

물 빈곤지수와 기후 변동성지수의 국내 적용을 통한 지역별 수자원 특성 분석

홍 승 진* / 최 시 중** / 백 승 협*** / 강 성 규****

Analysis of Regional Water Resources Characteristics Through Applying the Water Poverty Index and the Climate Variability Index

Seung Jin Hong* / Si Jung Choi** / Seung Hyub Baek*** / Seong Kyu Kang****

요약 : 본 연구는 수자원 상황을 평가하기 위하여 기존에 개발된 물 빈곤지수에 지역적 기후변동성 및 홍수피해를 평가할 수 있는 세부지표를 추가한 기후 변동성지수를 개발하여 국내에 적용하였다. 물이용 평가에 초점이 맞추어진 물 빈곤지수 세부지표를 선정하고 지역적 특성에 따른 치수 및 기후변동성 내용이 추가된 지역별 특성인자를 선정하여 1998년부터 2007년까지 물 빈곤지수와 기후 변동성지수에 대한 분석을 실시하여 지역별 변동성을 평가하고 물 부문 정책, 투자 및 적용에 대한 우선순위를 결정하는데 도움을 줄 수 있는 정보를 제공하고자 하였다. 물 빈곤지수는 복지 수준과 물이용간의 관련성을 나타낼 수 있으며 치수와 기후변동성을 함께 고려하여 지역별 특성인자를 추가한 기후 변동성지수는 물이용에 영향을 미치는 인자와 치수 및 기후변화를 함께 고려할 수 있으므로, 지역별로 기후변화에 대응하는 물이용뿐만 아니라 홍수관리에도 사용할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 물 빈곤지수, 기후 변동성지수

Abstract : This study developed the Climate Variability Index (CVI) to assess the water resources through adding detail indicators into the existing regional Water Poverty Index (WPI) to consider climate variability and flood damage. This study aims at selecting indicators of WPI focused on water availability and regional climate variability, assessing regional variability of the indices during 1998-2007, and providing information to help determining the priority of water sector policies, investment, and applications. The WPI represents the relationship between the level of welfare and the water use. Considered with flood management and climate variability, CVI added by regional characteristics may be used in water resources management as well as flood mitigation for coping with climate change.

keywords : *Water Poverty Index, Climate Variability Index*

1. 서 론

우리나라는 현재 수자원, 환경 및 경제 자료들을 이용한 지표들로 각각의 항목들을 평가하는 연구가 활발히 진행 중이다. 이는 수자원 관리를

보다 효과적으로 하기 위해서 이를 평가할 수 있는 항목들을 개발함으로써 보다 객관적인 수자원 관리를 할 수 있는 기초가 되고 있다. 우리나라의 경우 UN에서 지정한 물 부족국가로서 여름에 내리는 강우가 우리나라 연 강수량에 50%~60%에

+ Corresponding author : hongsst@kict.re.kr
* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : hongsst@kict.re.kr
** 비회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 전임연구원 · E-mail : sjchoi@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : white1364@kict.re.kr
**** 비회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 전임연구원 · E-mail : skkang@kict.re.kr

해당하는 만큼 강우가 집중되는 추세를 보이며 효과적인 물이용을 위해서는 여름철에 내린 강우를 효율적으로 관리해야 한다는 것을 의미한다. 또한, 우리나라의 물관리가 분야별, 형태별로 관리의 시급성이 대두되는 문제이기도 하다. 현재 우리나라는 물 부족 국가로 지정이 되어있지만, 인식이 부족하거나 물 부족을 직접적으로 느끼지 못하고 있기 때문에 수자원 상황을 간략화하고 분야별로 수자원에 관련한 지표를 개발하여 보다 객관적이고 정량적인 수자원관리의 기틀 마련이 요구되고 있다.

국내에서도 현재 수자원 평가를 위한 세부지표연구가 활발히 진행되고 있으며, 수자원에 대한 평가를 분야별(물이용, 치수, 하천환경)로 확대하여 과거로부터 지금까지의 패턴을 파악하고자 하는 노력이 있어왔다(건설교통부, 2007; 국토해양부, 2008, 2009). 물이용에 관련하여 국내 설정에 맞는 지속 가능한 수자원개발과 관리에 대한 지표를 개발하였으며(최시중과 이동률, 2005), 이동률 등(2009)은 압력(Pressure), 현상(State), 대책(Response) 구성체계를 기반으로한 홍수위험지수를 개발하여 홍수에 다른 취약성을 비교 분석하였다.

