

# 농업용 저수지의 수문학적 가뭄평가

## Assessment of Agricultural Drought Using Reservoirs Information

안소라\*, 권형중\*\*, 박종윤\*\*\*, 김성준\*\*\*\*

So-Ra AHN, Hyung-Joong KWON, Jong-Yoon PARK, Seong-Joon KIM

### 요 지

본 연구는 SWSI를 보완한 식을 이용하여 금강유역에 대해 농업가뭄지수(ASWSI)를 산정하고 농업가뭄 분포도를 작성하여 가뭄지수에 의한 농업용 저수지 유역의 가뭄을 평가하는 방법을 제시하였다. SWSI는 유역 단위의 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 개발된 지표로서 용설량, 강수량, 하천유출량, 저수지 저류량이 입력인자로서 유역별, 계절별로 입력인자를 선택적으로 적용하여 유역의 수문학적 가뭄을 평가한다. 본 연구에서는 가뭄에 영향을 미치는 인자를 강수량, 저수지 유입량 및 저수량으로 결정하고 ASWSI의 입력인자를 저수지 상류유역은 강수량과 유입량, 하류지역은 강수량과 저수량을 사용하였다. 금강유역 내 천만톤 이상의 대표 저수지 7개를 선정하여 16개년(1991-2006) 동안의 저수지 상·하류 유역의 농업가뭄지수를 산정하였으며, 산정된 결과를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 금강유역 용수구역별 농업가뭄지수 분포도를 작성하였다. 적용결과를 과거 가뭄사상에 검증한 결과, 1994년 1, 2차 가뭄 피해기간인 7월과 9월에 대해서 심한가뭄 상태로 표현하였고, 1995년 가장 가뭄이 심화되었던 6월의 가뭄에 대해서도 심한가뭄으로 표현하였으며, 2001년에도 5월의 최대 용수부족 상황에 대해서 심한가뭄을 표현하였다. 이처럼 ASWSI가 실제 가뭄 발생 현상과 일치함을 확인하였으며, 농업가뭄을 표현하는데 있어 적합한 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 농업용 저수지, 저수지 저수량, 농업가뭄, SWSI

## 1. 서 론

최근 들어 빈번하게 발생하는 이상기후 현상에 의해 홍수 및 가뭄이 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 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. SWSI는 지표의 물 공급 체계를 고려하여 유역단위로 가뭄을 평가할 수 있어 가장 수문학적인 가뭄지수로 알려져 있다(한국수자원공사, 2002; 권형중 등, 2006). 본 연구의 목적인 농업용 저수지의 가뭄을 평가할 수 있는 최적의 가뭄지수 선정에 있어 SWSI는 기상 또는 수문학적 가뭄이 농업에 미치는 영향을 평가하기에 적절한 가뭄지수로 SWSI를 이용하여 농업가뭄 평가를 수행할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 수문학적 가뭄을 평가하는데 활용성이 높은 것으로 분석되는 SWSI를 보완하여 농업용 저수지 유역의 가뭄을 평가하고자 한다.

## 2. ASWSI (Agricultural SWSI) 가뭄평가 기법

\* 정회원·한국수자원공사 수자원연구원·건국대학교 사회환경시스템공학과 석사·E-mail : [ahnsora@konkuk.ac.kr](mailto:ahnsora@konkuk.ac.kr)  
\*\* 텍사스 A&M 대학교 토목공학과 박사후연구원·E-mail : [kwonhj@hotmail.com](mailto:kwonhj@hotmail.com)  
\*\*\* 정회원·건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정·E-mail : [bellyon@konkuk.ac.kr](mailto:bellyon@konkuk.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원·건국대학교 사회환경시스템공학과 교수·E-mail : [kimsj@konkuk.ac.kr](mailto:kimsj@konkuk.ac.kr)

SWSI는 미국의 DRP(Colorado Drought Response Plan: 1981)에서 강우, 적설 하천유량, 저수량 인자를 사용하여 가뭄을 평가하는 지표로 개발되었다. 이 지수의 기본적인 개념은 유역의 각 수문인자들의 월별 시계열 자료를 구성한 뒤 정규화하여 확률밀도함수를 구하고 이로부터 얻어진 누가확률분포함수로부터 비초과 확률을 산정하며 이를 이용하여 각 수문인자의 비초과확률과 가중계수를 사용하는 것으로 Eq. (1)으로 표현된다.

