SWSI에 기반한 금강권역 농업용 저수지의 수문학적 가뭄평가

Hydrological Drought Assessment of Agricultural Reservoirs based on SWSI in Geum River Basin

안소라* · 박종윤** · 정인균** · 나상진*** · 김성준****,†

Ahn, So Ra* · Park, Jong Yoon** · Jung, In Kyun** · Na, Sang Jin*** · Kim, Seong Joon****,†

ABSTRACT

This study proposes a method to evaluate agricultural reservoirs drought by modifying SWSI (Surface Water Supply Index). The method was applied to Geum river basin and the results were represented as spatially distributed information. The SWSI evaluates hydrological drought of watershed unit by selectively applying one or all of the components of snowpack, precipitation, streamflow and reservoir storage. South Korea has 22 % of agricultural area, and rice paddy covers 64 % among them. Usually paddy fields scattered along stream are irrigated by so many small agricultural reservoirs. It is difficult to evaluate agriculture drought by the little information and large number of agricultural reservoirs. In this study, seven agricultural reservoirs over 10 million ton storage capacity were selected in Geum river basin, and the SWSI was evaluated for both upstream and downstream of the reservoirs using 16 years data (1991-2006). Using the results, multiple regression analyses with precipitation and reservoir storage as variables were conducted and the equations were applied to other watersheds. The spatial results by applying regression equations showed that the severe and moderate drought conditions of July and September in 1994, June in 1995, and May in 2001 were well expressed by the watershed unit.

Keywords: Agricultural reservoir; reservoir storage; agriculture drought; SWSI

1. 서 론

최근 들어 빈번하게 발생하는 이상기후 현상에 의해 홍수 및 가뭄 등 자연재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 여러 가지 자연재해 중 가뭄은 그 특성상 홍수 등 기타 자연재해와는 달리 진행속도가 느리므로 시·공간적으로 정확하게 판단하기 쉽지 않다. 기후변화에 의한 가뭄과 함께 산업화와 도시화에 따른 물 수요도 급증하고 있어 사용가능한 물의 양은 점점 줄어드는 심각한 상황을 맞고 있다.

가뭄은 단순히 단어로 정의하기는 매우 어려우며, 가뭄의 파악 및 예측 또한 정량적으로 해석하기 매우 어렵다. 가뭄은 주기적으로 재발되는 기후의 한 특성으로 특정기간 동안의 강수량 부족으로 인해 집단 및 환경부문에 있어서 물 부족을 야기하는 것을 말한다. 또한 가뭄은 단순히 물리적이고 자연적인 현상에 의한 것이 아니라 기후변동에 의한 자연적 사건과 인간에 의한 물의 수요와 공급과의 상호작용에 기인하며, 이러한 가뭄이 사회에 미치는 영향은 최근 그 심각성이 더 악화되고 있는 실정이다.

일반적으로 기상학적인 관점에서 가뭄은 강우가 오랫동안 발생하지 않거나 적게 발생하는 기간이 지속되는 현상으로 정의하며, 수문학적인 관점에서 가뭄은 강우량의 부족으로 인한 하천유출 및 저수량 등의 결핍을 의미하게 된다. 특히 농업적인 관점에서 가뭄은 강우의 부족으로 인하여 토양수분의 감소 및 농업용 저수지의 저수량 저하로 농작물 생육 및 수확량에 직접적인 영향을 미치는 것으로, 기상 또는 수문학적 가뭄이 농업에 미치는 영향을 고려하여 정의된다. 우리나라의 논 관개지역

* 한국수자원공사 수자원연구소

** 건국대학교 대학원

*** 한국수자원공사 조사기획단

**** 건국대학교 생명환경과학대학

† Corresponding author. Tel.: +81-2-444-0186

Fax: +81-2-444-0186

E-mail address: kimsj@konkuk.ac.kr

2009년 7월 21일 투고

2009년 9월 1일 심사완료

2009년 9월 14일 게재확정

은 농업용 저수지의 저수량에 영향을 받으며 이러한 농업지역의 가뭄을 파악하기에는 현실적으로 어려운 실정이다. 따라서 우리나라의 농업과 가뭄상황에 맞게 농업가뭄을 표현할 수 있는 최적의 가뭄지수를 산정하거나 개발할 필요가 있다.

기존 가뭄관련 연구는 가뭄발생심도를 가뭄지수에 의해 파악하고, 가뭄지수를 이용하여 가뭄관리 의사결정에 이용하는 것이다. 국외에서는 가뭄평가를 위한 연구로서 McKee et al. (1995)은 Colorado의 Fort Collins 지방을 대상으로 PDSI와 SPI의 상관성을 분석하였고, Rao et al. (1996)은 강우량, 유출량, 일 최고기온, PHDI 등의 4가지 기후학적 시계열의 확률 개념을 이용하여 가뭄감시지표를 개발하여 Indiana 주에 적용하여 표준화된 유출지수, PHDI를 가뭄감시를 위해 추천하였다. Guttman (1998)은 스펙트럼 분석을 이용하여 미국 전역의 PDSI와 SPI를 비교한 바 있다. 국내에서 가뭄평가를 위한 연구로서 Yun et al. (1997)은 Palmer 가뭄지수 및 기후특성인자의 산정공식을 국내 기상자료를 이용하여 수정하여 지역별로 계속기간별 가뭄지수를 산정하였다. Kim and Park (1999)는 가뭄의 시·공간적 변화를 규명하기 위해 SPI와 PDSI를 이용하여 우리나라 주요지점에 대한 가뭄의 빈도, 심도, 지속기간을 분석하고 과거 가뭄의 표현과 통계적 특성을 비교한 바 있다. Ryu et al. (2002)은 기존 가뭄지수들 (PDSI, SWSI, SPI)의 시공간적 특성과 가뭄지수간의 상관성을 비교하여 국내 수문학적 환경에 적용할 수 있는 가뭄지수를 제시하였고, Lee et al. (2003)은 과거 가뭄상황과 PDSI, SPI 및 SWSI의 전국적인 가뭄지수의 분석을 통해 가뭄지수의 시·공간적인 해석과 가뭄정보를 위한 가뭄단계 기준을 제시한 바 있다. Kwon et al. (2006)은 수문학적인 가뭄평가를 위하여 SWSI를 보완하여 강우, 하천수위, 댐 저수량, 지하수위자료를 사용한 MSWSI (Modified SWSI)를 개발하였다.

Korea Water Resources corporation (2002)에서 구축한 가뭄관리 시스템에서는 PDSI (Palmer Drought Severity Index), SPI (Standard Precipitation Index), SWSI (Surface Water Supply Index) 가뭄지수를 월별로 산정하고 그 분포도를 제공하고 있다. PDSI와 SPI는 기상자료와 강수량만을 이용하여 가뭄을 평가하는 기상학적인 가뭄지수로 알려져 있으며, SWSI는 지표의 물 공급 체계를 고려하여 유역단위로 가뭄을 평가할 수 있어 가장 수문학적인 가뭄지수로 알려져 있다 (Kwon et al., 2006). 본 연구의 목적인 농업용 저수지 유역의 가뭄을 평가할 수 있는 최적의 가뭄지수 선정에 있어 SWSI는 기상 또는 수문학적 가뭄이 농업지역에 미치는 영향을 평가하기에 적절한 가뭄지수로 SWSI를 이용하여 농업지역의 가뭄 평가를 수행할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 수문학적 가뭄을 평가하는데 활용성이 높은 것으로 분석되는 SWSI를

보완하여 농업지역의 가뭄을 평가하고자 한다. 입력인자로 저수지 유입량 및 저수량, 강수량을 이용하였으며, 산정된 가뭄지수를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 금강유역의 농업용 저수지 가뭄분포도를 작성하였다.