수자원 계획과 관리에 대한 평가는 경제, 사회 및 환경에 대한 여러 지표들을 통합한 통합지표로 평가하거나 각각의 개별지표 등을 통해 이루어지고 있다. 대표적인 통합지표들로는 물 부족지수(Water Poverty Index, WPI), 인류 개발지수(Human Development Index, HDI)와 환경 지속지수(Environmental Sustainability Index, ESI) 등이 있다. 이러한 대표적인 통합지표들은 현재 전 세계적으로 지표 값들이 산정되어 제시되고 있다. 이 지표들 중 본 연구에서 적용한 물 부족지수는 Lawrence et al. (2002)에 의해 전 세계 147개국을 대상으로 분석을 실시하여 HDI 및 Falkenmark Index와 세부항목별 상관성 분석을 제시하였다. 물 부족지수에 대해서는 국내에서 임상준 등(2005)이 한강유역에 대해서 물 부족지수를 산정하여 적용시킨 사례가 있다.

현재 전 세계적으로 기후변화로 인해서 지구상의

물리적 및 생물학적 변동에 영향을 미치고 있다(Sullivan and Huntingford, 2009). 이에 초점이 맞추어져서 기후변화를 고려한 변동지수의 산정에도 많은 연구가 진행 중이다. 현재 Maplecroft(Unted Kingdom, www.maplecroft.com)에서는 매년 전 세계적인 기후변화 취약성지수(Climate Change Vulnerability Index, CCVI)를 세계지도에 맵핑하여 발간하고 있으며 기후변화에 따른 변화를 한눈에 볼 수 있게 하고 있다. 우리나라의 경우 중간정도의 위험성을 띄고 있는 것으로 조사되고 있다. 또한 Sullivan (2010)은 대상지역에 따라서 요구되는 기후취약성지수를 이용하여 세계적으로 지표의 분포를 선정하였으며, 손민우 등(2011)은 기후변화를 고려한 홍수취약성지수를 개발하였다.

지금까지 물 빈곤지수는 기후의 변화와는 별개로 물이용적인 측면만을 고려하는 경향이 있었기 때문에 기후변화와 치수적인 관점에서는 부족한 부분이 많았다. 이런 부족한 부분을 채우기 위하여 물이용뿐만 아니라 기후의 변동성까지 함께 고려가 가능한 기후변동성지수를 개발하여 국내에 적용하였다. 이를 위해 전국을 대상으로 자료획득이 비교적 용이한 시도 단위로 분석을 실시하였으며, 1998년부터 2007년까지의 물 빈곤지수와 기후 변동성지수의 연도별 분석을 실시하였다. 그림 1은 본 연구의 지수 산정절차를 간략하게 표현한 것이다.

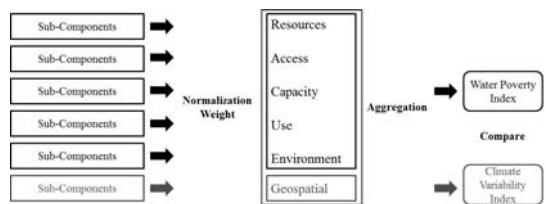


그림 1. 지수 산정 절차

2. 지수 선정

본 연구에서는 우리나라 물이용 정도를 평가하기 위해 물 이용과 관련된 세부항목을 5가지로 구분하였으며, 각 항목을 구성하는 지표를 선정하였다. 관련 세부항목과 지표의 선택, 분류는 선행

연구를 바탕으로 수행되었다(임상준 등, 2005; 최시중과 이동률, 2005). 선정된 내용에 대해서는 전문가들의 의견을 수렴하여 수정·보완함으로써 최종적인 물 빈곤지수를 선정하였다. 물 빈곤지수는 최근 국제기구에서 제공하는 세계 각국의 자료를 바탕으로 물 이용관련 평가를 수행하기 위해 개발된 지수이며 이를 바탕으로 세부지표를 수정·보완하여 분석을 수행하였기 때문에 본 연구에서 제시한 지수도 물 빈곤지수와 명명하였다. 또한 지역적 특성을 추가로 고려할 필요가 있으며 물이용뿐만 아니라 치수 및 기후변화 등에 대한 영향도 추가분석하기 위해 세부 항목을 물 빈곤지수에 추가하여 기후 변동성지수를 개발하였다.

2.1 물 빈곤지수(Water Poverty Index, WPI)

각 세부항목을 구성하는 지표는 표 1과 같다. 앞서 기술한 바와 같이 본 연구에서는 기존 연구 결과를 바탕으로 전문가들의 의견을 종합하여 세부항목을 결정하였으며, 기존 연구에서 고려하지 못한 1인당 수자원총량을 추가함으로써 보다 합리적인 수자원의 양을 평가할 수 있도록 하였다. 기존 국내·외 연구에서는 단일 시점분석을 수행하였으며 본 연구는 물이용 현황이 시간에 따라 어떠한 추세로 변하는지를 분석함으로써 변화 추이를 파악하고자 시계열 분석을 수행하였기 때문에 기후변화 등으로 변화하는 1인당 수자원총량을 추가하였다.

