



Quantitative characterization of historical drought events in Korea – focusing on outlier analysis of precipitation –

Jang, Ho-Won^a · Cho, Hyeong-Won^a · Kim, Tae-Woong^b · Lee, Joo-Heon^{a*}

^aDept. of Civil Engineering, Joongbu University, Goyang 10279, Korea

^bDept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

Paper number: 15-073

Received: 8 September 2015; Revised: 15 December 2015 / 28 December 2015; Accepted: 28 December 2015

Abstract

Using monthly rainfalls, this study investigated outliers of annual and/or seasonal rainfall for quantitative assessment of historical droughts in Korea. Based on the analysis of annual rainfall, Icheon, Geochang, Jeongeup, Suncheon and Jangheung gaging stations were selected to represent the major river basins, because they had most frequent dry years. The overall results indicated that the years of 1988 and 1994 were the worst dry years. Although the 2001 drought was not severe, it resulted in typical agricultural drought damage mainly in Seomjin and Yeongsan river basin due to the lack of agricultural water. On the other hand, the droughts of 1981-1982 and 1994-1995 were long term nation wide droughts that lasted more than two years resulting in extensive drought damages to parts of the country.

Keywords: historical droughts, precipitation, outlier analysis, dry year

우리나라 과거 가뭄사상의 정량적 특성 분석 – 강수량의 이상치 분석을 중심으로 –

장호원^a · 조형원^a · 김태웅^b · 이주현^{a*}

^a중부대학교 대학원 토목공학과, ^b한양대학교 공학대학 건설환경플랜트공학과

요 지

본 연구에서는 우리나라에서 발생했던 과거 가뭄사상을 정량적으로 평가하기 위해 우리나라의 59개 기상관측소의 월강수량 자료를 이용하여 연강수량 및 계절별(봄철) 강수량에 대한 이상치(-1 σ)를 분석하였다. 연강수량을 통해 이상치 발생 빈도를 구하여 그 중 가장 유역별로 파우헤(-1 σ) 발생빈도가 높은 이천, 거창, 정읍, 순천, 장흥 관측소를 선정하여 이상치를 분석한 결과 1988, 1994년이 동일하게 심한 파우헤로 나타났다. 전체 이상치 기간 분석결과와 봄철 이상치 분석결과를 통해 2001년 가뭄은 심한 파우헤로 분류되지는 않았지만 주로 삼진강 및 영산강 유역을 중심으로 심한 봄 가뭄이 발생하였으며, 농업용수 부족으로 인한 농작물 피해를 발생시킨 대표적인 농업적 가뭄연도로 분석되었다. 반면에 1981-1982년 및 1994-1995년과 같이 2년 이상 지속된 전국적 장기가뭄은 국가적으로 큰 가뭄피해를 야기하였다.

핵심용어: 강수량, 과거 가뭄사상, 파우헤, 이상치 분석

1. 서 론

강우로 인하여 발생하는 대표적인 자연재해로는 홍수와 가뭄이 있다. 강우가 너무 많으면 홍수라는 재해로 나타나게 되며, 너무 적게 되면 가뭄으로 나타난다. 우리나라에서 발생

하는 두 가지 자연재해의 발생빈도만을 보게 되면 홍수가 훨씬 많지만, 사회·경제 전 분야에 미치는 파급효과와 재해의 지속기간 및 피해규모를 종합적으로 보게 되면 가뭄이 홍수보다 더 심각한 자연재해임을 알 수 있다. 특히, 2015년에 경기도 및 강원도에서 발생한 봄가뭄은 2014년 여름부터 시작된 마른장마에서 기인하고 있다. 2015년 봄철까지 이어진 강수부족으로 경기북부 및 강원지역의 하천이 바닥을 드러내고 있

*Corresponding Author.

E-mail: leejh@joongbu.ac.kr (J.-H. Lee)

고, 중·소규모 저수지도 심각한 수준의 저수율을 기록하고 있다. 과거에 발생했던 가뭄사상들은 지속기간, 심도 또는 피해 규모 등을 바탕으로 정량적으로 분석되고 있지만, 정량화하는 방법과 분석기법에 따라서 많은 차이를 보이고 있다. 예를 들어, Lee *et al.* (2006)은 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 정량적으로 표현하였다. 또한 Hwang (2015)은 가뭄취약성을 분석하였으며, Oh *et al.* (2011)은 통계학적 빈도해석을 통해 가뭄을 정량적으로 분석하였다.

가뭄과 관련된 연구동향은 크게 3가지로 구분할 수 있다: (1) 가뭄을 정량적으로 모니터링하기 위한 가뭄지수를 개발하고, 가뭄지수의 정확도 및 적용성을 평가하는 연구(Peters *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2011; Hao and Aghakouchak, 2013), (2) 통계학적 빈도분석이나 기후변화 예측모형 등을 이용하여 가뭄의 위험도를 평가하는 연구 (Islam *et al.*, 2005; Yoo *et al.*, 2010; Oh *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2014; Hwang, 2015), (3) 시계열 분석을 바탕으로 가뭄을 예측하거나 전망하는 연구(Belayneh and Adamowski, 2012; Lee *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2013; So *et al.*, 2015) 등이 있다. 이러한 연구결과들은 가뭄에 의한 피해를 줄이기 위한 가뭄 예방 및 적응대책을 수립하는데 크게 활용되고 있다.

이처럼 가뭄과 관련된 다양한 연구들이 진행되고 있으며, 우리나라의 경우 다양한 가뭄사상을 대상으로 가뭄에 대한 연구가 진행되고 있다. 그럼에도 불구하고 과거의 가뭄사상이 얼마나 심했는지 또한 몇 년도의 가뭄이 가장 심했는지, 그 해에 어느 지역이 가장 심했는지 등 가뭄을 정량적으로 분석한 연구는 매우 부족한 실정이다. 더욱이 우리나라 모든 이수계획의 기준이 되고 있는 특정 가뭄연도가 과연 올바르게 적용되는지, 공간적으로도 이상이 없는지에 대한 고민이 필요한 시점이다. 이에 본 연구에서는 우리나라의 과거 가뭄사상을 정량적으로 분석하고, 가뭄 연구 및 평가에 있어서 비교 분석의 기준이 될 수 있는 우리나라의 가뭄사상 및 가뭄연도를

제시하고자 한다.

