



## Estimation of Han River runoff using Cheugugi data

Moon, Jang Won<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Senior Researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi, Korea

Paper number: 19-087

Received: 8 November 2019; Revised: 3 December 2019; Accepted: 3 December 2019

### Abstract

In Korea, there are long-term rainfall observation data using Cheugugi, but it is relatively insufficient to use the data for water resources planning and management. In this study, river runoff is estimated based on the measurement data using Cheugugi so that it can be used as a scenario for the water resources planning process. After deriving the relationship between rainfall and runoff, the results are applied to the observations of Cheugugi to estimate the Han River runoff. An analysis of the estimated river runoff is made to confirm that there is a very severe drought for three consecutive years from 1900 to 1902. Especially, it is analyzed that there is a very small runoff in 1901, which is 8.6% compared to the average of estimated runoff. Consequently, it is judged that the results of this study can be useful as a scenario for water resources planning or drought response planning.

**Keywords:** Runoff estimation, Cheugugi data, Runoff, Drought

## 측우기 자료를 이용한 한강 유출량 추정

문장원<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>한국건설기술연구원 국토보전연구본부 수석연구원

### 요지

우리나라에는 측우기에 의한 강수량 관측 자료가 장기간 존재하고 있으나 이를 수자원 계획 수립 등에 활용하는 것은 상대적으로 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 측우기 자료를 수자원 계획 수립 과정 등에 하나의 시나리오로 활용할 수 있도록 측우기 자료를 기반으로 한강유역의 하천유출량을 추정하기 위한 연구를 수행하였다. 강수량-유출량 관계를 도출하여 제시한 후 그 결과를 측우기 관측 강수량 자료에 적용하여 하천유출량 자료를 추정하였다. 추정된 하천유출량에 대한 분석을 통해 1900~1902년까지 3년 연속으로 매우 심각한 가뭄이 발생하였음을 확인할 수 있었으며, 1901년의 경우 평균 대비 8.6%의 매우 적은 유출이 발생한 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 향후 수자원 계획이나 가뭄 대응 계획 수립 과정에서 고려할 수 있는 시나리오로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 유출량 추정, 측우기 자료, 하천유출량, 가뭄

## 1. 서론

홍수나 가뭄 등 물 관련 재해에 대한 대응능력을 향상하고 효율적인 물 관리를 위한 계획 수립을 위해서는 수문기상학적 특성에 대한 파악이 선행되어야 한다. 이를 위해서는 장기간의 수문기상 자료가 필요하며, 특히 강우로 인해 발생하는 하천유출량에 대한 관측 자료가 필수적이다. 우리나라의 경우

강수량, 유출량 등 수문기상학적 인자에 대한 근대적인 관측은 1900년대 초반부터 시작되었다. 그러나 30년 이상 이용 가능한 관측 자료를 보유하고 있는 지점은 대부분 강수 관측 지점에 해당하며, 상대적으로 하천유출량 자료는 장기간의 연속된 관측 자료 보유 지점이 부족한 상황이다.

수문기상 자료 부족(강수량, 하천유출량 등)의 한계를 극복하기 위한 노력은 국내외에서 활발하게 이루어져 왔다. 특히 미국을 중심으로 장기간 자료의 확보가 용이한 나이트 정보를 이용하여 강수량, 유출량 자료를 근대 관측 이전까지 확대하

\*Corresponding Author. Tel: +82-31-910-0591  
E-mail: jwmoon@kict.re.kr (J. W. Moon)

고자 하는 노력이 지속되어 왔다(Kim *et al.*, 1998; Cook *et al.*, 1999; Hwang *et al.*, 1999; Park and Seo, 2000; Park *et al.*, 2001; Pederson *et al.*, 2001; Gonzalez and Valdes, 2003; Meko and Woodhouse, 2005; Davi *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2007; Fan *et al.*, 2008; Davi *et al.*, 2009; Maxwell *et al.*, 2011; Kwak *et al.*, 2015; Sauchyn and Ilich, 2017; Stagge *et al.*, 2018). 이러한 연구들은 나이트 정보와 수문기상 관측 자료와의 관계를 분석하고 신경망 등의 기법을 이용하여 근대 관측 이전 기간에 대한 자료를 복원하고 복원된 자료의 특성을 분석한 연구에 해당한다. 그러나 우리나라에는 조선시대 측우기에 의한 강수량 관측 자료가 존재하며, 이를 활용함으로써 보다 직관적으로 근대 관측 이전의 특성 파악이 가능하다. 특히 서울에서 관측된 측우기 자료는 1770년 6월부터 1907년 8월까지 거의 대부분 남아 있으며(Cho *et al.*, 2015), Jhun and Moon (1997)은 고문헌 검토를 통해 측우기 관측 자료를 복원하고 복원된 결과에 대한 검토를 통해 강수 특성 분석에 직접 사용할 수 있는 자료임을 밝힌 바 있다. 측우기 자료를 이용하여 수행된 관련 연구를 살펴보면, 서울 지점의 가뭄 특성을 평가하기 위한 연구(Yoo, 2000; Yeon *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2018)와 홍수 관련 연구(Kim *et al.*, 2007a; Kim *et al.*, 2007b; Yoo *et al.*, 2007; Park

