

# EDI를 활용한 경상도 지역의 가뭄위험도 평가

## Evaluation of Drought Risk in Gyeongsang-do Using EDI

박종용\* · 유지영\*\* · 최민하\*\*\* · 김태웅\*\*\*\*  
Park, Jong Yong · Yoo, Ji Young · Choi, Minha · Kim, Tae-Woong

### Abstract

The change of rainfall pattern due to recent climate change increases the occurrence probability of drought in Korea. Unlike other natural disasters, a drought has long duration, extensive area subject to damage, and greater socioeconomic damage than other disasters. In order to evaluate drought severity, meteorological drought indices are mainly used in practice. This study presents a more realistic method to evaluate drought severity considering drought climate factors as well as socioeconomic factors which are vulnerable to disaster. To perform a spatial evaluation of drought risk in Gyeongsang-do, drought risk was defined and analyzed through the hazard index and the vulnerability index. The drought hazard index was spatially assessed using the drought index and GIS. The drought vulnerability index was also spatially assessed using the 5 socioeconomic factors. As a result, the drought risks were compared and used for evaluating regional drought risk considering regional characteristics of Gyeongsang-do.

**Keywords** : *drought risk, drought hazard, drought vulnerability, drought risk map*

### 요 지

최근의 기후변화로 인한 강우패턴의 변화는 우리나라에서 가뭄의 발생확률을 증가시키고 있다. 가뭄의 발생은 다른 자연재해와는 달리 지속기간이 길고, 피해지역이 광범위하여, 사회경제적으로 겪는 피해가 다른 자연재해보다 크다. 현재 가뭄의 심도를 평가하기 위해서 기후학적 인자를 우선적으로 고려하는 가뭄지수가 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 기후학적 인자를 고려한 가뭄지수와 재해에 취약한 사회경제적 요소를 고려하여 가뭄위험지도를 작성함으로써 좀 더 현실적인 가뭄평가 방법을 제시하고자 한다. 경상도 지역에 대한 가뭄의 공간적인 위험도 평가를 수행하기 위해, 가뭄위험도를 노출성 지수와 취약성 지수의 결합으로 정의하여 분석하였다. 가뭄의 노출성 지수는 가뭄지수를 이용하여 GIS를 기반으로 공간적 범위에 분포시켰으며, 가뭄의 취약성 지수는 사회경제적인 5가지 인자를 이용하여 산정하고, 표준화를 통하여 공간적 범위에 분포시켰다. 그 결과 대상지역인 경상도 내 시군구 지역별 가뭄에 대한 위험도의 차이를 비교할 수 있었으며, 같은 강도의 가뭄이 발생하여도 경상도 내 행정구역별 지역적 특성에 따라 가뭄위험도를 평가할 수 있었다.

**핵심용어** : 가뭄위험도, 가뭄노출성, 가뭄취약성, 가뭄위험지도

### 1. 서 론

가뭄은 어떤 재해보다도 규모가 광범위하고, 지속기간이 길며, 가뭄의 시작과 끝이 불분명하기 때문에 가뭄이 크게 진행된 후에야 그 상황을 인지하게 되어 그 피해가 결과적으로 커지는 성향이 있다. 최근의 기후변화에 따른 강우패턴의 변화를 고려한 강수 전망 연구는 향후 호우나 가뭄, 대설 등이 지역적으로 상반되는 변화를 가져올 가능성이 커지고, 기후학적으로 건조한 시기인 겨울과 봄을 비롯한 초여름까지의 강수량이 보다 감소할 것으로 예측하였다(국립기상연구소, 2008). 경민수 등(2009)은 기후변화가 한반도 가뭄에 미치는

영향을 평가하기 위해 IPCC에서 제공하는 Global Climate Model 중 BCM2 모형(A2 시나리오)을 이용하였으며, 기후변화가 서울지방의 가뭄에 미치는 영향을 분석한 결과, 12월부터 5월까지의 강수량은 감소하고 7, 8월의 강수량은 증가하여, 가뭄 지속기간이 길어져 가뭄으로 인한 피해가 증가할 것이라고 예측하였다. 이러한 강수량의 집중 또는 감소로 인하여 우리나라의 가뭄 발생확률은 증가하고 있다. 1990년대 이후 남부지역을 중심으로 겨울~봄철에 만성적인 가뭄이 심화되고 있으며, 특히 1992년부터 2001년의 가뭄 발생빈도는 그 이전과 비교하여 낙동강 권역(경상도 지역)에서 상당히 높게 나타나고 있다(한국수자원공사, 2002).

\*정희원 · 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 (E-mail : bajojang@hanyang.ac.kr)

\*\*한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : 7924pooh@hanyang.ac.kr)

\*\*\*정희원 · 한양대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 (E-mail : mchoi@hanyang.ac.kr)

\*\*\*\*정희원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 (E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr)

가뭄의 심도를 정량적으로 분석하기 위해 이주현 등(2006)은 PDSI(Palmer Drought Severity Index), SPI(Standardized Precipitation Index), MSWSI(Modified Surface Water Supply Index) 등의 가뭄지수를 월 단위로 산정하였으며, 이를 바탕으로 과거에 발생했던 가뭄을 분석한 바 있다. 권형중과 김성준(2007)은 지하수 관측망의 지하수 자료와 MSWSI와의 상관분석을 통해 지하수위의 임계값을 결정하고, 지하수위 자료의 확률분석을 통해 금강유역에 대한 가뭄평가를 수행하였다. 안소라 등(2009)은 농업용 저수지의 수문학적 가뭄평가를 위해 SWSI(Surface Water Supply Index)를 보완한 ASWSI(Agricultural SWSI)를 산정하여, 금강유역의 농업가뭄 분포도를 작성하였으며, 다른 가뭄지수와의 비교·분석을 통해 ASWSI의 적용성을 검토한 바 있다. Goddard *et al.*(2003)은 가뭄위험관리를 위한 의사결정을 지원하기 위해 가뭄지수와 공간적 데이터베이스를 이용하여 가뭄위험에 노출된 정도를 파악하는 방법을 제시하였고, Wilhite(2000)은 가뭄 관리를 위한 10단계를 제안하여, 가뭄에 대해 효과적으로 대응할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 Tsakiris *et al.*(2006)은 RDI(Reconnaissance Drought Index)를 기반으로 농업적 가뭄에 대한 지역적 평가를 수행한 바 있다. RDI는 농업적 가뭄을 평가할 목적으로 개발된 것으로, 대기 중에 필요로 하는 강우나 증발의 부족상태를 나타낸다. 물 부족과 관련된 다양한 기후학적 변화, 특히 잠재증발산과 관련된 인자를 고려하였기 때문에 농업적 가뭄을 평가하는데 실효성이 있는 것으로 알려져 있다. 최근에는 MODIS 위성 영상자료(식생지수 및 지표면 온도 등)를 활용하여 한반도 내 가뭄을 정량적으로 평가하는 방법들이 개발되고 있다(김경탁과 박정술, 2009; 유지영 등, 2010).

