



농업용 저수지 저수율을 이용한 충남지역 2015년 가뭄 분석

Spatial and Temporal Analysis of Drought Using the Storage Data of Agricultural Reservoirs in Chungnam Province in 2015

김소래* · 장민원**† · 김수진*** · 배승종***

Kim, Sorae · Jang, Min-Won · Kim, Soojin · Bae, Seungjong

Abstract

The objective of this study was to analyze the temporal and spatial characteristics of agricultural drought by tracking the daily reservoir storage in Chungnam province. All daily records of the percent of reservoir storage from 2000 to 2015 were collected for 130 irrigation reservoirs from the RIMS (Rural Infrastructure Management System). The temporal change of province-wide average reservoir storage and the statistics showed that the annual average and minimum percent of reservoir storage in 2015 were extremely low like as those in the historical drought years of 2001 and 2012. The minimum reservoir storage on record was a 41 % at the end of September and remained far less than its historical average even until the end of the year. Furthermore, the annual average reservoir storage (68.3 %) recorded the lowest on record since 2000. In addition, about half of 130 major irrigation reservoirs in Chungnam fell into the risk of water shortage below 30 % full, and, in terms of annual minimum reservoir storage, the 79 reservoirs yielded lower storage in 2015 comparing with the measured in another drought year, 2001. On the other hand, irrigation reservoirs of comparatively worse storage condition revealed to be mostly located on the inside, such as Cheongyang-gun and Hongsung-gun. Conclusively, the low reservoir storage, still far below average even on December 2015, induced a serious concern about that more extreme drought would happen in the next spring.

Keywords: Chungnam; drought; irrigation reservoir; reservoir storage

1. 서 론

최근 지구 온난화 현상에 의한 지구의 연평균기온 상승으로 가뭄 피해 우려가 증가하고 있다 (Lee et al., 2012). 가뭄은 한 계절에서 1년, 길게는 수년 동안 지속되는 시간 특성을 가지며 구체적인 발생 시기와 장소 및 원인을 규명하기 어렵고 장기간 가뭄이 발생할 경우 농업, 수자원을 포함한 사회, 경제, 인문 분야까지 막대한 피해를 초래한다 (Ryu et al., 2002; Lee et al., 2015). 미국 NDMC (National Drought Mitigation Center)에 따르면 농업적 가뭄을 작물의 성장에 악영향을 미치는 토양수분 함량이 지속되는 것으로 정의하였다 (Wilhite and Glantz, 1985; Kim et al., 2015). 농업적 가뭄은 강수의

부족으로 인한 토양수분의 감소 및 농업용 저수지의 저수량 저하로 농작물 생육 및 수확량에 직접적인 영향을 미치는 것으로서 논농사가 주가 되는 우리나라에선 주수원공인 농업용 저수지의 가용저수량으로 가뭄상황을 판단할 수 있다 (Nam et al., 2013).

전국적으로 약 18,000여개가 축조되어 있는 농업용 저수지는 국내 농업용수 사용량 중 약 60%를 공급하는 핵심 농업 기반시설로서 홍수기에 풍부한 수량을 저류한 후 관개기 혹은 갈수기에 주로 논벼 재배지역에 용수를 공급한다 (Ahn et al., 2002; Kim et al., 2005; Nam et al., 2011). 따라서 국내 농업가뭄을 분석하는데 있어서 농업용 저수지 저수율은 주요한 고려인자가 되어 왔다. Kim et al. (2002)은 1971~2001년의 강수량, 저수위, 계기증발량 등의 기상·수문자료를 이용하여 누가강수량방법, 유역토양수분량 방법, 저수율 방법, 급수제한강도 방법으로 해당저수지의 가뭄을 평가하였고 과거 자료와 유사한 누가강수량, 저수율 패턴을 찾아내어 가뭄추이를 예측한 바 있다. Ahn et al. (2009)은 금강유역 인근의 1991~2006년의 저수지 유입량 및 저수량, 강수량 자료를 이용하여 수문학적 가뭄평가 방법인 SWSI (Surface Water Supply Index)으로 농업지역의 가뭄을 평가하였고 산정된 농업가뭄지수를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 금강유역의 농업가뭄지도도를 작성하였다. Jang (2009)은 기상자료와 농업용 저

* Department of Agricultural Engineering, Gyeongsang National University

** Division of Agro-System Engineering, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University

*** Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-55-772-1933 Fax: +82-55-772-1939

E-mail: mwjang@gnu.ac.kr

Received: August 1, 2016

Revised: December 7, 2016

Accepted: February 7, 2017

수지 저수율 관측 자료를 이용하여 2008년 경남지역에 발생한 가뭄의 현황과 원인을 분석하였다. Nam et al. (2013)은 과거 및 2012년 여름에 발생한 농업가뭄을 분석하기 위하여 농업용 저수지의 용수공급능력과 관개지역의 필요수량을 계산하여 시기별 부족수량을 산정하였고 가뭄강도를 정량화하여 농업가뭄 상황을 평가하였다.

