

가뭄모니터링 시스템 구축:

II. 정량적 가뭄 모니터링 및 가뭄전망기법 개발

Development of Drought Monitoring System: II. Quantitative Drought Monitoring and Drought Outlook Methodology

이 주 현* / 정 상 만** / 김 제 한*** / 고 양 수****

Lee, Joo Heon / Jeong, Sang Man / Kim, Jea Han / Ko, Yang Soo

Abstract

In this study, Combined Drought Index which can monitor the drought severity and intensity has been developed using PDSI, SPI and MSWSI. To verify the accuracy and applicability of combined drought index, Drought map of Korea using the combined drought index has compared with past drought event. Drought map using the combined drought index shows good accordance with past drought event and accurate quantitative drought monitoring results. Also the drought outlook technique has been developed using the weather forecast data of Korea Meteorological Administration (KMA). Drought outlook technique of this study can be used effectively as a primitive stage tool for real time drought forecast. As a result of this study, Integrated drought monitoring system has been developed which has capabilities of producing and generating the drought monitoring map and drought outlook map as well as various kinds of drought related information.

keywords : Drought Monitoring System, Drought Index, Drought Outlook, Drought Map

요 지

본 연구에서는 PDSI, SPI, MSWSI 등의 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 단계별로 모니터링 할 수 있는 통합가뭄지수를 개발하였으며 개발된 통합가뭄지수에 의해 작성된 한반도의 가뭄도를 과거 가뭄과 비교 검증한 결과 매우 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 통합가뭄지수가 가뭄을 정량적으로 모니터링하는데 유용한 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 기상청에서 시행하고 있는 기온, 강수량의 장·단기 예보자료를 이용하여 가뭄지수의 예측치를 산정한 후, 미래에 가뭄상황이 어떻게 진행될 것인가에 대한 가뭄전망기법을 개발하였으며 한반도 전역에 대한 실시간 가뭄전망이 가능하도록 전체 시스템을 구축하였다. 뿐만 아니라 가뭄기초 자료 관리, 가뭄지수 산정

- * 정희원 · 중부대학교 사회기반시스템공학과 부교수
Associate Professor, Department of Civil Engineering, JoongBu University, Chubu, Kumsan, Chungnam-do 312-702, Korea.
(e-mail: leejh@joongbu.ac.kr)
- ** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 방재연구센터 교수
Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, DPRC, Kongju National University, 182 Singwan-dong, Gongju-si, Chung nam-do, 314-701, Korea
(e-mail: smjeong@kongju.ac.kr)
- *** 충남대학교 토목공학과 교수
Professor, Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Goong Dong, YuSeong Deajeon, 305-764, Korea.
(e-mail: jhkim@hydro.cnu.ac.kr)
- **** 한국수자원공사 조사기획처 부장
Manager, Department of Investigation & Planning, Korea Water Resources Corporation, Daedeok, Deajeon, 306-711, Korea
(e-mail: ysko@kowaco.or.kr)

및 가뭄현황도 작성 등 종합적인 가뭄정보 분석을 위한 가뭄 모니터링시스템을 개발하여 웹을 통하여 일반인들에게 제공할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

핵심용어 : 가뭄모니터링 시스템, 가뭄지수, 가뭄전망, 가뭄도

1. 서론

우리나라에서 가뭄과 관련된 과거의 연구동향은 주로 외국에서 개발된 가뭄지수를 국내의 수문, 기상학적 자료를 이용하여 산정함으로써 여러 가지 형태의 가뭄지수의 적용성에 대하여 검토된 경우가 많다(김선주 등, 1995; 윤용남 등, 1997; 이동률, 1998; 1999; 김상민과 박승우, 1999; 류재희 등, 2002). 이와 같은 몇몇 선행 연구를 통하여 PDSI(Palmer Drought Severity Index) 및 SPI(Standardized Precipitation Index) 등과 같은 가뭄지수의 국내 적용성은 여러 가지 형태로 비교되었지만 실제로 가뭄을 지속적으로 모니터링하기 위한 시스템의 개발(이동률 등, 2003)이나 가뭄의 전망 및 예측과 관련된 연구는 상대적으로 미약했던 것으로 분석된다.

현재 국내에서 가뭄을 모니터링하여 가뭄과 관련된 정보를 제공하는 기존의 시스템으로는 기상청에서 운영 중인 산업기상정보허브에서 가뭄과 관련된 기초적인 정보를 인터넷상에서 제공하고 있으며 제공되는 정보로는 우리나라 전국의 주요 지역별 파머가뭄지수(PDSI)를 비롯하여 최근의 강수현황 및 댐수위 정보 등을 제공하고 있다. 하지만 단순히 파머가뭄지수에 의한 기상학적 가뭄정보만을 제공하고 있으며 또한 향후의 가뭄을 전망하고 있지 않은 것으로 조사되었다. 이 외에도 한 국건설기술연구원에서 제공하는 가뭄현황정보에서도 인터넷상으로 각종 가뭄지수(PDSI, SPI, SWSI)에 대한 최근의 산정 결과를 월별, 지역별로 세분화하여 제공하고 있다. 다만 SWSI의 경우는 우리나라의 5대강 대권역별로 산정되어 제공하고 있지만 이곳에서도 역시 가뭄을 전망하는 전망결과에 대한 정보는 제공하고 있지 않은 것으로 조사되었다. 외국의 경우를 보게 되면 현재 미국의 국립가뭄경감센터(National Drought Mitigation Center, NDMC)가 가장 수준높은 가뭄관련 정보 및 미국 전역에 대한 가뭄 모니터 결과를 인터넷 상으로 제공하고 있다. 특히 PDSI, SPI 를 비롯하여 농업적 가뭄을 모니터링하기 위한 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI) 등의 각종 가뭄지수를 주단위로 산정하여 제공하고 있으며 미국 국립기상청(National Weather Service, NWS)의 기후예측센터(CPC)와 연계하여 각종 가뭄지수의 예측을 통한 가뭄전망(Drought

Outlook) 결과도 주단위로 제공하고 있다.

이렇듯 가뭄을 예측하거나 전망한다는 것은 가뭄을 모니터링하는 경우에 비하여 훨씬 많은 어려움이 수반될 수밖에 없으며 홍수예측의 경우는 유역의 수문, 지형학적 특성인자와 현재의 강수량만을 갖고도 지점에 따라서 약간은 다르지만 짧게는 몇 십 분에서 길게는 몇 시간의 홍수예보시간을 확보한 상태에서 하류에서의 홍수 예측 및 전망이 상당한 정도의 정확도를 갖고 이루어지고 있지만 가뭄의 경우에는 현재의 기상자료만을 이용하여 예측하는 것이 불가능하며 가뭄을 전망하기 위해서는 여러 가지 형태의 기상자료와 함께 가뭄지수가 동시에 예측되어야만 가능하기 때문에 상당한 불확실성(uncertainty)을 내포하게 된다. 가뭄예측과 관련된 국내의 연구는 이와 같은 수문, 기상자료의 예측을 이용한 연구보다는 대부분이 가뭄주기 및 엘니뇨 현상을 이용한 가뭄의 예측이 주를 이루고 있다(변희룡과 임병환, 2000; 최영진, 1995).