*et al.*, 2010)가 주로 이루어져 왔으며, 서울 지점의 강우 특성 관련 연구(Yoo *et al.*, 2000; Hwang *et al.*, 2009a; Hwang *et al.*, 2009b; Hwang *et al.*, 2010)가 수행된 바 있다. 그러나 측우기 자료를 이용하여 하천유출량을 추정하는 등의 연구는 전무한 상황으로 만약 측우기 자료를 이용하여 하천유출량을 추정할 수 있다면 수자원 계획 수립이나 댐의 기능 평가 과정에서 유용한 시나리오로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 Jhun and Moon (1997)에 의해 복원된 측우기 관측 강수량 자료를 이용하여 한강유역의 하천유출량을 추정하여 제시하기 위한 연구를 수행하였다. 측우기에 의한 관측 자료가 서울 지역에 대한 관측 자료임을 고려하여 서울 지점 근대 강수량 관측 자료와 한강하류 하천유출량 관측 자료와의 관계를 도출하고자 하였다. 도출된 결과를 측우기 관측 자료에 적용함으로써 조선시대 하천유출량을 추정하고 그 결과를 검토하여 제시하였다.

## 2. 분석 방법 및 이용 자료

본 연구에서는 측우기 관측 강수량 자료를 이용하여 동일 기간 하천유출량을 추정하기 위한 연구를 수행하였다. 하천



Fig. 1. Location map of rainfall and runoff observation station

유출량 추정을 위해 먼저 근대 관측 기간의 서울 지점 강수량 자료와 한강 하류 고안 관측소의 하천유출량 관측 자료와의 관계를 검토하였다. Fig. 1은 강수 관측 지점과 유량 관측 지점의 위치를 나타낸 것으로 모두 한강 하류부에 위치하고 있음을 알 수 있다. 고안 지점은 팔당댐 하류 부에 위치하고 있으며, 1970년대 소양강댐, 1980년대 충주댐 건설로 인해 하천유출량에 영향을 받는 지점이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 소양강댐, 충주댐 등 유역의 상류에 수공구조물이 건설되기 이전에 대해 관측유량 자료 활용이 가능한 고안 지점을 대상으로 선정하였다.

서울 지점 강수량과 하천유출량과의 관계 검토를 통해 강수량-하천유출량 관계식을 도출하였으며, 도출된 관계식에 측우기 관측 자료를 적용하여 하천유출량을 추정하는 방법을 고려했다. 최근 MLTM (2011)에서는 우리나라의 근대 수문조사 자료를 집대성하여 제시한 바 있으며, 본 연구에서는 이 연구를 통해 1917~1967년의 고안 지점 관측유량 자료를 수집하여 활용하였다. 수집된 자료 중 1917~1940년의 자료를 이용하여 강수량-하천유출량 관계 도출에 이용하였으며, 1941~1967년 자료는 도출된 관계식의 검증 과정에 활용하였

다. 본 연구에서 고려한 기간은 소양강댐, 충주댐 등 한강유역의 대규모 수공구조물이 건설되기 이전에 해당하며, 인위적인 유량 조절 등의 영향이 포함되어 있을 가능성이 매우 낮을 것으로 판단하였다. 다만, 본 연구에서는 고안 관측소 유역의 토지이용 등 유역 특성이 조선시대와 동일하다는 가정을 전제로 하고 있다는 한계가 있다.

세부적으로 살펴보면, 먼저 측우기 강수량 관측 자료는 1777~1907년의 자료를 이용하였으며, 연도별 연강수량 자료가 아닌 4~9월까지의 강수량을 합산한 결과를 연도별 대푯값으로 이용하였다. 측우기에 의한 관측 자료는 동절기 자료의 정확성이 상대적으로 낮을 수 있다는 한계가 있으며, 이에 본 연구에서는 강설이나 동결 등의 영향이 거의 없을 것으로 판단되는 4~9월까지의 기간에 대해 관측된 강수량 자료를 이용하여 연구를 수행하였다. Fig. 2는 4~9월까지의 강수량 자료를 합산한 후 연도별로 도시하여 나타낸 것이며, 서울 지점의 근대 관측 자료(1908~2017년)도 함께 도시하여 나타낸 것이다. Fig. 3은 고안 지점 관측유량(1917~1967년)을 도시하여 나타낸 것이다.