우리나라는 여름철에 강우가 집중적으로 발생하여 상대적으로 강수가 적게 발생하는 봄, 가을, 겨울철의 물 부족 현상이 두드러져 크고 작은 가뭄이 유발된다 (Kim et al., 2015). 특히 2015년은 평년 대비 강수량이 부족하여 전국적으로 매우 극심한 가뭄이 발생하였다. 2015년 연강수량은 948.6 mm으로 평년강수량 1,315.7 mm와 2014년 연강수량 1,173.5 mm에 비해 각각 72.1 %, 80.8 % 수준에 그쳤다. 기상청 (KMA, 2016)에 따르면 지역별 연강수량 (평년 대비 백분율)은 강원 898.1 mm (64.6 %), 경기 759.6 mm (58.0 %), 경남 1,328.8 mm (87.1 %), 경북 845.5 mm (73.0 %), 전남 1,220.6 mm (89.4 %), 전북 906.6 mm (68.4 %), 충남 811.1 mm (63.3 %), 충북 793.5 mm (61.2 %), 제주 2,108.8 mm (129.2 %)로 제주를 제외한 모든 지역의 강수량이 평년 대비 적었다. 특히 경기, 충남, 충북의 강수량이 평년 대비 60 % 수준으로 매우 낮아 강수량 부족에 의한 가뭄 상황이 심각했음을 알 수 있다. 농업용 저수지의 저수율을 보면 2015년 10월의 저수율은 전국 41.4 %, 경기 43.7 %, 강원 62.4 %, 충북 41.3 %, 충남 29.8 %, 전북 25.3 %, 전남 42.6 %, 경북 53 %, 경남 64.9 %, 제주 93 %

로 전북과 충남이 매우 낮은 저수율을 보였다 (RIMS, 2016). 충남의 경우 평년 대비 연강수량은 경기, 충북 지역 다음으로 낮았고 농업용 저수지 저수율은 전북지역 다음으로 낮은 수준을 보였다. 이는 충남지역에 극심한 가뭄이 발생했음을 시사한다.

본 연구는 2015년 극심한 가뭄을 경험했던 충남지역을 대상으로 가뭄의 전개와 심각성을 살펴보고자 하였으며 이를 위해 충남지역 농업용 저수지의 저수율 자료로부터 과거 가뭄 기록과 2015년 가뭄의 시공간적 분석을 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

충청남도 (총면적 820,400 ha) 농경지 면적은 224,629 ha (총면적의 27.4 %)이고 이 중 담면적은 159,612 ha (농경지 면적의 71.1 %)이다. 충청남도 내 수리시설은 6,538개소로 이중 저수지는 898개소이며 수리담면적 57,739 ha, 총저수량 328,840 천m³, 유효저수량 318,785 천m³, 그리고 만수면적 7,453.7 ha이다. 총저수량 기준으로 100 천m³ 미만 저수지가 701개로 전체 저수지의 약 80 %를 차지하고 있다 (Table 1).

충청남도 지역에서 발생한 주요 가뭄피해는 Table 2와 같다. 1978년 1월부터 5월까지 경기·강원을 제외한 전국에 월 평균 강수량의 45 %의 강수량으로 43,000 ha 면적에서 가뭄

Table 1 Description of irrigation reservoirs in Chungnam Province

No. of reservoirs	Irrigation area (ha)	Total reservoir storage (×1,000 m ³)	Effective reservoir storage (×1,000 m ³)	Reservoir surface area (ha)	No. of reservoirs by total reservoir storage	
					Below 100,000 m ³	Over 100,000 m ³
898	57,738	328,840	318,785	7,453.7	701	197

Source: Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture 2013 (MFAFF and KRC, 2014)

Table 2 Record of drought damages occurred in Chungnam Province

Year	Drought damages
1978	43,000 ha damaged (paddy 24,000 ha, upland 19,000 ha)
1994~1995	Limited service of municipal water
2000~2001	Transplanting failure, dried paddy
2001	Upland area of 3,000 ha damaged
2006	Suffering from less precipitation
2012	Delayed transplanting, rice seedling dried after transplanting (1,867 ha), increasing soil salinity damages in reclaimed land, perish of snail in paddy fields
2014	Limited service of municipal water
2015	Transplanting failure, dried paddy, limited service of municipal water, salt damage on the reclaimed land

Source: K-water (2015), WAMIS (2016)

피해가 발생하였고, 1994~1995년 대가뭄기간에는 용수부족으로 공주시, 보령시, 서천군, 청양군에서 생활용수의 제한급수가 이루어졌다. 2000~2001년에는 아산시와 천안시를 중심으로 미이양과 물마른 논 피해가 있었고, 2006년 충남뿐만 아니라 전남북, 경남 지역에서 8월과 10월 사이의 강수량이 같은 기간 평년강수량의 30% 수준에 머물렀다. 2012년 5월부터 6월에도 경기·충남, 전북·전남지방에서 강수량이 평년 대비 32%에 그쳤고 충남 일부지역에선 용수부족이 발생하여 이양지연, 간척지 염피해 증가, 벼 친환경단지 우렁이 폐사, 모내기 후 모가 말라죽는 등 많은 피해가 발생하였다. 2015년에는 농번기인 6월-10월에 극심한 가뭄이 발생하여 공주, 아산, 홍성, 그리고 태안지역의 천수답 및 간척지 등에서 미이양과 논 물마름으로 5,978 ha의 농작물(벼) 피해가 기록되었다.