2. 이수안전도 기준과 가뭄연도

가뭄을 정량적으로 평가한다는 것은 이수계획의 수립 및 댐과 같은 수공구조물의 합리적인 설계를 위해 가장 중요한 선행절차이다. 특히, 부족한 용수를 확보하기 위해서 저수지와 댐을 건설하는 경우에 이수계획 수립의 기준이 되는 이수안전도를 결정해야 하고 이 때 과거의 가뭄연도가 기준이 되고 있다. 따라서 과거에 발생했던 가뭄의 시·공간적 분포와 가뭄 심도 및 규모를 정량적으로 분석하는 것은 이수계획 수립에 효과적으로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 지방자치단체의 가뭄대책 수립에도 가뭄의 지역적 발생 특성과 같은 다양한 가뭄정보를 제공할 수 있기 때문에 그 의미가 크다고 할 수 있다.

2.1 다목적 댐의 이수안전도 기준과 가뭄연도

이수안전도란 수자원 공급시설이 그 시설로부터 기대되는 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안전성 정도를 표시하는 지표로 정의될 수 있다. 따라서 댐의 이수안전도는 수자원 수수량, 저수량, 가뭄에 의한 유입량에 의해서 영향을 받는다(Yi and Song, 2000). 우리나라에서 댐건설에 적용된 이수안전도는 Table 1과 같이 최대 가뭄기간(연도)에도 공급을 보장하는 보장공급량(firm yield) 방식 또는 다년간의 저수지 모의 조작을 통한 일정기간 물 부족을 허용하는 신뢰도(reliability) 방식이 적용되어 왔다.

Table 1에 제시된 우리나라 주요 다목적 댐의 이수안전도 평가사례를 살펴보면, 안동댐과 용담댐의 경우, 이수안전도의 평가기준을 최대가뭄연도로 설정하였다. 안동댐의 이수안전도 평가를 보면 1967~1968년의 가뭄 시 하천유출량을 이수안전도 평가기준으로 하고 있으며, 용담댐의 경우도 1967~1968년의 가뭄 시 하천흐름 또는 1982~1983년 가뭄

Table 1. Water supply safety of multi-purpose dams

Reservoir	Design completion	Data period for analysis	Design criteria		Water supply safety
			Firm yield	Reliability	
Soyanggang	1973	1915 ~ 1939	○		Firm yield of 36 m ³ /s
Chungju	1986	1966 ~ 1983		○	Reliability 95%
Andong	1977	1947 ~ 1970	○		Streamflow during 1967 ~ 1968 drought
Imha	1993	1963 ~ 1983		○	Reliability 93%
Daechung	1981	1958 ~ 1970		○	Firm yield during 13 years
Yongdam	1999	1963 ~ 1988	○		Streamflow during 1967 ~ 1968 and 1982 ~ 1983 droughts

의 하천유출량을 기준으로 하고 있다. 이처럼 이수안전도 평가기준으로 1960년대에 가뭄을 우리나라의 대표적인 가뭄으로 나타내고 있으나, 이는 댐 건설 기준으로 2000년 이전에 설정된 것으로, 1967~1968년의 가뭄 또는 1982년의 가뭄이 현재까지 발생된 가뭄 중 가장 심한 가뭄이라 할 수 없다. 또한 지역적으로도 그 당시의 가뭄심도와 가뭄 지속기간이 상당한 편차를 갖고 있다.

2.2 수자원장기종합계획에서의 이수안전도와 가뭄연도

수자원장기종합계획에서는 국가 전체의 이수안전도를 평가하기 위해 2001년 계획 이전에는 1967~1968년 갈수년을 기준으로 물 부족량을 산정하였으며, 2001년 이후의 계획에서는 1967부터 최근까지의 기간에 대해 물수지 분석을 수행한 후 최대 물 부족량을 산정하였다. 또한 2011년 계획에서는 권역별 기준 갈수년이 상이하기 때문에 이를 보완하기 위해 권역에 따라 연도별 물 부족량을 산정한 후 최대 물 부족이 발생하는 연도를 기준 갈수년으로 결정하였다.

최근에는 기준 갈수년에 대한 분석이 아닌 가용할 수 있는 최대 자료를 활용하여 이수안전도를 평가하고 있으며, 권역 또는 유역별 기준 갈수년이 상이하다는 것을 전제로 하고 있다 (Choi et al., 2014). 이렇듯 특정연도가 우리나라 전체의 가뭄연도로 지정되는 것은 이수안전도의 기준 차원에서 무리가 있으며 유역별로 다른 최대 가뭄연도의 분석이 필요한 상황이다.

2.3 가뭄과 물 부족

대부분 가뭄의 근원은 강수량이 예년 평균에 비해 많이 부족해서 발생하는 기상학적 가뭄에서 시작한다는 것을 알 수 있으며, 수문학적 가뭄은 동일한 규모의 기상학적 가뭄이 발생하더라도 계절별 물 수요가 다르다는 점을 감안할 때 물 수요를 반영하여 수문학적 가뭄의 규모와 심도를 정확하게 추정하기란 매우 어렵다. 단순히 하천 수위, 지하수 수위, 저수지 수위가 예년 평균에 비해서 적다는 이유만으로 수문학적 가뭄 상태를 표현하는 것은 다소의 문제가 있으며 물 수요를 고려한 물 부족 상태를 평가해야 가능하다는 것이다. 즉, 계절별로 차이가 있는 물 수요를 반영할 때 비로소 정확한 수문학적 가뭄의 평가가 가능한 것이다.