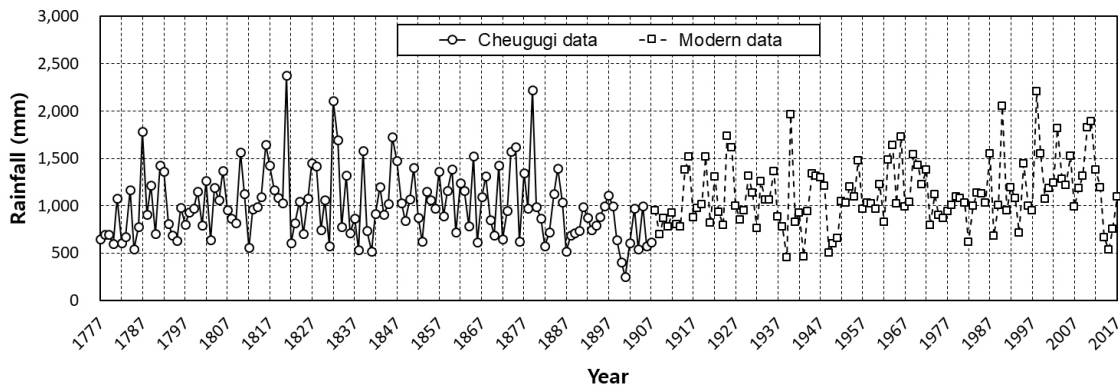


Fig. 2. Annual rainfall of Seoul station

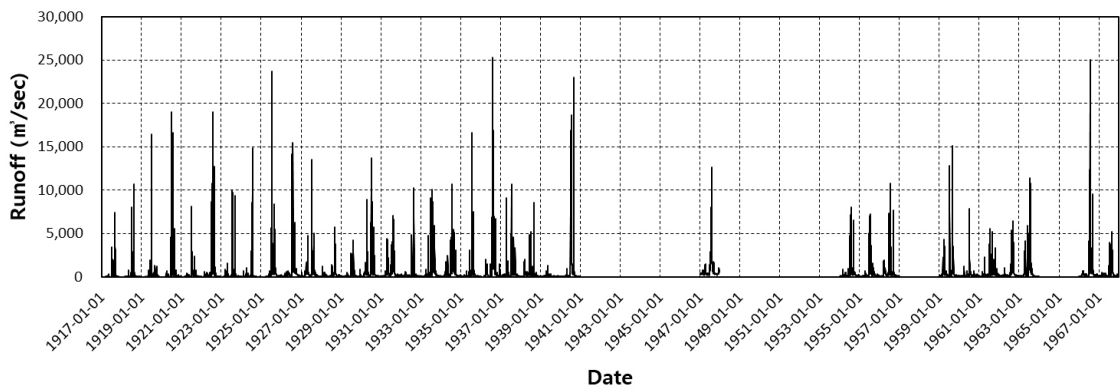


Fig. 3. Hydrograph of Goan station in Han River basin

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 강수량과 유출량 관계 분석

측우기 관측 강수량 자료를 기반으로 하천유출량을 복원하기 위해 먼저 서울 지점의 근대 관측 강수량 자료와 고안 지점 관측유량 자료와의 관계를 검토하였다. 이를 위해 고안 지점 유역면적을 고려하여 관측유량 자료(m<sup>3</sup>/sec)를 유출고(mm)로 변환하여 이용하였으며, 1917~1940년의 연도별 고안 지점 4-9월 유출고 합계와 동일 기간 서울 지점 4-9월 강수량 합계를 비교하였다. Table 1은 서울 지점 강수량과 고안 지점 유출고를 정리하여 나타낸 것이며, Fig. 4는 두 가지 인자를 도시하여 나타낸 것이다.

서울 지점 강수량과 고안 지점 유출고를 비교한 결과, Eq. (1)과 같은 관계를 도출할 수 있었으며, 서울 지점 강수량 자료를 통해 고안 지점 유출고의 약 76%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

$$y = 0.0032 \times x^{1.714} \quad (1)$$

여기서,  $x$ 는 서울 지점의 강수량이며,  $y$ 는 고안 지점의 유출고를 의미한다. Eq. (1)에 대한 검증은 위해 1941년부터 1967년까지의 기간에 대해 서울 지점 4-9월 강수량 합계를 이용하여 고안 지점 유출고를 추정하였으며, 그 결과를 관측 값이 존재하는 연도의 결과와 비교하였다. Fig. 5는 Eq. (1)을 이용하여 추정된 값과 관측 값을 함께 도시하여 나타낸 것으로 관측 값과 추정 값의 결정계수는 약 0.69로 나타났으며, 이러한 결과를 통해 측우기 강수량 자료를 이용하여 하천유출량을 복원하는데 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단하였다.

