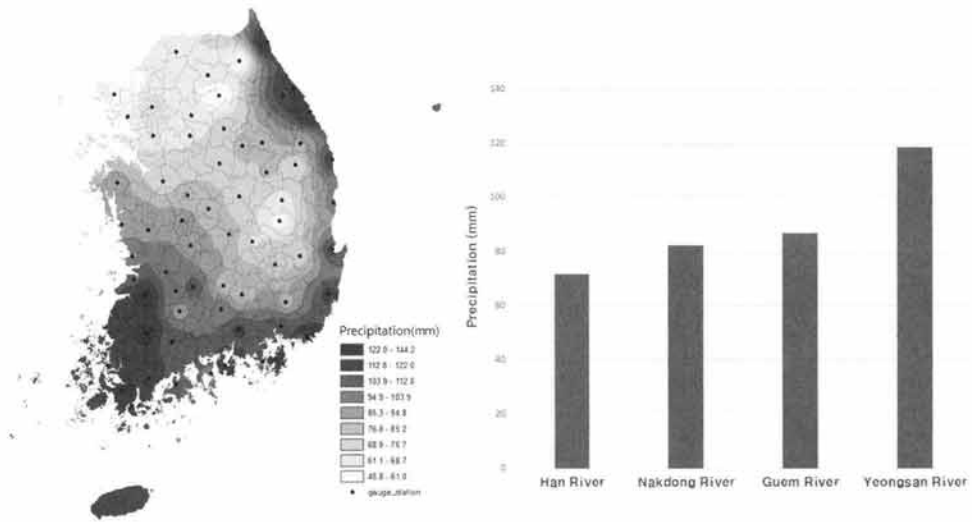


(b) Average Precipitation of Summer for 2008-2012

Fig. 3. Average seasonal precipitation analysis at the 4 major river system.



(c) Average Precipitation of Fall for 2008-2012



(d) Average Precipitation of Winter for 2008-2012

Fig. 3. Average seasonal precipitation analysis at the 4 major river system. (continued)

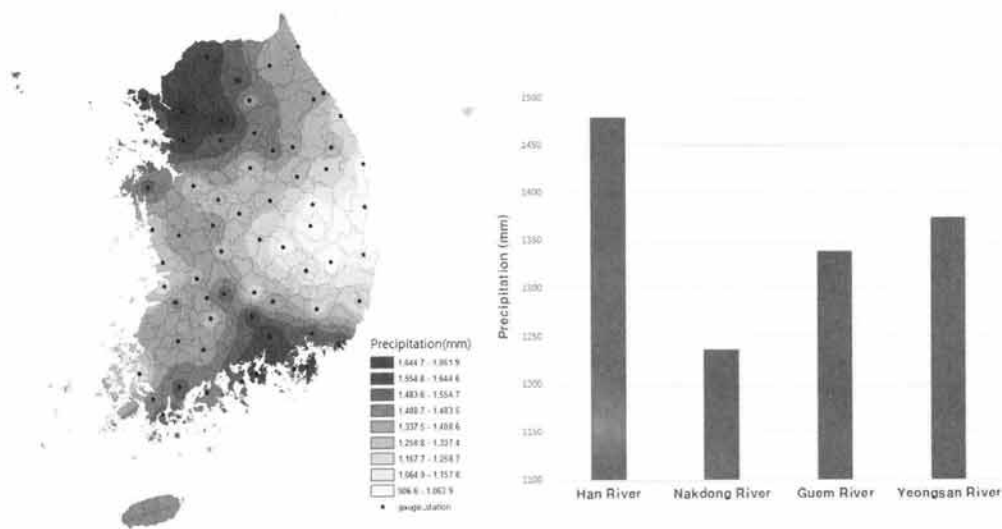


Fig. 4. Annual average precipitation analysis at 4 major river watersheds.