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

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 연구에서는 농업용 저수지를 포함하는 용수구역단위에 있어서 가뭄에 영향을 미치는 인자를 강수량, 저수지 유입량 및 저수량으로 결정하고 용수구역내의 저수지 상류지역은 강수량과 저수지유입량, 하류지역은 강수량과 저수지 저수량을 사용하였다. 농업가뭄을 평가하기 위하여 보완된 SWSI는 ASWSI(Agricultural SWSI)라 하였으며 Eq. (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, c, d는 각 수문인자의 가중계수(a+b+c=1), st는 저수지저류량(reservoir storage component), if는 저수지유입량(reservoir inflow component), pcp는 강수인자(precipitation component)이다.

### 3. 대상유역 및 입력인자의 수집

#### 3.1 대상유역

본 연구의 대상유역인 금강권역의 면적은 약 17,537km<sup>2</sup>으로 4개의 대권역(금강본류, 삼교천, 금강서해, 만경·동진)으로 이루어져 있으며 21개의 중권역이 포함되어 있다. 금강권역은 과거 1994년, 1995년에 큰 가뭄 기록이 있었고 2001년에도 봄 가뭄을 겪은 것으로 나타나 있다. 금강권역의 농업지역 가뭄을 평가하기 위하여 금강권역 내 농업용저수지 총 2611개(금강본류 1310개, 삼교천 146개, 금강서해 297개, 만경·동진 858개)의 유효저수량과 관개면적, 수해면적을 조사하여 비교적 규모가 크고 금강권역 내에 골고루 분포하는 7개의 저수지(대아, 예당, 탐정, 경천, 백곡, 미호, 구이)를 선정하였다(Table 1, Fig. 1).

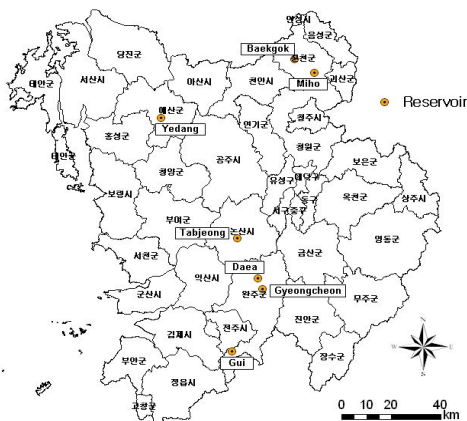


Fig 1. Selected seven agricultural reservoirs in Geum river basin

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

Rank	Reservoir	Effective storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Irrigation area (ha)
1	Daea	55,270	8,382
2	Yedang	47,103	6,917
3	Tabjeong	31,927	5,713
4	Gyeonhcheon	25,604	7,738
5	Baegkok	21,750	2,613
6	Miho	13,872	2,499
7	Gui	11,639	2,753

#### 3.2 입력인자의 수집 및 가공

강수량자료는 금강유역 인근의 17개 기상관측소의 자료를 사용하였다. 용수구역별 월평균 공간강우를 생성하기 위해 관측소별 16개년(1991-2006)의 월 강수량자료를 표면내삽법(IDW: Inverse Distance Weight)을 이용하여 공간강우를 생성하였다(Fig. 2). 저수량자료는 한국농촌공사의 농업기반시설관리시스템(RIMS)의 자료를

이용하였는데 16개년(1991-2006) 동안의 선정된 7개 저수지에 대한 일별 현저수량을 수집하여 월평균 저수량 자료로 정리하였다. 또한 금강유역의 농업가뭄지수 분포도 작성을 위해 행정구역(41개)단위로 제공되는 집계된 현저수량 자료를 수집하여 면적 가중 평균하여 용수구역(94개)단위로 재구축하였다(Fig. 3). 유입량자료는 실측자료의 부재로 인하여 PRMS모형을 이용하여 산정하였다. PRMS는 미국 USGS(U.S. Geological Survey)에서 개발한 모형으로 준분포형 모형으로 입력자료는 DEM, 토양도, 토지이용도, 임상도, 기상자료가 사용된다. 1966년부터 2001년까지 용담댐 유역으로 보정된 매개변수를 이용하여 1991년부터 2006년까지의 일 유입량을 산정하였다.