II. ASWSI (Agricultural SWSI) 가뭄평가 기법

SWSI는 PDSI의 광범위한 토양수분조건을 지형적으로 변화가 심한 산악지역의 용설에 적용하는데 따르는 한계를 보완하는 과정에서 제안된 지수로서, Shafer and Dezman (1982)에 의해 개발되어 미국 콜로라도 유역에 최초로 적용되었다. 이 지수는 가뭄에 영향을 미치는 표면유출인자 (강수, 적설, 하천 유출, 저수지 저수량)로 구성되어 있으며, 각 인자를 통계학적으로 해석하고 인자의 유역 기여도를 가중치로 사용함으로써 유역을 대표하는 하나의 지수를 얻게 된다.

SWSI를 산정하기 위해서는 가뭄에 영향을 미치는 수문인자를 결정하고 결정된 수문인자들을 통계학적으로 분석하여야 하며, Shafer and Dezman (1982)은 각종 수문인자에 확률의 개념을 추가하여 수문인자들의 비교 및 조합이 가능하도록 개발하였다. 즉, 유역의 각 수문인자를 월별로 시계열을 구성한 뒤 각 월별 시계열을 정규화 함으로서 확률밀도함수를 구하고 이로부터 얻어진 누가확률분포함수로부터 비초과확률을 산정하게 된다. 이렇게 산정된 각종 수문인자의 비초과확률과 가중계수로부터 식 (1)에 의하여 산정된다.

$$SWSI = \frac{a \times PN_{sp} + b \times PN_{pcp} + c \times PN_{sf} + d \times PN_{rs} - 50}{12} \quad (1)$$

여기서, PN은 비초과확률이며, a, b, c, d는 각 수문인자의 가중계수 ($a+b+c+d=1$), sp는 적설인자 (snowpack component), pcp는 강수인자 (precipitation component), sf는 하천유출인자 (streamflow component), rs는 저류량인자 (reservoir component)이다.

본 연구에서 사용한 농업 가뭄지수는 기존의 SWSI 가뭄지수를 보완한 지수로서 Kwon et al. (2007)에 의해 개발되었으며 경기도 안성시에 위치한 안고, 안서용수구역에 적용하여 농촌 유역에 대하여 그 적용성을 검토한 바 있다. 본 연구에서는 농업용 저수지를 포함하는 용수구역단위에 있어서 가뭄에 영향을 미치는 인자를 강수량, 저수지 유입량 및 저수량으로 결정하고 농촌유역에 적용하였다. 용수구역내의 저수지 상류지역은 강수량과 저수지유입량을 사용하였고 하류지역은 강수량과 저수지 저수량을 사용하였다. 저수지 상·하류에 대하여 서로 다른 수문변수를 이용한 이유는 금강유역의 대표 저수지 유역에 대해

Fig. 1 Flowchart of ASWSI calculation

사용 가능한 입력인자와 저수지 상·하류 지역에 가뭄에 영향을 줄 수 있는 인자의 종류를 검토해본 결과 저수지 상류유역은 강수량과 저수지 유입량, 하류유역은 강수량과 저수지 저수량이 사용 가능한 입력인자로 도출되었다. 또한 본 연구의 목적이 농업용 저수지 유역의 가뭄을 파악하는 것인 만큼 저수지 저수량은 농업가뭄에 상당한 영향을 미치며 상류유역의 저수지 유입량은 저수지 저수량에 직접적으로 영향을 미치고 이는 곧 하류의 수해지역에 영향을 미치기 때문이다. 농업용 저수지의 가뭄을 평가하기 위하여 보완된 SWSI는 ASWSI (Agricultural SWSI)라 하였으며 식 (2)로 표현된다.

$$ASWSI = \frac{a \times PN_{st} + b \times PN_{if} + c \times PN_{pcp} - 50}{12} \quad (2)$$

여기서, PN은 비초과확률이며, a, b, c는 각 수문인자의 가중계수(a+b+c=1), st는 저수지저류량 (reservoir storage component), if는 저수지유입량 (reservoir inflow component), pcp는 강수인자 (precipitation component)이다. ASWSI의 산정과정은 Fig. 1과 같다.

III. 대상유역 및 입력인자의 수집

1. 대상유역

본 연구의 대상유역인 금강권역의 면적은 약 17,537km²으로 4개의 대권역 (금강본류, 삼교천, 금강서해, 만경·동진)으로 이루어져 있으며 21개의 중권역이 포함되어 있다. 금강권역은 과거 1994년, 1995년에 큰 가뭄기록이 있었고 2001년에도 봄 가뭄을 겪은 것으로 나타나 있다 (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 1995; Korea Water Resources

Table 1 Information of selected seven agricultural reservoirs in Geum river basin

Rank	Reservoir	Effective storage (10 ³ m ³)	Irrigation area (ha)	Watershed area (ha)
1	Daea	55,270	8,382	12,000
2	Yedang	47,103	6,917	37,360
3	Tapjeong	31,927	5,713	21,880
4	Gyeongcheon	25,604	7,738	9,765
5	Baekgok	21,750	2,613	8,479
6	Miho	13,872	2,499	13,330
7	Gui	11,639	2,753	6,210

Fig. 2 Selected seven agricultural reservoirs in Geum river basin

corporation, 2001). 금강권역의 농업지역 가뭄을 평가하기 위하여 금강권역 내 농업용저수지 총 2,611개 (금강본류 1,310개, 삼교천 146개, 금강서해 297개, 만경·동진 858개) 중 분석에 사용될 대표저수지를 선정하였다. 농업용 저수지는 관개용수를 공급하기 위하여 건설된 것으로, 2,611개 저수지의 유효저수량과 관개면적, 수해면적을 모두 조사하여 유효저수량과 관개면적, 수해면적이 큰 순으로 나열하였다. 이후 1,000만 m³ 이상인 농업용 저수지만을 1차적으로 선별하였는데 이는 대아, 예당, 탐정, 백곡, 미호, 청천, 동상, 구이, 동부, 맹동, 경천, 옥구저수지로 12개소이다. 이 중에서 위치파악이 용이하고 저수지 저수량의 시계열 자료의 확보가 용이하며, 금강권역 내에 골고루 분포되는 7개의 저수지 즉, 대아, 예당, 탐정, 경천, 백곡, 미호, 구이저수지를 최종적으로 선정하였다 (Table 1, Fig. 2). 이들 선정된 7개 저수지 저수량과 2,611개의 저수지들을

행정구역별로 합산한 저수량과 비교해봤을 때 대표저수지 저수량이 해당 행정구역별 저수량의 합계의 72~95 %를 차지하였다.