우리나라는 가뭄의 주기적인 발생을 수차례 경험함으로써 중앙, 지방정부 및 물 관리기관의 연계에 의해 제도적 측면에서 경험에 의존하는 가뭄대책을 준비하여 시행하고 있다. 그러나 이들 대책은 가뭄이 심화되기 전에 체계적으로 가뭄상황을 파악할 수 있는 가뭄 모니터링과 조기경보 기준이 미흡한 관계로 인하여 적절하고 효과적인 성과를 얻는데 실패하는 경우가 많은 것으로 조사되었다. 결국, 가뭄대비계획에서 가장 중요한 부분은 홍수의 경우와 마찬가지로 실시간으로 가뭄을 모니터링 할 수 있는 시스템의 구축과 이를 국민에게 전달할 수 있는 조기경보 체계의 구축이라고 할 수 있다. 특히, 가뭄의 잠행(潛行)적 출현특성 때문에 가뭄 모니터링과 조기경보 시스템은 효과적인 장·단기 사전가뭄대책과 긴급대책의 실행을 위한 기반을 제공하게 된다. 또한, 적시 및 정확한 사전가뭄대책을 수행하기 위한 가뭄단계 발령 기준은 가뭄계획의 수행하기 위한 가뭄계획의 수행능력을 좌우할 정도로 중요하다(이동률 등, 2003).

따라서 본 연구에서는 선행 연구를 통하여 검토된 각 가뭄지수의 적용성을 토대로 하여 각 지수들을 통합하는 하나의 통합 가뭄지수를 개발하여 그 적용 가능성을 검토해 보았으며 이를 기반으로 하여 가뭄을 모니터

링 할 수 있는 시스템을 구축하였다. 또한 우리나라의 실정에 맞는 가뭄전망기법을 개발하여 단기 혹은 장기적으로 가뭄을 전망(Drought Outlook)할 수 있는 방법을 개발하고자 한다. 최종적으로 실시간 가뭄모니터링 결과와 함께 가뭄의 전망 및 가뭄과 관련된 각종정보를 제공하기 위하여 개발된 웹기반의 가뭄모니터링 시스템을 제시하고자 한다.

2. 가뭄도(Drought Map)의 작성

2.1 가뭄 지수별 상관관계

이미 앞에서 검토된 바와 같이 본 연구에서는 가뭄을 정량적으로 모니터링하기 위하여 PDSI, SPI 및 MSWSI 등 3가지의 가뭄지수를 이용하고 있다. 하지만 3가지의 가뭄지수가 각기 보유하고 있는 이론적 배경이 상이하며 이로 인하여 동일한 가뭄기간에 대하여도 각 지수별로 산정된 가뭄심도 및 모니터링 결과가 다르게 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 서로 다른 특성을 갖고 있는 3가지의 가뭄지수를 조합하여 가뭄을 보다 정량적으로 모니터링 할 수 있는 통합 가뭄지수를 개발하고자 하며 이를 위하여 각 지수의 특성 및 상관관계를 분석하기 위한 각 지수별 상관계수를 산정하였다.

1974년부터 2001년까지 전국 월 평균자료를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, MSWSI와 PDSI간의 상관계수는 0.49로 나타났고, MSWSI는 지속기간이 3개월인 SPI(3)과 가장 상관성이 높은 것으로 나타났다. 반면에 PDSI는 SPI(9) 및 SPI(12)와 높은 상관성을 나타내며 지속기간이 짧은 SPI와는 상대적으로 상관성이 적은 것으로 나타났다. 즉, 장기가뭄을 잘 표현하는 PDSI의 경우는 단기가뭄을 잘 표현할 수 있는 짧은 지속기간의 SPI와는 적은 상관성을 보이는 반면 지속기간이 긴 SPI(9) 및 SPI(12)와는 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

따라서 추후 가뭄을 정량적으로 표현하기 위한 각 가뭄지수별 가중치를 결정함에 있어서 장기가뭄을 표현할 수 있는 PDSI를 사용하는 경우에 SPI(9) 및 SPI(12)

는 PDSI와 함께 고려될 필요성이 없을 것으로 판단되며 이에 반하여 단기가뭄을 표현할 수 있는 SPI(3) 및 SPI(6)을 사용함으로써 가뭄을 정량적으로 표현함에 있어서 상호 보완적인 관계를 유지할 수 있을 것으로 분석된다. 이와 함께 기상학적인 가뭄현상 뿐만 아니라 지역적인 수문학적 가뭄 현상을 반영하기 위해서 지표수 공급지수인 MSWSI를 추가로 사용함으로써 기상학적인 장, 단기 가뭄 및 지표수의 부족으로 발생할 수 있는 수문학적 가뭄까지도 반영할 수 있는 통합가뭄지수를 개발하게 된다.

2.2 가뭄 지수별 가중치 결정

정량적 가뭄 모니터링을 위한 통합 가뭄지수를 개발하기 위해서 PDSI, MSWSI, SPI(3) 및 SPI(6) 등 총 4개의 가뭄지수를 조합하게 되며, Table 2에 나타난 바와 같이 PDSI, MSWSI 값은 -0.9이상의 값들을 정상상태로 보았으며 SPI(3), SPI(6)는 -0.49이상을 정상상태로 보았다.

통합가뭄지수를 산정하기 위한 각 가뭄지수별 가뭄심도의 단계는 백분위로 환산되어 Table 2와 같이 결정하였으며 모든 지수의 가뭄표현 단계가 4단계로 구분되었기 때문에 가뭄단계별 백분위는 1단계 25%, 2단계 50%, 3단계 75%, 4단계 100%로 결정하였다. 각 단계별 최종 가뭄 가중치는 각 가뭄지수에 여러 가지의 가중치를 부여하여 산정된 결과를 과거 가뭄과 비교 분석하여 가장 과거의 가뭄을 잘 표현할 때의 각 지수별 가중치를 최종적으로 결정 하였고 모든 가뭄지수가 가뭄을 정상상태로 표현하면 각 지역의 가뭄은 없는 것으로 분석하였다.

과거 가뭄과의 비교 검토를 위해서 1994, 1995, 2001년에 발생했던 과거의 가뭄 자료(건설교통부, 1995; 2002)를 기준으로 하여 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석에서 소개되었던 가뭄피해지역을 바탕으로 검증하였으며 통합 가뭄지수 산정을 위한 각 가뭄지수별 가중치를 결정하기 위하여 가뭄 단계를 정상상태를 포함하여 총 5단계로 구분하였다.