이러한 가뭄에 대비하기 위해서는 가뭄의 지역적 위험도를 평가하여 지역적으로 적절한 가뭄대책을 수립할 필요가 있다. 현재 우리나라는 홍수와 지진해일, 산사태와 같은 자연재해에 대비하기 위해서 재해위험지도 작성을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 가뭄과 관련한 재해지도 작성 연구는 아직 미진한 상태이다. 일반적으로 재해위험지도 작성을 위해서는 정량적 위험도 평가가 필요하다. Wu and Wilhite(2004)와 Wu *et al.*(2004)는 미국의 네브라스카 지역의 농업적 가뭄위험을 다변량 기법을 통해 평가한 후, 농업적 가뭄의 위험지역을 GIS를 통해 도시하였다. Shahid and Behrawan(2008)은 Hayes *et al.*(2004)이 제시한 가뭄위험 분석 방법을 이용하여 방글라데시에 대한 가뭄위험 평가를 수행하였다. 이 연구에서 가뭄위험을 평가하기 위해 3-month SPI, 6-month SPI를 이용하여 가뭄 발생확률을 산정하고, 가뭄으로 인한 영향범위를 사회, 건강, 경제, 환경으로 구분하여, 가뭄 위험지도를 작성하였다. 방글라데시의 경우, 높은 인구밀도와 낮은 재정도, 잦은 자연재해로 인해 극심한 피해를 겪고 있다. 특히 기후 특성상 우리나라와 비슷하게 여름의 강우가 연강우량의 대부분을 차지하기 때문에, 여름을 제외한 계절에 있어서 강우편차가 매우 커 가뭄의 발생이 빈번하며, 가뭄에 의해 발생하는 피해 또한 상당히 크다.

가뭄의 특성상 단기간의 강수로 인해 가뭄이 해결되어질 수 있음을 고려해 볼 때, 월별 모의 또는 주별 모의로 계산되어지는 기존의 가뭄지수보다는 일 가뭄의 상태 및 가뭄의

해갈 및 종료일을 계산할 수 있는 가뭄지수의 적용이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 EDI(Effective Drought Index)를 이용하여 가뭄을 정량화하고, 가뭄 취약정도를 나타내어 주는 인자를 선정하여 경상도 지역의 가뭄 위험평가를 위한 가뭄 위험지도를 작성하였다.

## 2. 가뭄위험도 정의

### 2.1 가뭄위험도 정의

미국 국립가뭄경감센터(National Drought Mitigation Center, NDMC)에서는 가뭄에 대한 일반적인 연구뿐만 아니라 가뭄 경감대책 등 정부차원의 가뭄관리에 대한 연구가 이루어지고 있다. Knutson *et al.*(1998)은 국가가뭄계획수립 시 피해저감을 위한 6단계의 절차를 제시하였는데, 그 중 4단계는 가뭄위험 평가에 관한 취약성 평가에 대한 방법이다. 본 연구에서는 NDMC에서 제안한 위험도의 정의를 바탕으로 가뭄위험을 노출성(Hazard)과 취약성(Vulnerability)을 이용하여 식 (1)과 같이 표현하였다. 이를 정량적인 자료로 구축하기 위해, 그림 1과 같은 산정절차를 통해 가뭄 노출성과 가뭄 취약성을 각각 정량화 할 수 있는 지수를 산정하였다. 즉 가뭄노출성 지수(Drought Hazard Index, DHI)와 가뭄취약성 지수(Drought Vulnerability, DVI)를 통해 식 (2)와 같이 가뭄위험지수(Drought Risk Index, DRI)를 산정하였다.

$$Risk = Hazard \times Vulnerability \quad (1)$$

$$DRI = DHI \times DVI \quad (2)$$

첫 번째로 가뭄노출성 지수(DHI)를 산정하기 위해서, 기상청에서 제공하는 경상도 지역 내 강우관측소의 1978년부터 2007년까지의 일강우량을 이용하여 EDI(Effective Drought Index)를 산정하였다. 팔머가뭄지수(PDSI)와 표준강수지수(SPI)의 시간단위가 주 또는 월 단위인데 비하여 EDI는 일별모의가 가능하다. 또한 EDI는 가뭄의 시작과 끝을 명확히 제시하기 때문에 가뭄의 발생확률을 계산하는데 편리하게 적용될 수 있다. EDI 값에 따른 심도별 가중치(Weights)를 부여하고, 심도별 발생확률을 산정하여, 등급(Rating)을 부여할 수 있기 때문에, 가뭄심도의 크기 특성 및 가뭄심도의 발생빈도 특성을 모두 고려할 수 있다.

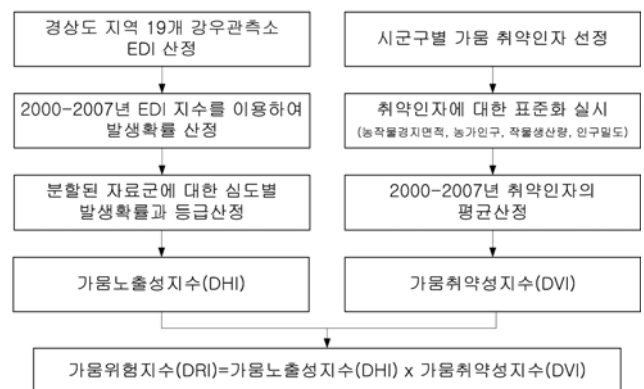


그림 1. 가뭄노출성 지수와 가뭄취약성 지수를 이용한 가뭄위험지수 산정절차

두 번째로 가뭄취약성 인자(DVI)를 산정하기 위해서, 사회적 특성에 의해 가뭄이 가중될 수도 있다는 점을 나타내어 줄 수 있는 5가지 인자를 구축하였다. 과거 가뭄발생에 따른 대표적 피해현황을 살펴보면 대부분 식수난 등의 생활용수의 부족과 농업용수의 부족으로 인한 농작물 피해 등이 주를 이룬다(한국수자원공사, 2002). 생활용수의 부족은 수요 대비 공급량의 부족으로 인해 발생하는 현상으로, 인구밀도의 증가에 의해 많은 영향을 받는다. 또한, 농업용수의 부족은 농작물 생산에 큰 영향을 미치며, 농업관련 종사자에게 많은 피해를 끼친다. 따라서, 사회·경제적 피해를 가중시킬 수 있는 인자를 농작물 경지면적, 농가인구, 작물생산량, 인구밀도와 용수공급능력으로 선정하였다. 농작물 경지면적, 농가인구, 작물생산량, 인구밀도 자료는 통계청에서 제공하는 2000년부터 2007년까지의 자료를 통해 구축되었다. 용수공급능력은 지방자치단체의 가뭄 수용능력을 나타내는 것으로 생활용수 및 농업용수의 지역별 과부족량으로 표현될 수 있다. 용수 과부족량의 산정을 위해서는 연도별 수요량 및 공급량 자료가 필요하다. 수요량 자료의 경우, 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006b)에서 제시한 2003년도와 2006년도의 수요량 자료를 이용하였다. 공급량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS: <http://www.wamis.go.kr/>)에서 제공하는 행정구역별 용수 이용량 자료를 이용하였다. 5가지 취약인자에 대한 연산을 위해 UNDP(2005)에서 제시한 식(3)과 같은 축척 재조정(Re-scaling) 방법을 이용하여 단위를 무차원으로 변환하였다. 이는 전체 자료범위 내에서 등수에 따른 순위를 일렬로 세우는 방법으로 자료의 상대적 크기의 비교가 가능하다.