2. 강수인자의 수집 및 가공

본 연구를 위해 우선적으로 수집된 자료는 기상청에서 제공하는 금강유역 내 17개 기상관측소의 강수량 자료로 1973년 ~ 2006년 (35개년)을 수집하였다. 17개소 기상관측소의 지점 강수량 자료를 용수구역별 월평균 공간 강수량으로 변환하기 위해 관측소별 월 강수량을 역거리가중법 (IDW: Inverse Distance Weight)에 의한 공간내삽법을 적용하여 공간 강수량을 생성하였다. 역거리가중법은 지점간의 거리를 가중 평균하여 인접한 지점간을 내삽하는 방법으로서 IDRISI Andes 소프트웨어를 사용하였다.

Fig. 3 Monthly precipitation map (January 2001)

트웨어를 사용하였다. Fig. 3은 금강유역의 2001년 1월의 공간 강수량을 나타내고 있다.

3. 저수지 저수량인자의 수집 및 가공

저수량자료는 한국농촌공사의 RIMS (농업기반시설관리시스템, <http://rims.ekr.or.kr/>)의 자료를 이용하였는데 16개년 (1991~2006) 동안의 선정된 7개 저수지에 대한 일별 현재저수량을 수집하여 월평균 저수량 자료로 정리하였다. Fig. 4는 대표적으로 예당, 탐정저수지의 저수량을 나타낸 그림이다. 각 저수지의 저수량은 관개기인 4월에 급격히 감소하기 시작하여 6월까지

(a) Yedang reservoir

(b) Tapjeong reservoir

Fig. 4 Monthly storage of Yedang and Tapjeong reservoir

Table 2 Storage rate of selected seven agricultural reservoirs of each period

Period		Daea	Yedang	Tapjeong	Gyeonhcheon	Baekgok	Miho	Gui
Year	Max.(%)	92.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Avg.(%)	50.1	73.1	78.6	62.9	77.9	86.9	75.6
	Min.(%)	3.0	21.1	22.6	4.1	42.0	47.6	12.0
April~June	Max.(%)	47.8	93.5	94.0	68.7	93.8	96.3	88.9
	Avg.(%)	46.1	71.6	76.6	58.4	74.6	84.1	77.3
	Min.(%)	44.2	49.2	57.1	44.8	52.2	73.4	63.4
July~September	Max.(%)	51.7	58.9	70.5	63.5	74.7	83.7	76.5
	Avg.(%)	49.8	57.1	69.0	61.8	69.6	81.7	74.4
	Min.(%)	48.0	54.8	66.8	60.0	66.0	79.5	72.2
October~March	Max.(%)	58.6	95.7	95.5	68.3	92.3	98.0	84.3
	Avg.(%)	52.2	82.0	84.4	65.7	83.7	90.8	75.3
	Min.(%)	47.0	62.7	68.6	64.1	73.3	82.3	69.9

지 통상 저수량은 최저로 낮아지며 장마철인 7월에 급증하여 9월까지 증가하는 추세를 보였다. 비관개기인 10월부터 다음해 3월까지의 저수율이 100%까지 도달하는 만수상태를 유지하는 것으로 분석되었다. 과거 가뭄년으로 알려진 1994년의 가뭄은 1995년에도 저수량을 회복시키지 못하고 가뭄이 계속됨을 알 수 있었으며, 2001년에도 금강권역에 대규모의 가뭄이 발생했음을 알 수 있었다. Table 2는 16개년 동안 관측된 7개 저수지(대아, 예당, 탑정, 경천, 백곡, 미호, 구이)의 총 저수량에 대한 연평균, 시기별 평균 저수율을 산정한 후 분석한 결과이다.

4. 저수지 유입량인자의 구축 및 가공

금강권역 내 선정된 7개 저수지의 유입량 실측자료의 부재로 인하여 PRMS (Precipitation-Runoff Modeling System)모형을 이용하여 산정하였다. 본 연구에서 농업용 저수지 유역의 가뭄지수를 구하기 위해 필요한 저수지 유입량은 과거 대표적 가뭄사상에 유입량이 반응하는 정도의 자료의 질이 요구된다. 따라서 금강유역 내 골고루 분포하고 있는 7개 저수지 유역에 대한 각각의 매개변수 추출에는 한계가 있다고 판단하여 대표적으로 용담댐 유역에 대하여 매개변수를 추출하고 이를 7개 저수지 유역에 적용하여 유출모의를 수행하고 유입량 자료를 산정하였다. 용담댐 유역은 금강 수계에 위치하고 있으며, 전라북도 장수군, 무주군, 진안군을 포함하며 유역면적이 930.4 km²이다. 용담댐 유역도는 Fig. 5와 같다.

PRMS (Leavesley et al., 1983) 모형은 미국 USGS (U.S. Geological Survey)에서 개발한 모형으로 유역의 토지이용, 강수형태, 토양수분의 변화, 지하수 저류 등에 의한 유역반응의 영향을 평가하기 위해 개발된 준분포형 (semi-distributed) 모형이다. 유역을 경사, 경사향, 고도, 식생분포, 토양종류, 강우분포 등의 지형학적 특성이 균질한 소유역으로 나누어 소유역

별 매개변수를 산정한 다음 소유역별 수문학적 반응의 합을 유역의 총유역 반응으로 계산한다. 이러한 소유역을 수문응답단위 (Hydrologic Response Unit, HRU)라 하며, HRU별로 유출분석을 수행하고 전체유역에 대한 총합을 유역의 유출량으로 모의한다 (Jung and Bae, 2005). PRMS 모형은 국내 다양한 유역에 적용되어 모형의 모의능력이 우수한 것으로 검증된 바 있다 (Jung and Bae, 2005; Kim et al., 2005; Ku et al., 2003; Kim and Kim, 2002).

PRMS의 지형자료는 DEM, 토양도, 토지이용도, 임상도가 사용된다 (Fig. 6). 기상자료는 강수, 최고기온, 최저기온, 태양복사량 등이 요구되며 태양복사량자료가 없을 경우에는 모형 내부에서 계산된다. 용담댐 유역의 기상자료는 용담댐유역 내에 위치한 기상청의 장수관측소 (1966~2006년) 기상자료를 사용하였다. 용담댐 유역의 유역분할은 수자원단위지도의 8개의 표준단위유역으로 분할하였다.