Table 1. Correlation coefficient for each drought index

Classification	MSWSI	PDSI	SPI(1)	SPI(3)	SPI(6)	SPI(9)	SPI(12)
MSWSI	1.00	0.49	-0.02	0.58	0.44	0.35	0.27
PDSI	-	1.00	0.12	0.59	0.74	0.83	0.82
SPI(1)	-	-	1.00	-0.05	0.03	0.06	0.30
SPI(3)	-	-	-	1.00	0.64	0.48	0.37
SPI(6)	-	-	-	-	1.00	0.72	0.61
SPI(9)	-	-	-	-	-	1.00	0.83
SPI(12)	-	-	-	-	-	-	1.00

Table 2. Classification of drought severity using drought indices

Classification	Drought Condition	PDSI, MSWSI	SPI(3), SPI(6)	Percentile (%)
D0	Normal	greater than -0.9	greater than -0.4	0
D1	Abnormally Dry	-1.0 ~ -1.9	-0.5 ~ -0.9	1 ~ 25
D2	Moderate Drought	-2.0 ~ -2.9	-1.0 ~ -1.49	26 ~ 50
D3	Severe Drought	-3.0 ~ -3.9	-1.5 ~ -1.9	51 ~ 75
D4	Exceptional Drought	less than -4.0	less than -2.0	76 ~ 100

1994년 9월, 1995년 8월, 2001년 5월을 기준으로 가뭄이 가장 극심했던 해의 해갈 직전 월에 대한 PDSI, SPI(3개월, 6개월), MSWSI에 가중치를 부여하여 통합가뭄지수를 작성하였고 이를 통하여 작성된 가뭄도(drought map)와 과거의 가뭄조사 기록에 조사된 가뭄지역을 가장 잘 재현하는 가중치 조합을 최종적으로 결정하였다. 가뭄지수별 가중치는 앞에서 언급한 각 지수별 상관계수를 이용하여 여러 가지 경우의 수를 고려하여 과거 가뭄사상을 가장 비슷하게 표현하는 18가지의 대표적인 가중치 조합을 Table 3에 나타내었다.

가중치별 가뭄도(drought map)를 분석한 결과 PDSI와 SPI(3)의 가중치가 높아지면 다른 지수에 비하여 가뭄에 대해 민감하게 반응하는 것으로 나타났으며 SPI(6)는 많은 가중치를 부여함에도 특별하게 과거 가뭄에 대하여 민감하게 변화하지 않는 것으로 분석되었다. MSWSI 역시 가중치가 높아질수록 과거 가뭄을 지

역별로 일관성 있게 표현하지 못하는 것으로 분석되었다. 또한 특정 지수를 제외하여 가뭄도를 작성하여 보았으나 가뭄의 장·단기 특성을 종합적으로 표현하기 위해서는 4개의 지수 모두가 필요하다고 분석되었다.

따라서 본 연구에는 PDSI(20%), SPI(3)(60%), SPI(6)(10%), MSWSI(10%)로 통합가뭄지수 산정을 위한 각 지수별 가중치를 결정하였다. 최종적으로 결정된 통합가뭄지수를 이용하여 전국 평균 가뭄심도를 연도별로 산정하여 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서 선정한 가뭄비상단계에 대한 전체 백분위인 75%는 1984년, 1988년 및 1994년이며 가뭄경보단계(50%)는 1976, 1977, 1978, 1982, 1995, 1996, 2000, 2001년이며, 가뭄주의단계(25%)는 1981, 1986, 1989, 1997년으로 나타났다. 앞에서 설명한 농업재해 발생에 따른 과거 가뭄년과 가뭄평가를 위한 검증된 연도와 비교 검토하였을 경우 거의 완벽하게 일치하는 것을 알 수 있다.

Table 3. Weighting factors for each drought index for combined drought index

Index No.	Weighting Factor(%)				Index No.	Weighting Factor(%)			
	PDSI	SPI(3)	SPI(6)	MSWSI		PDSI	SPI(3)	SPI(6)	MSWSI
1	10	40	10	40	10	30	40	10	20
2	15	40	30	15	11	35	35	10	20
3	20	30	20	30	12	35	20	20	25
4	20	35	20	25	13	35	15	15	35
5	20	45	10	25	14	40	30	10	20
6	20	50	10	20	15	40	5	5	50
7	20	60	10	10	16	40	20	10	30
8	25	25	25	25	17	40	25	10	25
9	30	30	10	30	18	40	15	15	30

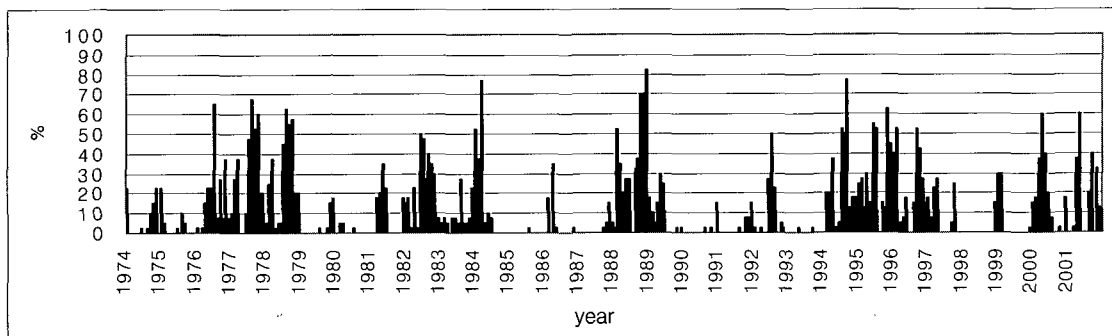


Fig. 1. Mean drought severity of Korea using combined drought index

2.3 통합 가뭄지수(Combined Drought Index)의 적용성 분석

본 연구에서 도출된 가뭄도와 과거 가뭄상황에 대한 객관적인 정확도를 비교하기 위하여 1994년 및 1995년에 발생했던 가뭄에 대한 과거의 기록을 기존의 보고서(건설교통부, 1995)를 통하여 자세히 분석하여 보았으며 Table 4에는 1994년의 지역별 연평균 강수량을 예년평균 강수량과 비교하여 나타내었다.

과거의 가뭄기록을 분석하여 보면 한강유역 월강수량은 1993년 1월부터 8월 사이에는 비교적 예년 평균 강수량을 웃도는 것으로 조사되었지만 1993년 9월 이후부터 예년 평균 강수량 보다 적은 것으로 조사되었으며 이는 1994년~1995년 가뭄이 1993년 후반부터 강수량 부족이라는 하나의 변수로 작용했다는 것을 보여주고 있다. 또한 이러한 경향이 1995년까지 영향을 미친 것으로 사료된다.

낙동강유역과 영산, 섬진강유역은 1993년 강수량이 비교적 평균 강수량과 비슷하게 내렸지만 1994년의 경우에는 5월을 제외하고는 전체 월평균 강수량이 예년 평균 강수량에 크게 미치지 못한 것으로 나타나고 있다. 이러한 강수량 부족의 영향으로 인하여 영남 및 호남지역에 가뭄 피해가 많이 나타난 것으로 조사되었다. 또한 1994년 8월 1일 태풍 브렌디이 한반도를 통과하면서 다른 지역은 전국적으로 비를 뿌려 가뭄 해소에 많은 도움을 주었으나 전라도 지역은 제외되었던 것으로 조사되었다.

즉, 1994 - 1995년 가뭄의 진행은 전국적인 가뭄상황이긴 하지만 주로 영남 및 호남지역을 중심으로 전개되었으며 전개상황은 1994년 초부터 발생한 강수량의 부족으로 인하여 전국적인 가뭄이 시작되었으며 7월 중순 이후부터 영, 호남을 중심으로 극심한 가뭄상태가 1차로 발생하여 8월 하순까지 지속되었으며 8월에 발생한 전국적인 호우가 일시적인 해갈을 가져왔으나 충분하지 않은 관계로 인하여 9월 중순부터 2차의 극심한 가뭄상

태가 발생하였다. 이 가뭄은 9월 이후에 발생한 호우로 인하여 어느 정도 가뭄이 완화되는 현상을 보였으며 다시 1995년에 봄 가뭄으로 연계되어 2월 하순부터 4월까지의 3차 가뭄상태를 보이고 다시 6월에 이르면서 중부 지방을 중심으로 4차의 심한 가뭄상태를 나타낸 것으로 조사되었다(건설교통부, 1995).