$$Dimension\ Index = \frac{Actual\ Value - Minimum\ Value}{Maximum\ Value - Minimum\ Value} \quad (3)$$

## 2.2 가뭄지수(EDI) 산정 절차

경상도 지역의 가뭄위험지도를 작성하기 위해 가뭄 심도별 발생확률을 산정하고, 가중치와 등급을 결정하였다. 본 연구에서는 가뭄심도를 산정하기 위해 다양한 가뭄지수 중 Byun and Wilhite(1999)가 개발한 EDI를 이용하였다. 김기훈 등(2005)은 동아시아 지역을 대상으로 PDSI와 EDI의 비교검증을 통해 EDI에 대한 적용성을 검증한 바 있다. EDI는 강우의 발생으로 생긴 수자원을 시간에 따른 손실을 감안하면서 일 년 이상의 기간 동안 누적하여, 이를 평년치와 비교하는 방법으로 가뭄강도를 계산한다. 이는 강우량을 이용하여 일별 가뭄의 정도를 파악할 수 있고 계산과정이 간단한 장점이 있다. 산정절차는 식(4)과 같다.

$$EP = \sum_{n=1}^i \left[ \left( \sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (4a)$$

$$DEP = EP - MEP \quad (4b)$$

$$EDI = DEP / ST(DEP) \quad (4c)$$

여기서, EP는 유효누적강우량으로 365일 혹은 그 이상 동안 누적된 강우량을 의미하고, P<sub>m</sub>은 특정일로부터 m일 전의 강우량을 의미하며, 일별로 다른 값을 갖는다. MEP는 EP의 30년간 평균이고, DEP는 MEP로부터 EP의 편차를 의미한다. ST(DEP)는 평년기간 동안의 DEP의 표준편차이다. 또한

표 1. EDI 가뭄심도 구분

가뭄심도	EDI
Near-Normal	-1.0 < EDI < 1.0
Moderate	-1.5 < EDI ≤ -1.0
Severe	-2.0 < EDI ≤ -1.5
Extreme	EDI ≤ -2

EDI의 심도별 발생확률을 분류하기 위해 표 1과 같은 EDI 범주에 따라 구분하였으며, 값이 작을수록 가뭄의 정도가 심해짐을 의미한다.

## 3. 가뭄위험 지수 산정

### 3.1 가뭄노출성 지수(DHI)

행정구역별 가뭄위험지도는 가뭄노출성 지수(DHI)와 가뭄취약성 지수(DVI)에 의해 결정된다. 가뭄노출성 지수는 EDI의 심도별 발생확률에 따른 등급을 부여하여 계산된다. 경상도 지역 19개 강우관측소(울진, 춘양, 영주, 점촌, 영덕, 의성, 구미, 포항, 영천, 대구, 거창, 합천, 울산, 밀양, 산청, 진주, 부산, 거제, 남해)에 대해서 1978년부터 2007년까지의 일강우량을 이용하여 EDI를 산정하고, 표 1에서 제시된 EDI 범주에 따라 발생확률을 구분하여, 표 2와 같이 2000년부터 2007년까지 가뭄심도별 발생확률을 결정하였다. 발생확률은 각 강우관측소의 일별 EDI의 관측빈도에 대하여 표 1에 의해 구분된 EDI 심도의 발생빈도를 백분위로 나타낸 값이다. 그림 2는 산정된 본 연구에서 산정된 EDI 중 대구(경상북도)와 부산(경상남도) 지점의 결과를 1990년부터 2007년까지 예시적으로 도시한 것이다. 경상도 지역 대부분

표 2. 2000년-2007년 경상도 지역의 가뭄심도별 발생확률(%)

강우관측소	Near-Normal	Moderate	Severe	Extreme
울진	66.09	2.99	0.45	0.00
춘양	67.43	2.51	1.58	0.03
영주	66.64	7.28	1.37	0.00
점촌	67.81	7.04	1.27	0.00
영덕	72.48	3.44	0.55	0.00
의성	48.33	9.14	1.03	0.17
구미	69.56	5.32	0.58	0.07
포항	79.63	2.78	0.10	0.00
영천	72.96	8.14	0.03	0.00
대구	71.32	8.31	0.38	0.00
거창	66.27	2.40	0.00	0.00
합천	74.06	3.64	0.31	0.00
울산	76.43	11.47	0.34	0.00
밀양	77.67	8.21	0.93	0.07
산청	76.81	4.95	0.21	0.00
진주	71.56	9.79	0.69	0.00
부산	76.09	4.16	0.45	0.00
거제	76.92	1.99	0.03	0.00
남해	77.91	2.71	0.48	0.00

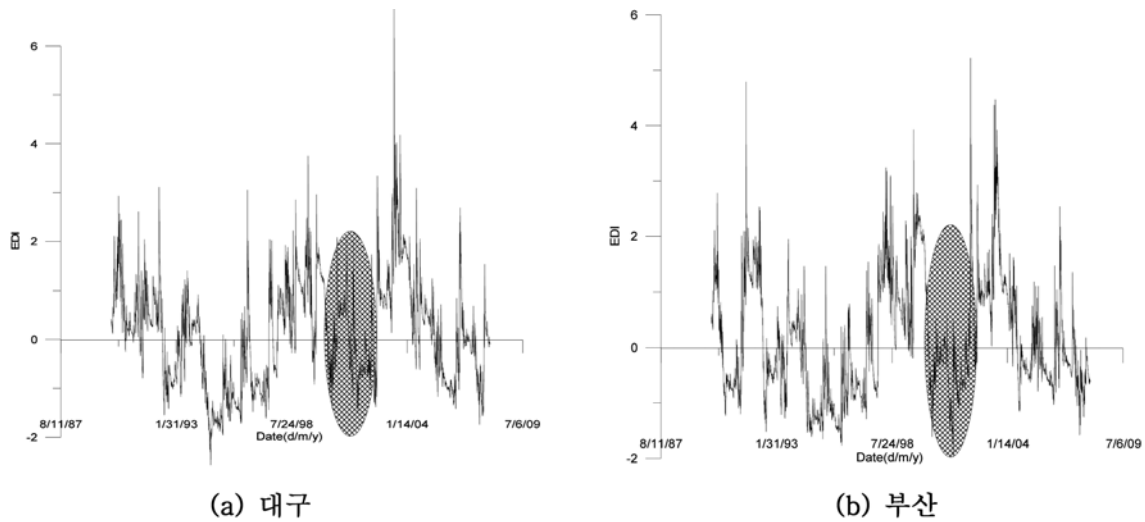


그림 2. 1990-2007년 경상도 지역 EDI

표 3. 2000-2007년 경상도 지역의 가뭄심도별 가중치와 등급

가뭄심도	가중치	발생확률	등급
Near normal	1	$\leq 52.86$	1
		52.87-61.48	2
		61.49-70.10	3
		$70.11 \leq$	4
Moderate	2	$\leq 1.99$	1
		2.00-5.15	2
		5.16-8.31	3
		$8.32 \leq$	4
Severe	3	$\leq 0.0042$	1
		0.0043-0.51	2
		0.52-1.02	3
		$1.03 \leq$	4
Extreme	4	$\leq 0.0001$	1
		0.0002-0.043	2
		0.044-0.096	3
		$0.097 \leq$	4