PRMS 모형은 매개변수를 추출하기 위하여 매개변수 추출 전처리기를 필요로 하는데, 현재까지는 USGS에서 개발한 GIS

Fig. 5 Yongdam dam watershed

Table 3 Summary of model verification of Yongdam dam and Guryangcheon watershed

Watershed	Year	Precipitation (mm)	Runoff (mm)		Runoff Ratio (%)		R ²	RMSE (mm/day)	ME
			Obs.	Sim.	Obs.	Sim.			
Yongdam dam	2002	1,699	1,165	1,329	69	78	0.70	4.97	0.59
	2003	2,208	1,686	1,847	76	84	0.85	4.06	0.83
	2004	1,398	786	1,024	56	73	0.85	2.25	0.79
	2005	1,432	586	879	41	61	0.60	3.33	0.49
	2006	1,354	744	996	55	74	0.77	3.30	0.76
Guryangcheon	2001	1,361	602	417	44	30	0.71	5.59	0.63
	2002	1,698	731	628	43	37	0.85	6.57	0.75
	2003	2,207	1,668	802	75	36	0.83	9.69	0.64
	2004	1,398	731.7	441	52	31	0.83	5.35	0.57

Fig. 6 GIS data of Yongdam dam watershed

Fig. 7 Monthly inflow of Yedang and Tapjeong reservoir

Weasel 프로그램을 사용하여 추출하였다. 그러나 이러한 방법들은 국내 유역에 적용시 지형 입력자료의 형식을 GIS Weasel 형식으로 변환해 주어야 하는 번거로움과 국내 유역의 특성에 적합한 유출매개변수의 추출이 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 국내 유역에 적합한 매개변수를 추출하기 위하여 Hwang et al. (2007)이 개발한 유역특성자료 분석시스템을 이용하였다. 유역특성자료 분석시스템은 분할된 HRU를 분할 및 병합하는 편집과정을 거쳐 사용자가 원하는 형태의 HRU를 구성할 수 있는데, 본 연구에서는 수자원단위지도의 표준단위유역도를 사용하여 하나의 표준유역을 하나의 HRU로 가정하여 8개로 분할된 HRU 단위로 매개

변수를 추정하였다. 추정난해 매개변수는 모형자체에서 제안하는 기본값을 사용하여 모형을 구동한 뒤 Rodenbrock 방법 (Rodenbrock, 1960)을 이용하여 최적화를 수행하였다. 이 매개변수를 이용하여 용담댐수위표 지점에 대하여 보정 (1966~2001)하고 용담댐수위표 지점 (2002~2006)과 동향수위관측소 지점 (2001~2004)에 대하여 각각 검증하여 유출모의를 수행하였으며, 1991년부터 2006년까지의 일 유입량을 산정하였다. Table 3은 검증결과를 나타낸 것이며, Fig. 7은 7개 저수지 중 대표로 예당, 탐정저수지의 유입량을 월별로 도시한 것이다.

IV. 농업용 저수지 유역의 ASWSI 적용

ASWSI의 적용을 위하여 각 농업용 저수지 유역에 사용되는 수문인자를 월별로 정리하고 확률분석을 위하여 평균 및 표준편차를 계산하였다. 이를 바탕으로 수문인자별 비초과확률을 산정하고 McKee et al. (1993) 방법에 의해 가중계수를 계산하여 ASWSI를 산정하였다. 산정과정의 설명을 위해 예당저수지 유역을 시범유역으로 선정하였다.

1. 수문인자별 비초과확률 산정

SWSI를 이용하여 농업용 저수지 유역의 가뭄지수인 ASWSI를 산정하기 위해서는 농업지역의 가뭄에 영향을 미치는 수문인자를 결정하고 통계학적으로 분석하여야 하며, Shafer nad Dezman (1982)은 각종 수문인자에 확률의 개념을 추가하여 수문인자들의 비교 및 조합이 가능하도록 하였다. 각 수문인자에 대한 월별 비초과확률 산정하기 위해 앞에서 결정된 수문인자 (유입량, 저수량, 강수량)들의 시계열 자료를 월별로 구성한 뒤 월별 정규분포에 적합시키고, 시계열을 정규분포에 적합

Fig. 8 Comparison between empirical and theoretical CDF and Nonexceedance probability of storage component in Yedang reservoir

Table 4 Weighting factor of hydrological components in Yedang reservoir

District		Component	Month											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yedang	Up stream	Precipitation	0.35	0.30	0.30	0.56	0.71	0.75	0.63	0.63	0.52	0.45	0.41	0.33
		Reservoir inflow	0.65	0.70	0.70	0.44	0.29	0.25	0.37	0.37	0.48	0.55	0.59	0.67
	Down stream	Precipitation	0.21	0.22	0.31	0.45	0.54	0.74	0.81	0.81	0.70	0.44	0.39	0.25
		Reservoir storage	0.79	0.78	0.69	0.55	0.46	0.26	0.19	0.19	0.30	0.56	0.61	0.75

시킴을 위한 매개변수 추정에는 Moment법을 사용하였다 (Ryu et al., 2002). 이로부터 각 수문인자의 실제 자료에 대한 누가확률분포를 산정하고 가정된 이론확률분포의 누가확률분포를 비교하였다. Fig. 8은 예당저수지 저수량 인자의 누가확률분포 함수 (Cumulative probability distribution function, CDF)를 나타낸 그림으로 실선은 가정된 이론확률분포의 누가확률분포를 나타내고 실선 주위의 점들은 실제 자료에 대한 누가확률분포를 나타낸 것이다. 이러한 과정을 거쳐 각 수문인자에 대한 월별 비초과확률을 산정하였다.

2. 수문인자별 가중계수 산정

ASWSI를 산정하기 위해서는 각종 수문인자가 유역에 미치는 가중치를 산정하여야한다. 가중계수를 구하기 위해서는 각종 수문인자가 그 유역에 작용하는 잠재적인 모든 영향을 고려하여야 하나 이를 실제 정량적으로 측정하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 각 수문인자의 상대적인 기여를 추가하여 가중계수를 취하는 Mckee et al. (1993)의 방법을 이용하여 각 수문인자가 유역에 미치는 가중계수를 산정하였다. Table 4는

Mckee 방법으로 산정된 예당저수지 용수구역의 월별 수문인자 가중계수이다.

3. 농업용 저수지 유역의 ASWSI 산정

작성된 저수지 용수구역별 수문인자의 비초과확률과 가중계수를 이용하여 이를 SWSI를 보완한 ASWSI식에 적용하여 1991년부터 2006년까지의 선정된 7개저수지에 대한 상·하류의 농업용 저수지의 가뭄지수를 산정하였다. Table 5는 본 연구에서 사용한 농업용 저수지 가뭄지수인 ASWSI에 대한 가뭄심도를 나타내고 있다. Fig. 9는 선정된 7개저수지 중 대표적으로 예당, 탑정저수지의 상·하류의 가뭄지수를 나타낸 그림이다. 과거 발생한 심한 가뭄의 대부분은 관개시기인 5월~8월에 가장 많이 발생하였다. 산정된 가뭄지수에 의해 금강유역에서 90년대 이후 발생했던 가뭄의 상황을 파악할 수 있었다. 산정된 농업용 저수지의 가뭄지수 값이 90년대 이후 극심한 가뭄으로 조사되었던 1994년, 1995년, 2001년의 가뭄을 잘 표현하는 것으로 판단된다. Table 6은 농업용 저수지의 가뭄지수를 평균한 값을 나타내며, 1994년 7월과 9월, 1995년 6월에 발생한

가뭄 (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 1995)에 대하여 각각 -3.15 -2.48, -3.37을 나타내고, 2001년 5월에 발생한 가뭄 (Korea Water Resources corporation,

2001)에 대하여 -3.28을 나타내어 1994년 9월의 보통가뭄을 제외하고 모두 심한가뭄으로 표현하고 있다.