본 연구에서 결정된 통합가뭄지수를 이용하여 가뭄연도별, 각각의 월을 기준으로 한반도에 대한 가뭄도를 작성하여 1994~1995년 가뭄의 특성과 비교함으로써 그 적용성을 분석하였다. Fig. 2는 1994년부터 1995년까지의 1월부터 12월까지의 가뭄도이다. Fig. 2를 보게 되면 1994년 1월부터 시작한 약한 가뭄이 7월-9월에는 극심한 가뭄으로 변화하며 10월에 어느 정도 해갈이 되었음에도 완전 습윤 상태가 되지 못하는 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서 설명한 것과 같이 1994년 1차 가뭄해갈 직전의 월이 9월이었음과 10월 이후에 다시 가뭄이 시작되어 1995년까지 연속적으로 가뭄을 야기 시킨 1994~1995년 가뭄의 특성을 정량적으로 잘 표현하는 것으로 분석된다.

3. 가뭄전망(Drought Outlook) 기법

본 연구에서는 기존 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석에서 산정한 가뭄지수들을 이용하여 장래의 가뭄을 전망할 수 있는 기법을 개발하였다.

특정 지역의 가뭄이 향후 어떻게 진행될 것인가라는 가뭄상황을 전망하기 위해서는 미래의 가뭄지수가 어떻게 변화될 것인가에 대한 예측이 필요하며 이는 다시 가뭄지수를 산정하기 위한 입력 자료인 미래의 강수량 또는 기온이 어떻게 변화할 것인가에 대한 정보가 예측되어야만 가능하다.

가뭄 지수를 예측하여 가뭄상황을 전망하기 위해서는 앞에서 언급한 PDSI, SPI, 및 MSWSI 등 3가지의 가뭄지수를 이용하여야 하지만 MSWSI의 경우에는 실제로 저수지 수위, 하천수위 및 지하수 수위의 예측이 강

Table 4. Annual precipitation of 1994

Classification	Average	Kyung Ki	Kang Won	Chung Cheong	Ho Nam	Young Nam	Jeju
Average Annual Prec.(A) (mm)	1,274	1,242	1,331	1,197	1,266	1,226	1,548
1994 Prec.(B) (mm)	973	1,051	1,151	972	856	779	1,537
B-A (mm)	301	190	180	225	410	447	11
(B/A)×100 (%)	76.4	84.6	86.5	81.3	67.6	63.6	99.3

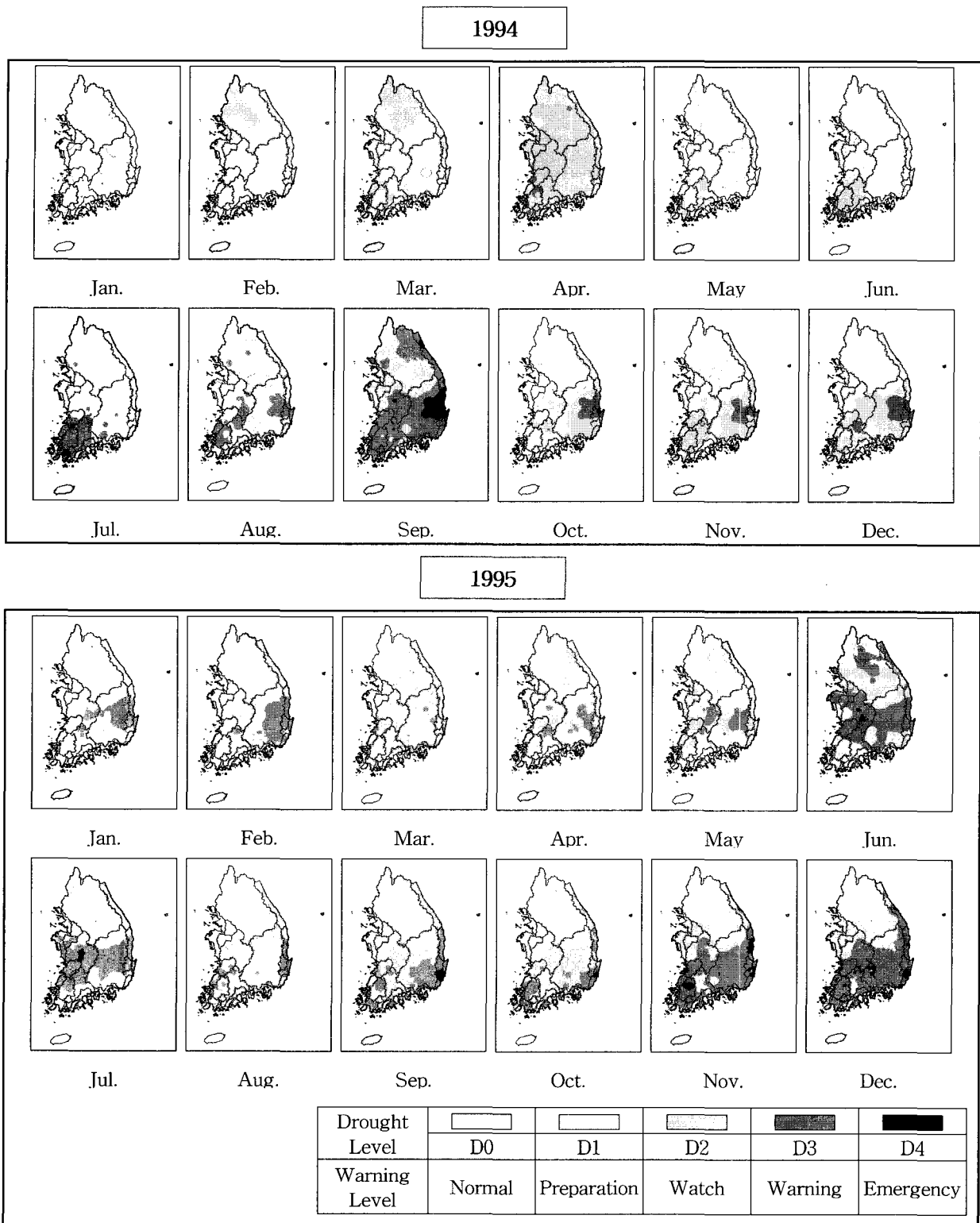


Fig. 2. Drought map of 1994 & 1995 using combined drought index

수량의 함수이고 이들 인자를 예측하는 별도의 수리, 수문학적 모형이 개발되어야 하므로 가뭄을 예측하는 단계에서는 MSWSI를 제외하는 것으로 결정하였으며 최종적으로 장래가뭄 지수 작성에 있어서 PDSI와 SPI 지수들만을 이용하여 실시간으로 가뭄을 전망할 수 있

는 기법을 제시하였다.