2. 자료 수집

본 연구는 2015년 충남지역에 발생한 가뭄을 분석하기 위하여 한국농어촌공사 농업기반시설관리시스템 RIMS (Rural Infrastructure Management System)에서 제공하는 농업용 저수지 일저수율 자료를 수집하였다. RIMS에서는 전국저수율현황, 한국농어촌공사의 각 지사별 관할 저수지 저수율 상황, 저수율 30% 미만 저수지 개소수, 50% 미만 저수지 개소수, 고갈저수지 개소수 등의 자료를 일별로 제공하고 있다. RIMS로부터 한국농어촌공사 충남지역본부 관할 농업용 저수지 898개소 중 1종 저수지에 해당하는 130개 저수지의 2000년부터 2015년까지 일저수율 자료를 수집하였다. 수집된 자료 중 이상값과 결측 자료는 내삽 혹은 배제하였다. 130개 저수지의 일별 저수율을 평균하여 충남지역 평균 일저수율 자료를 계산하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 관개기와 비관개기의 구분이 잘 드러났으며 가뭄 기록이 있

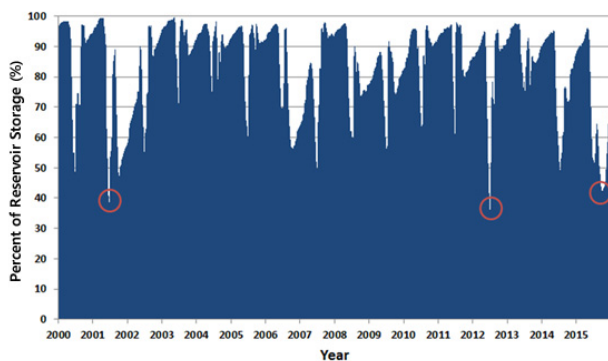


Fig. 1 Variation of averaged daily reservoir storage (%) from 2000 to 2015 in Chungnam province

는 2001, 2012, 2015년 등에서 현저히 낮은 저수율을 확인할 수 있었다. 가장 낮은 저수율은 2012년 6월 29일의 30.6%이었으며 2015년에는 농번기가 끝나는 9월 30일에 최저저수율 41%를 나타냈다. 2001년과 2012년 가뭄년을 제외한 해의 최저저수율이 50% 이상인 것을 감안하면 50% 밑으로 떨어진 2015년의 저수율은 충남지역에 심각한 수준의 가뭄이 발생했던 것으로 추정할 수 있다 (Fig. 1).

3. 분석 방법

RIMS로부터 수집한 충남지역 130개 저수지 저수율에 대하여 필터링, 결측치 보완 등 전처리 작업 후에 저수율에 대한 시공간적 변화 특성을 분석하였다 (Fig. 2). 먼저 전처리과정을 통해 정리된 130개 저수지의 일저수율 자료를 평균하여 충남지역 일저수율 자료를 생성하였다. 본 연구는 저수율의 시계적 변화와 공간적 분포를 나누어 접근하였다. 저수율의 시계적 변화와 특성을 파악하기 위하여 지역 평균된 월단위, 연단위 평균저수율과 최저저수율을 분석하였다. 또한 과거 가뭄해와 2015년의 일저수율 변화를 비교하여 2015년 충남지역에서 발생한 가뭄의 특징을 살폈다. 그리고 저수율이 30%

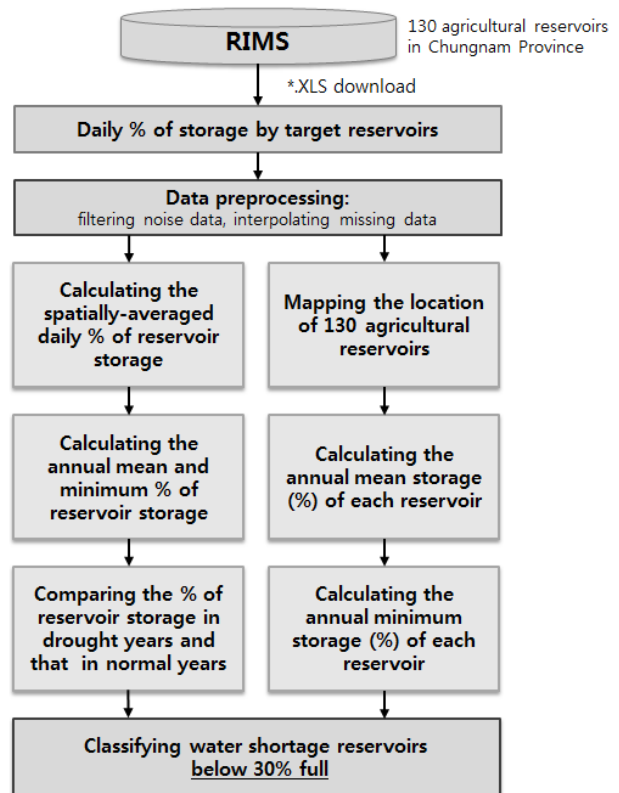


Fig. 2 Procedure for analyzing the drought trends with reservoir storage data in Chungnam Province

미만으로 내려간 고갈위험저수지 발생을 연도별로 비교하였다. 가뭄발생의 공간적 분포를 분석하기 위하여 130개 농업용 저수지 위치를 지도화하였고, 각 저수지의 연평균, 연최저저수율을 추출하였다. 저수지별 과거 저수율과 2015년의 저수율을 비교하였고, 저수율 30 % 미만의 고갈위험저수지의 공간적 분포를 분석하였다.