#### 3.2 하천유출량 추정 및 분석

서울 지점 강수량 자료와 고안 지점 유출고를 이용하여 유도된 Eq. (1)을 측우기 강수량 관측 자료에 적용하여 조선시대

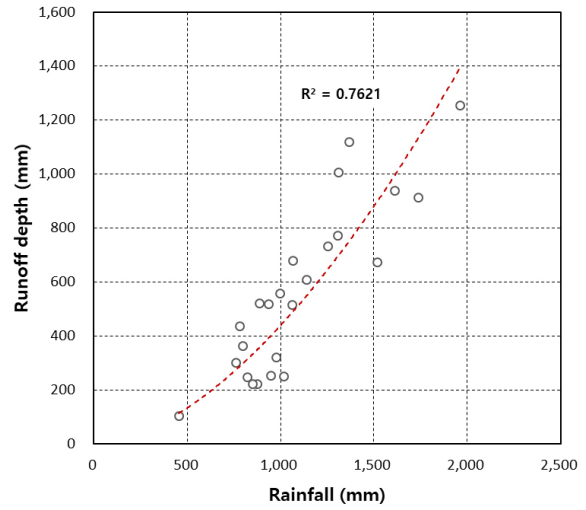


Fig. 4. Relationship with rainfall and runoff depth

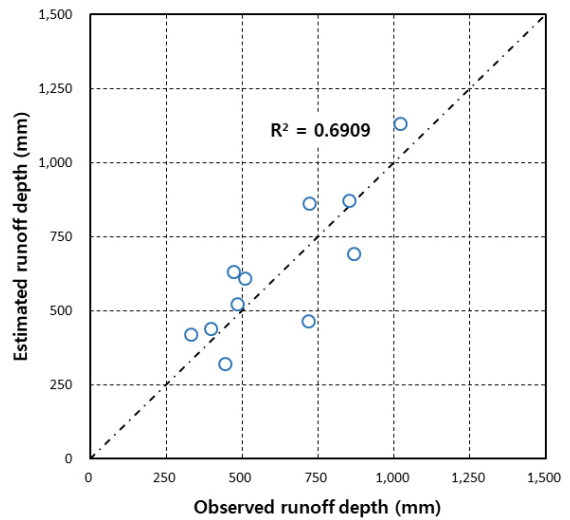


Fig. 5. Comparison of the observed and estimated runoff depths at the Goan station

Table 1. Rainfall data of Seoul station and runoff depth of Goan station

| Year | Rainfall (mm) | Runoff depth (mm) | Year | Rainfall (mm) | Runoff depth (mm) | Year | Rainfall (mm) | Runoff depth (mm) |
|------|---------------|-------------------|------|---------------|-------------------|------|---------------|-------------------|
| 1917 | 874.1         | 223.6             | 1925 | 1,735.3       | 913.0             | 1933 | 1,253.6       | 735.1             |
| 1918 | 976.7         | 322.7             | 1926 | 1,611.9       | 939.1             | 1934 | 1,063.1       | 679.3             |
| 1919 | 1,015.5       | 250.4             | 1927 | 995.1         | 558.3             | 1935 | 1,059.8       | 515.8             |
| 1920 | 1,516.0       | 675.3             | 1928 | 850.4         | 224.4             | 1936 | 1,365.1       | 1,119.2           |
| 1921 | 819.2         | 248.3             | 1929 | 948.0         | 254.9             | 1937 | 886.4         | 523.5             |
| 1922 | 1,303.9       | 772.7             | 1930 | 1,310.6       | 1,007.8           | 1938 | 779.6         | 437.1             |
| 1923 | 935.5         | 518.4             | 1931 | 1,139.4       | 609.2             | 1939 | 455.5         | 104.7             |
| 1924 | 798.2         | 364.9             | 1932 | 759.4         | 302.7             | 1940 | 1,960.8       | 1,254.2           |

의 고안 지점 유출고를 복원하였다. Fig. 6은 복원된 연도별 유출고를 도시하여 나타낸 것으로 평균과 10년 이동평균 결과도 함께 도시하였다. Fig. 6의 결과를 살펴보면, 전체적으로 하천유출이 증가하다가 1800년대 후반부터 감소하는 것으로 나타나고 있으며, 1900년을 전후로 매우 적은 하천유출 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 점은 해당 기간 심각한 가뭄이 발생하였으며, 이로 인해 이용할 수 있는 수자원이 크게 감소하여 가뭄으로 인한 피해가 크게 발생하였을 것으로