3.1 가뭄지수의 예측에 의한 가뭄전망 기법

본 연구에서는 가뭄지수를 예측하기 위해서 우리나라 기상청에서 현재 수행하고 있는 주간, 월간, 계절별

기상예보자료(예측 강수량 및 예측 기온)를 활용하였으며, 기상청에 예보하고 있는 예보자료는 몇 시간 후를 예측하는 단기에서부터 주간예보와 같은 중기예보 및 1개월 또는 계절별 기상을 예측하는 장기예보가 있다. 장기예보에는 1개월 기상전망과 3개월 정도의 기상을 예측하는 계절 기상전망이 있다. 계절단위의 기상전망은 봄, 여름, 가을, 겨울로 구분하여 3개월 단위인 계절별로 개략적인 기상변화와 특이 기상 현상을 예보하는 것으로 장기 기상변화에 민감한 분야와 장기계획 수립이나 정책수립 등 산업발전에 주로 이용되고 있는 상황이며 이러한 장기 예보는 대개 통계적인 방법으로 이루어지고 있고 자세한 날씨 변화보다는 주로 기온과 강수량을 예보한다.

이와 같은 기상예보를 위한 수치모델은 수평 분해능이 약 110km, 연직 층수가 21개인 전지구 스펙트럴 모델로 질량, 각운동량, 에너지, 수증기 보존 법칙을 만족하는 원시방정식계를 사용하고 있다. 장기예보모델 수행을 위한 초기자료는 기상청 수치예보과에서 운영하는 전지구 예보 시스템으로부터 산출되는 수평 분해능 1.875°의 실시간 분석자료이며, 해수면 경계 자료는 NOAA에서 제공하는 주간 해수면 온도 자료이다. 앙상블 멤버의 구성은 간단한 시간지연 방법을 사용하므로 매일 2회(00, 12UTC) 130일간의 적분을 수행한 후, 최근 20개 앙상블멤버의 예보 결과를 산출 평균하여 1개월 및 계절예보 자료로 사용하게 되었다. 기상청에서 자체적으로 운영중인 전지구모델(GDAPS; Global Data Assimilation and Prediction System), 유럽중기예보센

터의 모델인 ECMWF, 일본기상청 모델인 JSM의 3개 모델에 의한 객관적인 자료와 더불어 인터넷을 통한 세계 각국의 자료를 이용하여 주간예보 및 중, 장기예보를 위한 기초자료로 이용하고 있다.

예보작업의 절차는 우선 과거 자료를 이용하여 유사년 자료를 산출 분석하고, 과거의 기압계분석, 이상기상 분석, 해수면자료를 등을 분석하며 분석된 자료를 통해서 역학 모델 예측자료를 생산하여 별도의 분석을 시행한다. 또한, 국외의 예보자료를 수집하여 비교 분석하게 되며 위의 분석 자료를 이용하여 예보관들의 과학적 이론과 지식 그리고 다년간의 현장예보를 바탕으로 예보 토의를 거쳐 예보가 생산되어 예보자료를 이용자에 통보하게 된다.

계절별 기상예보의 경우에도 1개월 예보와 같이 현재를 기준으로 하여 향후 3개월 정도의 기온 및 강수량을 1개월 단위로 예측하게 되며 역시 기준은 예년 평균 강수량 및 예년평균기온을 기준으로 하여 예년 평균값에 비하여 높거나(많거나), 비슷하거나, 낮다(적다)는 표현을 이용하여 우리나라의 지역별이 아닌 전국적인 평균 개념에서의 예측치를 제시하게 된다. Table 5 및 Table 6은 현재 기상청에서 시행하여 발표하고 있는 기상예보 자료 및 예보 기준표를 보여주고 있다.

예측 가뭄지수를 작성하기 위해서 기상청에서 예측된 기온 및 강수량 자료를 활용하여 1개월, 2개월, 및 3개월 후의 예측 가뭄지수를 계산하게 된다. 기상청에서 향후 3개월에 대해서 예보한 자료 Table 5를 활용하여 기온이 예년 평균보다 높을 경우 전 지역의 예년평균

Table 5. Guidelines for weather forecast of KMA (<http://www.kma.go.kr>)

Forecasted Results	Forecasted Temperature compare to average year (°C)	Forecasted Precipitation compare to average year (%)
	Monthly or Seasonal	Monthly or Seasonal
Higher(Greater)	>0.5	>120
Average	-0.5~0.5	70~120
Lower(Lesser)	<-0.5	<70

Table 6. Seasonally Forecasted weather data by KMA (Nov. 2004), (<http://www.kma.go.kr>)

Month	Temperature		Precipitation	
2004 Dec.	Higher than Average year temp. (-5~9°C)	+ 0.5	Greater than Average year Prec. (15~55mm)	× 1.2
2005 Jan.	Higher than Average year temp. (-8~6°C)	+ 0.5	Same as Average year Prec. (15~78mm)	× 1.0
2005 Feb.	Higher than Average year temp. (-6~7°C)	+ 0.5	Greater than Average year Prec. (19~81mm)	× 1.2

SPI 지수 예측

기준 시점 : 2003년 11월 11일 예측 결과 저장... 지속기간 : 1 SPI 지수도 작성... 예상 강우

관측소	이름	코드	예상강수량 (기본값 : 예년평균)		
			12월	1월	2월
1	속초	000090	42.8	52.4	55.0
2	철원	000095	23.2	23.9	23.4
3	동두천	000098	19.0	28.1	15.2
4	대관령	000100	40.9	62.4	52.5
5	춘천	000101	21.1	21.8	25.5
6	강릉	000105	49.7	57.0	63.7
7	동해	000106	28.0	45.5	30.0
8	서울	000108	26.0	22.7	23.5
9	인천	000112	21.9	21.2	22.8
10	원주	000114	24.5	24.7	27.7
11	울릉도	000115	122.5	136.3	88.3
12	수원	000119	21.9	24.4	27.3
13	영월	000121	19.5	22.7	22.1
14	서산	000129	31.7	30.2	29.5
15	울진	000130	39.3	50.5	47.3
16	청주	000131	25.7	28.9	30.0
17	대전	000133	29.4	31.5	36.5

이름	코드	2004년 1월				2004년 2월
		1개월	2개월	3개월	4개월	
1	속초	000090	0.46	0.14	-0.20	
2	철원	000095	0.24	0.24	0.30	
3	동두천	000098	0.16	0.72	0.19	
4	대관령	000100	0.50	0.26	0.74	
5	춘천	000101	0.20	0.34	0.61	
6	강릉	000105	0.36	0.20	0.76	
7	동해	000106	0.42	0.24	0.56	
8	서울	000108	0.27	0.18	0.12	
9	인천	000112	0.26	0.19	0.04	
10	원주	000114	0.36	0.21	1.09	
11	울릉도	000115	0.19	0.16	-0.18	
12	수원	000119	0.21	0.23	0.47	
13	영월	000121	0.14	0.30	-0.54	
14	서산	000129	0.12	0.26	0.47	
15	울진	000130	0.36	0.27	0.22	
16	청주	000131	0.07	0.29	0.23	

Fig. 3. Developed program for calculating the drought indices using forecasted weather data

기온에 0.5°C를 더하게 되며 강수량의 경우에는 예년 평균보다 많을 경우 전 지역에 예년 평균 강수량에 1.2 배를 하였다. Table 6은 2004년 11월 기상청에서 예보한 자료를 바탕으로 작성한 기온 및 강수량에 대한 계절예보 자료이다.