Table 2. Seasonal average precipitation in 4 major river watersheds

Seasonal average value	Precipitation(mm)			
	Han river	Nakdong river	Guem river	Yeongsan/Seomjin river
Spring	226.2	245.7	216.9	272.5
Summer	925.2	693.7	823.6	785.9
Fall	256.7	215.5	211.9	196.9
Winter	71.8	82.6	87.1	118.8

로 가장 낮았으며, 영산·섬진강수계가 118.8mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 그리고 4대강 수계 중 계절별 최대 강수량 특성 결과, 봄철에는 한강수계가 270.8mm로 가장 낮았으며, 낙동강수계가 392.5mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 여름철에는 영산·섬진강수계가 865.3mm로 가장 낮았으며, 한강수계가 1,149.5mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 가을철에는 영산·섬진강수계가 217.8mm로 가장 낮았으며, 한강수계가 309.9mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다. 겨울철에는 금강수계가 111.6mm로 가장 낮았으며, 영산·섬진강수계가 129.9mm로 가장 높은 강수량이 분포되는 것으로 나타났다.

3.2. 수계별 계절별 기저유출이 미치는 기여도 분석

4대강 수계에 대해 기저유출이 미치는 기여도를 분석하였다. 4대강 수계의 15개 지점에 대해 관측지점별 5년 평균(2009~2013년) 기저유출 기여도 분석하였다(Table 3~6).

수계별 기저유출량 기여도는 한강수계(4개 지점)의 경우 하천유량에 미치는 5년 평균 기저유출률은 56.2%로 나타났으며 이 중 성남(Sungnam) 지점의 5년 평균 기저유출률이 63.2%로 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 낙동강수계(2개 지점)의 경우 하천유량에 미치는 5년 평균 기저유출률은 58.4%로 나타났으며 이 중 죽전(Juckjeon) 지점의 5년 평균 기저유출률이 58.4%로 가장 높은 것으로 나타났다. 금강수계(4개 지점)의 경우 하천유량에 미치는 5년 평균 기저유출률은 55.5%로 나타났으며 이 중 옥천(Okcheon) 지점의 5년 평균 기저유출 기여도가 56.2%로 가장 높은 것으로 나타났다. 영산/섬진강수계(5개 지점)의 경우 하천유량에 미치는 5년 평균 기저유출률은 51.3%로 나타났으며 이 중 광주(Gwangju) 지점의 5년 평균 기저유출률이 58.2%로 가장 높은 것으로 나타났다.

한강수계는 최소 50.0%, 최대 60.7%, 평균 56.2%로 기저유출률이 형성되는 것으로 나타났다. 낙동강수계는 최소 49.6%, 최대 69.8%, 평균 58.4%로 기저유출률이 형성되는

Table 3. Baseflow contribution at Han river system

Observed station	Average annual flow	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Sungnam	Flow (cms)	-	-	-	-	-	17.4	17.4	17.4	17.7	15.1
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	10.8	10.9	9.7	11.4	10.7
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	6.6	6.5	7.7	6.2	4.4
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	61.8	62.4	55.9	64.8	71.1
Naerincheon	Flow (cms)	-	-	-	-	-	28.4	32.4	45.9	30.0	28.6
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	12.5	18.3	24.4	17.5	15.6
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	15.8	14.1	21.5	12.5	13.0
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	44.1	56.4	53.1	58.5	54.5
Wontong	Flow (cms)	11.0	9.5	11.6	14.0	11.7	13.5	16.4	17.3	10.5	16.8
	Baseflow (cms)	6.0	5.8	5.7	7.7	6.2	6.9	9.1	9.5	6.0	10.0
	Direct Runoff (cms)	5.1	3.7	5.9	6.3	5.5	6.6	7.3	7.8	4.5	6.8
	Baseflow (%)	53.9	60.9	48.8	54.8	53.1	51.2	55.6	55.1	57.1	59.6
Youngchun	Flow (cms)	56.9	73.6	44.3	69.1	28.0	56.6	87.8	100.1	95.0	92.9
	Baseflow (cms)	34.1	37.9	25.6	29.4	14.3	31.4	53.6	46.7	52.8	56.8
	Direct Runoff (cms)	22.8	35.7	18.8	39.6	13.7	25.2	34.2	53.3	42.2	36.1
	Baseflow (%)	59.9	51.5	57.6	42.6	51.0	55.5	61.1	46.7	55.6	61.1
Mean Baseflow (%)		58.9	52.6	55.8	44.6	51.6	53.2	59.7	50.0	57.3	60.7