짐작해볼 수 있다. 연도별 하천유출의 크기를 확인하기 위해 하천유출 크기순으로 정리한 후 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7은 1777~1907년의 기간에 대해 내림차순으로 정리하여 나타낸 후 유출이 적었던 하위 20개 연도를 추가로 나타낸 것이다. 추정된 고안 지점의 유출고를 살펴보면, 추정 자료의 평균은 480.1 mm로 나타났으며, 가장 많은 유출이 발생한 연도는 1821년으로 1,956.1 mm, 가장 적은 유출이 발생한 연도는 1901년 41.3 mm로 나타났다.

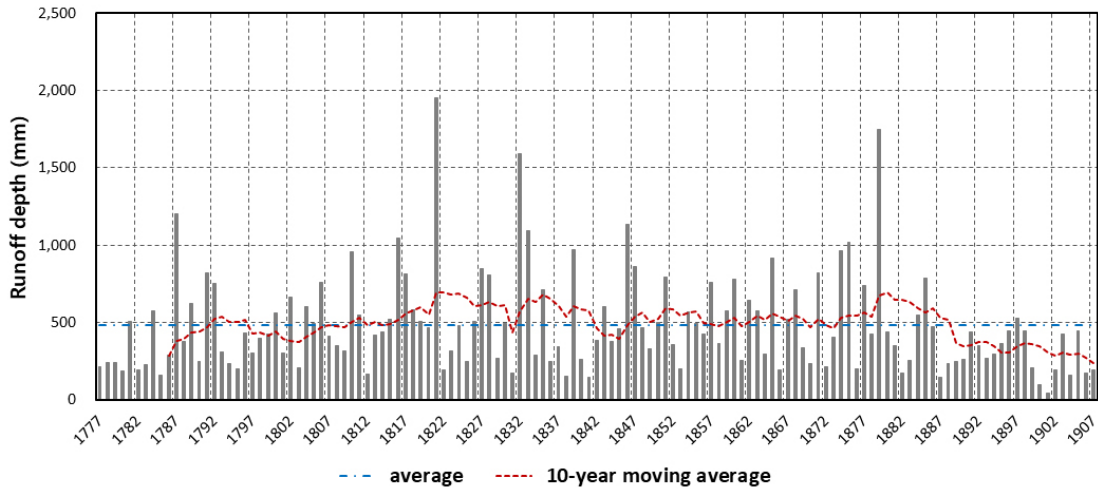


Fig. 6. Estimated runoff depths at the Goan station

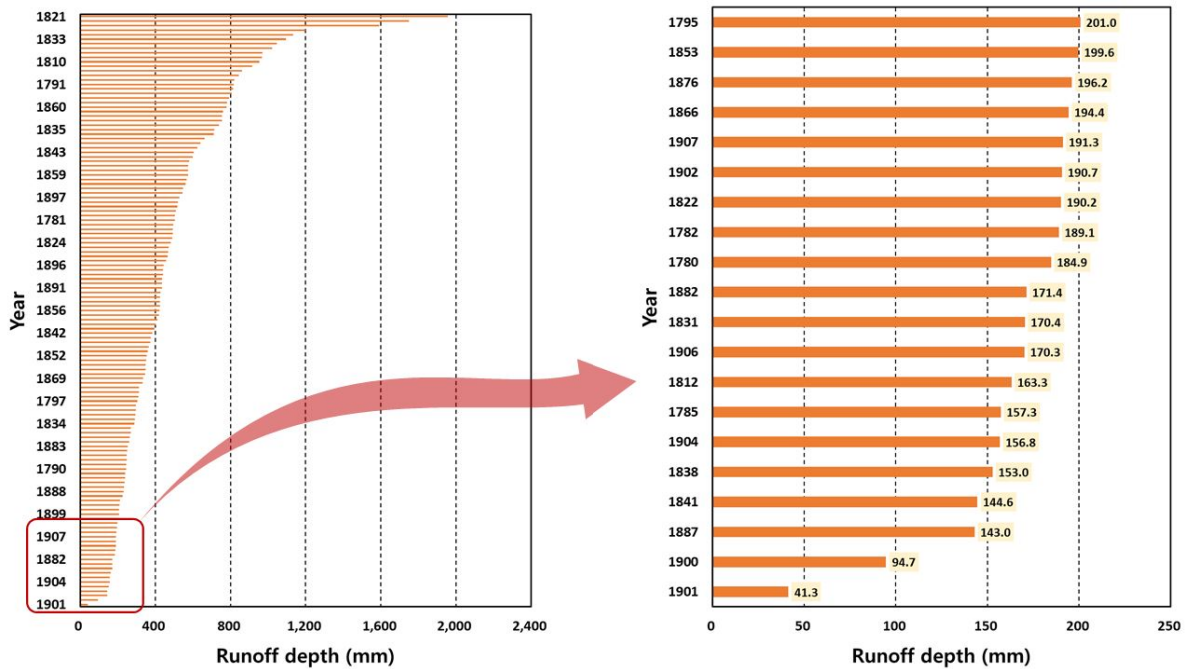


Fig. 7. Runoff depths at the Goan station in a descending order

유출이 적었던 하위 20개 연도를 도시한 Fig. 7의 결과를 살펴보면, 1900년대에 포함되는 연도가 6개 연도로 나타나고 있다. 특히 1900~1902년에는 3년 연속으로 매우 적은 유출이 발생했던 것으로 보이며, 1906~1907년에도 2년 연속으로 하천유출 감소로 인한 가뭄이 심각했던 것으로 판단할 수 있다. 가장 가뭄이 심했던 것으로 나타난 1900~1902년 가뭄을 살펴보면, 1901년의 경우 평균 대비 8.6%, 1900년은 평균 대비 19.7%, 1902년은 평균 대비 39.7%로 나타나 가뭄으로 인한 하천유량 부족이 매우 심각했음을 짐작해볼 수 있다.

추정된 하천유량을 바탕으로 1900년대 가뭄의 크기를 개략적으로 파악하기 위해 2016년 수립된 수자원장기종합계획의 자연유출량 산정 자료(1967~2015년)와 비교하였다. 수자원장기종합계획의 자연유출량은 강수량 자료와 탱크모형을 이용하여 산정된 결과이며, 수자원단위지도 중권역별로 산정된 결과를 이용하여 한강하류에 대한 유출고로 환산하여 이용하였다. 먼저 수자원장기종합계획의 자연유출량 자료를 이용하여 한강수계 4~9월의 유출고를 분석한 결과, 평균은 611.1 mm, 최대 유출량은 2011년으로 1,225.1 mm, 가장 적었던 연도는 2015년 204.2 mm인 것으로 나타났다. 