예측된 기상자료를 이용하여 PDSI와 SPI의 예측치에 대한 산정 방법은 기준 시점으로부터 향후 3개월의 예상 강수량을 관측소별로 계산하여 향후 3개월간의 예측된 가뭄지수를 산정하며 예상 강수량의 기본 값은 예년평균값을 사용하도록 가뭄 전망기법을 별도로 구축하였으며 본 연구에서 개발한 예측 강수량에 의한 가뭄지수 산정 프로그램 화면은 Fig. 3과 같다.

기상 관측소별로 장래 가뭄지수의 산정결과를 토대로 우리나라 전체에 대한 가뭄도를 작성하게 되며 기상 관측소별로 계산된 가뭄지수는 공간분포를 수행한 후 이를 행정구역(시군구)별, 중권역별로 산정한다. 공간분포된 결과는 지정된 범례를 이용하여 그림파일로 변환되어 데이터베이스에 저장된다.

3.2 가뭄 해갈을 위한 필요강수량의 산정

가뭄을 전망하기 위한 또다른 방법으로 본 연구에서는 가뭄이 해갈되기 위하여 어느 정도의 강수량이 필요로 하는 가를 산정하여 지점별 가뭄해갈을 위한 필요 강수량을 제시함으로써 지점별 과거의 예년 평균 강수량과 기상청의 1개월 예보 자료를 동시에 비교하여 지

점별로 현재의 가뭄상황이 향후 해갈될 가능성이 있는지의 여부를 검토할 수 있도록 가뭄전망 프로그램을 구축하였다. 즉 조합된 기준시점에 가뭄이 해소되기 위한 최소 강수량을 산정하는 방법이며 가뭄이 해갈되는 SPI 값을 0으로 결정하여 강우량의 초기 값을 예년평균값으로 설정한 후, 1mm씩 증가하여 계산된 SPI값이 0보다 크면 해당 강우량을 가뭄 해소를 위한 필요강수량으로 결정하였다.

결국 기상청의 1개월 기상예보자료와 가뭄해소를 위한 필요강수량을 비교함으로써 향후의 가뭄상태를 전망할 수 있도록 지원하는 프로그램으로 시스템을 구축하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 Fig. 4와 같으며 가뭄해갈을 위한 필요유량 산정 순서도는 Fig. 5와 같다.

3.3 가뭄전망도(Drought Outlook Map) 작성

가뭄 전망도는 기상청에서 예보되는 기상자료를 활용하여 가뭄강도의 결정을 위한 가뭄지수를 1개월 단위로 산정하게 되며 각각의 예측된 지수를 조합하여 최종적으로 현재로부터 향후 3개월간의 장래 가뭄을 전망하게 된다. 따라서 보다 정확하게 가뭄을 전망하기 위해서는 단순히 미래의 예상되는 기상자료만을 활용하여 산정하기 보다는 과거의 관측된 가뭄상황과 조합할 때 비로소 보다 정확한 가뭄의 전망이 가능할 것이다. 즉, 과거의 가뭄을 모니터링 한 자료와 현재 및 미래의 예

SPI 가뭄해소 강우량 예측				이미지				
지속기간: 1		기준시점: 2003년11월1일		예측		결과 저장...		
				강우량도 작성...		2003년 12월 1개월 지속기간에서 가		
이름	코드	SPI지수	이름	코드	필요 강우량	SPI 지수값		
1	속초	000090	0.14	1	속초	000090	22.0	0.00
2	함원	000095	0.24	2	함원	000095	19.0	0.00
3	등두천	000098	0.74	3	등두천	000098	16.0	0.00
4	대관령	000100	0.29	4	강릉	000105	33.0	0.01
5	춘천	000101	0.35	5	원주	000114	18.0	0.01
6	강릉	000105	0.18	6	서산	000129	31.0	0.03
7	동해	000106	0.02					
8	서울	000108	0.22					
9	인천	000112	0.24					
10	원주	000114	0.25					
11	울릉도	000115	0.12					
12	수원	000119	0.26					
13	영월	000121	0.27					
14	서산	000129	0.27					
15	울진	000130	0.27					
16	청주	000131	0.36					
17	대전	000133	0.36					
18	추풍령	000135	0.25					

Fig. 4. Program for estimating required precipitation for turning to normal condition

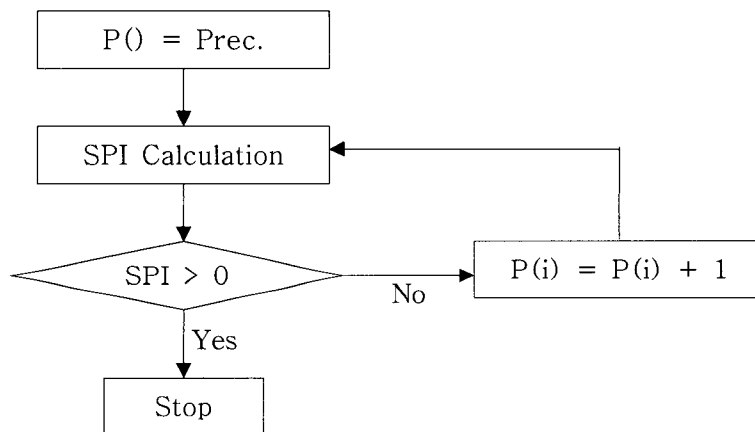


Fig. 5. Flow chart of estimating the required precipitation for turning to normal condition

측자료를 종합적으로 분석하여 앞으로 가뭄이 어떻게 진행될 것인가를 정확히 전망하여 제시할 필요성이 있으며 본 연구에서는 관측소별로 과거 1개월간의 가뭄강도 계산결과와 현재 및 기상청의 중장기 예보결과를 활용한 가뭄진행기법에 따른 향후 3개월간의 가뭄강도 계산결과를 조합하여 종합적으로 가뭄진행을 전망하는 방법을 제시하고자 한다.

실측자료를 활용하여 우선적으로 과거 및 현재의 실측 가뭄지수를 계산한다. 또한 우리나라 기상청에서 현재 수행하고 있는 주간, 월간, 계절별 기상예보자료를 이용하여 기상청에서 예보된 강수량 및 기온 자료를 활용, 향후 3개월간의 가뭄지수를 예측하게 된다. 실측된 1개월의 자료와 예측된 3개월의 자료를 바탕으로 Table

7에 나타난 가뭄전망 기준에 의거하여 최종적으로 가뭄을 전망하게 된다. Table 7은 가뭄전망 구분의 예를 나타내고 있다.

4. 가뭄모니터링 시스템의 구축

본 연구에서 구축한 가뭄모니터링 시스템은 가뭄지수 산정 및 가뭄관련 기초자료를 관리하기 위한 가뭄분석시스템과 웹기반의 가뭄관리정보시스템으로 나누어져 있으며 가뭄분석시스템은 SPI, PDSI, MSWSI 및 통합가뭄지수산정 프로그램과 각 가뭄지수를 산정하는데 사용되는 입력인자와 관련 자료를 관리하는 시스템으로 구성하였다.