V. ASWSI 가뭄지수 분포도 작성 및 분석

1. ASWSI 가뭄지수 분포도 작성을 위한 다중회귀분석

금강유역 전체의 용수구역단위의 농업용 저수지의 가뭄분포도 작성을 위해서는 저수지 상류유역의 경우 유입량은 유출모델을 사용하여 유출량을 추정하고 매개변수를 산정하여야 하는데 이는 실측자료가 미비하고 유역의 매개변수 산정과정 등에서 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 저수지 저수량을 고려한 하류유역 (수혜지역)의 농업용 저수지의 가뭄분포도를 작성하고자 한다. 이를 위해서는 금강유역 용수구역내의 농업용저수지의 저수량 자료를 모두 수집하여 분석하면 되지만, 금강유역 내 농업용저수지 2611개소 중 본 연구에서 선정된 7개 저수지(모두 1,000만 m^3 이상 저수지) 외의 저수지들은 유효저수량이 극히 작은 규모의 저수지들 (100만 m^3 이하)로 저수량 자료를 모두 획득하는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 또한 유효저수량이 매우 작은 규모의 저수지들은 가뭄에 특히 취약하여 금강유역 전체의 가뭄을 평가하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 RIMS에서 행정구역별로 제공하는 집계된 현 저수량 자료를 용수구역으로 재구축하여 사용하였으며 이를 하나의 대표저수지로 가정하였다. 저수량 자료의 수집에 있어서 행정구역별 모든 저수지의 저수량을 일일이 합산하여 시계열자료 (1991~2006)로 구축하는 것 또한 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 가뭄년인 1994, 1995, 2001년의 자료만을 구축하여 가뭄분포도를 작성하였다. 이 3개년의 자료만으로는 ASWSI의 비초과확률을 구할 수 없기 때문에 선

Table 5 Drought classification of ASWSI

Value	Condition	Legend
-1.0 or more	near normal
-1.0 ~ -2.0	mild drought
-2.0 ~ -3.0	moderate drought
-3.0 ~ -4.0	severe drought
-4.0 or less	extreme drought

(a) Yedang reservoir

(b) Tapjeong reservoir

Fig. 9 Average ASWSI from 1991 to 2006 of Yedang and Tapjeong reservoir

Table 6 ASWSI of selected seven agricultural reservoirs in 1994, 1995 and 2001

Year	Month	Daea	Yedang	Tapjoeng	Gyeongcheon	Baegkok	Miho	Gui	Average
1994	6	-2.30	-0.17	-2.22	-2.11	0.32	-0.18	-2.28	-1.28
	7	-3.35	-2.68	-2.94	-3.30	-2.83	-3.20	-3.72	-3.15
	8	-1.67	0.79	-2.01	-1.84	0.63	0.58	-1.51	-0.72
	9	-3.10	-1.53	-2.99	-3.08	-1.81	-1.73	-3.14	-2.48
1995	5	-2.69	-2.01	-2.96	-2.74	-1.77	-2.06	-2.63	-2.41
	6	-3.45	-3.23	-3.36	-3.42	-3.2	-3.39	-3.55	-3.37
	7	-3.20	-2.22	-3.34	-3.25	-1.68	-1.48	-3.21	-2.63
	8	2.77	3.96	3.23	2.78	3.59	3.49	1.99	3.12
2001	3	-0.17	-0.56	-0.55	-0.24	-0.95	-0.67	-0.74	-0.55
	4	-1.68	-1.81	-2.21	-1.82	-2.05	-3.19	-2.16	-2.13
	5	-2.29	-3.20	-3.29	-3.43	-3.42	-3.84	-3.48	-3.28
	6	0.71	0.66	-0.17	0.22	1.26	1.13	1.19	0.71

정된 7개 대표저수지의 가뭄지수를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 저수지 규모별로 회귀식을 작성하고 작성된 회귀식을 이용하여 금강유역의 과거 가뭄사상 (1994년, 1995년, 2001년)에 대한 농업용 저수지의 가뭄분포도를 작성하였다.

농업용 저수지의 가뭄분포도를 작성하기 위해 앞서 앞에서 선정된 금강유역의 대표적인 7개 저수지에 대한 1991년부터 2006년까지 산정된 가뭄지수를 이용하여 7개 저수지의 저수량과 최고 가뭄지수와의 상관분석을 실시하였다. 그 결과 Fig. 10과 같이 1,500만 m³ 이상인 대아, 예당, 탑정, 경천, 백곡저수지 보다 1,500만 m³ 이하 저수지인 미호, 구이저수지의 경우 저수량은 훨씬 작지만 가뭄은 더욱 극심하게 나타나 가뭄에 취약하다는 결과를 얻었다. 이는 회귀식이 저수지 규모별로 작성되어야 함을 의미한다. 따라서 1,500만 m³ 이상 저수지로는 예당, 1,500만 m³ 이하 저수지로는 구이저수지를 대표 저수지로 선

Fig. 10 Results of correlation analysis between effective storage and maximum drought index

정하여 강수량, 저수량과 농업용 저수지 가뭄지수와의 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석 결과 결정계수가 0.84~0.99로 농업용 저수지 가뭄지수를 잘 예측하는 것으로 나타났으며 산정된 회귀식은 Table 7과 같다. 산정된 회귀식에서 x1은 강수량, x2는 저수량을 나타낸다.

산정된 회귀식을 이용하여 용수구역별 농업용 저수지 가뭄지수 산정을 위해 앞에서 언급한 바와 같이 RIMS에서 제공하는 행정구역별 (41개) 집계된 저수량자료를 과거 가뭄사상 (1994년, 1995년, 2001년)에 대해 준비하고 이를 면적가중 평균하여 용수구역별 (94개) 월평균 저수량자료로 재구축하였으며 (Fig. 11), 용수구역별 월평균 공간강수량도 산정하여 준비하였다.

2 1994년, 1995년, 2001년의 ASWSI 가뭄지수 분포도 작성

앞서 작성한 회귀식을 이용하여 용수구역별 집계된 저수량이 1,500만 m³ 이상이면 예당저수지의 회귀식을 사용하고 1,500만 m³ 이하이면 구이저수지의 회귀식을 사용하였다. Fig. 12는 과거 가뭄이 발생하였던 1994년, 1995년, 2001년에 대한 ASWSI 적용결과를 용수구역별로 도시하여 나타낸 농업용 저수지 가뭄 분포도이다. 1994년에는 6월~9월에 가뭄이 극심하게 발생하였는데 1차 가뭄 피해기간인 7월의 평년대비 강수율 및 저수율은 각각 37.1 %, 39.4 %이었으며, 농업용 저수지의 가뭄지수는 용수구역 평균 -3.47로 심한가뭄을 나타내고 있다. 2차 가뭄 피해기간인 9월에 대해서도 평년대비 강수율 및 저수율은 각각 28.7 %, 36.8 %로 낮은 값을 보였다. 9월 농업용 저수지의 가뭄지수는 용수구역 평균 -2.65로 보통가뭄을 나타내고 있다. 7월~9월은 기후적 특성에 의한 많은 강수량에 의해