Table 4. Baseflow contribution at Nakdong river

Observed station	Average annual flow	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Jisan	Flow (cms)	3.4	3.5	2.9	6.0	1.9	2.1	5.9	5.5	6.2	5.0
	Baseflow (cms)	1.6	2.0	1.5	3.1	1.3	1.3	3.0	2.9	3.7	3.4
	Direct Runoff (cms)	1.8	1.6	1.4	2.9	0.6	0.8	2.9	2.6	2.4	1.6
	Baseflow (%)	47.2	55.5	51.8	52.0	67.1	63.1	50.4	52.2	60.7	68.9
Juckjeon	Flow (cms)	-	-	-	-	-	15.3	31.9	45.6	38.6	38.5
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	7.3	19.0	24.4	23.6	26.9
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	8.0	12.9	21.2	14.9	11.6
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	47.8	59.6	53.4	61.2	69.9
Mean Baseflow (%)		-	-	-	-	-	49.6	58.2	53.3	61.2	69.8

Table 5. Baseflow contribution at Guem river

Observed station	Average annual flow	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Okcheon	Flow (cms)	39.3	40.7	43.8	43.6	19.5	26.9	50.6	51.0	60.9	31.6
	Baseflow (cms)	17.1	21.5	21.8	22.9	12.4	13.3	28.9	27.7	32.9	20.9
	Direct Runoff (cms)	22.2	19.2	22.0	20.8	7.1	13.6	21.7	23.3	28.0	10.7
	Baseflow (%)	43.4	52.8	49.8	52.4	63.7	49.4	57.1	54.3	54.0	66.2
Hotan	Flow (cms)	33.1	40.9	29.1	33.4	16.8	21.5	38.5	38.5	12.1	4.2
	Baseflow (cms)	17.3	24.6	17.8	20.6	12.1	13.4	23.2	19.6	3.9	2.2
	Direct Runoff (cms)	15.8	16.3	11.2	12.8	4.7	8.0	15.4	19.0	8.2	2.0
	Baseflow (%)	52.3	60.1	61.3	61.7	72.2	62.6	60.1	50.8	31.9	52.4
Geumsan	Flow (cms)	-	-	-	-	-	3.1	5.7	5.0	3.0	1.1
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	1.5	3.2	2.5	1.1	0.5
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	1.6	2.5	2.5	1.8	0.7
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	48.6	56.1	50.5	38.4	41.0
Okgakgyo	Flow (cms)	-	-	-	-	-	2.3	2.9	6.8	6.2	4.5
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	0.8	1.4	2.6	3.0	3.0
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	1.5	1.5	4.2	3.2	1.5
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	36.2	48.0	38.6	48.9	66.4
Mean Baseflow (%)		47.5	56.5	54.4	56.4	67.6	54.0	57.9	51.7	49.8	64.2

Table 6. Baseflow contribution at Yeongsan-Seomjin river

Observed station	Average annual flow	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nampyeong	Flow (cms)	-	-	-	-	-	13.4	17.0	16.2	21.8	15.3
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	5.7	8.3	8.5	10.6	9.0
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	7.8	8.8	7.7	11.2	6.3
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	42.2	48.6	52.6	48.5	58.7
Sunam	Flow (cms)	18.6	13.0	13.1	16.5	7.9	10.6	16.8	13.0	15.3	9.8
	Baseflow (cms)	10.2	4.8	6.8	7.5	4.4	5.4	8.1	6.3	7.6	5.5
	Direct Runoff (cms)	8.4	8.2	6.3	8.9	3.5	5.3	8.7	6.7	7.7	4.3
	Baseflow (%)	54.9	36.6	51.8	45.7	55.4	50.4	48.3	48.4	49.8	55.9
Hacgyo	Flow (cms)	9.5	4.7	7.4	8.1	4.6	8.0	9.5	7.1	2.1	5.2
	Baseflow (cms)	3.8	2.4	3.1	3.2	2.2	3.3	4.6	3.7	1.3	2.3
	Direct Runoff (cms)	5.7	2.3	4.3	4.9	2.5	4.7	4.9	3.4	0.7	2.9
	Baseflow (%)	40.0	51.3	42.3	39.4	46.9	41.1	48.4	51.5	64.7	44.0
Gwangju	Flow (cms)	-	-	-	-	-	11.8	18.9	8.2	8.1	8.7
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	5.7	9.4	5.3	4.9	5.9
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	6.1	9.5	2.9	3.3	2.8
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	48.2	49.9	65.0	59.9	68.1
Yeoungsu	Flow (cms)	-	-	-	-	-	1.59	0.75	1.13	1.49	1.06
	Baseflow (cms)	-	-	-	-	-	0.64	0.25	0.53	0.61	0.49
	Direct Runoff (cms)	-	-	-	-	-	0.95	0.50	0.60	0.87	0.58
	Baseflow (%)	-	-	-	-	-	40.1	33.2	46.6	41.3	45.9
Mean Baseflow (%)		49.8	40.5	48.4	43.6	52.3	45.4	48.7	53.3	51.3	57.8