의 지역에서 2001년의 EDI 값이 평년 이하의 값(그림 2의 빗금 부분)을 가지는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 최근 발생된 2001년의 가뭄위험을 평가하기 위하여, 2000년부터 2007년까지 EDI의 심도별 발생 확률을 평년값으로 정의하여, 2001년의 가뭄을 비교분석하였다. 표 3은 2000년부터 2007년까지 EDI의 심도별 발생확률을 근거로 산정한 가중치와 등급을 산정한 결과이다. 하지만, 강우관측소의 일강우량을 이용하여 EDI의 발생확률을 계산하였기 때문에, 경상도의 행정구역별로 도시하는 데에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 경상도 지역 내 강우관측소 별 가뭄지수를 티센다각형의 면적비에 가중치를 부여하는 티센다각형법을 활용하여 행정구역별 가뭄지수로 재산정 하였다. 다시 말해, 부산광역시와 울산광역시, 대구광역시의 시군구를 포함한 경상도 지역 내 7개 시군구에 대해 19개의 강우관측소를 통해 티센망을 작도한 후, 각 강우관측소가 경상도 지역의 시군구에 영향을 미치는 면적비율을 고려한 가뭄심도의 발생 확률을 재산정 하였다. 그 결과 가뭄노출성 지수(DHI)는 식

(5)에 의해 산정되며, 표 3에서 제시한 가뭄심도별 가중치와 등급을 고려하여 최종적으로 계산된다.

$$DHI = (NNDr \times NNDw) + (MDr \times MDw) + (SDr \times SDw) + (EDr \times EDw) \quad (5)$$

여기서,  $NNDr$ 은 가뭄심도가 Near Normal Drought 범주에 속하는 등급이며,  $NNDw$ 는 가뭄심도가 Near Normal Drought 범주에 속하는 가중치다.  $MDr$ 은 가뭄심도가 Moderate Drought 범주에 속하는 등급이며,  $MDw$ 는 가뭄심도가 Moderate Drought 범주에 속하는 가중치다.  $SDr$ 은 가뭄심도가 Severe Drought 범주에 속하는 등급이며,  $SDw$ 는 가뭄심도가 Severe Drought 범주에 속하는 가중치다.  $EDr$ 은 가뭄심도가 Extreme Drought 범주에 속하는 등급이며,  $EDw$ 는 가뭄심도가 Extreme Drought 범주에 속하는 가중치다.

### 3.2 가뭄취약성 지수(DVI)

본 연구에서는 사회적 특성의 정도에 따라, 가뭄으로 인한 피해는 경제적, 환경 및 사회적으로 큰 영향 및 파급효과가 나타날 수 있는 점을 가뭄위험분석에 반영하기 위해 가뭄발생으로 인한 피해에 영향을 미치는 인자를 선정하였다. 과거 가뭄피해현황을 살펴보면, 도시지역의 인구밀집지역에서는 생활용수의 부족으로 극심한 피해가 발생하였으며, 농업지역에서는 농업용수의 부족으로 인한 농작물 피해가 크게 발생하였다. 또한 기상학적인 가뭄이 지속되면 토양수분의 감소를 촉진시켜 농업활동에 직접적인 피해가 발생되고, 하천의 저유량과 저수지의 저수량을 감소시켜 수문학적 가뭄으로 이어지면서 용수 부족을 초래한다. 이는 결국 수자원 시설의 능력을 떨어뜨려 관개농업과 생활 및 농업분야에까지 가뭄 피해가 확산되고, 농작물의 생산량 감소로 이어져, 농작물 가격이 폭등하기도 한다. 따라서 농업부문의 피해인자의 선정은 장기적인 관점에서 다른 부분까지 영향을 끼친다는 점을 감안할 때 매우 중요한 인자이다(소방방재청, 2009).

도시지역이나 인구밀집지역의 경우, 가뭄으로 인한 가용 수자원양의 감소로 인해 제한급수와 같은 불편을 겪게 되는 경우도 있다. 유럽연합(EU)에서 정의한 재해취약도 산정과정에서는 인구밀도가 가장 중요한 인자로서 작용한다. 한국환경정책평가연구원(2009)은 가뭄에 의해 취약 기반시설을 파악하여, 기후변화 민감도와 적응능력 및 위험수준이 모두 높

표 4. 2001년 및 2000-2007년 생활용수 및 농업용수 과 부족량  
(단위: 천톤/yr)

시군	2001년 과부족량	2000-2007년 평균 과부족량
울산시	828	-805
대구시	1,036	-917
합천군	35,821	27,806
거창군	69,820	56,774
함양군	54,769	27,752
산청군	-8,943	-16,216
하동군	-36,611	-46,533
남해군	76,955	71,836
고성군	22,022	-3,692
창녕군	119,931	121,907
함안군	41,901	32,686
의령군	35,487	29,366
양산시	828	5,294
거제시	11,744	17,141
밀양시	83,662	74,478
김해시	34,045	26,803
사천시	55,291	50,317
통영시	1,076	-795
진해시	-59,233	-61,239
진주시	33,994	21,047
마산시	-54,817	-71,649
창원시	2,155	-4,615
울진군	27,271	20,181
봉화군	54,532	51,151
예천군	68,207	47,662
칠곡군	23,843	7,300
성주군	49,372	23,011
고령군	-17,319	-9,112
청도군	25,424	18,927
영덕군	22,868	12,931
영양군	25,797	29,671
청송군	31,358	27,736
의성군	67,491	33,470
군위군	28,762	10,618
경산시	23,882	11,662
문경시	46,487	39,513
상주시	38,433	37,901
영천시	47,406	33,806
영주시	39,300	15,263
구미시	54,327	24,647
안동시	42,284	61,199
김천시	57,666	24,152
경주시	65,667	35,421
포항시	40,559	24,524

게 나온 기반시설을 상수시설, 하천시설, 관개시설로 정의하였다. 상수시설 및 하천시설의 경우 급수를 위한 직접적인

시설이므로 기쁨에 의해 급수의 제한을 받는 인구밀도와 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 관개시설은 농업부분에 많은 영향을 미친다. 기쁨이 발생함에 따라 용수공급능력은 지역별 기쁨을 수용할 수 있는 인자로 작용할 수 있다. 지역별 용수공급능력의 상태를 수요량과 공급량 자료를 이용한 생활용수 및 농업용수의 과부족량으로 표현하였다. 따라서 본 연구에서는 기쁨취약성 지수 산정을 위해 기쁨취약 인자를 경상도 지역 71개 시군구에 대한 농작물 경지면적(Irrigated Land, IL), 농가인구(Agricultural Occupation, AO), 작물생산량(Food Production, FP), 인구밀도(Population Density, PD), 용수의 과부족량(Excess or Deficiency, ED)으로 선정하였다. 표 4는 경상도 지역별 생활용수 및 농업용수의 공급량 및 수요량 자료를 통해 산정된 과부족량을 정리한 것이다. 각 인자별 축척 재조정(Re-scaling) 방법을 통해 단위를 무차원화 하였으며, 2000년부터 2007년까지 기쁨취약성 지수 DVI를 식 (6)에 의해 산정하였다.

$$DVI = \frac{IL_r + AO_r + FP_r + PD_r + ED_r}{\text{The Number of Indicators}} \quad (6)$$

여기서,  $IL_r$ 은 농작물경지면적 비율,  $AO_r$ 은 농가인구비율,  $FP_r$ 은 작물생산량비율,  $PD_r$ 은 인구밀도비율,  $ED_r$ 은 생활용수 및 농업용수의 과부족 비율을 나타낸다.