Table 7 Derived multiple regression equation by precipitation and reservoir storage

Month	15 million ton storage capacity or more (Yedang)		15 million ton storage capacity or less (Gui)	
	Multiple regression equation	R ²	Multiple regression equation	R ²
1	$y = -5.1915 + 0.0742x_1 + 0.0001x_2$	0.86	$y = -4.4019 + 0.0625x_1 + 0.0003x_2$	0.98
2	$y = -6.0958 + 0.0603x_1 + 0.0001x_2$	0.93	$y = -5.0162 + 0.0636x_1 + 0.0003x_2$	0.97
3	$y = -8.4353 + 0.0454x_1 + 0.0001x_2$	0.87	$y = -6.4211 + 0.0537x_1 + 0.0004x_2$	0.91
4	$y = -7.6623 + 0.0332x_1 + 0.0001x_2$	0.94	$y = -5.4898 + 0.0311x_1 + 0.0003x_2$	0.93
5	$y = -8.0348 + 0.0320x_1 + 0.0002x_2$	0.96	$y = -7.7095 + 0.0467x_1 + 0.0004x_2$	0.98
6	$y = -4.7921 + 0.0244x_1 + 0.0001x_2$	0.99	$y = -5.3251 + 0.0206x_1 + 0.0003x_2$	0.97
7	$y = -6.3175 + 0.0179x_1 + 0.0001x_2$	0.95	$y = -5.5038 + 0.0140x_1 + 0.0002x_2$	0.96
8	$y = -4.0063 + 0.0084x_1 + 0.0001x_2$	0.85	$y = -6.1688 + 0.0185x_1 + 0.0002x_2$	0.99
9	$y = -4.1068 + 0.0182x_1 + 0.0001x_2$	0.98	$y = -4.3938 + 0.0212x_1 + 0.0002x_2$	0.99
10	$y = -4.3999 + 0.0258x_1 + 0.0001x_2$	0.94	$y = -4.4728 + 0.0433x_1 + 0.0002x_2$	0.93
11	$y = -5.7567 + 0.0343x_1 + 0.0001x_2$	0.84	$y = -4.7463 + 0.0364x_1 + 0.0004x_2$	0.89
12	$y = -8.1735 + 0.0914x_1 + 0.0002x_2$	0.91	$y = -5.6791 + 0.0920x_1 + 0.0003x_2$	0.94

Fig. 11 Computation procedure of monthly reservoir storage of each water district

Fig. 12 Monthly ASWSI maps in 1994, 1995 and 2001

농업용수 공급에는 어려움이 없으나, 이 기간의 강수량의 부족은 더욱 심한 농업가뭄을 초래한다. 봄가뭄(4월~6월)은 보통 6월 말부터 시작되는 장마로 가뭄이 해소되지만 장마가 지연되면 더욱 극심한 가뭄을 초래하기 때문이다. 1995년의 가뭄은 1994년은 연속된 가뭄으로 1월부터 4월까지 지속되다가 해갈되는 듯하였으나 6월말에 가장 낮은 저수율과 극심한 가뭄이 발생하였다. 하지만 7월과 8월에 전국적으로 약 500 m의 강수량이 발생하여 8월 말에 가뭄이 해갈되었다. 가장 가뭄이 심화되었던 6월의 평년대비 강수율 및 저수율은 각각 23.9%, 34.8%이었으며, 농업용 저수지의 가뭄지수는 용수구역 평균 -3.44로 심한가뭄을 표현하고 있다. 가뭄이 해갈된 8월에는 금강유역 전체가 정상상태 이상으로 표현하고 있어 농업가뭄 해갈상황을 잘 표현하고 있다. 2001년의 가뭄은 3월~5월까지 적은 강수량으로 인하여 3월부터 가뭄이 발생하여 6월 중순이전까지 강수량이 지나치게 적어 하천 유출량은 계속 감소하는 등 극심한 가뭄이었다. 3월의 평년대비 강수율 및 저수율은 각각 29.5%, 50.1%이었고, 농업용 저수지의 가뭄지수는 -2.68로 보통가뭄을 나타내었으며, 4월의 평년대비 강수율 및 저수율은 각각 23.1%, 50.2%이었고, 농업용 저수지의 가뭄지수는 -3.0으로 심한가뭄을 나타내었다. 5월의 최대 용수부족 상황에서의 평년대비 강수율 및 저수율은 각각 20.9%, 49.8%이었고, 농업용 저수지의 가뭄지수는 -3.69로 심한가뭄으로 표현되었다. 6월 중순이후 가뭄이 해갈되어 6월의 농업용 저수지의 가뭄지수는 0.5로 산정되어 정상상태로 표현하고 있다.

3. 타 가뭄지수와 비교 분석

현재까지 가뭄의 평가를 위한 국내외의 일반적인 연구 및 체계는 PDSI, SWSI, SPI와 같은 가뭄지수들을 이용하였다 Ryu et al., 2002; Lee et al., 2003; Korea Water Resources corporation, 2002). 이러한 여러 가지 가뭄지수들은 가뭄의 발생상황을 나타내기 위해 강수, 하천유량 및 지표수 공급 등을 지수화하여 나타내고 있는 실정으로 모든 가뭄상황에 대표적인 가뭄지수를 선정하는 것은 곤란하며, 각 가뭄지수의 특성에 따라 지수를 선정하여 사용하는 것이 일반적이다(Park et al., 2006). 우리나라의 농업가뭄은 해당 용수구역의 농업용수 공급원인 농업용 저수지 저수율에 따라 민감하게 반응한다.

본 연구에서는 금강권역에 대하여 기상학적 가뭄지수(PDSI), 수문학적 가뭄지수(MSWSI: Modified Surface Water Supply Index)와 본 연구에서 산정된 농업용 저수지의 가뭄지수(ASWSI)를 비교분석하였다. PDSI는 비정상적인 건조 또는 비정상적인 습윤이 되는 기상조건을 표현하며 여러 지역에서 이용되어왔다. 하지만 수개월정도 가뭄 출현이 지체될 수 있고 산악지역

과 기후변화가 빈번한 지역에서는 다소 적합성이 떨어지는 단점이 있다. PDSI에 의해 측정된 가뭄은 하천유량, 호수와 저수지 수위 및 다른 장기간 수문학적 영향들과 무관하게 종결되기 때문에 지표 수문량에 영향을 받는 수문학적 가뭄평가에는 부적합하다. 반면, SWSI는 계절별, 지역별로 사용가능한 수문인자를 선택적으로 사용하여 수문학적 가뭄을 평가하는 지수이다. 다양한 물 공급 특성을 가진 우리나라의 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 수문학적 가뭄지수 MSWSI가 개발되었는데, 이 지수는 기존의 SWSI에 적설인자 대신 지하수위 인자가 추가된 가뭄지수로 Kwon (2006)에 의해 개발된 지수이다. 이러한 각 가뭄지수들은 각각의 장·단점을 지니고 있어 적용 대상 지역의 수문·기상 특성, 수자원 공급 시설 등을 고려, 각 지수들의 적용성을 파악하여 적절한 지수를 이용해야 한다. 따라서 각 지수들의 시·공간적인 가뭄표현 특성을 파악하고 활용성을 판단하고자 비교분석을 수행하였다. 1991~2006년의 가뭄지수 비교를 위해 특정 저수지 유역(예당, 탐정)으로 비교하였으며, Fig. 13은 예당저수지유역 중권역 3101번 유역)과 탐정저수지유역 중권역 3013번 유역)의 PDSI, MSWSI와 ASWSI를 비교한 그림이다.