것으로 나타났다. 금강수계는 최소 49.8%, 최대 64.2%, 평균 55.5%로 기저유출률이 형성되는 것으로 나타났다. 영산강수계는 최소 45.4%, 최대 57.8%, 평균 51.3%로 기저유출률이 형성되는 것으로 나타났다.

4대강 수계별로 10년 평균(2004~2013년) 기간에 해당되는 대표지점에 대해 월평균 기저유출 기여도를 평가하였다 (Table 7~10). 한강수계의 원통(Wontong) 지점의 경우 월 유출량이 가장 높은 7월에 46.2%로 가장 낮았으며 월 유출비가 10% 미만일 때 월별 기저유출률은 49.4%~80.5%로 매우 높게 나타났다. 낙동강수계의 지산(Jisan) 지점의

경우 월 유출량이 가장 높은 8월에 46.7%로 가장 낮았으며 월 유출비가 10% 미만일 때 월별 기저유출률은 46.7%~83.0%로 매우 높게 나타났다. 금강수계의 옥천(Okcheon) 지점의 경우 월 유출량이 가장 높은 8월에 39.6%로 가장 낮았으며 월 유출비가 10% 미만일 때 월별 기저유출률은 52.1%~83.3%로 매우 높게 나타났다. 영산강·섬강수계의 선암(Sunam) 지점의 경우 월 유출량이 가장 높은 7월에 44.2%로 낮았으며 월 유출비가 10% 미만일 때 월별 기저유출률은 53.9%~79.2%로 매우 높게 나타났다. 이는 연구 대상지역의 경우 건기시에 하천유량은 기저유출로 형성되

Table 7. Monthly mean flow, baseflow, direct runoff, baseflow ratio at Han river_Wontong (2004 ~ 2013)

River system	Monthly	Flow (cms)	Flow runoff ratio (%)	Baseflow (cms)	Direct Runoff (cms)	Baseflow ratio (%)
Han river	January	3.6	2.3	2.6	1.0	72.1
	February	4.9	3.1	3.4	1.5	69.6
	March	4.9	3.1	3.2	1.7	65.3
	April	9.9	6.3	6.0	3.9	60.4
	May	9.6	6.1	6.3	3.4	65.0
	June	9.3	5.9	4.7	4.6	50.7
	July	50.3	31.9	23.2	27.1	46.2
	August	32.1	20.3	15.9	16.2	49.4
	September	20.9	13.2	12.2	8.6	58.7
	October	5.3	3.3	4.2	1.0	80.5
	November	3.8	2.4	2.9	0.9	76.3
	December	3.1	2.0	2.3	0.8	73.9

Table 8. Monthly mean flow, baseflow, direct runoff, baseflow ratio at Nakdong river_Jisan (2004 ~ 2013)

River system	Monthly	Flow (cms)	Flow runoff ratio (%)	Baseflow (cms)	Direct Runoff (cms)	Baseflow ratio (%)
Nakdong river	January	1.2	2.4	0.9	0.3	76.2
	February	1.2	2.5	0.9	0.3	75.6
	March	1.5	2.9	1.1	0.4	72.6
	April	1.8	3.5	1.2	0.6	68.6
	May	1.9	3.7	1.2	0.7	63.0
	June	2.5	5.0	1.2	1.3	49.0
	July	11.9	23.6	5.6	6.4	46.7
	August	12.9	25.5	6.0	6.9	46.7
	September	10.2	20.2	5.9	4.3	57.8
	October	2.4	4.7	2.0	0.4	83.0
	November	1.6	3.2	1.3	0.3	79.3
	December	1.4	2.8	1.1	0.3	78.2