III. 결 과

1. 월별 저수율 분석

Fig. 1의 일저수율 자료로부터 월별 최저저수율을 추출하면 Fig. 3과 같다. 일저수율 그래프에서와 마찬가지로 2001년과 2012년 다음으로 2015년에서 가장 낮은 최저저수율을 기록하였다. 2001년과 2012년의 월최저저수율 중 가장 낮은 기록은 대부분의 이앙이 끝나는 6월에 각각 31.3 %, 32.9 %이었고, 2015년의 6월의 최저저수율은 49 %로 2001년과 2012년에 비해 높은 수준을 유지하였다. 그러나 2001년과 2012년은 6월 이후 저수율이 상승하는 경향을 보여준 반면 2015년에는 이앙기 이후에도 계속 내려가서 관개기 종료된 9월, 10월에도 회복되지 못하고 41 % 수준까지 하강하는 기록을 나타냈다. 2000년부터 2015년까지 충남지역 5개 기상관측소(서산, 천안, 보령, 부여, 금산)의 평균 연강수량 분석한 결과 2015년 연강수량이 약 811 mm로 이전 가장 적은 강수량을 보인 2001년의 약 872 mm보다도 적게 나타났다. 특히 논벼 관개기간인 6월과 9월 사이 4개월간 강수량을 보면 2015년에 약 308 mm로 가뭄해인 2001년에 비해서도 약 52 %에 지나지 않았다.

일반적으로 농업용 저수지의 저수율은 이앙기 전에 만수위 가까이 유지하다가 연중 농업용수 수요가 가장 큰 시기 중의 하나인 5~6월의 이앙기를 거치면서 급감한다. 추수기인

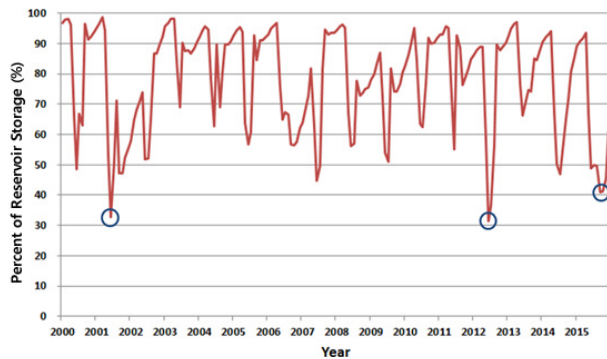


Fig. 3 Variation of averaged monthly minimum reservoir storage from 2000 to 2015 in Chungnam province

9~10월을 지나면서 다시 회복하게 되는데 2015년의 경우에는 9~10월에도 저수율이 평년 수준으로 회복하지 못하고 12월에도 60 % 수준으로 올라갔다. 2000년부터 2014년까지 12월의 평균 최저저수율이 84 %인 것을 고려할 때 2015년의 60 %는 매우 낮은 수준이다. 기준 충남도내 898개 농업용저수지의 10월 평균저수율이 평년저수율의 절반 수준에 그쳤고 강수량도 평년의 50 %를 넘지 못하였기 때문에 11월 이후 평년 이상의 강수량이 발생하더라도 가뭄 해결에는 크게 부족할 것으로 전망되었다 (Ghoi, 2015; Seo, 2015). 관개기가 종료된 후에도 회복되지 않은 충남지역의 낮은 저수율은 다음 해로 이월 (carryover)됨으로써 2016년 봄에 심각한 가뭄이 나타날 수 있다는 우려가 높았다.

2. 연도별 저수율 분석

대상기간에서 연최저저수율은 평균적으로 50~60 % 정도이나 가뭄해인 2001년과 2012년의 최저저수율은 Fig. 1과 Fig. 3에서 확인한 바와 같이 약 30 % 수준이었다. 연 최저저수율이 발생한 시기를 살펴보면 2006년과 2015년을 제외한 모든 해가 6월 중순과 7월 중순 사이에 최저저수율을 기록하였다. 연평균저수율은 평균 약 80 %대로 나타났으며 2015년은 68.3 %로 가장 낮은 기록을 보여주었다. 2001년의 연평균저수율이 72.3 %, 또 다른 가뭄해인 2012년의 연평균저수율은 81 %로 나타나 2015년이 모든 해에서 가장 낮은 연평균저수율을 기록하였다 (Fig. 4). Fig. 3에서 보듯이 다른 가뭄해에 비하여 관개기가 종료된 후의 회복되지 않은 낮은 저수율의 영향도 컸던 것으로 판단된다. 농한기의 저수율은 농업가뭄의 정외상 직접적인 가뭄스트레스와 관련이 없으나 다음 해에 공급해야 할 용수가 제한된다는 측면에서 심각한 우려를 낳는 상황이다.

2015년의 연평균저수율이 2000년 이래 최악의 기록을 보인 것은 장기간 낮은 저수율이 지속되었음을 의미한다. 이것

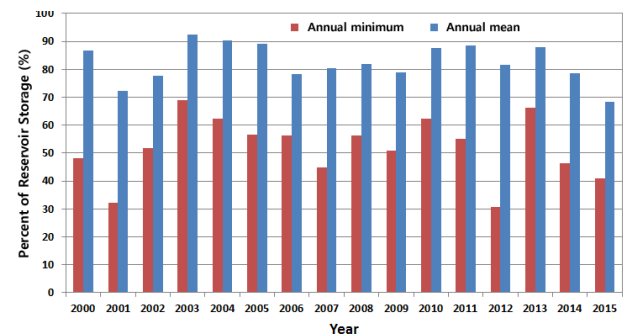


Fig. 4 Variation of averaged annual minimum and annual mean reservoir storage from 2000 to 2015 in Chungnam province

은 연강수량과 6월부터 9월까지 관개기간 중 총강수량이 2000년 이후 가장 적은 양을 보인 것과 일치한다. 가뭄해인 2001년의 경우도 적은 강수량 때문에 평균저수율과 최저저수율이 모두 낮았다. 반면 또 다른 가뭄해인 2012년의 경우에는 연최저저수율이 분석기간 중 가장 낮은 30.6%를 기록하였는데, 이는 연강수량이 약 1,450 mm에 달했지만 이양 후 6월 말까지 강수량이 약 43 mm로 같은 시기 평균 강수량(약 196 mm)에 비해 약 22%에 미치지 못하였기 때문으로 추정된다.