### 3.3 기쁨위험지수(DRI)

기쁨위험지수(DRI)는 기쁨노출성 지수(DHI)와 기쁨취약성 지수(DVI)의 곱(식 (2))으로 정의되어(Wisner *et al.*, 1994; Downing and Bakker 2000; Wilhite, 2000), 경상도 지역 71개 시군구에 대한 기쁨위험지수(DRI)를 산정하여, 행정구역별 기쁨위험지도를 작성하였다. DHI와 DVI 중 하나라도 “0”값을 가지게 되면 DRI는 “0”이 되며, 이는 그 지역은 기쁨으로 인한 위험이 없음을 의미한다. 또한 DHI와 DVI 중 하나의 값이라도 커지면 커질수록 DRI는 커지게 되므로 기쁨위험 정도를 나타내는 데 있어 두 지수는 양의 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

## 4. 결 과

### 4.1 기쁨노출성 지도

본 연구에서는 EDI를 바탕으로 경상도 지역의 71개 시군구의 심도별 발생확률을 계산한 후 기쁨노출성 지수(DHI)를 산정하여 도시하였다. 그 결과, 그림 3(a)는 2001년의 기쁨노출성 지도(Drought Hazard Map)를 그림 3(b)는 2000년부터 2007년까지 기쁨노출성 지도(Drought Hazard Map) 나타낸다. 2001년의 경우, 경상남도예 비해 경상북도의 기쁨이 극심한 것을 알 수 있으며, 특히 경상북도의 기쁨노출성 지수가 가장 높은 지역은 구미시를 포함하여 안동시, 상주시, 김천시 등 10개의 시군으로 나타났고, 그 인근 주변의 지역들도 기쁨의 피해가 적지 않음을 알 수 있다. 2000년부터 2007년 기간의 경우 기쁨노출성은 2001년과 마찬가지로 경상북도 지방의 안동시, 영천시, 의성군의 기쁨발생빈도가 높았으며, 경상남도 지방의 밀양시, 창원시, 창녕군의 극심한 기쁨의 발생빈도가 높았던 점으로 볼 때, 경상도 지역의 내륙지방에서 기쁨의 빈도가 잦고, 심도 역시 크다는 점을 알

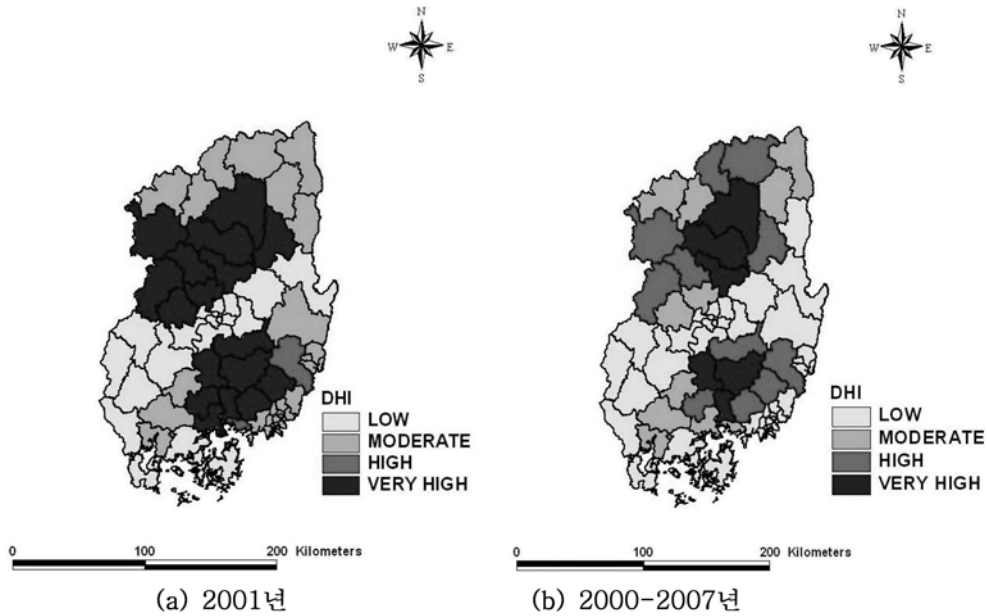


그림 3. 경상도 가뭄노출성 지도

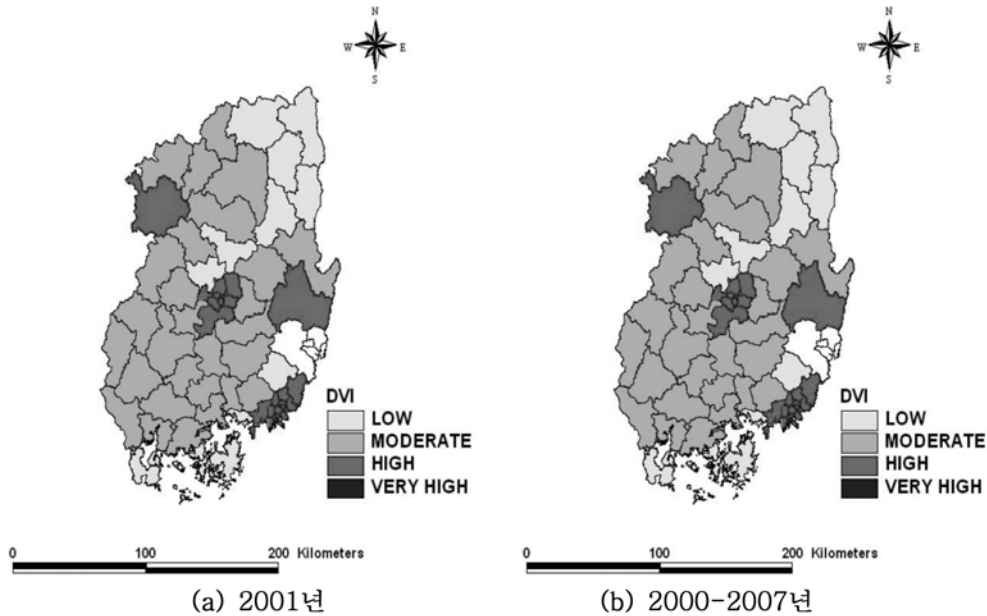


그림 4. 경상도 가뭄취약성 지도

수 있다.

#### 4.2 가뭄취약성 지도

가뭄취약성 지도(Drought Vulnerability Map)는 농작물 경지면적, 농가인구, 작물생산량, 인구밀도, 용수공급능력의 5가지 인자로 산정된 가뭄취약성 지수(DVI)를 바탕으로 도시하였다. 그림 4(a)와 그림 4(b)는 각각 2001년 가뭄취약성 지도와 2000년부터 2007년 기간의 가뭄취약성 지도를 나타낸다. 그림 4를 살펴보면, 경상북도의 상주시와 경주시, 경상남도의 부산시가 상대적으로 취약한 지역으로 나타남을 알 수 있다. 이 중 상주시의 경우 작물생산량이나 경지면적이 타 지역에 비해 높기 때문에 가뭄으로 인해 피해의 정도가 클 것으로 예상되는 지역이고, 경주시의 경우는 농가인구와 작물생산량이 높게 나타났기 때문에 가뭄에 가장 취약한 지역으로 발견되었다. 그리고 부산광역시의 경우에는 해마다 인구밀도가 감소추이를 보이지만, 경상도의 타 지역에 비해

월등히 높은 인구밀도를 보이고 있기 때문에 가뭄에 의한 식수난 또는 재산상의 피해가 발생할 경우, 타 지역에 비해 가뭄발생으로 재해에 대한 취약정도는 타 지역들에 비해 상대적으로 훨씬 높을 것으로 나타난다.