농업적 가뭄의 경우에도, 우리가 재배하는 작물을 대상으로 하는 용수부족만을 고려할 것인가 아니면 자연적으로 분포하고 있는 지표면상의 모든 식생을 대상으로 할 것인가에 따라서 농업적 가뭄의 평가기준이 다르게 되고, 토양수분의 부족량과 농업용 저수지의 부족량을 동시에 고려하여 계절별로 다른 농업용수 수요를 동시에 반영해야 하므로 농업적 가뭄을

감시하는 것 역시 여간 어려운 일이 아니다.

따라서 본 연구에서는 물 부족을 유발하는 직접적인 원인이 강수의 부족으로 인하여 시작되는 기상학적 가뭄이라는 점을 감안하여 우리나라 과거의 연도별 강수량 자료에 대한 이상치를 분석함으로써 과거 가뭄사상을 정량적으로 분석하였으며, 동시에 유역별로 분포된 관측소별 이상치를 분석하여 과거 가뭄의 지역적, 공간적 상이성을 분석하였다.

2.4 과거 가뭄사상의 평균심도-지속기간-빈도를 반영한 가뭄 규모의 결정

가뭄을 정량적으로 평가하는 방법에는 여러 가지 기준과 방법이 있다. 가뭄의 지속기간(duration), 평균심도(severity), 발생빈도(frequency) 또는 재현기간(return period) 등을 기준으로 과거에 발생했던 가뭄의 규모(magnitude)를 결정할 수 있으며, 강수량, 유출량 또는 가뭄지수 등을 이용하여 정량화가 가능하다. 이렇게 결정된 과거 가뭄의 규모가 이수시설물의 설계의 이수안전도 설정을 위한 기준으로 사용될 수 있다. 그러나 그동안 홍수에 대한 치수안전도 설정을 위한 홍수의 규모 결정에 관해서는 국가 차원의 연구가 진행되어, 확률강우량도, 강우강도-지속기간-빈도(Intensity-Duration-Frequency, IDF) 곡선, 가능최대강수량 산정 등의 표준화를 시도하여 많은 실무자들이 활용할 수 있도록 체계적으로 구축되어 있다. 반면에 가뭄에 대해서는 평균심도-지속기간-빈도(Severity-Duration-Frequency, SDF) 곡선조차 구축되어 있지 않은 실정이다. 따라서 가뭄이 발생하면 이 가뭄이 몇 년 빈도의 가뭄인지를 추정하기 위하여 많은 학자들이 서로 다른 빈도 해석 기법과 다양한 수문-기상자료를 활용하여 동일한 가뭄사상에 대해서도 서로 다른 재현기간을 제시하고 있는 실정이다 (Lee and Kim, 2011, 2013; Oh et al., 2011; Park et al., 2014).

이와 같은 가뭄 정량화 연구의 필요성을 제시하는 좋은 예로서, Yoon and Park (1997)은 가뭄빈도해석을 통하여 과거의 5개 주요 가뭄사상에 대한 재현기간이 지역별로 차이가 있지만 대부분 10년 빈도를 상회하는 것으로 나타나므로 우리나라 수자원계획을 수립할 때에 기왕의 최대가뭄인 1967년-1968년 기간을 이수안전도의 기준으로 활용하는 것을 재검토해야 하며 수자원계획 및 댐 개발의 기준이 되는 10년 빈도가 상향되어야 한다고 주장하였다.

3. 우리나라 과거 가뭄사상의 특성 분석

본 연구에서는 우리나라에서 과거에 발생했던 가뭄사상을

추출하기 위해서 기상청 산하 59개 관측소의 관측기간 동안 결측치가 없는 1974~2014년까지의 월 강수량을 이용하였으며, 59개 관측소의 연강수량을 이용하여 이상치 분석을 실시함으로써 다우해와 과우해를 분리하는 방법을 적용하였다.

59개 관측소의 연강수량을 이용하여 이상치 분석을 수행한 후, 유역별로 가장 높은 빈도의 이상치를 나타내는 관측소를 선정하여 유역별 가뭄분석을 위한 대표관측소로 선정하였다.

3.1 연강수량 분석에 의한 과거 가뭄의 특성 분석

우리나라의 과거 가뭄사상을 분석하기 위하여 Eq. (1)을 이용하여 이상치 분석을 실시하였다. Eq. (1)은 표준편차를 이용하여 이상치를 분리해내는 방법으로서, 관측소별 연강수량 자료의 표준편차가 클수록 평균에서 떨어진 값으로 간주하여 이상치로 분류하는 방법이다. 통계학적으로 이상치로 분류되는 기준은 $\pm 3\sigma$ 의 범위를 초과하는 경우로 정의되고 있지만, 사용되는 모집단의 자료에 따라 다를 수 있다. 본 연구에서 사용된 연강수량의 경우에는 연강수량의 변동이 크지 않기 때문에 $\pm 1\sigma$ 의 범위를 벗어나는 경우를 이상치로 정의하였다.

$$\begin{aligned} & \text{연도별 연평균 강수량} - \text{전체기간 연평균 강수량의 평균} \\ & \text{체기간 연평균 강수량의 표준편차} \end{aligned} \quad (1)$$

= 해당연도의 연강수량 이상치($\pm\sigma$)

Fig. 1은 59개 관측소의 전체기간에 대하여 이상치 분석을 통해 산정된 $-1\sigma \geq$ 인 과우해(Dry year)에 대해서 공간적으로 분석한 결과이다. 분석결과 거창, 순천, 울릉도, 서귀포에서 41년 중 20% 이상의 빈도로 과우해가 발생한 것으로 나타났다.