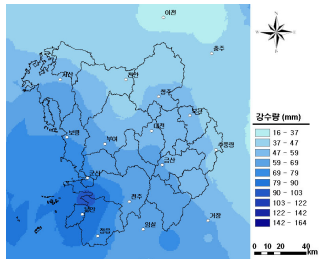
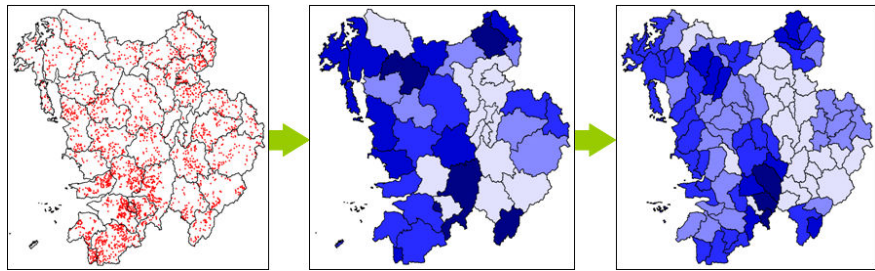


Fig 2. Monthly precipitation map (January, 2001)



(a) Reservoirs (b) 41 administrative district (c) 94 water district  
Fig 3. Computation procedure of monthly reservoir storage of each water district

#### 4. 농업용 저수지 유역의 ASWSI 적용

##### 4.1 농업가뭄지수 산정

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. Table 2는 McKee 방법으로 산정된 해당저수지 용수구역의 월별 수문인자 가중계수이다. 수문인자의 비초과확률과 가중계수를 이용하여 이를 SWSI를 보완한 ASWSI식에 적용하여 1991년부터 2006년까지의 선정된 7개저수지에 대한 상·하류의 농업가뭄지수를 산정하였다. Fig. 4는 대표적으로 예당, 탐정저수지의 상·하류의 농업가뭄지수를 평균하여 나타낸 그림이다. 산정된 농업가뭄지수 값이 90년대 이후 극심한 가뭄으로 조사되었던 1994년, 1995년, 2001년의 가뭄을 잘 표현하는 것으로 판단된다. 농업가뭄지수는 1994년 7월과 9월, 1995년 6월에 발생한 가뭄(농림부, 1995)에 대하여 각각 -3.15 -2.48, -3.37을 나타내고, 2001년 5월에 발생한 가뭄(한국수자원공사, 2001)에 대하여 -3.28을 나타내어 모두 심한가뭄으로 표현하고 있다(Table 3).

Table 2. 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

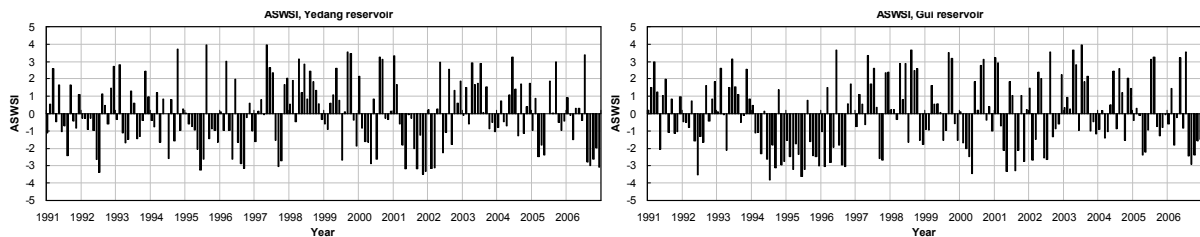


Fig 4. Average ASWSI from 1991 to 2006 of Yedang and Tabjeong reservoir

Table 3. ASWSI of selected seven agricultural reservoirs in 1994, 1995 and 2001

Reservoirs	1994				1995				2001			
	5	6	7	8	5	6	7	8	3	4	5	6
Daea	0.70	-2.30	-3.35	-1.67	-2.69	-3.45	-3.20	2.77	-0.17	-1.68	-2.29	0.71
Yedang	0.71	-0.17	-2.68	0.79	-2.01	-3.23	-2.22	3.96	-0.56	-1.81	-3.20	0.66
Tabjoeng	0.34	-2.22	-2.94	-2.01	-2.96	-3.36	-3.34	3.23	-0.55	-2.21	-3.29	-0.17
Baekgok	0.68	0.32	-2.83	0.63	-1.77	-3.20	-1.68	3.59	-0.95	-2.05	-3.42	1.26
Gyeonhcheon	1.23	-2.11	-3.30	-1.84	-2.74	-3.42	-3.25	2.78	-0.24	-1.82	-3.43	0.22
Miho	-0.08	-0.18	-3.20	0.58	-2.06	-3.39	-1.48	3.49	-0.67	-3.19	-3.84	1.13
Gui	0.67	-2.28	-3.72	-1.51	-2.63	-3.55	-3.21	1.99	-0.74	-2.16	-3.48	1.19
Average	0.61	-1.28	-3.15	-0.72	-2.41	-3.37	-2.63	3.12	-0.55	-2.13	-3.28	0.71