#### 4.3 가뭄위험지도

가뭄위험지도(Drought Risk Map)는 가뭄노출성 지수(DHI)와 가뭄취약성 지수(DVI)의 결합으로 생성된다. 가뭄위험지도는 DRI 지수의 계산결과에 의해 결정되며, DRI의 값은 0~1 사이의 값을 갖는다. 산정된 DRI를 표준화하여 K-S Test를 실시하였다. 귀무가설은 “DRI는 정규분포를 따른다”이고 대립가설은 “DRI는 정규분포를 따르지 않는다”로 설정하고, 유의수준 5%로 검정을 실시한 결과 귀무가설이 채택되었다. 채택된 결과는 표 5와 같으며, 실제 산정된 DRI 누적곡선과 이론적 표준정규누적곡선(CDF)의 비교를 수행한 결과는 그림 5와 같다. 또한, Re-scale 과정은 자료의 최소값을

표 5. K-S Test 수행결과

2001년		2000-2007년	
자료수	46	자료수	46
평균	0.024	평균	0.022
표준편차	0.998	표준편차	0.999
Kolmogorov-Smirnov의 Z	1.215	Kolmogorov-Smirnov의 Z	1.382
근사유의확률(양측)	0.104 (Accept)	근사유의확률(양측)	0.044 (Accept)

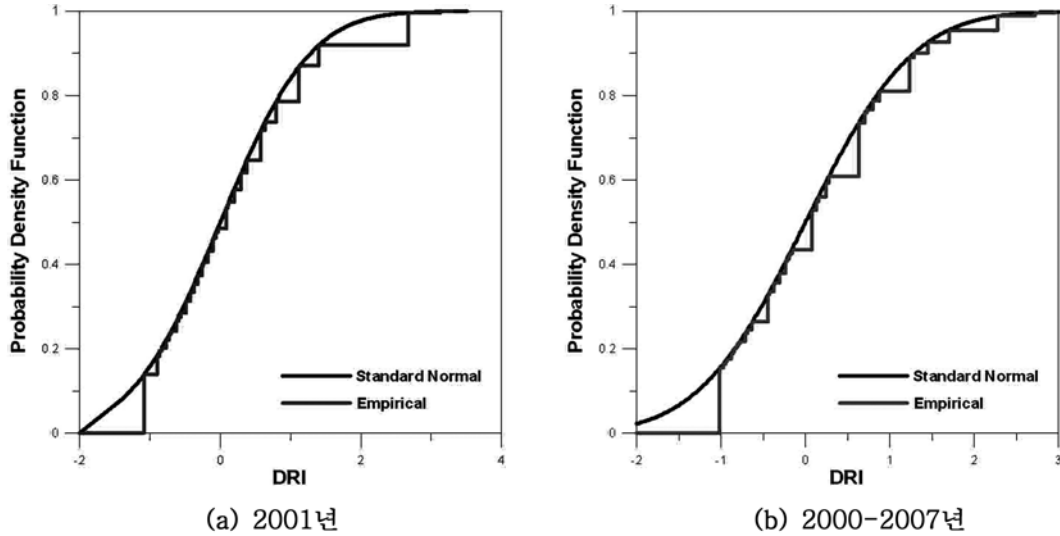


그림 5. 표준화 DRI 누적곡선과 이론적 표준정규누적곡선

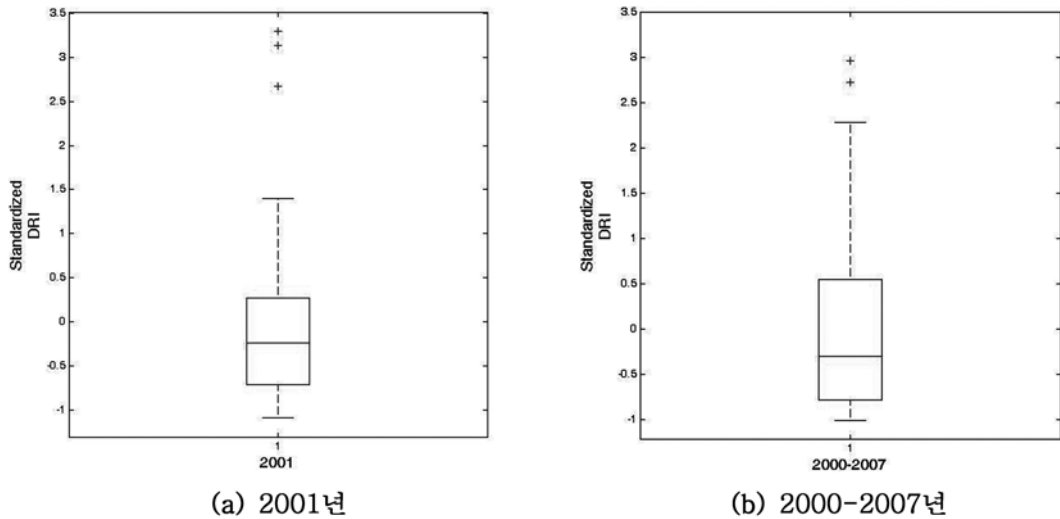


그림 6. 표준화 DRI의 Box-plot

0, 최대값을 1로 보정해 주기 때문에 분석자료에 이상치가 있을 경우 자료구조를 왜곡시킬 우려가 있다. 이상치 검정을 위해 우선 2001년과 2000-2007년의 표준화된 DRI 값을 바탕으로 상자그림을 그림 6과 같이 도시하였다. 이상치 검정을 위해 Grubbs & Beck 검정을 이용하였다. Grubbs & Beck 검정은 분석자료를 정규분포로 가정하고 최고치 또는 최저치가 유의수준 10% 내에 있는지 여부를 검정하는 방법이다.

$$y_H = \bar{y} + K_n \sigma_y \quad (7)$$

$$y_L = \bar{y} - K_n \sigma_y \quad (8)$$

$$K_n = -3.62201 + 6.28446n^{-\frac{1}{4}} - 2.49835n^{-\frac{1}{2}} + 0.491436n^{-\frac{3}{4}} - 0.037911n \quad (9)$$

여기서  $y$ 는  $lnc$ ,  $\bar{y}$ 는 평균,  $\sigma_y$ 는 표준편차,  $y_H$ 는 고이상치 기준,  $y_L$ 는 저이상치 기준,  $K_n$ 은 표본수에 따른 이상치 검정 빈도계수(10% 유의수준),  $n$ 은 자료수이다.