유역별로는 한강유역의 경우, 속초, 강릉, 이천이 17.1%로 가장 많은 과우해($-1\sigma \geq$)가 발생하였으며, 낙동강유역의 경우, 울릉도, 거창에서 22.0%로 가장 많이 발생하였다. 금강유역의 경우, 충주, 정읍에서 19.5%로 과우해가 많이 발생하였으며, 섬진강유역의 경우, 순천이 22.0%로 나타났다. 영산강유역의 경우, 장흥, 해남에서 19.5%로 과우해가 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 이상치 분석을 통한 우리나라 전체의 과우해 연도를 Table 2에 정리하였다. 1974~2014년(41년) 기간 중 과우해는 총 9번 발생하였으며, 발생한 연도는 1976, 1977, 1982, 1988, 1994, 1995, 1996, 2001, 2008년으로 나타났다. 이 중 1988년의 이상치가 -1.9로 가장 낮았으며, 그다음으로 1994년이 -1.7로써 전국적으로 강수량이 부족했던 해로 나타났다.

Table 2에서 나타난 과우해 연도는 So et al. (2015)에서

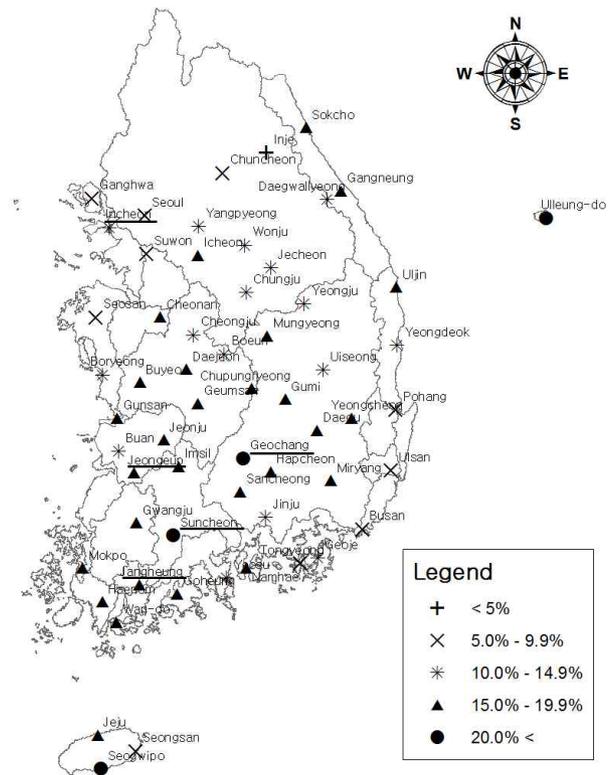


Fig. 1. Frequency of outlier for annual average precipitation

Table 2. Outlier of dry year ($-1\sigma \geq$) using national annual average precipitation

Year	1976	1977	1982	1988	1994	1995	1996	2001	2008
Outlier	-1.0	-1.4	-1.4	-1.9	-1.7	-1.0	-1.0	-1.2	-1.4

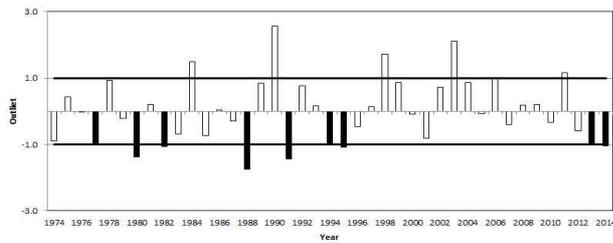
Copula 함수 기반의 이변량 결합가뭄지수를 통해 파악한 남한지역의 가뭄연도와 일치하는 것을 나타냈다. 따라서 본 연구에서 수행하는 이상치 분석은 우리나라 가뭄발생연도를 잘 반영하여 나타내는 것으로 판단할 수 있다.

3.2 관측소별 이상치 분석에 의한 과거 가뭄 분석

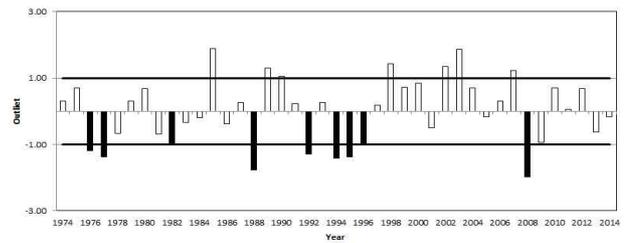
우리나라의 유역별 가뭄특성을 분석하기 위해 전체관측연도에 대한 이상치(-1σ)의 발생빈도가 높은 관측소를 유역별 대표관측소로 선정하여 가뭄연도 분석을 실시하였다. 유역내에 위치하는 모든 관측소의 자료를 사용하기 보다는 본 연구가 유역에서 발생했던 가장 극심했던 가뭄사상을 추출한다는 개념에서 유역에서 이상치 발생빈도가 가장 높은 관측소를 유역의 대표관측소로 선정하였으며 선정 시 발생빈도가 비슷한 경우에는 유역 내에서의 관측소 위치를 고려하여 선정하였다.

Table 3. Outlier of dry year ($-1\sigma \geq$) using annual precipitation

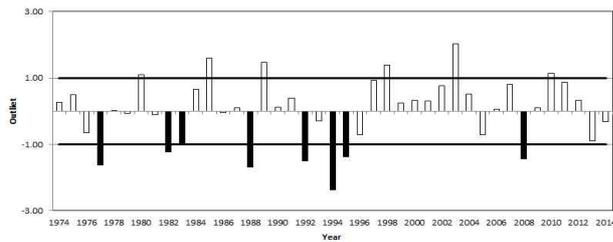
Icheon		Geochang		Jeongeup		Suncheon		Jangheung	
Year	Outlier								
1977	-1.3	1976	-1.2	1977	-1.6	1977	-1.4	1978	-1.3
1980	-1.1	1977	-1.3	1982	-1.2	1982	-1.3	1982	-1.0
1988	-1.8	1982	-1.0	1983	-1.0	1983	-1.1	1988	-1.7
1991	-1.5	1988	-1.8	1988	-1.7	1988	-2.2	1992	-1.1
1994	-1.5	1992	-1.3	1992	-1.5	1992	-1.2	1994	-1.3
2001	-1.1	1994	-1.4	1994	-2.4	1994	-1.4	1995	-1.7
2014	-1.4	1995	-1.4	2008	-1.4	1995	-1.1	2001	-1.4
		1996	-1.0			2005	-1.2	2008	-1.1
		2008	-2.0			2008	-1.7		