3. 주요 가뭄해 저수율 비교

2000년부터 2014년까지 130개 농업용 저수지들의 일저수율을 평균한 자료와 2001년, 2012년, 그리고 2015년의 일저수율을 비교하면 Fig. 5와 같다. 본격적인 농번기가 시작하는 5월 상순에서 저수지 저수율은 모든 해에서 90% 이상으로 만수 상태에서 시작하였다. 마찬가지로 5월과 6월 사이의 이양기를 거치면서 저수율이 급격히 내려갔고 이후로는 다시 채워지는 양상으로 나타났다. 하지만 2015년의 경우에는 8월 중에 소폭 상승한 것을 제외하면 11월이 되어서야 연속적인 상승곡선을 보였다. 농업용수 수요가 가장 큰 시기 중의 하나인 수잉기(7월)를 거쳐 9월까지의 지속적인 관개수요가 있는 시기이다. 그럼에도 불구하고 다른 가뭄해보다도 낮은 저수율은 충남지역에서 매우 심각한 가뭄스트레스가 있었음을 추정케 한다. 2012년은 가장 낮은 일저수율 기록을 남겼지만 8월말에 가서는 만수위로 회복되었고, 2001년에는 6월 이후 상승하다가 9월 접어들면서 급격히 하락하여 12월에도 매우 낮은 수준에 머물렀다. Fig. 1과 Fig. 3에서 보듯이 2001년 말의 낮은 저수율은 2002년에도 영향을 주었다. 마찬가지로 2015년도 2016년으로의 이월효과가 심각히 우려되는 상황이었다.

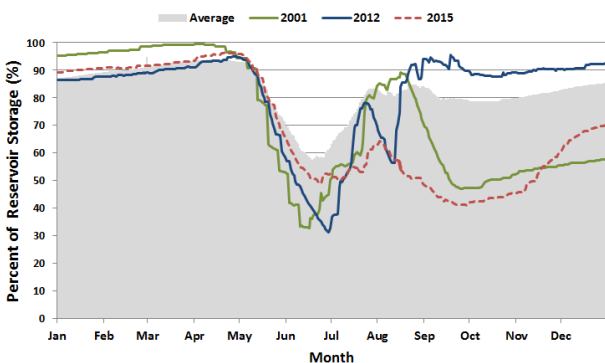


Fig. 5 Variation of averaged daily reservoir storage in the drought years of 2001, 2012, and 2015

4. 고갈위험저수지 분류

저수지의 고갈은 일반적으로 저수위가 사수위 밑으로 내려가 더 이상 취수가 어려운 상태로 정의된다. 본 연구에서는 지역 평균저수율의 하한치를 고려하여 저수율이 30% 미만으로 떨어지는 모든 경우를 고갈위험저수지 범주로 간주하였다. 일저수율이 30% 아래로 내려간 기록이 있는 모든 저수지를 계산하여 월별, 연도별로 합을 구한 결과 Fig. 6와 Fig. 7과 같았다.

저수율이 30% 미만의 고갈위험저수지는 가뭄기록년에 역시 가장 많이 발생하였다. 2001년에 총 60개의 저수지가 고갈위험으로 분류되었고 2012년에는 총 75개로 최고치를 기록하였다. 2015년에는 2001년보다 많은 총 67개의 저수지가 고갈위험 단계로 구분되었는데 2012년보다는 덜하지만 심각한 농업가뭄이 있었음을 증명하는 결과다 (Fig. 6). 더욱이 2014년에도 상당한 수의 저수지가 고갈 혹은 고갈위험에 있는 것으로 나타나 2015년의 충남지역은 가뭄스트레스가 매우 컸음을 알 수 있다.

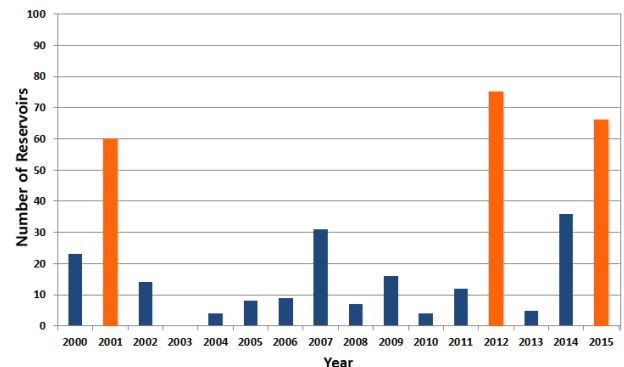


Fig. 6 Yearly change in the number of agricultural reservoirs under the percent of reservoir storage of 30% in Chungnam province