Table 9. Monthly mean flow, baseflow, direct runoff, baseflow ratio at Guem river Okcheon (2004 ~ 2013)

River system	Monthly	Flow (cms)	Flow runoff ratio (%)	Baseflow (cms)	Direct Runoff (cms)	Baseflow ratio (%)
Guem river	January	16.1	3.3	11.4	4.7	70.6
	February	17.7	3.6	13.0	4.7	73.3
	March	24.1	4.9	16.4	7.7	68.0
	April	25.2	5.2	18.3	6.9	72.4
	May	33.2	6.8	19.3	13.9	58.2
	June	33.2	6.6	16.7	15.4	52.1
	July	105.6	21.7	44.2	61.4	41.8
	August	106.6	21.9	42.2	64.4	39.6
	September	74.2	15.2	39.5	34.6	53.3
	October	18.7	3.8	15.6	3.1	83.3
	November	16.5	3.4	12.8	3.6	78.0
	December	17.2	3.5	13.0	4.1	75.9

Table 10. Monthly mean flow, baseflow, direct runoff, baseflow ratio at Yeongsan·Sumjin river_Sunam (2004 ~ 2013)

River system	Monthly	Flow (cms)	Flow runoff ratio (%)	Baseflow (cms)	Direct Runoff (cms)	Baseflow ratio (%)
Yeongsan/Sumjin river	January	5.1	3.2	3.2	1.9	63.6
	February	7.1	4.4	4.3	2.7	61.1
	March	6.5	4.0	4.8	1.7	73.2
	April	5.2	3.2	3.4	1.7	66.1
	May	8.5	5.3	4.6	3.9	53.9
	June	16.6	10.3	6.3	10.3	38.1
	July	39.6	24.6	17.5	22.1	44.2
	August	35.8	22.2	14.0	21.8	39.0
	September	26.9	16.7	14.2	12.8	52.7
	October	4.5	2.8	3.6	0.9	79.2
	November	2.5	1.6	1.8	0.7	71.7
	December	2.5	1.6	1.9	0.7	73.2

는 것으로 나타나 직접유출보다 기저유출에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. Conclusion

수질오염총량관리제도는 유역의 오염물질 배출총량을 관리하고 저감대책을 수립한다. 그러나 유역의 오염물질은 강수량이나 기저유출량 등과 같은 특성에 의해 달라질 수 있기 때문에 유역의 특성에 따라 저감대책은 달라져야 할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 GIS Program tool의 공간보간 기법인 IDW을 이용하여 4대강 수계의 강수량 특성을 수계별 계절별로 분석하였으며, WAHT을 이용하여 4대강 수계의 직접/기저유출량을 분리하여 기저유출량이 하천에 미치는 기여도를 분석하였다.