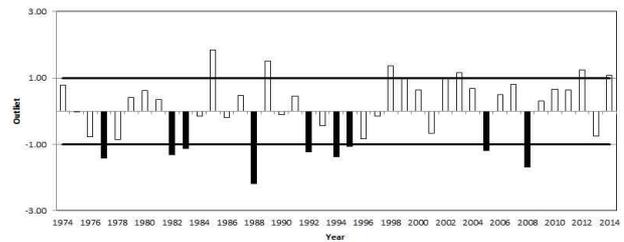
(a) Icheon



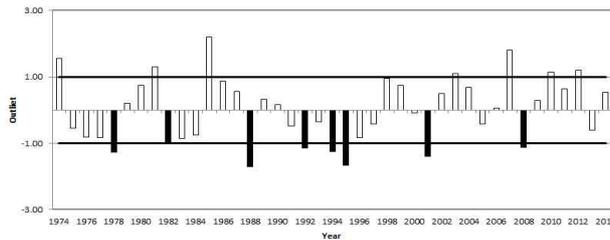
(b) Geochang



(c) Jeongeup



(d) Suncheon



(e) Jangheung

Fig. 2. Dry year ($\leq -1\sigma$) using annual precipitation for each gaging station

분석결과 Table 3과 Fig. 2에 나타낸 바와 같이, 한강유역의 경우 이천관측소가 17.1%로 과우해가 가장 많이 발생하였으며, 과우해 기간은 1977, 1980, 1988, 1991, 1994, 2001, 2014년으로 나타났다. 거창관측소의 경우 22.0%로 낙동강유역에서 가장 과우해가 많이 발생한 곳으로 과우해 기간은 1976,

1977, 1982, 1988, 1992, 1994, 1995, 1996, 2008년으로 나타났다. 금강유역의 경우 천안, 정읍 관측소에서 19.5%로 과우해가 가장 많이 발생하였으며, 그 중 정읍의 과우해 기간은 1977, 1982, 1983, 1988, 1992, 1994, 2008년으로 나타났다. 섬진강유역의 경우 과우해가 가장 많이 발생한 곳은 22.0%인

순천이며, 과우해 기간은 1977, 1982, 1983, 1988, 1992, 1994, 1995, 2005, 2008년으로 나타났다. 마지막으로 영산강 유역의 경우 장흥, 해남에서 20.0%로 가장 발생빈도가 높았으며, 그 중 장흥에 과우해 기간은 1978, 1982, 1988, 1992, 1994, 1995, 2001, 2008년으로 나타났다.

이상치 결과 각 관측소별로 공통적으로 포함된 과우해는 1982, 1988, 1994년으로, 이 해는 전국적으로 기상학적 가뭄이 발생했던 해로 판단되며, 1977년은 장흥을 제외한 나머지 3개 관측소에서 과우해로 나타났다. 이 결과는 연 강수량 이상치 분석에 의한 결과와 유사하게 나타났음을 알 수 있다.

관측소별 이상치 산정 결과를 보게 되면 1988년의 경우 낙동강 유역을 중심으로 강우가 적었던 가뭄해로 나타났으며, 1994년의 경우 금강유역을 중심으로 가뭄이 심했던 해로 분석되었다. 반면에 2014년에 발생한 가뭄은 한강유역에 국한된 과우해로 나타났으며 이는 전국적으로 심각한 수준의 가뭄으로 보기 어려우며 물 부족 현상에 의한 것으로 판단된다.

3.3 관측소별 봄철 연강우량 분석에 의한 과거 가뭄 분석

우리나라는 봄 가뭄이 다른 계절에 비해서 매우 심한 경향성을 나타내고 있다(Lee et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 우리나라의 과거 봄철(3월, 4월, 5월)에 발생했던 가뭄사상을 분석하기 위하여 1974~2014년까지의 관측소별 봄철 강수량 자료를 이용하여 과우해 발생빈도를 분석하여 Fig. 3과 같이 나타내었다. 유역별로는 한강유역의 경우 서울, 인제, 제천이 19.5%로 가장 높았다. 낙동강 유역의 경우 영주관측소가 22.0%로 가장 높았으며, 금강의 경우 부여가 22.0%로 가장 높게 나타났다. 섬진강 유역의 경우 완도, 임실에서 17.1%로 나타났으며, 영산강의 경우 목포와 해남에서 14.6%로 과우해 발생빈도가 높은 것으로 나타났다. Table 4에 정리한 바와 같이, 기간별로는 1978, 1981, 1989, 2000, 2001년이 과우해로 나타났으며, 이 중 2001년이 -2.3으로 가장 강수량이 적었던 해로 나타났다.