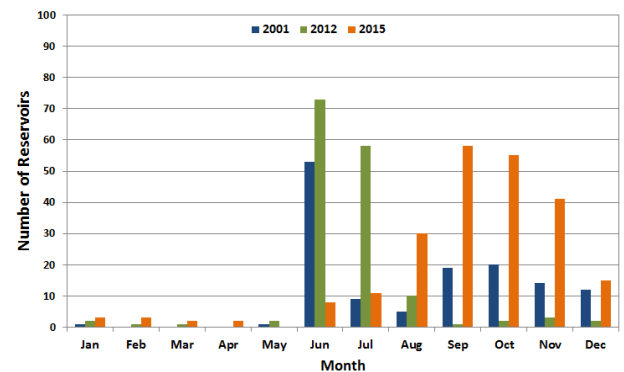


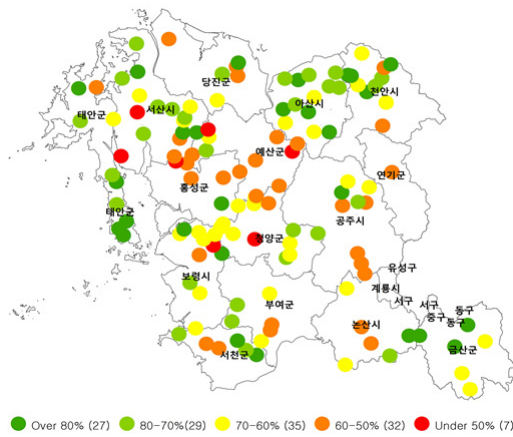
Fig. 7 Monthly change in the number of agricultural reservoirs under the percent of reservoir storage of 30% in Chungnam province during the year of 2001, 2012, and 2015

2001년과 2012년에는 고갈위험저수지의 발생이 6월과 7월에 집중되었고 많은 비가 내리는 7월 중순 부터 저수율이 회복되어 급격히 감소하는 모습을 보인다. 2015년의 월별 고갈위험저수지 발생 추이를 살펴보면 Fig. 7에서 보는 바와 같이 본격적인 관개가 시작되기 전에는 월별 단지 5개 저수지만 저수율 30% 이하였지만 6월부터 증가하여 9월에는 58개까지 늘어났다. 관개가 종료된 10월과 11월에도 각각 55, 42개소가 고갈위험저수지로 분류되었고 12월에조차도 17개소가 고갈위험 단계에 남아있었다. 다른 가뭄기록년에 비해 2015년 가뭄은 7월부터 9월 사이에 심각하였는데 이는 2015년 관개기간 중 용수부족에 대한 우려뿐만 아니라 2016년까지도 가뭄위험이 계속될 수 있다는 경고로 해석되었다. 하지만 2015년 11월에 평년 월강수량 52.7 mm의 약 2.6배에 달하는

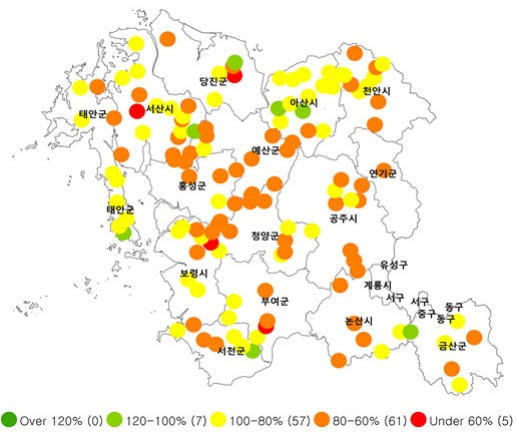
약 136 mm 강수가 내리고 저수율이 회복되면서 최악의 상황을 벗어났다(Seo, 2015).

5. 2015년 저수율 공간분포 분석

연구대상으로 설정한 충남지역 내 130개 농업용 저수지 저수율의 지역간 차이를 분석하기 위해 Fig. 8과 Fig. 9에서와 같이 지도를 작성하였다. Fig. 8 (a)는 2015년 평균저수율이 낮은 저수지들이 지리적으로 충남 중심지역에 주로 분포하는 것을 보여준다. 평균저수율이 60% 이하인 저수지는 59개로 서 주로 홍성군과 예산군 등을 중심으로 분포하였고, 아산시와 태안군의 저수지들에서는 상대적으로 높은 저수율을 유지하였다. 2015년 충남지역은 외곽지역보다는 내부 중심지역에서의 물부족 압박이 컸음을 추정할 수 있다. 평상시와 비교

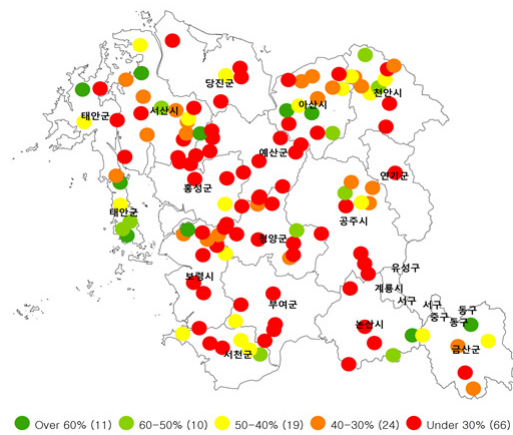


(a) Percent of mean reservoir storage in 2015

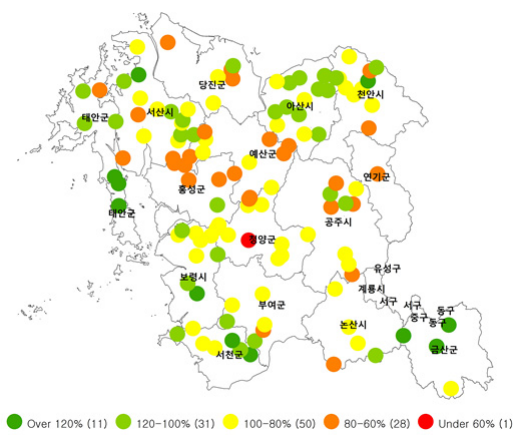


(b) Mean reservoir storage in 2015 to in other years except the major drought years