검정결과 2001년의 경우  $y_H = 2.736$ ,  $y_L = -2.736$ 의 결과를 도출하여, 저이상치의 기준은 만족하였으나, 고이상치의 기준을 넘는 지역이 경상북도의 상주시와 의성군으로 각각 3.135와 3.295의 값을 가진다. 강우자료의 이상치 검정의 경우 고이상치와 저이상치에 대한 검정을 실시한 후 이상치가 자료의 오차나 유역상태의 변화에 의한 것이 확인한 경우에는 제외하는 것이 원칙이나, 통상 인근 관측소의 자료들과 비교 검토 등을 실시한 후 확인하지 않은 경우에는 가급적 제외하지 않는 것이 타당하다(정중호와 윤용남, 2009). 따라

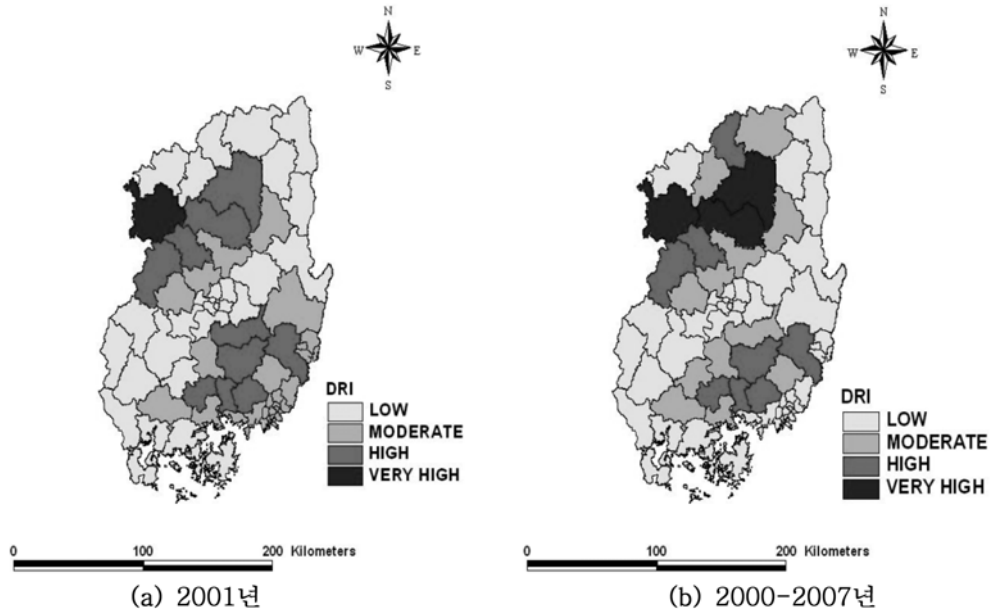


그림 7. 경상도 가뭄위험지도

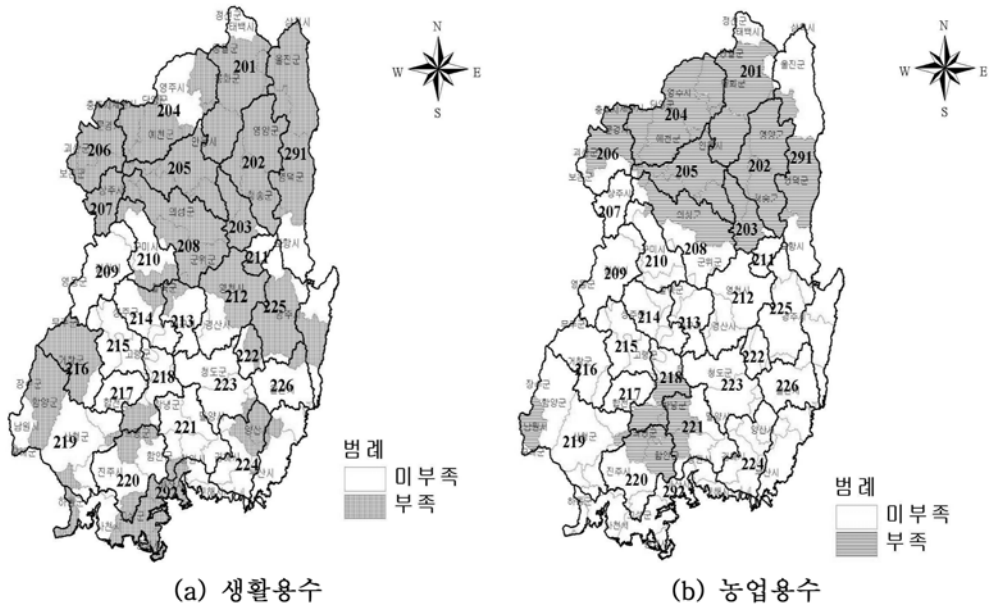


그림 8. 2001년 낙동강권역 생활·농업용수 부족현황(건설교통부, 2002)

서 경상북도의 상주시와 의성군 인근 지역의 자료들의 검토한 결과 경상북도의 상주시와 의성군 지역을 중심으로 DRI 값이 높게 산정된 점을 비추어 볼 때, 이상치 자료의 수정 또는 기각을 시행하지 않았다. 평년으로 정의한 2000-2007년의 경우도 마찬가지로 저이상치 기준은 만족하였으나, 고이상치의 경우 경상북도 안동시의 값이 2.959인 것으로 나타났다. 2001년과 마찬가지로 안동시 지역을 중심으로 DRI 값이 높게 산정되어, 이상치 자료의 수정 또는 기각을 시행하지 않았다. 본 연구에서  $0 \leq DRI < 0.25$  범위의 값은 가뭄에 의한 위험이 낮은 LOW 등급으로,  $0.25 \leq DRI < 0.5$  범위의 값은 가뭄에 의한 위험이 보통 수준인 Moderate 등급으로,  $0.5 \leq DRI < 0.75$  범위의 값은 가뭄에 의한 위험이 높은 High 등급을,  $0.75 \leq DRI \leq 1$  범위의 값은 가뭄에 의한 위험이 가장 높은 Very High 등급을 적용하였다.

그림 7(a)의 2001년 가뭄위험지도를 살펴보면, 경상북도

지역의 상주시가 가뭄에 가장 높은 위험도를 보이고 있다. 이는 상주시의 가뭄발생이 상대적으로 매우 빈번함과 더불어 가뭄취약도 역시 높았음에 따른 결과이다. 또한 그림 7(b)의 2000년에서 2007년 기간의 가뭄위험지도 결과를 살펴보면, 경상북도의 상주시, 안동시, 의성군이 가뭄위험지역으로 나타났다. 경상남도에서는 경상북도 보다 위험지역이나 위험등급이 낮게 나타났으며, 반대로 밀양시, 양산시, 창녕군에서는 타 지역보다 상대적으로 가뭄위험이 보다 높게 나타났음을 확인할 수 있다.