#### 4.2 ASWSI 가뭄지수 분포도 작성 및 분석

앞에서 선정된 금강유역의 대표적인 7개 저수지의 가뭄지수를 이용하여 금강유역의 농업가뭄지도를 작성하기 위해 먼저 7개 저수지의 강수량과 저수량자료를 이용하여 농업가뭄지수와 상관분석을 실시하였다. 그 결과 천오백만톤 이하 저수지인 미호, 구이저수지의 경우 가뭄에 더욱 취약하다는 결과를 얻었다. 따라서 천오백만톤 이상 저수지로는 예당, 천오백만톤 이하 저수지로는 구이저수지를 대표로하여 다중회귀분석을 실시하였다(Table 4). 다중회귀분석 결과 결정계수가 0.84~0.99로 농업가뭄지수를 잘 예측하는 것으로 나타났으며 산정된 회귀식을 통해 앞에서 준비한 용수구역별 월평균 공간강우와 저수량자료를 이용하여 용수구역별 농업가뭄지수 분포도를 작성하였다(Fig. 5). 1994년은 6월부터 가뭄이 시작되어 7월 금강유역 저수율은 54%로 평년보다 27%가 낮았다. 1995년은 1월부터 5월의 금강유역 평균 강수량은 228mm로 평년의 64%에 불과했고 6월 저수율은 37%로 평년보다 31%가 낮았으며 8월 제한급수에서 정상급수로 전환되어 가뭄이 해소되었다. 2001년 3월에서 5월까지 가뭄이 계속되다가 6월 18~20일 동안 약 91mm의 비로 가뭄이 해소되었다.