Table 5와 Fig. 4는 유역별로 봄철 이상치 발생빈도가 높은 관측소들을 정리하였다. 서울관측소의 경우 1976, 1978, 1984, 1986, 1988, 2000, 2001, 2014년으로 나타났으며, 이 중 2001년이 -2.1로 가장 높게 나타났다. 영주 관측소의 경우 1976, 1978, 1981, 1988, 2000, 2001, 2008, 2014년으로 나타났으며, 이 중 가장 큰 과우해는 2001년으로 -2.1로 평년 강수량에 비해 강수량이 적었던 해로 나타났다. 부여 관측소의 경우 1976, 1978, 1981, 1989, 1995, 2000, 2001, 2005, 2008년 이 과우해로 나타났으며, 가장 과우해가 심했던 해는 2001년으로 이상치 값은 -2.2이로 나타났다. 임실 관측소의 경우

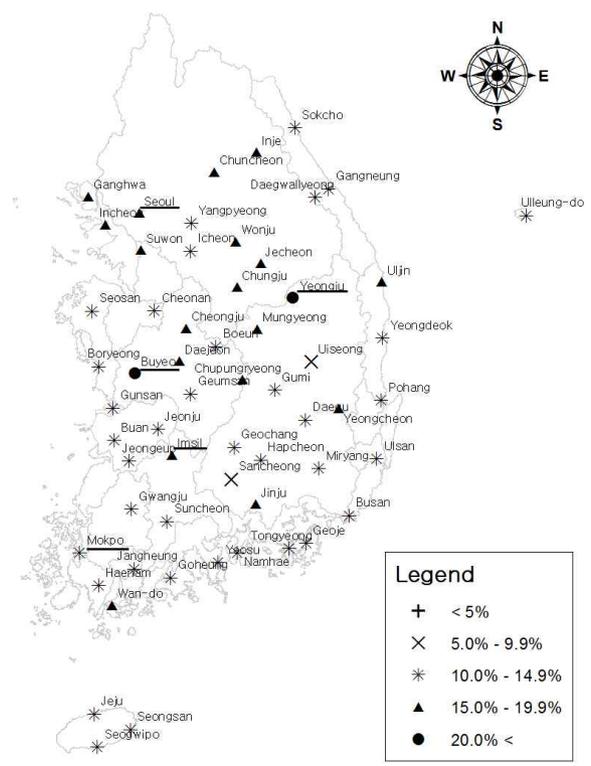


Fig. 3. Frequency of outlier for spring season precipitation

Table 4. Outlier of dry year (-1σ≥) using spring precipitation

Year	1978	1981	1989	2000	2001
Outlier	-2.0	-1.4	-1.1	-1.8	-2.3

1978, 1981, 1989, 2000, 2001, 2004, 2005년이 과우해로 나타났으며, 1978년에 -1.9로 가장 심했던 해로 나타났다. 마지막으로 목포관측소의 경우 과우해 발생년도는 1978, 1981, 1989, 1994, 2000, 2001년으로 이 중 2000년이 -1.9로 가장 높은 이상치를 나타내었다.

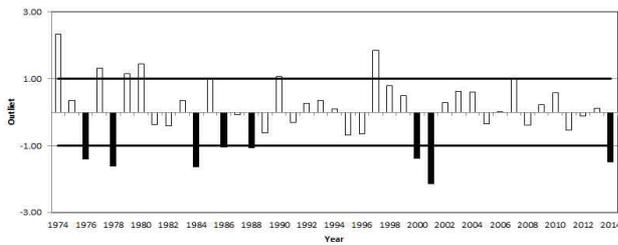
1960~2014년까지의 봄철 강수량 자료를 이용하여 각 관측소별 봄철 이상치를 분석한 결과 과우해 발생 연도 중 공통적으로 1978, 2000, 2001년이 나타났다. 전체기간에 대한 이상치 발생년도와 비교했을 때 1978, 2000년은 국지적으로 강수량이 부족해서 발생한 것으로 판단되며, 2001년의 경우 전국적으로 봄철 강수량의 부족으로 인해 과우해가 발생한 것으로 판단된다.

3.4 과우해 분석결과와 가뭄피해 기록과의 비교 분석

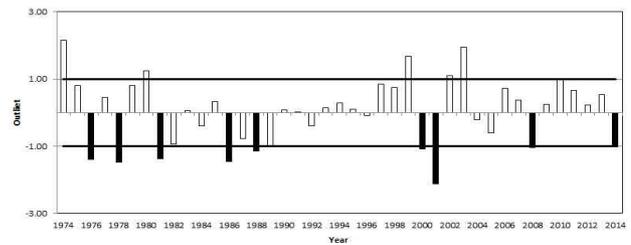
이상치 분석을 통하여 나타난 과우해를 가뭄피해 기록과 비교하기 위하여 두 가지 관점에서 분석을 시도하였다. 첫 번째로는 59개 관측소 평균강수량을 이용한 전국적인 과우해

Table 5. Outlier of dry year ($-1\sigma \geq$) using spring precipitation

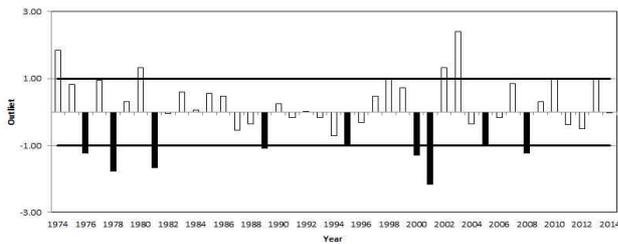
Seoul		Yeongju		Buyeo		Imsil		Mokpo	
Year	Outlier								
1976	-1.4	1976	-1.4	1976	-1.2	1978	-1.9	1978	-1.8
1978	-1.6	1978	-1.5	1978	-1.8	1981	-1.7	1981	-1.7
1984	-1.6	1981	-1.4	1981	-1.7	1989	-1.1	1989	-1.0
1986	-1.1	1988	-1.2	1989	-1.1	2000	-1.8	1994	-1.3
1988	-1.1	2000	-1.1	1995	-1.0	2001	-1.5	2000	-1.9
2000	-1.4	2001	-2.1	2000	-1.3	2004	-1.0	2001	-1.7
2001	-2.1	2008	-1.0	2001	-2.2	2005	-1.1		
2014	-1.5	2014	-1.0	2005	-1.0				
				2008	-1.2				