Fig. 14와 Table 8은 과거 가뭄이 극심했던 1994, 1995, 2001년의 금강권역 평균 PDSI, MSWSI, ASWSI를 월별로 비교한 결과이다. 전국적으로 가뭄이 극심했던 1994년 7월의 금강권역 평균 강수량은 평년강수량의 37.1%에 불과하였으며, 금강권역 평균 저수율은 평년저수율의 39.4%에 불과하였다. 가뭄지수를 살펴보면 PDSI는 약한가뭄(-1.39), MSWSI와

Fig. 13 Comparison among different indices from 1991 to 2006

ASWSI는 심한가뭄 (-3.43, -3.47)을 나타내었다. 9월의 경우 금강권역 평균 강수량은 평년강수량의 28.7 %, 평균 저수율은 평년저수율의 36.8 %에 불과하였으며, PDSI, MSWSI와 ASWSI는 모두 보통가뭄 (-2.11, -2.84, -2.65)을 나타내었다. 1995년 6월의 경우 평년대비 강수량 및 저수율은 각각 23.9 %, 34.8 %로 가장 낮은 저수율과 극심한 가뭄이 발생하였고, 같은 기간 동안 PDSI는 심한가뭄 (-3.04), MSWSI는 보통가뭄 (-2.90), ASWSI는 심한가뭄 (-3.44)을 나타내었다. 2001년에는 봄철 강수량이 평년대비 20~30 %로 낮아 봄철 극심한 가뭄이 발생했으며, 5월의 경우 평년대비 강수량 및 저수율은 각각 20.9 %, 49.8 %로 가장 피해가 극심했다. 가뭄지수를 살펴보면 5월에 PDSI는 정상상태 (0.00), MSWSI는 보통가뭄 (-2.68), ASWSI (-3.69)는 심한가뭄을 나타내었다. 분석 결과 PDSI는 1994년 7월의 가뭄에 대해서 나머지 지수들에 비해 한 단계 낮은 가뭄상황을 표현하였고, 2001년 5월의 최고 가뭄상황에

대해서도 정상상태로 표현하여 수문학적인 물 부족 상태를 표현하기에는 적합한 지수가 아닌 것으로 판단된다. ASWSI는 전체적으로 논 관개시기에 다른 가뭄지수에 비해 가뭄정도가 더 심한 것으로 분석되었다.

PDSI, MSWSI와 ASWSI간의 시·공간적인 가뭄표현정도를 파악하고자 과거 가뭄년도 (1994, 1995, 2001년)에 대하여 금강권역을 21개의 소유역으로 분할한 수자원장기종합계획의 중권역 단위로 비교분석 하였다. Fig. 15, 16 and 17은 1994, 1995, 2001년 가뭄에 대해 ASWSI와 타 가뭄지수와의 가뭄표현정도를 공간적으로 비교한 그림이다. 1994년은 6월~9월에 가뭄이 극심하게 발생하였는데 PDSI의 가뭄지수를 확인해 보면 7월에 발생한 1차 가뭄 피해에도 불구하고 금강서해, 삽교천, 금강유역 하류에 대해 정상상태를 나타내었고, 나머지 유역에 대해서만 약한가뭄을 나타내었으며, 9월에 발생한 2차 가뭄 피해에 대해서도 금강서해, 삽교천유역에 대해서 정상상태를, 금강유역 상류에 대해서는 보통가뭄으로 표현하고 있다. 반면 MSWSI는 금강권역 전체에 대하여 보통가뭄과 심한가뭄을 표현하고 있다. 또한 ASWSI는 7월에 금강권역 거의 전 유역에 걸쳐 심한가뭄과 극한가뭄을 표현하고 있으며, 9월에도 삽교천을 제외한 나머지 유역은 보통가뭄과 심한가뭄을 나타내었다. 1,000만 m³ 이상의 큰 저수지들이 포함되지 않은 지역은 더욱더 극심한 가뭄이 발생하였고, 특히 9월 가뭄에 대해서 해당저수지 (47,103천m³)가 포함된 삽교천 유역은 정상상태를 보였다. 1995년은 1월~5월까지 가뭄이 지속되다가 6월말에 가장 극심한 가뭄이 발생하였고 8월에 가뭄이 해소되었다. PDSI는 5~7월에 금강유역 상류와 새만금유역을 중심으로 심한가뭄과 극한가뭄을 나타내었고 가뭄이 해갈된 8월에도 여전히 심한가뭄을 나타내고 있다. 반면 MSWSI는 5~7월에 금강권역 전반에 걸쳐 약한가뭄과 보통가뭄을 표현하고 있으며 가뭄이 해갈된 8월에 금강권역 전체가 모두 정상상태를 표현하였다. ASWSI는 농업용수 수요량이 많은 5월과 6월에 MSWSI보다 더 심한 가뭄 상황을 나타내며, 역시나 가뭄이 해갈된 8월에 정상상태를 나타내어 수문학적, 농업적 가뭄 해갈 상황을 잘 반영하고 있다. 2001년은 3월~5월에 적은 강수량으로 인해 5월에 극심한 가뭄이 발생하였다. PDSI는 5월에 금강권역 전체가 정상상태를 나타내고 있는 반면 MSWSI는 5월에 보통가뭄 이상을

Fig. 14 Comparison among different indices in drought period (1994, 1995, and 2001)

Table 8 Drought index of Geum river basin for each drought year (1994, 1995, and 2001)

Year	1994				1995				2001		
Month	June	July	August	September	May	June	July	August	April	May	June
PDSI	-0.10	-1.39	-1.56	-2.11	-2.57	-3.04	-3.50	-1.77	1.53	0.00	0.10
MSWSI	-0.86	-3.43	0.09	-2.84	-2.26	-2.90	-2.80	3.40	-2.32	-2.68	0.62
ASWSI	-1.08	-3.47	-0.73	-2.65	-2.75	-3.44	-2.47	3.76	-2.99	-3.69	0.50

Fig. 15 Comparison with another drought index in 1994

Fig. 16 Comparison with another drought index in 1995

Fig. 17 Comparison with another drought index in 2001

나타내고 있어 5월에 전국적인 용수부족 상황을 잘 표현하고 있다. ASWSI는 관개시기의 특성상 5월에 MSWSI보다 심한가뭄 또는 극한가뭄을 표현하였다. 분석 결과 PDSI는 수문학적인 물 부족 상태를 표현하기에는 적합한 지수가 아닌 것으로 판단되며, MSWSI는 수문학적인 가뭄 상황을 잘 표현하고, ASWSI는 농업용 저수지 저수율을 잘 반영하여 농업적 가뭄 상황을 잘 표현함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 가뭄지수의 특성이나 지역적 특성이 다른 상태에서 하나의 가뭄지수로 가뭄을 표현하는 것은 불가능하며, 특히 농업가뭄은 농업용 저수지로부터 물을 공급받는 논 관개지역의 가뭄을 평가하는 것으로 저수지 유입량 및 저수량 자료가 필수적으로 사용되어야 함을 확인하였다.