가뭄분석시스템은 가뭄지수를 산정하는데 필요한 기

Table 7. Classification of drought outlook guideline

Region	Drought Outlook	Outlook Guideline
Drought Persist or Intensify	Current drought condition will persist for a while or intensify gradually.	Past three month's drought severity persisted and next three month's drought severity will persist or intensify gradually.
Drought Ongoing with improvement	Currently drought is ongoing but some improvements are expected in the future.	Past three month's drought severity persisted but next three month's drought severity is expected to improve.
Drought Likely to improve	Drought is likely to improve in the future	Past three month's drought severity was improved continuously and next three month's drought severity is expected to improve a lot.
Drought Development likely	Drought will be developed in the future	Past three month's drought condition was normal but in the next three month's, drought is expected to develop.

상, 수위, 댐, 지하수 자료와 관련 관측소, 댐, 수위-유량 관계곡선식 등을 관리할 수 있도록 되어있으며 가뭄지수 입력 자료로 사용되는 기상, 수위, 댐, 지하수 자료는 한국수자원공사에서 구축·운영하고 있는 WAMIS와 GIMS에서 제공하고 있는 실시간 일자료로부터 제공받도록 구축하였다.

기초자료 관리프로그램은 자료의 입력, 수정, 삭제 기능과 관련 자료들의 조회 그리고 수위-유량관계곡선식, 유량산정 기능으로 구성되어있다. Fig. 7은 본 연구를 통하여 개발된 가뭄모니터링시스템 구성도를 나타내고 있으며 Fig. 6은 타 시스템과의 연계를 보여주고 있다.

본 연구에서 개발된 가뭄모니터링 시스템은 가뭄분석시스템의 결과물인 가뭄지수와 가뭄현황도 등 각종 가뭄관련 정보를 웹을 통해 제공함으로써 일반인들이 가뭄관련 정보습득과 가뭄진행상황에 대한 이해를 돕도록 구축되었다. 가뭄평가에서는 가뭄현상을 정량적으로 평가할 수 있는 가뭄지수와 관련된 정보를 제공하고 있다. 가뭄현황에서는 가뭄분석시스템의 분석결과인 SPI, PDSI, MSWSI 수치 및 도면정보와 통합가뭄현황정보를 제공하고 있다. 가뭄지수도 웹 기반으로 구현되어 사용자가 도면을 통해 효과적으로 가뭄현황을 파악할 수 있도록 Fig. 8과 같이 시스템화하였다.