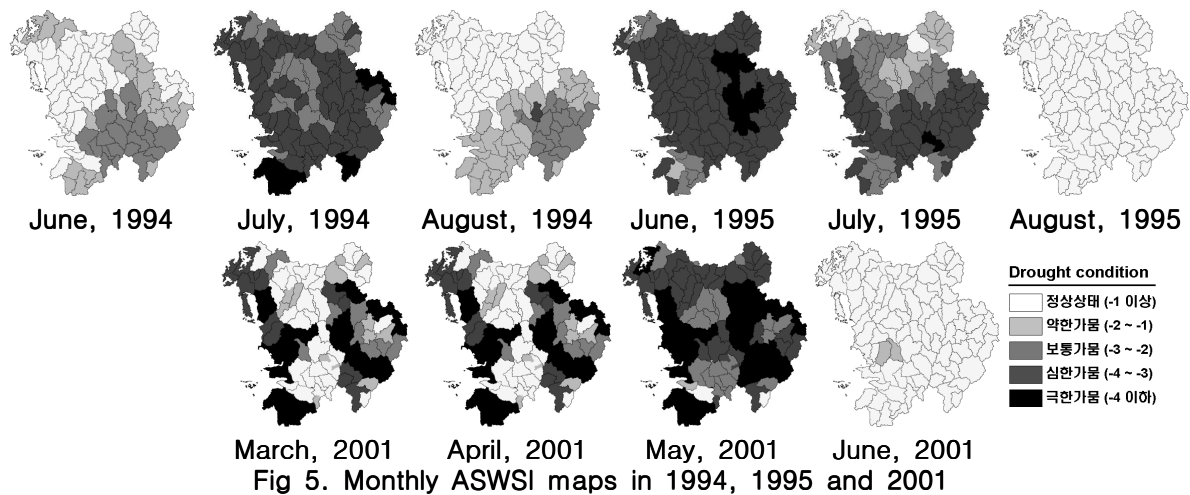


Fig 5. Monthly ASWSI maps in 1994, 1995 and 2001

#### 5. 타 가뭄지수와와의 분석

현재까지 가뭄의 평가를 위한 국내외의 일반적인 연구 및 체계는 PDSI, SWSI, SPI와 같은 가뭄지수들을 이용하였다(류재희 등, 2002; 이동률 등, 2003; 한국수자원공사, 2002). 본 연구에서는 금강권역에 대하여 기상학적 가뭄지수(PDSI), 수문학적 가뭄지수(MSWSI)와 본 연구에서 산정된 농업가뭄지수(ASWSI)와의 비교 분석을 통해 각 가뭄지수들의 지역적인 가뭄표현 특성을 파악하고 활용성을 판단하고자 하였다. 여기서 수문학적 가뭄지수(MSWSI)는 기존의 SWSI에 지하수위 인자를 추가하여 산정된 가뭄지수로 권형중(2006)에 의해 개발된 지수이다. Fig. 6은 과거 가뭄이 극심했던 1994, 1995, 2001년의 금강권역 평균 ASWSI와 타 가뭄지수를 월별로 비교한 결과이다. 전국적으로 가뭄이 극심했던 1994 7월의 경우 PDSI는 약한가뭄(-1.39), MSWSI와 ASWSI는 심한가뭄(-3.43, -3.47)을 나타내었고, 9월의 경우 PDSI, MSWSI와 ASWSI는 모두 보통가뭄(-3.04, -2.90, -3.44)을 나타내었다. 1995년 6월의 경우 PDSI는 심한가뭄(-3.04), MSWSI는 보통가뭄

(-2.90), ASWSI는 심한가뭄(-3.44)을 나타내었으며, 2001년 5월의 경우 PDSI는 정상상태(0.00), MSWSI는 보통가뭄(-2.68), ASWSI(-3.69)는 심한가뭄을 나타내었다. 분석 결과 가뭄지수별로 다른 가뭄상태를 표현하고 있었고, 전체적으로 논 관개시기에는 ASWSI가 다른 가뭄지수에 비해 가뭄정도가 더 심한 것으로 분석되었다. 세 가뭄지수의 시·공간적인 가뭄표현정도를 파악하고자 중권역 단위로 비교하였으며 Fig. 7~8은 1994, 1995, 2001년 가뭄에 대해 ASWSI와 타 가뭄지수의 가뭄표현정도를 공간적으로 비교한 그림이다.

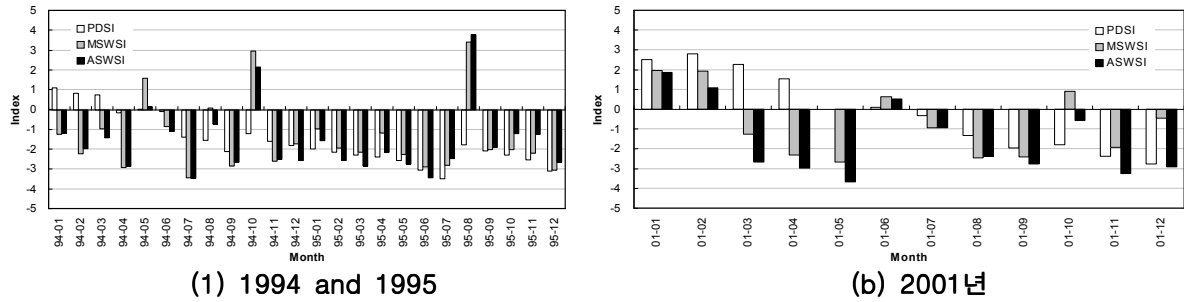


Fig 6. Comparison with another drought index in drought period (1994, 1995, and 2001)