- 1) 강수량 특성 분석 결과, 계절별로 보면 봄철에는 영산/섬진강수계가 평균 272.5mm로 가장 높았으며, 금강수계가 평균 216.9mm로 가장 낮은 것으로 나타났다. 여름철에는 한강수계가 평균 925.2mm로 가장 높았으며, 낙동강수계가 평균 693.7mm로 가장 낮은 것으로 나타났다. 가을철에는 한강수계가 평균 256.7mm로 가장 높았으며, 영산/섬진강수계가 평균 196.9mm로 가장 낮은 것으로 나타났다. 겨울철에는 영산/섬진강수계가 평균 118.8mm 가장 높았으며, 한강수계가 평균 71.8mm로 가장 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 4대강 수계의 기저유출량은 수계별로 강우 특성에 따라 차이는 있으나 대부분 기저유출이 54.0% 이상으로 직접유출량 보다 많은 것으로 분석결과 나타났다. 수계별 전체 유출량에 미치는 평균 기저유출 비는 한강수계 54.4%, 낙동강수계 56.6%, 금강수계 56.0%, 영산강·섬진강수계 49.1%로 나타났다. 한강수계의 경우 전체 유출량에 미치는 평균 기저유출 비는 54.4%로 나타났으며, 성남 관측지점이 평균 기저유출 비 63.5%로 가장 높은 것으로 나타났다.
- 3) 4대강 수계의 10년(2004~2013년) 월별 기저유출률 분석 결과, 대부분 7월, 8월에 44.2%로 가장 낮았다. 그러로 수계별로 대표지점에 대해 월 유출비가 10% 미만일 때 기저유출률은 한강수계의 원통(Wontong)은 49.4%~80.5%, 낙동강수계의 지산(Jisan)은 46.7%~83.0%, 금강수계의 옥천(Okcheon)은 52.1%~83.3%, 영산강·섬진강수계의 선암(Sunam)은 53.9%~79.2%로 매우 높게 나타났다.
- 4) 연구결과와 같이 건기시 하천유량은 기저유출량으로 형성되는 것으로 직접유출량 보다 기저유출량에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 효과적인 하천 수질관리를 위해서는 건기시 수질관리를 우선적으로 관리하여야 하며, 직접유출량뿐만 아니라 기저유출량 부분도 고려하여야 하고, 수계별 기저유출률이 다르기 때문에 기저유출량 특성 파악도 중요하다.
- 5) 그러나 본 연구에서는 전체적인 경향을 보기위한 연구의 특이성 때문에 고려하지는 않았지만, 수계별 기저유출량 특성 파악을 위해서는 평·갈수기 동안 유량의 많은 부분을 차지하고 있기 때문에 수계별/계절별 강수량

특성과 상류 댐 및 하수처리장 방류수 등의 인위적인 요소를 고려하여 직접유출과 기저유출을 산정하여야 할 것으로 생각된다.

References

- Anderson, M. G. and Burt, T. P. (1980). Interpretation of recession flow, *Journal of Hydrology*, 46, pp. 89-101.
- Arnold, J. G. and Allen, P. M. (1999). Automated Methods for Estimating Baseflow and Ground Water Recharge from Streamflow Records, *Journal of the American Water Resources Association*, 35, pp. 411-424.
- Brandes, D., Cavallo, G. J., and Nilson, M. L. (2005). Base Flow Trends in Urbanizing Watersheds of the Delaware River Basin, *Journal of the American Water Resources Association*, 41, pp. 1377-1391.
- Cho, H. L. and Jeong, J. C. (2006). Application of Spatial Interpolation to Rainfall Data, *The Journal of GIS Association of Korea*, 14(1), pp. 29-41. [Korean Literature]
- Choi, J. D., Lee, C. M., and Choi, Y. H. (1999). Effect of Land Use on the Water Quality of Small Agricultural Watersheds in Kangwon-do, *Korea Water Resources Association*, 32(4), pp. 501-510. [Korean Literature]
- Collischonn, W. and Fan, F. M. (2012). Defining Parameters for Eckhardt's Digital Baseflow Filter, *Hydrological Process*, 27(18), pp. 2614-2622.
- Eckhardt, K. (2005). How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation, *Journal of Hydrological Processes*, 19, pp. 507-515.
- Eckhardt, K. (2008). A Comparison of Baseflow Indices, which were Calculated with Seven Different Baseflow Separation Methods, *Journal of Hydrological Processes*, 352, pp. 168-173.
- Gebert, W. A., Radoloff, M. J., Considine, E. J., and Kennedy, J. L. (2007). Use of Streamflow Data to Estimate BaseFlow/Groundwater Recharge for Wisconsin, *Journal of the American Water Resources Association*, 43, pp. 220-236.
- Joo, S. W., Park, Y. S., Kim, J. G., Heo, S. G., Kim, K. S., Choi, J. D., and Lim, K. J. (2007). Estimation of BFI_{max} Value for Accurate Baseflow Separation using WHAT System, *Institute of Agricultural Science Kangwon National University*, 18, 155-162. [Korean Literature]
- Kum, D. H., Jang, C. W., Ryu, J. C., Shin, Y. C., Shin, M. H., Choi, J. D., and Lim, K. J. (2013). Investigation of Baseflow Separation and Nonpoint Source Pollution into Shallow Groundwater, *Proceedings of the 2013 Spring Co-Conference of the Korean Society of Water and Wastewater and Korean Society on Water Environment*, Korean Society of Wastewater and Korean Society on Water Environment, pp. 601-602. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2014). <http://web.kma.go.kr/>
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S. and Triphthy, D. (2005). Automated Web GIS Based Hydrograph Analysis Tool, WHAT, *Journal of The American Water Recourse Association*, 41, pp. 1407-1406.
- Lim, K. J., Park, Y. S., Kim, J. G., Shin, Y. C., Kim, S. J., Jeon, J. H., and Engel, B. A. (2010). Development of Genetic