그림 8은 2001년 발생한 가뭄으로 낙동강 권역의 생활용수 및 농업용수 부족현황을 나타낸 그림이다. 가뭄기간 중 제한급수, 격일제급수, 급수중단 등 생활용수의 공급피해를 받은 지역은 경상북도의 경주시, 안동시, 문경시, 영천시, 군위군, 의성군, 청송군, 영주군, 영양군, 영덕군, 칠곡군, 예천군, 봉화군, 울진군으로 나타났으며, 경상남도의 경우 마산시, 거제시, 통영시, 양산시, 의령군, 고성군, 남해군, 함안군, 하



동군으로 나타나 경상북도의 생활용수부족이 경상남도에 비해 심각했음을 알 수 있다. 농업적 가뭄피해지역을 살펴보면 2001년 발생한 가뭄으로 경상도 지역의 안동시, 문경시, 의성군, 청송군, 영주군, 영덕군, 예천군, 봉화군, 의성군, 창녕군, 함안군, 의령군, 영양군으로 대부분 경상북도 지역이 농업적 가뭄피해도 컸음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 경상도 지역의 가뭄발생특성을 고려한 가뭄노출성과 가뭄취약성을 복합적으로 고려하여 가뭄위험지도를 작성하였다. 또한 경상도 지역 내 19개의 강우관측소 일강우량을 이용하여 EDI를 산정하고, 이에 대한 가뭄발생특성을 행정구역별로 도시하였다. 또한, 가뭄취약성을 나타낼 수 있는 5가지 인자를 선정하고 이를 지수화하여, 가뭄취약성 지수를 산정하였다. 그 후, 가뭄노출성 지수와 가뭄취약성 지수를 이용하여 가뭄위험지수를 계산하여 경상도 내 71개 행정구역별 가뭄위험지도로 도시하였다. 그 결과, 경상남도에 비해서 경상북도 가뭄위험의 정도가 보다 높게 나타나는 경향이 있음을 확인할 수 있었다. 실제 가뭄기록조사보고서(건설교통부, 2002)에 따르면, 2001년도 가뭄으로 인한 제한급수지역은 생활용수의 부족과 미 부족으로 인한 경계가 뚜렷이 구분되었다. 이 중 낙동강 권역의 북부 지역은 거의 모든 지역에서 용수부족을 겪었으나 과거부터 빈번하게 생활용수 부족을 겪었던 부산 지역을 비롯한 대부분의 남부지역은 생활용수로 인한 어려움은 크지 않았다고 보고되어 있다. 또한 농업적 피해지역 역시 경상도 42개 시 군 중 13개 지역에서 가뭄으로 인한 피해가 발생되었으며, 이 중 경상북도는 11개 지역으로 나타났다(건설교통부, 2006a).

강우와 같은 기상학적인 자연적 요인은 쉽게 변화시킬 수 없지만, 가뭄관리나 행정 및 제도, 수자원 관리와 같은 인위적인 관리체계의 발전으로 가뭄피해를 저감시킬 수 있음은 자명한 사실이다. 그러므로 본 연구에서 제시한 가뭄취약인자로 이용한 5가지 인자(인구밀도, 농업종사자 인구, 경작지면적, 작물생산량, 용수공급능력)와 더불어 보다 다양한 가뭄취약인자를 추가로 구축할 필요성이 있다. 이를 통해 기상학적 원인인 강우부족에 의한 실제 가뭄이 발생하더라도, 가뭄취약지역에 대한 사전대응방안이 마련되어 있다면, 가뭄으로 인한 피해를 보다 저감시킬 수 있을 것이라고 기대된다. 또한 가뭄에 대해 보다 고효율적인 관리가 이루어지기 위해서는 지역별 가뭄특성 파악과 더불어 가뭄상습지역에 대한 중점적인 관리도 지속되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(NEMA-08-NH-05)과 교육과학기술부 한국연구재단의 기초연구사업(과제번호: 2010-0016717)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 건설교통부(2002) 2001년 가뭄기록조사 보고서.  
 건설교통부(2006a) 가뭄관리정보체계 수립보고서.  
 건설교통부(2006b) 수자원장기종합계획.  
 경민수, 김병식, 김형수(2009) 기후변화가 한반도 가뭄에 미치는 영향평가. 2009년도 한국수자원학회 정기학술대회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1457-1461.  
 국립기상연구소(2008) 기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(IV).  
 권형중, 김성준(2007) 국가 지하수 관측망 자료를 이용한 가뭄평가 방법 연구. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제27권 제2B호, pp. 197-199.  
 김경탁, 박정술(2009) 가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가 : 가뭄지수와와의 비교를 중심으로. 한국GIS학회지, 한국GIS학회, 제17권, 제1호, pp. 117-129.  
 김기훈, 최기선, 변희룡(2005) PDSI와 Effective Drought Index의 비교·검증 연구. 2005년도 한국기상학회 정기학술대회 논문집, 한국기상학회, pp. 224-225.  
 소방방재청(2009) 국가 가뭄재해정보시스템 시범개발.  
 안소라, 권형중, 박종윤, 김성준(2009) 농업용 저수지의 수문학적 가뭄평가. 2009년도 한국수자원학회 정기학술대회 논문집, 한국수자원학회, pp. 68-73.  
 유지영, 최민하, 김태웅(2010) 한반도 가뭄모니터링을 위한 MODIS LST 영상자료의 활용. 2010년도 한국방재학회 정기학술대회 논문집, 한국방재학회, pp. 350-353.  
 이주현, 정상만, 김성준, 이명호(2006) 가뭄모니터링 시스템 구축 : I. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, pp. 787-800.  
 정중호, 윤용남(2009) 수자원설계실무. 구미서관.  
 한국수자원공사(2002) 가뭄관리 종합대책 수립연구.  
 한국환경정책평가연구원(2009) 기후변화 적응 강화를 위한 사회적 반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구.  
 Byun, H.R. and Wilhite, D.A. (1999) Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate*, Vol. 12, Issue 9, pp. 2747-2756.  
 Downing, T.E. and Bakker, K. (2000) Drought discourse and vulnerability. *Drought: A Global Assessment*, Wilhite D.A. Ed., Routledge Publishers, UK.  
 Goddard, S., Harms, S.K., Reichenbach, S.E., Tadesse, T., and Waltman, W.J. (2003) Geospatial decision support for drought risk management. *Communications of the ACM*, Vol. 46, No. 1, pp. 35-37.  
 Hayes, M.J., Wilhelmi, O.V., and Knutson, C.L. (2004) Reducing drought risk: bridging theory and practice, *Natural Hazards Review*, Vol. 5, No. 2, pp. 106-113.  
 Knutson, C., Hayes, M., and Phillip, T. (1998) How to reduce drought risk. A guide prepared by the preparedness and mitigation working group of the western drought coordination council. *National Drought Mitigation Center*, Lincoln, Nebraska.  
 Shahid, S. and Behrawan, H. (2008) Drought risk assessment in the western part of Bangladesh, *Natural Hazards*, Vol. 46, No. 3, pp. 391-413.  
 Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. (2006) Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index(RDI). *Water Resources Management*, Vol. 21, No. 5, pp. 821-833.  
 UNDP (2005) *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies, and Measures*. Cambridge University Press, USA.  
 Wisner, B., Blaikie, P.M., Davis, I., and Cannon, T. (1994) *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. Routledge Publishers, New York.  
 Wilhite, D.A. (2000) Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. *Drought: A Global Assessment*, Wilhite, D.A. Ed.,

Routledge Publishers, UK.

Wu, H. and Wilhite, D.A. (2004) An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska. *Natural Hazards*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-21.

Wu, H., Hubbard, K.G. and Wilhite, D.A. (2004) An agricultural drought risk-assessment model for corn and soy-

beans. *International Journal of Climatology*, Vol. 24, No. 6, pp. 723-741.

(접수일: 2010.11.22/심사일: 2011.1.6/심사완료일: 2011.3.30)