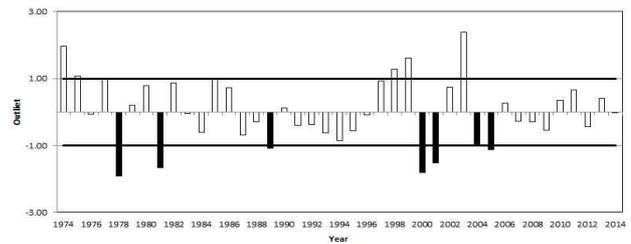
(a) Seoul



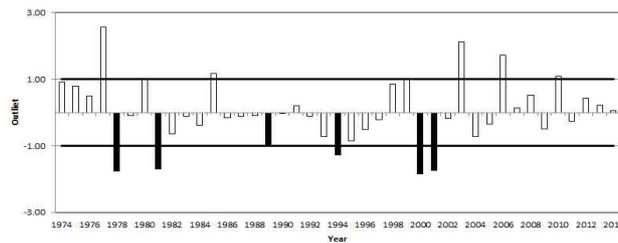
(b) Yeongju



(c) Buyeo



(d) Imsil



(e) Mokpo

Fig. 4. Dry year ($\leq -1\sigma$) using spring precipitation for each gaging station

의 분석과 각각의 관측소 강수량을 이용한 지역적인 가뭄의 공간분포를 분석한 뒤, 봄철 강수량 자료를 이용한 가뭄의 시간적인 변화를 동시에 분석하여 가뭄피해 기록과 비교하여 분석하였다.

가뭄으로 인한 직·간접적인 피해는 농업분야를 비롯하여 매우 다양한 형태로 나타나게 된다. 과거의 가뭄피해 사례가

조사된 경우가 많지 않기 때문에 체계적인 분류를 하긴 쉽지 않지만, 농업용수의 부족으로 농작물 수확에 피해가 발생했던 연도는 Table 6과 같다(MAFRA, 2001)

또한, So *et al.* (2015)는 농림축산식품부, 기상청, 국토교통부 등에서 발표된 가뭄백서를 활용하여 우리나라 과거가뭄의 가뭄피해액을 조사하였으며, 총 8개의 가뭄사상에 대한 농경

Table 6. Agricultural damage recorded drought year

Period	Year
1970-1979	1973, 1975, 1976, 1977, 1978
1980-1989	1981, 1982, 1988
1990-2001	1992, 1994, 1995, 2001

Table 7. Damage cost for past drought events

Drought year	Damage costs (Million Won)	Drought year	Damage costs (Million Won)
1976	42,044	1992	46,969
1977	89,370	1994	249,281
1981	216,730	1995	14,969
1982	344,533		

Table 8. Dry year and spatio-temporal distribution of drought

Dry year (-1σ≥)	Outlier	Nation-wide dry year		Drought region	Multi-year drought
		All season	Spring season		
1988	-1.9	○	○	Nation wide	×
1994	-1.7	○	○	Nation wide	×
1982	-1.4	○	×	Nation wide	×
1977	-1.4	△	○	Nation wide	○
1976	-1.0	×	×	Chungcheong, Youngnam, Honam	○
2008	-1.4	×	○	Chungcheong, Honam	×
1995	-1.0	×	×	Youngnam, Honam	○

지 피해액을 중심으로 집계된 주요 가뭄연도별 가뭄피해액은 Table 7과 같다. 앞선 분석에서 가뭄연도로 나타난 1973년과 1988년 등의 기록은 부족하지만 농작물 가뭄피해연도와 대부분 일치하며 가뭄피해연도에 대한 농작물 피해정도를 간접적으로 확인할 수 있다.

본 연구의 결과로 나타난 과우해 역시, 농작물 가뭄피해연도와 완벽하게 일치하고 있으며, 과우해의 이상치를 -1보다 높게 설정하게 되면 더욱 많은 가뭄피해연도가 포함될 것으로 판단된다.

과우해의 이상치 규모와 가뭄피해액을 비교해 보면 1982년 가뭄피해액이 가장 큰 것으로 나타나고 있으며, 1981년, 1982년 가뭄 그리고 1994년 가뭄이 피해액이 매우 큰 것으로 집계되고 있다. Table 8에 제시한 바와 같이 1976년 가뭄이 1977년 가뭄과 연계된 2년 연속 가뭄이라는 점과 1994년과

1995년도 역시 연속된 가뭄연도임을 감안하면 피해액이 높은 가뭄사상은 모두 2년 이상 연속되는 장기가뭄에 의한 피해임을 알 수 있다. 또한 1982년 가뭄과 1994년 가뭄은 우리나라에 전국적으로 가뭄이 심화된 가뭄사상으로 나타나기 때문에 가뭄피해액도 매우 큰 것으로 나타난다. 특히, 우리나라 농작물 피해에 가장 큰 원인이 되고 있는 봄 가뭄의 경우를 보더라도 1994, 1977년에 전국적으로 발생함으로써 큰 농작물 피해액이 발생한 것으로 보인다.

가뭄의 공간적 분포의 특이한 점은, 2014년도 가뭄이 우리나라에서 최근에 발생한 가장 극심한 가뭄으로 평가되고 있지만, 이천관측소를 제외한 나머지 지역에서는 심각한 수준은 아닌 것으로 평가되었다. 또한 1994, 1995년 연속 가뭄의 경우 1994년은 전국적으로 봄 가뭄이 발생하였으나, 1995년에는 한강유역을 제외한 나머지 유역을 중심으로 가뭄이 발생했던 것으로 추정되며 가뭄피해지역이 감소되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

우리나라 과거의 가뭄사상을 정량적으로 분석하기 위하여 1974~2014년까지의 월 강수량을 이용하여 이상치를 산정하였으며 과우해와 다우해를 분리하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

이상치 분석을 통하여 우리나라에서 가장 심했던 과우해는 1988년 및 1994년으로 나타났으며, 이 두 개 연도는 지역적인 강수의 부족이 아니라 전국적으로 강수량이 부족했던 극심한 가뭄연도로 분석되었다. 지역적으로 나누어서 본다면 이천, 거창, 정읍, 순천, 장흥지역에서도 동일하게 1988, 1994년이 심한 과우해로 나타났다.