- Algorithm-based Optimization Module in WHAT System for Hydrograph Analysis and Model Application, *Journal of Computer and Geoscience*, 36, pp. 936-944.
- Lyne, V. D. and Hollick, M. (1979). Stochastic Time-variable Rainfall-runoff Modeling, *Proceedings of Hydrology and Water Resources Symposium*, Institution of Engineers Australia, Perth, pp. 89-92.
- Ministry of Environment (MOE). (2004). *Su-jil-o-yeom-chong-ryang-qwan-ri-eop-mu-pyeon-lam*. [A Hndbook of Total Maximum Daily Loads], Ministry of Environment, pp. 1-71. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Human Resources Development (NIERD). (2014). *Total Water Pollution Load Management Process*, *Environmental Education Materials*, pp. 3-43. [Korean Literature]
- Nathan, R. J. and McMahon, T. A. (1990). Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis, *Water Resources Research*, 26, pp. 1465-1473.
- Piggott, A. R., Moin, S. and Southam, C. (2005). A Revised Approach to the UKIH Method for the Calculation of Baseflow, *Journal of Hydrological Sciences*, 50, pp. 911-920.
- Ryu, J. C., Kang, H. W., and Lim, K. J. (2012). Web-based Hydrograph Analysis Tool, *Korea Water Resources Association*, 45(2), pp. 93-102. [Korean Literature]
- Rutledge, A. T. (1998). *Computer Programs for Describing the Recession of Ground-water Discharge and for Estimating mean Ground-water Recharge and Discharge from Streamflow Records-update*, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4148, pp. 1-52.
- Santhi, C., Allen, P. M., Muttiah, R. S., Arnold, J. G., and Tuppad, P. (2008). Regional Estimation of Base Flow for the Conterminous United States by Hydrologic Landscape Regions, *Journal of Hydrology*, 351, pp. 139-153.
- Schilling, K. and Zhang, Y. (2004). Baseflow Contribution to Nitrate-nitrogen Export from a Large, Agricultural Watershed, USA, *Journal of Hydrology*, 295, pp. 305-316.
- Schilling, K. E. (2002). Chemical Transport from Paired Agricultural and Restored Prairie Watersheds, *Journal of Environmental Quality*, 31, pp. 1184-1193.
- Shin, M. H., Shin, D. S., Lee, J. W., Choi, J. W., Won, C. H., Seo, J. Y., Choi, Y. H., and Choi, J. D. (2010). Runoff Characteristics of Non-point Source Pollutants from Different Forest Types During Rainfall Event, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 26(3), pp. 507-517. [Korean Literature]
- Sloto, R. A. and Crouse, M. Y. (1996). *HYSEP: A Computer Program for Streamflow Hydrograph Separation and Analysis*, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4040, United States Geological Survey, Reston, Virginia, pp. 1-54.
- Tesoriero, A. J., Duff, J. H., Wolock, D. M., and Spahr, N. E. (2009). Identifying Pathways and Processes Affecting Nitrate and Orthophosphate Inputs to Streams in Agricultural Watersheds, *Journal of Environmental Quality*, 38, pp. 1892-1900.
- Toor, G. S., Harmel, R. D., Haggard, B. E., and Schmidt, G. S. (2008). Evaluation of Regression Methodology with Low-frequency Water Quality Sampling to Estimate Constituent Loads for Ephemeral Watersheds in Texas, *Journal of Environmental Quality*, 37, pp. 1847-1854.