유출이 가장 적었던 2015년은 평균(1967~2015년) 대비 33.4%로 나타났으며, 2년 연속 가뭄을 검토한 결과, 2014~2015년의 유출이 가장 적었던 것으로 나타났다. 2014~2015년 가뭄은 2014년에도 평균(1967~2015년) 대비 41.0%의 유출을 나타냈던 것으로 분석되었으며, 2년 연속으로 평균(1967~2015년) 대비 50% 미만의 유출이 발생하여 한강수계에서 1967년 이후 가장 심각한 가뭄이었던 것으로 나타났다. 이를 추정된 유출량과 비교하면, 추정된 고안 지점 유출량에서는 1900~1902년의 기간 동안 3년 연속으로 추정 유출량 평균 대비 40% 미만의 유출을 나타내고 있었으며, 이러한 가뭄 상황은 수자원장기종합계획에서 고려하고 있는 과거 최대 가뭄상황보다 심각했던 것으로 보인다. 따라서 향후 국가 수자원계획 수립이나 댐의 이수안전도 평가 등의 과정에서 3년 연속으로 평균 대비 40% 미만의 유출 상황을 시나리오로 설정한 후 평가를 수행함으로써 극한 가뭄으로 인해 예상되는 유출 상황에 대한 검토가 가능할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

수자원 계획을 수립하거나 홍수, 가뭄 등 물 관련 재해에 대한 대응 능력을 확보하기 위해서는 먼저 유역 또는 지역의 수문기상학적 특성을 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 장기간의 수문기상 자료 확보가 필수적이거나 우리나라의 경우

이용할 수 있는 장기간의 하천유량 자료는 강수량에 비해 부족한 것이 현실이다. 부족한 하천유량 자료를 보완하기 위해 상대적으로 관측 자료가 많은 강수량 등 기상자료와 장기유출 모형을 이용하여 하천유출량을 모의하고 그 결과를 수자원 계획 수립 등에 활용하고 있다. 이에 본 연구에서는 수자원 계획 수립 등에 활용할 수 있는 장기간의 하천유량 자료를 생성하기 위한 방안으로 측우기 관측 강수량 자료를 이용하는 방법을 검토하였다. 이를 위해 먼저 서울 지점 근대 관측 강수량 자료와 한강하류 고안 지점의 하천유출량 관측 자료를 비교하여 강수량-유출량 관계식을 도출하였으며, 이를 측우기 관측 강수량 자료에 적용하여 1700년대 후반부터 1900년대 초반까지의 하천유출량을 추정하여 제시하였다.