Fig. 8 Spatial distribution of annual mean reservoir storage for 130 irrigation reservoirs in Chungnam province for the year of 2015



(a) Percent of minimum reservoir storage in 2015



(b) Minimum reservoir storage in 2015 to in 2001

Fig. 9 Spatial distribution of annual minimum reservoir storage for 130 irrigation reservoirs in Chungnam province for the year of 2015

하기 위해 가뭄해였던 2001년과 2012년을 제외한 2000년부터 2014년까지의 평균저수율 대비 2015년 저수율을 비교하였다(Fig. 8 (b)). 2015년 저수율보다 높았던 저수지는 단 7개에 그쳤고 나머지 123개소는 평균저수율에 미치지 못하였다. 정도에 차이는 있으나 충남지역 전역이 가뭄에 노출됐던 것으로 볼 수 있다. 특히 적누(청양군), 내현(보령시), 풍전(서산시), 가신(부여군), 오봉(당진군) 등 5개 저수지는 평상시 저수율 대비 60% 수준에도 미치지 않아 극심한 물부족을 겪은 것으로 추정된다.

2015년 저수지들의 최저저수율을 분석한 결과는 대상 130개 저수지 중 50%가 넘는 66개소에서 30% 미만의 최저저수율을 보였고 40% 미만 조건에선 90개 저수지로 증가하였다(Fig. 9 (a)). 연중 최저저수율이 30% 미만으로 내려간 저수지들은 충남지역 전 시군에 걸쳐 분포하였다. Fig. 9 (b)는 가뭄이 극심했던 2001년 대비 2015년 최저저수율의 비를 계산한 결과다. 2015년 이전 가장 극심했던 가뭄해와 비교하여 2015년의 가뭄강도를 설명할 수 있다. 2015년에 상대적으로 낮은 최저저수율을 보인 저수지는 79개소로 대부분 청양군, 예산군, 홍성군 등 충남 중심지역에 위치하고 있다. 특히 청양군에 소재한 적누저수지는 가뭄년이었던 2001년에 비해 47% 수준에 그쳤다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 한국농어촌공사 농업기반시설관리시스템 RIMS로부터 수집한 충청남도 농업용 1종 저수지 (130개소)의 일 저수율 (2000~2015년) 자료를 이용하여 2015년 충남지역에 발생한 농업가뭄의 전개 특성을 분석하였다. 충남지역에서 발생한 2015년 가뭄의 특징은 관개시기가 끝났음에도 저수지 저수율이 12월까지도 회복되지 않고 9월에 최저저수율을 기록한 점이다. 일반적으로 모내기가 끝나고 소비수량이 커지는 6~7월에 걸쳐 저수율이 가장 낮아지지만 2015년에는 9월말에 최저로 내려갔다. 과거 가뭄해인 2001년과 2012년의 경우와 비교하여도 다른 저수율 변화를 보여줬다. 2001년과 2012년의 최저저수율은 6월에 나타났고 2015년의 최저치보다 더 낮은 수치를 기록하였다. 반면 연평균저수율은 2015년이 과거 가뭄해보다도 낮은 것으로 나타났다. 저수율 30% 이하로 내려간 저수지 개소도 9월과 10월에 최대치를 보였다. 이미 2014년에도 적지 않은 가뭄스트레스가 있었던 만큼 2015년에 발생한 장기간의 낮은 저수율은 충남지역에서 심각한 가뭄스트레스 원인이었을 것으로 추정된다. 2015년 11월까지 평상시 수준으로 회복되지 않은 저수율은 다음 해의 봄가뭄으로 이어질 수 있기 때문에 당시 심각한 가뭄피해가

발생할지도 모른다는 우려가 강하였다.

2015년의 경우 평균저수율이 60% 이하인 저수지가 59개소, 연중 최저저수율이 30% 이하인 떨어진 저수지가 66개소로 대상 저수지 130개소의 약 50%에 달하였다. 저수지별로 평상시 연평균저수율 대비 2015년 평균저수율을 보면 123개소에서 평균에 미치지 못하는 것으로 분석되었고, 2015년의 최저저수율을 가장 극심했던 가뭄해 중의 하나인 2001년의 경우와 비교해서도 79개 저수지가 낮은 결과를 보였다. 지리적으로는 청양군, 홍성군 등 충남 내륙지역에 위치한 저수지들에서 전반적으로 낮은 수준의 저수율을 보여주는 것으로 나타나 이 지역에서의 가뭄이 주변 지역보다 더 심각했음을 추정할 수 있었다. 따라서 이들 지역의 가뭄대응능력을 높이기 위한 노력들이 우선 필요하며, 기존 저수지를 리모델링하거나 새로운 수원공, 용수이용체계를 개발하는 등의 방안들이 적극적으로 고려되어야 할 것으로 사료된다.