전체 이상치 기간 분석결과와 봄철 이상치 분석결과를 통해 2001년 가뭄은 전체기간에서는 심한 과우해로 분류되지는 않았지만 주로 섬진강 및 영산강 유역을 중심으로 봄철 가뭄이 발생하였으며, 2000년 겨울에서 시작된 가뭄이 봄철까지 이어져 짧은 기간의 가뭄임에도 불구하고 봄철 영농기간에 발생함으로써 농업용수 부족으로 인한 농작물 피해를 발생시킨 대표적인 농업적 가뭄연도로 분석되었다.

이상치 분석결과와 과우해와 농작물 가뭄피해연도의 가뭄피해액을 비교 분석한 결과, 가뭄피해액이 큰 연도는 전국적인 과우해였던 것으로 확인되었으며, 특히, 1988년이 이상치 분석에서 나타난 가장 심했던 전국적인 가뭄연도로 나타나고 있음에도 가뭄피해가 그다지 크게 인식되지 못하는 것으로는 1988년 가뭄이 그해에만 지속되었던 단년도 가뭄이었기 때

문인 것으로 판단되며 따라서 2년 연속 지속된 장기가뭄이 대부분 큰 가뭄피해를 유발했던 것으로 나타났다. 특히, 주목할 점으로는 이상치 분석에서 추출된 -1σ 이하의 심한 과우해를 선정 한 결과, 대부분 2년 연속된 가뭄(1976-1977, 1994-1995)이 포함된 것을 알 수 있으며 장기간 지속되는 장기가뭄현상에 대한 적절한 대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리사업(14AWMP-B082564-01)과 한국연구재단 기초연구사업(No. 2014063955)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Belayneh, A., and Adamowski, J. (2012). "Standard precipitation index drought forecasting using neural networks, wavelet neural networks and support vector regression." *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2012, pp. 1-13.
- Choi, S.J., Lee, D.R., and Moon, J.W. (2014). "Comparison of water supply reliability by dam operation methods." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 47, No. 6, pp. 523-536 (in Korean).
- Hao, Z., and Anhokouchak, A. (2013). "Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model." *Advances in Water Resources*, Vol. 57, pp. 12-18.
- Hwang J.D. (2015). A Research on the Assessment of Disaster Risk in Kangwon Region using Climate Change Scenario and Disaster Risk Index. Ph.D. thesis, Department of Urban & Environmental Disaster Prevention School of Disaster Prevention, pp. 81-82
- Islam, M.S., Aramaki, T., and Hanaki, K. (2005). "Development and application of an integrated water balance model to study the sensitivity of the Tokyo Metropolitan area water availability scenario to climate changes." *Water Resources Management*, Vol 19, pp. 423-445.
- Lee, J.H., Cho, K.J., Kim, C.J., Park, M.J., and Lee, E.T. (2012). "Development of potential drought hazard map of Korea using drought frequency analysis." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Annual Conference*, pp. 978-978 (in Korean).
- Lee, J.H., Jeong, S.M., Kim, S.J., and Lee, M.H. (2006). "Development of drought monitoring system: I. Applicability of drought indices for quantitative drought monitoring." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 39, No. 9, pp. 787-800 (in Korean).
- Lee, J.H., and Kim, C.J. (2011). "Derivation of drought severity-duration-frequency curves using drought frequency analysis." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 77 No. 11, pp. 889-902 (in Korean).
- Lee, J.H., and Kim, C.J. (2013). "A multimodel assessment of the climate change effect on the drought severity-duration-frequency relationship." *Hydrological Processes*, Vol. 27, Issue 19, pp. 2800-2813.
- Lee, J.H., Kim, J.S., Jang, H.W., and Lee, J.C. (2013). "Drought forecasting using the multi layer perceptron(MLP) artificial neural network model." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 46, No. 12, pp. 1249-1263 (in Korean).
- MAFRA(2001), White Book for Drought Preparedness.
- Oh, T.S., Moon, Y.I., Kim, S.K., and Park, G.S. (2011). "Frequency analysis of meteorologic drought indices using boundary kernel density function." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 2B, pp. 87-98 (in Korean).
- Park, B.S., Lee, J.H., Kim, C.J., and Jang, H.W. (2013). "Projection of future drought of Korea based of probabilistic approach using multi-model and multi climate change scenarios." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol, 33, No. 5, pp. 1871-1885 (in Korean).
- Park, M.J., Shin, H.J., Choi, Y.D., Park, J.Y., and Kim, S.J. (2011). "Development of a hydrological drought index considering water availability." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 53, No. 6, pp. 165-170 (in Korean).
- Park, Y.J., Kwon, H.H., Chung, E.S., and Kim, T.W. (2014). "Comparison of design rainfalls from the annual maximum and the non-annual exceedance series." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 2, pp. 469-478 (in Korean).
- Peters, A.J., Water-Shea, E.A., Ji, L., Viña, A., Hayes, M., and Svoboda, M. (2002). "Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68, No. 1, pp. 71-75.
- So, J.M., Shon, K.H., and Bae, D.H. (2015). "Development and assessment of drought damage estimation technique using drought characteristic factor", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 15, No. 2, pp.93-101 (in Korean).
- Yi, J.E., and Song J.W. (2000). "Evaluation of water supply capacity for multi-purpose dam using optimization and simulation techniques." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 22, No. 6B, pp. 811-818 (in Korean).
- Yoo, J.Y., Kim, T.W., and Kim, S.D. (2010). "Drought frequency analysis using cluster analysis and bivariate probability distribution." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 599-606 (in Korean).
- Yoon, Y.N., and Park, M.J. (1997). "Regional drought frequency analysis of monthly rainfall data by the method of L-moments", *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 30, No. 1, pp. 55-62 (in Korean).