추정된 하천유출량을 검토한 결과, 평균은 480.1 mm, 가장 많은 유출이 발생했던 연도는 1821년이고 가장 적은 유출이 발생했던 연도는 1901년인 것으로 나타났다. 특히 1900년을 중심으로 심각한 하천유량 부족으로 인한 가뭄이 발생했던 것을 확인할 수 있었으며, 가장 유출이 적었던 1901년의 경우 추정 유출량 평균 대비 8.6%로 가뭄이 매우 심각했음을 확인할 수 있었다. 1901년을 포함하여 1900~1902년까지 3년 연속으로 심각한 하천유량 부족 상황이 발생했으며, 추정 유출량 평균 대비 40% 미만의 유출을 3년 연속으로 나타내고 있었다. 이를 현재 우리나라 수자원 계획에서 고려하고 있는 가뭄 수준과 비교한 결과, 현재 계획 수립 과정에서 고려하고 있는 최대 가뭄상황보다 심각한 상황이 1900년대 초반에 발생하였음을 확인하였다.

따라서 본 연구를 통해 추정된 유출량 자료는 기후변화 시나리오와 함께 유역의 이수안전도 평가, 댐의 공급능력 평가 등의 과정에서 극한 가뭄에 대한 시나리오 설정 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 장기간의 하천유량 자료를 이용하여 극한 가뭄에 대한 대응 능력 향상 및 수자원 관련 정책 수립 과정에서 유용한 정보 제공이 가능할 것이다. 다만, 본 연구에서는 근대 관측 강수량 자료와 측우기 관측 자료가 동일 특성을 가지며, 고안 관측소 상류 유역의 토지이용 등 유역특성이 조선시대와 1900년대에도 동일하다는 가정을 전제로 하고 있다는 한계가 있다. 보다 신뢰성 있는 하천유출량 추정을 위해서는 이러한 가정 사항에 대한 보완이 필요하며, 지속적인 추가 연구 수행이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 “가뭄대응 중소 하천물 부족 위험도 평가 및 물 확보 기술 개발” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Cho, H., Kim, S.W., Chun, Y., Park, H.Y., and Kang, W.J. (2015). "A historical review on the introduction of Chugugi and the rainfall observation network during the Joseon dynasty." *Atmosphere*, KMS, Vol. 25, No. 4, pp. 719-734.
- Cook, E.R., Meko, D.M., Stahle, D., and Cleveland, M.K. (1999). "Drought reconstructions for the continental United States." *Journal of Climate*, AMS, Vol. 12, pp. 1145-1162.
- Davi, N.K., Jacoby, G.C., Curtis, A.E., and Baatarbileg, N. (2006). "Extension of drought records for central asia using tree rings: west-central Mongolia." *Journal of Climate*, AMS, Vol. 19, pp. 288-299.
- Davi, N.K., Jacoby, G.C., D'Arrigo, R.D., Baatarbileg, N., Jinbao, L., and Curtis, A.E. (2009). "A tree-ring-based drought index reconstruction for far-western Mongolia: 1565-2004." *International Journal of Climatology*, Wiley, Vol. 29, No. 10, pp. 1508-1514.
- Fan, Z.X., Brauning, A., and Cao, K.F. (2008). "Tree-ring based drought reconstruction in the central Hengduan Mountains region (China) since A.D. 1655." *International Journal of Climatology*, Wiley, Vol. 28, No. 14, pp. 1879-1887.
- Gonzalez, J., and Valdes, J.B. (2003). "Bivariate drought recurrence analysis using tree ring reconstructions." *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 8, No. 5, pp. 247-258.
- Hwang, S.H., Kim, H.S., Wone, S.Y., and Kim, J.H. (1999). "Drought monitoring using tree-ring reconstructed flows." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 19, No. II-5, pp. 557-564.
- Hwang, S.H., Kim, J.H., Yoo, C., and Jung, S.W. (2010). "A probabilistic estimation of changing points of Seoul rainfall using BH bayesian analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 43, No. 7, pp. 645-655.
- Hwang, S.H., Kim, J.H., Yoo, C., Jung, S.W., and Joo, J.G. (2009a). "A study on the change of occurrence characteristics of daily Seoul rainfall using markov chain." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 42, No. 9, pp. 747-758.
- Hwang, S.H., Kim, J.H., Yoo, C., Jung, S.W., and Yoo, D. (2009b). "A statistical homogeneity analysis of Seoul rainfall using bootstrap." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 42, No. 10, pp. 795-807.
- Jhun, J.G., and Moon, B.K. (1997). "Restorations and analyses of rainfall amount observed by chukwookee." *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Springer, Vol. 33, No. 4, pp. 691-707.
- Kim, D., Yoo, C., and Kim, H.J. (2007a). "Evaluation of major storm events both measured by chukwooki and recorded in annals of chosun dynasty: 2. quantitative approach." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 40, No. 7, pp. 545-554.
- Kim, H.S., Hwang, S.H., and Kim, J.H. (1998). "Reconstruction of river flows using tree-ring series and neural network." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 18, No. II-6, pp. 583-589.