VI. 결 론

본 연구는 농업지역의 가뭄을 평가하고자 SWSI를 보완하여 농업용 저수지의 가뭄지수 ASWSI를 산정하였으며, 산정된 결과를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 금강유역의 농업용 저수지 가뭄분포도를 작성하였다. 또한 기존의 타 가뭄지수와 비교분석을 통하여 ASWSI의 적용성을 검토하였다. 본 연구를 정리하면 다음과 같다.

1. SWSI를 보완한 ASWSI를 산정하기 위한 입력인자로서 저수지 상류유역은 강수량 및 저수지 유입량, 저수지 하류유역은 강수량 및 저수지 저류량을 선정하였다. 강수량은 금강유역 17개 기상관측소 자료를 이용하여 공간강우를 산정하였고, 저수지 저류량은 농업기반시설관리시스템 RIMS의 행정구역별 자료를 용수구역으로 재구축하였으며, 저수지 유입량은 PRMS모형을 이용하여 산정하였다.

2. 선정된 7개 저수지 유역의 ASWSI를 산정을 위해 수문인자들의 월별 시계열 자료를 구성한 뒤 확률밀도함수를 산정하고 이로부터 얻어진 누적확률분포함수로부터 각 수문인자에 대한 비초과확률을 산정하였으며, McKee의 방법을 이용하여 각 수문인자의 상대적인 기여에 대한 가중계수를 산정하였다.

3. 7개 저수지의 평균 농업용 저수지 가뭄지수는 1994년 7월과 1995년 6월에 발생한 가뭄에 대하여 각각 -3.15, -3.37을 나타내어 심한가뭄을 표현하였고, 2001년 5월에 발생한 가뭄에 대하여도 -3.28을 나타내어 심한가뭄을 나타내고 있어 과거 가뭄상황 및 심도를 잘 표현하였다.

4. 7개 저수지 유역의 농업용 저수지 가뭄지수와 강수량, 저수량과의 다중회귀분석을 수행한 결과 0.84~0.99로 분석되었고, 작성된 회귀식을 통해 용수구역별 월평균 공간강우와 저수량자료를 이용하여 용수구역별 농업가뭄지수를 계산하여 금강유역 농업용 저수지 가뭄분포도를 작성하였다.

5. 기존의 가뭄지수인 MSWSI, PDSI와 ASWSI의 비교분석을 통해 농업가뭄은 농업용 저수지로부터 물을 공급받는 논 관개지역의 가뭄을 평가하는 것으로 저수지 유입량 및 저수량 자료가 필수적으로 사용되어야 함을 확인하였다.

본 연구는 한국수자원공사의 가뭄정보시스템 (물공급 Guideline 중심으로) ('07~'08)용역의 연구비지원(50%)과 건설교통부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원 (07국토정보C03, 50%)에 의해 수행된 연구임.

REFERENCES

- Guttman, N. B., 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association* 34(1): 113-121.
- Hwang, E. H., H. J. Kwon, B. H. Yoo, and D. K. Koh, 2007. Development and application of the automatic system for preparing input parameters in PRMS, *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*. 459-463 (in Korean).
- Jung, I. W., and D. H. Bae, 2005. A Study on PRMS applicability for Korean River Basin. *Journal of Korea Water Resources Association* 38(9): 713~725 (in Korean).
- Kim, C., and S. K. Kim, 2002. Assessment of Hydrologic Effects by Urbanization using PRMS, *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*. 123~127 (in Korean).
- Kim, N. W. H. J. Kim, and S. H. Park, 2005. Long-term runoff characteristics on HRU variations of PRMS. *Journal of Korea Water Resources Association* 38(2): 167~177 (in Korean).
- Kim, S. M., and S. W. Park, 1999. Calculation and Comparison of Drought Indices on Major Weather Stations in Korea. *Journal of the Korea society of Agricultural Engineers* 45(1): 43~52 (in Korean).
- Korea Water Resources corporation, 2001. Report of national drought investigation in 2001 (in Korean).
- Korea Water Resources corporation, 2002. A study on synthetic policy for drought management.

9. Ku, H. J., K. S. Jun, Y. K. Oh, and Y. D. Sung, 2003. Application of the PRMS model in Goesan dam and Chungju dam watershed. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*. 631-634 (in Korean).
10. Kwon, H. J., 2006. Development of semi-distributed hydrological drought assessment method based on SWSI (Surface Water Supply Index), PD.D. diss., Konkuk University (in Korean).
11. Kwon, H. J., H. J. Lim, and S. J. Kim, 2007. Drought Assessment of Agricultural District using Modified SWSI. *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies* 10(1): 22~34 (in Korean).
12. Kwon, H. J., H. J. Park, D. O. Hong, and S. J. Kim, 2006. A Study on Semi-distributed Hydrologic Drought Assessment Modifying SWSI. *Journal of Korea Water Resources Association* 37(2): 645~658 (in Korean).
13. Leavesley, G. H., R. W. Lichty, B. M. Troutman, and L. G. Saindon, 1983. Precipitation-Runoff Modeling System, User's manual, 83-4238. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations.
14. Lee, D. R., D. H. Lee, and S. U. Kang, 2003. Drought triggers and monitoring system. *Journal of Korea Water Resources Association* 33(6): 375~384 (in Korean).
15. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. *8th Conference on Applied Climatology*. 179-184. Jan. Anaheim, CA.
16. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1995. Drought monitoring with multiple time scales preprints. *9th Conference on Applied Climatology*. 233-236. January. Dallas, TX.
17. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 1995. Report of drought investigation in 94, 95 (in Korean).
18. Park, K. W., J. T. Kim, U. J. Ju, and Y. J. Lee, 2006. Application of drought indices for agricultural drought evaluation. *Journal of Korea National Committee on Irrigation and Drainage* 13(1): 209~219 (in Korean).
19. Rao S. N., S. L. Dwivedi, and S. N. Nigam, 1996. Effect of drought on oil, fatty acids and protein contents of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. *Article Field Crop Research*. 68: 125-133.
20. Ryu, J. H., D. R. Lee, J. H. An, and Y. N. Yun, 2002. A Comparative Study on the Drought Indices for Drought Evaluation. *Journal of Korea Water Resources Association* 35(4): 397-410 (in Korean).
21. Shafer, B. A., and L. E. Dezman, 1982. Development of surface water supply index to assess the severity of drought condition in snowpack runoff areas. *Proc. Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference*. 164-175. April. Reno, Nevada.
22. Yun, Y. N., J. H. An, and D. R. Lee, 1997. An analysis of drought using the Palmer's method. *Journal of Korea Water Resources Association* 30(4): 317~326 (in Korean).