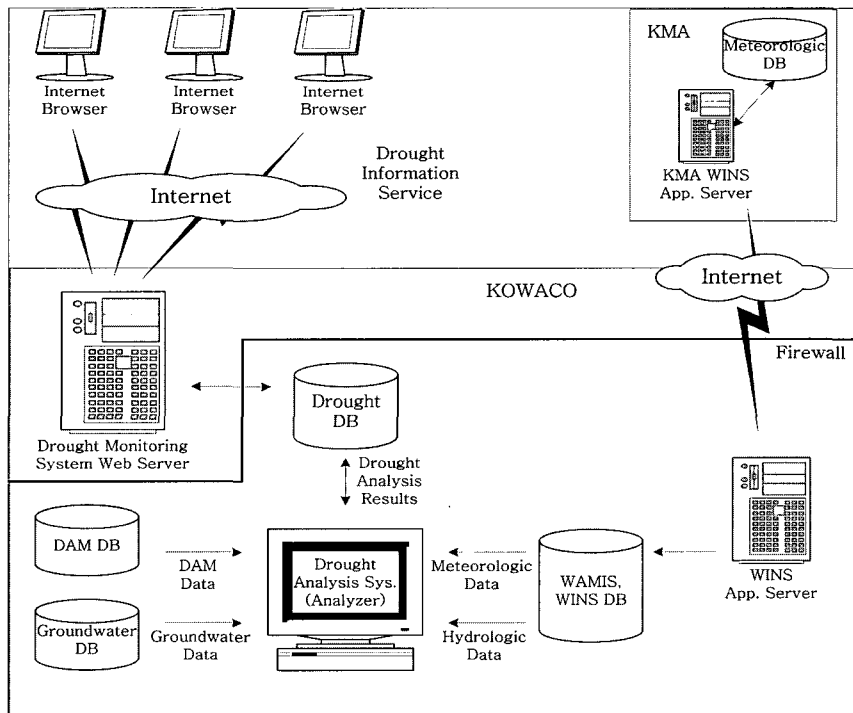


Fig. 6. Structure of drought monitoring system

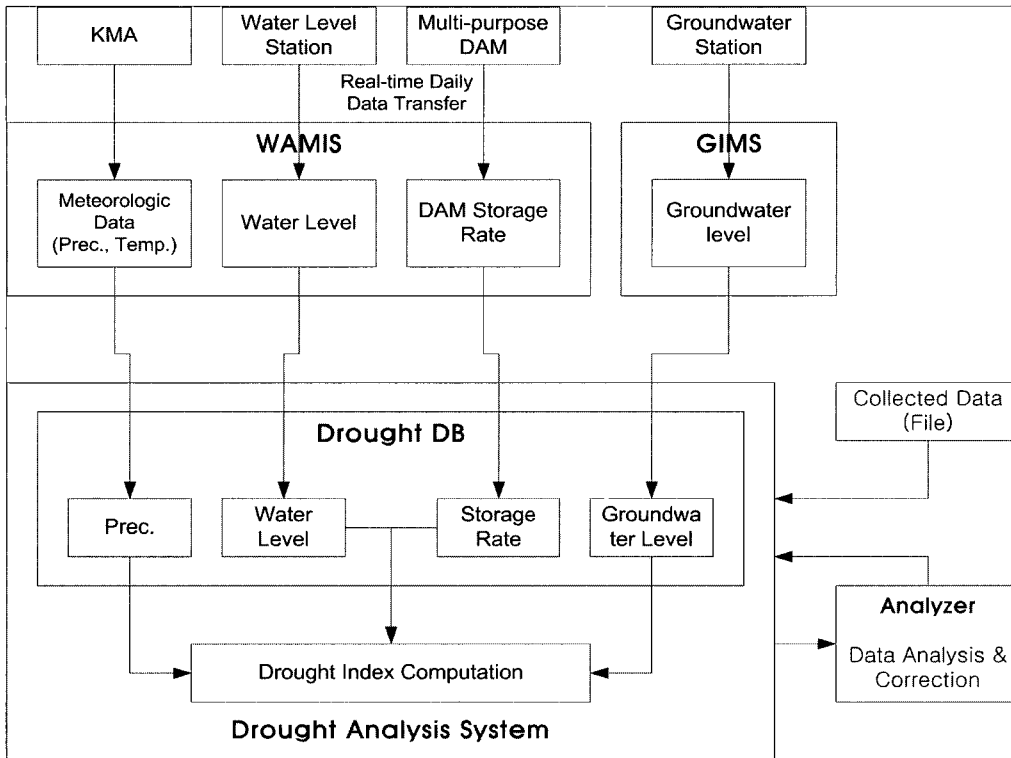


Fig. 7. Structure of drought related data base system

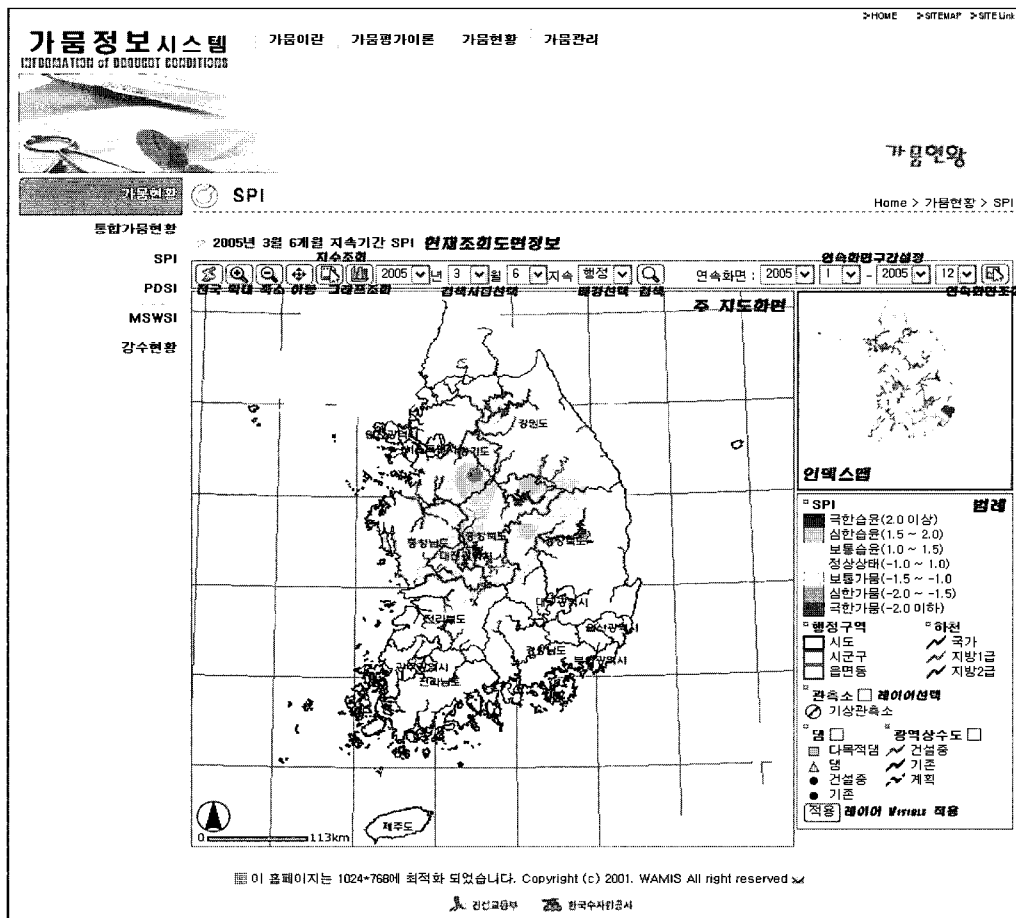


Fig. 8. Drought Information & Monitoring System

5. 결론

본 연구에서는 PDSI, SPI 및 MSWSI 등의 가뭄지수를 조합하여 신뢰성 있는 가뭄 감시를 위한 통합 가뭄지수를 개발하였으며, 향후 가뭄의 상황을 전망할 수 있는 가뭄전망 기법을 개발하여 종합적인 가뭄정보 분석을 위한 가뭄모니터링 시스템을 개발하였으며 이 과정에서 도출된 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 가뭄지수들의 상관관계 분석을 통하여 각 지수들의 특성을 고려한 통합가뭄지수를 개발하였으며 결정된 가뭄지수별 가중치를 적용하여 전국 평균 가뭄심도를 연도별로 재현하여 과거 가뭄자료와 비교한 결과 과거 가뭄년과 가뭄평가를 위해 검증된 연도가 거의 일치하는 결과를 얻었다. 또한 통합가뭄지수를 이용하여 작성된 한반도의 가뭄도(drought map)에서도 가뭄의 지역별 특성 및 심도를 정량적으로 매우 높은 정도를 갖고 재현하는 것으로 분석되었다.
- 2) 기상청 예보자료를 이용하여 현시점에서 3개월 이후의 가뭄상황을 전망할 수 있는 가뭄전망 기법을 개발하였다. 하지만 정량적인 기상예보의 수준이 아직까지 전국의 지역별로 세분화 되어 있지 않은 관계로 인하여 가뭄예측까지의 수준에는 미치지 못하는 것으로 분석되었으며 가뭄예측의 전 단계로서 가뭄을 개략적으로 전망할 수 있는, 즉 가뭄을 예보하는 하나의 대안으로 충분히 이용이 가능할 것으로 사료된다.
- 3) 일반인들에게 가뭄에 대한 종합적인 정보를 웹을 통하여 제공할 수 있도록 하는 가뭄종합 정보 시스템을 구축하였으며 별도의 관리 프로그램을 개발함으로써 가뭄지수 산정 및 가뭄해갈을 위한 필요강우량의 산정 등 개발된 시스템의 전반적인 활용성과 적용성이 상당히 좋을 것으로 기대된다.
- 4) 월단위로 산정되는 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 모니터링해본 결과, 가뭄의 지역적인 상황 및 심도 등을 비교적 정량적으로 우수하게 재현하는 것으로 분석되었으나 가뭄의 시작과 종료 시간에 있어서는 월단위의 모니터링이라는 점에서 다소의 정확성이 결여되는 것으로 판단된다. 따라서 보다 정도 있고 지속성 및 연속성이 보장되는 가

뭄의 모니터링을 위해서는 주단위 등의 보다 짧은 시간간격을 갖는 가뭄지수 산정이 추가로 연구될 필요성이 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부, 한국수자원공사에서 수행중인 가뭄관리모니터링체계 수립 연구용역의 일환으로 완성되었으며 연구와 관련된 세심한 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 건설교통부 (1995). **가뭄기록조사 보고서**.
- 건설교통부 (2002). **가뭄기록조사 보고서**.
- 기상청(KMA) 홈페이지. <http://www.kma.go.kr>
- 김상민, 박승우 (1999). "우리나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교." **한국농공학회지**, 한국농공학회, 제41권, 제5호, pp. 43-52.
- 김선주, 이광야, 신동원 (1995). "관개용 저수지의 한발 지수 산정." **한국농공학회지**, 한국농공학회, 제6호, pp. 103-111.
- 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남 (2002). "가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회지, 제35권 제4호, pp. 397-410.
- 변희룡, 임병환 (2000). "한반도의 가뭄주기와 이를 이용한 2000년도 가뭄의 예측." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회지, 제33권 S1호, pp. 304-314
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1997). "Palmer의 방법을 이용한 가뭄분석." **한국수자원학회 논문집**, 제30권, 제4호, pp. 317-326.
- 이동률 (1998). **한국과 미국대륙의 가뭄에 대한 엘니뇨의 영향**, 책임연구과제 보고서, 건기연 98-078, 한국건설기술연구원.
- 이동률 (1999). "엘리뇨/남방진동과 한국의 가뭄과의 관계." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제12호, pp. 111-120.
- 이동률, 이대희, 강신욱 (2003). "가뭄 정보기준과 모니터링 시스템." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권 제3호, pp. 375-384.
- 최영진 (1995). "가뭄의 원인과 예측." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회지, 제28권, 제1호, pp. 16-20
- (논문번호:05-159/접수:2005.12.22/심사완료:2006.08.24)