- Kim, J.E., Yu, J.S., Lee, J.H., and Kim, T.W. (2018). "Drought risk analysis in Seoul using cheugugi and climate change scenario based rainfall data." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 38, No. 3, pp. 387-393.
- Kim, K., Yoo, C., Park, M., and Kim, H.J. (2007b). "Evaluation for usefulness of chukwookee data in rainfall frequency analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 40, No. 11, pp. 851-859.
- Kwak, J.W., Han, H., Lee, M., Kim, H.S., and Mun, J. (2015). "Annual precipitation reconstruction based on tree-ring data at seorak." *Journal of Korean Society on Water Environment*, KSWE, Vol. 31, No. 1, pp. 19-28.
- Li, J., Chen, F., Cook, E. R., Gou, X., and Zhang, Y. (2007). "Drought reconstruction for north central China from tree rings: the value of the palmer drought severity index." *International Journal of Climatology*, Wiley, Vol. 27, No. 7, pp. 903-909.
- Maxwell, R.S., Hessel, A.E., Cook, E.R., and Pederson, N. (2011). "A multispecies tree ring reconstruction of potomac river streamflow (950-2001)." *Water Resources Research*, Wiley, Vol. 47, No. 5, pp. 1-12.
- Meko, D.M., and Woodhouse, C.A. (2005). "Tree-ring footprint of joint hydrologic drought in sacramento and upper colorado river basins, western USA." *Journal of Hydrology*, Elsevier, Vol. 308, No. 1-4, pp. 196-213.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) (2011). *History and future of Korean hydrological survey*.
- Park, M., Yoo, C., and Kim, H.J. (2010). "Comparison of chukwooki and modern data using annual maximum rainfall event series." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 30, No. 2B, pp. 137-147.
- Park, W.K., and Seo, J.W. (2000). "Reconstruction of May~June precipitation (253 years: A.D. 1746~1998) in east-coastal region (Yungdong) of Korea from tree rings of pinus densiflora S. et Z." *The Korean Journal of Quaternary Research*, KISTI, Vol. 14, No. 2, pp. 87-99.
- Park, W.K., Seo, J.W., Liu, Y., Kim, Y.J., and Han, S.W. (2001). "Reconstruction of April-August precipitation in Mt. sorak region from tree rings." *The Korean Journal of Quaternary Research*, KISTI, Vol. 15, No. 1, pp. 47-52.
- Pederson, N., Jacoby, G.C., D'Arrigo, R.D., Cook, E.R., Buckley, B.M., Dugarjav, C., and Mijiddorj, R. (2001). "Hydrometeorological reconstructions for northeastern Mongolia derived from tree rings: 1651-1995." *Journal of Climate*, AMS, Vol. 14, pp. 872-881.
- Sauchyn, D., and Ilich, N. (2017). "Nine hundred years of weekly streamflows: stochastic downscaling of ensemble tree-ring reconstructions." *Water Resources Research*, Wiley, Vol. 53, No. 11, pp. 9266-9283.
- Stagge, J.H., Rosenberg, D.E., DeRose, R.J., and Rittenour, T.M. (2018). "Monthly paleostreamflow reconstruction from annual tree-ring chronologies." *Journal of Hydrology*, Elsevier, Vol. 557, pp. 791-804.

- Yeon, J.M., Byun, S.H., Lee, J.K., and Kim, T.W. (2007). "Evaluation of droughts in Seoul using two-dimensional drought frequency analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 40, No. 4, pp. 335-343.
- Yoo, C., Kim, D., and Kim, H.J. (2007). "Evaluation of major storm events both measured by chukwooki and recorded in annals of chosun dynasty: 1. qualitative approach." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 40, No. 7, pp. 533-543.
- Yoo, C. (2000). "An investigation of the recurrence possibility of long dry periods shown in the annual rainfall data at Seoul." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 33, No. 5, pp. 519-526.
- Yoo, C., Kim, P.Y., and Noh, J.K. (2000). "A study on the recurrence characteristics of wet and dry years appeared in Seoul annual rainfall data." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 33, No. 3, pp. 307-314.