오랜 기간 상당한 수준으로 정비된 국내 수리시설기반, 특히 농업용 저수지는 기상학적 가뭄을 완충하고 농업가뭄의 강도와 피해를 저감하는데 일조하여 왔다. 그러나 10년 가뭄빈도로 설계된 농업용 저수지로는 2015년 가뭄과 같은 기상현상 하에서는 안전한 용수공급을 기대하기 어렵다. 또한 기후변화의 영향으로 극단적인 가뭄 발생 가능성이 높아지는 만큼 국내 농업용 저수지의 가뭄대응 능력을 발전시킬 수 있는 기술과 투자가 요구되고 있다. 이에 본 연구는 먼저 농업가뭄의 직접적 지표로 이용할 수 있는 농업용 저수지의 저수율 자료를 살펴봄으로써 가뭄상황에서 농업용 저수지 저수율의 거동을 분석하고 가뭄의 진행 특성을 파악하고자 하였다. 충남지역에 한정하여 2015년의 가뭄상황을 분석한 본 연구 결과는 저수지 저수율 자료에 한정하고 다른 가뭄지표들은 고려하지 못한 한계는 있으나 농업가뭄 대응 전략 수립과 물관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 그리고 본 연구에서 사용한 접근방법을 전국에 걸쳐 확대하고 이를 정보화함으로써 가뭄에 대비한 종합적인 농업용수 이용 관리에 기여할 수 있을 것이다.

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호 116051-03).

REFERENCES

1. Ahn, S. R., J. Y. Park, I. K. Jung, S. J. Na, and S. J. Kim, 2009.

- Hydrological Drought Assesment of Agricultural Reservoirs based on SWSI in Geum River Basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(5): 35-49 (in Korean).
2. Ahn, S. S., S. D. Jeong, J. S. Lee, K. D. Yoon, and I. S. Chang, 2002. A Study on the Determination of Water Storage-Supply Capacity of Agricultural Reservoir. *Journal of Environmental Science International* 11(12): 1217-1226 (in Korean).
 3. Choi, J., 2015, Chungnam suffering from devastating drought, extremely depleted reservoirs, http://www.daejonilbo.com/news/newsitem.asp?pk_no=1189992, Accessed 12 Dec. 2015 (in Korean).
 4. Jang, M. W., 2009. The Current Status and Causes of 2008 Drought in Gyeongnam Province. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(1): 31-35 (in Korean).
 5. Kim, G. S., M. J. Kim, Y. J. In, B. J. Kim, and H. S. Park, 2015. Evaluation of Drought Indices by Quantifying the Drought Records. Proceedings of the Autumn Meeting of KMS, *Korean Meteorological Society* 617-618 (in Korea).
 6. Kim, J. T., K. W. Park, and J. U. Jong, 2005. Reservoir Water Monitoring System with Automatic Level Meter. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainag* 12(1): 60-68 (in Korean).
 7. Kim, T. C. and S. H. Lee, 2002. Evaluation method of Drought for Irrigation Reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(2): 75-80 (in Korean).
 8. Kim, Y. T., J. Y. Kim, J. J. Lee, and H. H. Kwon, 2015. Assessment of Drought Characteristics and Return Period for 2015. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 63(9): 14-24 (in Korean).
 9. KMA (Korea Meteorological Administration), [Http://www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr). Accessed 31 Jan. 2016.
 10. K-water (Korea Water Resources Corporation), Records of Drought Damages in South Korea. [Http://www.kwater.or.kr](http://www.kwater.or.kr). Accessed 31 Jan. 2015.
 11. Lee, J. H., K. J. Cho, C. J. Kim, and M. J. Park, 2012. Analysis on the spatio-temporal distribution of drought using potential drought hazard map. *Journal of Korea Water Resources Association* 45(10): 983-995 (in Korean).
 12. Lee, J. L., S. R. Jo, and J. B. Ahn, 2015. Analysis of Spring Drought in the East Asia including Korea Peninsula from 1961 to 2012. Proceedings of the Autumn Meeting of KMS, *Korean Meteorological Society* 84-85 (in Korean).
 13. MFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries) and KRC (Korea Rural Community Corporation), 2014. Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture 2013, Korea Rural Community Corporation.
 14. Nam, W. H., J. Y. Choi, M. W. Jang, and E. M. Hong, 2013. Agricultural Drought Risk Assessment using Reservoir Drought Index. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(3): 41-49 (in Korean).
 15. Nam, W. H., J. Y. Choi, S. G. Choi, M. W. Jang, N. H. Lee, and K. D. Ko, 2011. A Survey on Irrigation Timing and Water Saving Strategies of Agricultural Reservoirs. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage* (1): 81-93 (in Korean).
 16. RIMS (Rural Infrastructure Management System), [Http://rims.ekr.or.kr](http://rims.ekr.or.kr). Accessed 31 Mar. 2016.
 17. Ryu, J. H., D. R. Lee, J. H. Ahn, and Y. N. Yoon, 2002. A Comparative Study on the Drought indices for Drought Evaluation. *Journal of Korea Water Resources Association* 35(4): 397-410 (in Korean).
 18. Seo, J. H., A record maximum rainfall on November since 1973, but still insufficient to recover to the normal. [Http://news.heraldcorp.com](http://news.heraldcorp.com). Accessed 29 Sep. 2016 (in Korean).
 19. Seo, J. H., Weaker El-Niño causing the extreme drought in this autumn, [Http://news.heraldcorp.com](http://news.heraldcorp.com). Accessed 10 Dec. 2016 (in Korean).
 20. WAMIS (Water Resources Management Information System), Records of Drought Damages. [Http://www.wamis.go.kr](http://www.wamis.go.kr). Accessed 31 Jan. 2016.
 21. Wilhite, D. A. and M. H. Glantz, 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3): 111-120.