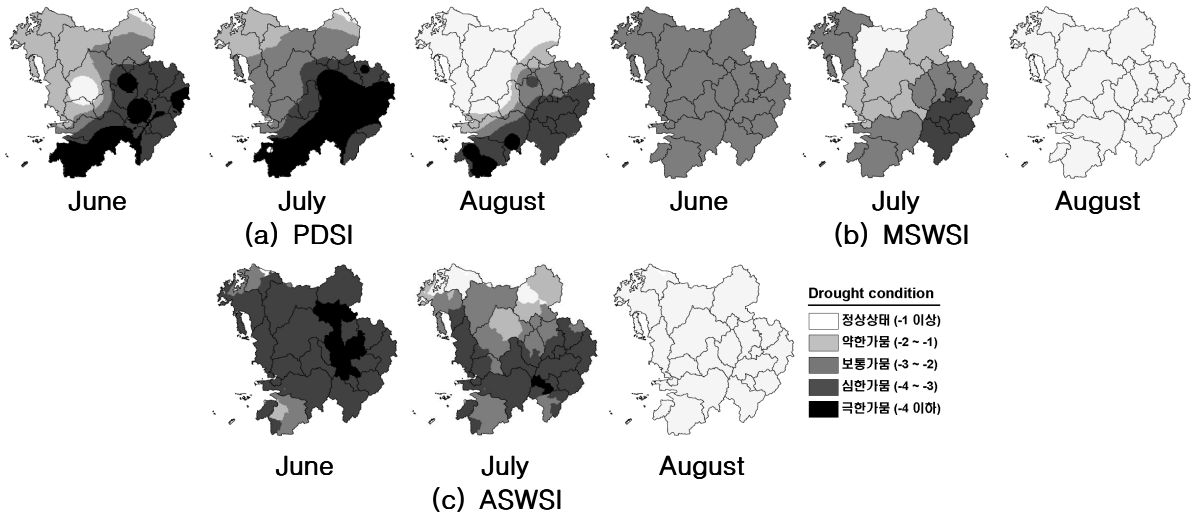


Fig 7. Comparison with another drought index in 1995

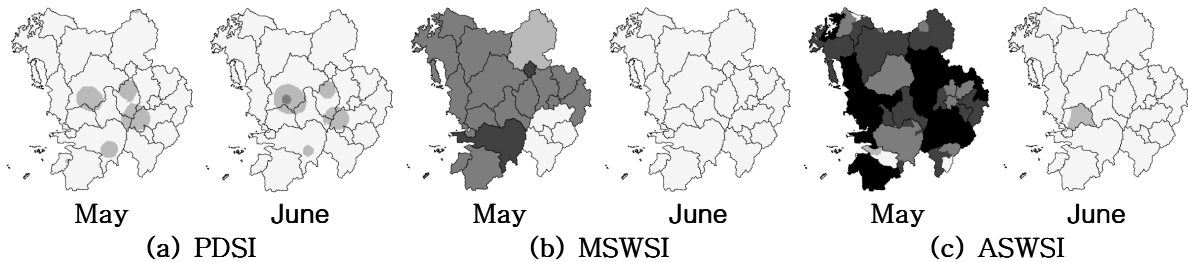


Fig 8. Comparison with another drought index in 2001

## 6. 결 론

본 연구에서는 농업지역의 가뭄을 평가하고자 SWSI를 보완하여 농업가뭄지수(ASWSI)를 산정하였으며 산정된 결과를 토대로 다중회귀분석을 실시하여 금강유역의 농업가뭄지도를 작성하였다. 또한 기존의 타 가뭄지수와의 비교분석을 통하여 ASWSI의 적용성을 검토하였다. 본 연구결과를 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 이용

하여 공간강우를 산정하였고, 저수지 저류량은 농업기반시설관리시스템(RIMS)의 행정구역별 자료를 용수 구역으로 재구축하였으며, 저수지 유입량은 PRMS모형을 이용하여 산정하였다.

2. 선정된 7개 저수지 유역의 ASWSI를 산정을 위해 수문인자들의 월별 시계열 자료를 구성한 뒤 확률밀도 함수를 산정하고 이로부터 얻어진 누가확률분포함수로부터 각 수문인자에 대한 비초과확률을 산정하였으며, Mckee의 방법을 이용하여 각 수문인자의 상대적인 기여에 대한 가중계수를 산정하였다.
3. 7개 저수지의 평균 농업가뭄지수는 1994년 7월과 1995년 6월에 발생한 가뭄에 대하여 각각 -3.15, -3.37을 나타내었고, 2001년 5월에 발생한 가뭄에 대하여 -3.28을 나타내어 모두 가뭄상태를 잘 표현하였다.
4. 7개 저수지 유역의 농업가뭄지수와 강수량, 저수량과의 다중회귀분석을 수행한 결과 0.84~0.99로 분석되었고, 작성된 회귀식을 통해 용수구역별 월평균 공간강우와 저수량자료를 이용하여 용수구역별 농업가뭄지수를 계산하여 금강유역 농업가뭄지도를 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.

### 감 사 의 글

본 연구는 한국수자원공사의 가뭄정보시스템(물공급Guideline중심으로)(’07~’08)용역의 연구비지원을 받아 수행된 연구임.

### 참 고 문 헌

1. 권형중 (2006). SWSI 기반의 준분포형 수문학적 가뭄평가기법 개발, 건국대학교, 박사학위논문
2. 농림부 (1995). 94, 95 가뭄조사 보고서.
3. 이동률, 이대회, 강신욱 (2003). “가뭄 경보기준과 모니터링 시스템”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회지, 제33권, 제6호, pp. 375~384. 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남 (2002). “가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회지, 제35권, 제4호, pp. 397~410.
4. 한국수자원공사 (2001). 2001년 전국가뭄조사보고서
5. 한국수자원공사 (2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구
6. Mckee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993) “The relationship of drought frequency and duration of time scales”. 8th Conference on Applied Climatology, Jan., Anaheim, CA, pp. 179~184.