본 연구에서는 표준화 과정을 거친 1998년~2007년까지의 자료를 이용하여 세부지표를 산정하였다. 각각에 대한 지표 값들은 0~1 사이의 값을 갖게 되며, 지표값에 가중치를 주기 위해서는 기존의 물 빈곤지수에서 이용하였던 동일가중치 방법을 사용하게 된다. 이렇게 산정되어진 값은 0~100 사이의 값을 최종적으로 표시하게 된다.

수자원의 양 항목을 산정하기 위해서 행정구역별 담수공급량과 총인구로 나누어서 1인당 담수공급량을 산정하였다. 1인당 수자원총량은 지자체별 강우량자료를 이용하여 지역별 수자원총량을 산정한 후에 총인구로 나누어 산정하였다.

표 1. 물 빈곤지수 산정을 위해 사용된 자료

세부항목	생성지표
수자원의 양 (Resources)	1인당 담수공급량
	1인당 수자원총량
수자원배분의 공평성 (Access)	상수도 보급률
	하수도 보급률
수자원의 이용능력 (Capacity)	1인당 GRDP
	5세미만 영아사망률
	교육지수
수자원 이용효율성 (Use)	1인1일급수량
	산업용수 비율과 제조업이 GRDP에서 차지하는 비율
	농업용수 비율과 농업이 GRDP에서 차지하는 비율
환경 (Environment)	수질(BOD)
	비료소비량
	수질오염적발율
	조수보호구역 지정 현황
	수자원관련지출

수자원배분의 공평성 항목을 산정하기 위해서는 상수도보급률, 하수도보급률의 자료가 필요하게 되는데, 상수도 보급률 산정 시 같은 연도임에도 불구하고 해당되는 총인구수를 제공하는 문헌(상수도통계, 하수도통계 등) 별로 다르기 때문에, 각각에 대한 상수도보급인구와 하수도보급인구만을 조사한 뒤에 행정구역별 인구수를 주민등록통계(국가통계포털; www.kosis.kr) 자료를 이용하여 상수도보급률과 하수도보급률을 산정함으로써 지표를 계산하였다.

수자원의 이용능력 항목은 사회 경제에 따른 수자원 이용능력을 계량화한 것이다. 5세미만 영아사망률, 교육지수 및 GDP 등의 지표값을 사용하도록 제안되어 있는데(Castelazo et al., 2007), 교육지수의 경우 자료제공이 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 2001년 UN에서 발표한 인류개발지수 중 교육지수를 이용하였다. 또한 국내총생산(Gross Domestic Product, GDP) 자료를 전국적으로 적용하기 보다는 지자체별로 제공하고 있는 지역내

총생산(Gross Regional Domestic Product, GRDP)을 이용하여 1인당 지역내총생산을 산정하였다. 영아사망률의 경우는 건강지표로서 식수와 관련성이 깊기 때문에 선정되었다. 본 연구에서는 영아사망률을 산정하기 위해서 국가통계포털에서 제공하는 5세 미만 사망 인구를 이용하여, 5세 미만 영아사망률을 산정하였다.

수자원 이용효율성 항목은 수자원 이용량에 대한 평가 지수로서, 생활용수 이용량, 공업용수 이용량 및 농업용수 이용량으로부터 산정된다. 생활용수 이용량의 경우 1인당 연간 이용량으로 표시하지만, 본 연구에서는 1인당 연간 이용량을 대신하여 환경부에서 매년 발간하는 환경통계연감 자료 중 1인1일 급수량 자료를 이용하여 연구에 적용하였다. 공업용수 이용량을 사용하여 산정되어진 지수는 국내 총생산에서 공업부분이 차지하는 비율을 전체 물 사용량 중에서 공업용수로 이용되는 비율로 나누어 계산하였다. 공업용수 이용량의 경우 국가수자원관리정보시스템(WAMIS, www.wamis.go.kr)에서 제공하는 자유입지업체이용량과 계획입지업체이용량의 합을 이용하여 산정하였으며, 공업부분이 차지하는 비율은 해당지자체별로 제공하는 통계연보자료를 이용하여 산정하게 되는데 지자체별 지역내총생산과 총생산 중 제조업생산액이 차지하는 비율을 이용하였다. 농업용수 이용량도 국가수자원관리정보시스템에서 제공하는 논 용수, 밭 용수 및 축산용수 이용량을 이용하여 계산하였으며, 농업부분이 차지하는 비율도 지자체 통계연보자료를 이용하여 공업용수와 같은 방법으로 산정하였다.

환경 항목을 산정하기 위해서 수질(BOD), 비료소비량, 수질오염 적발율, 조수보호구역 지정 현황 및 수자원관련지출 항목을 이용하는데, 여기서 수질은 행정구역별로 나타내기 힘든 부분이 있기 때문에, 물환경정보시스템(환경부, water.nier.go.kr)에서 제공하는 수질자료를 이용하여 지역별 측정 지점자료를 이용하여 수질을 연도별로 산정하였다. 비료소비율의 경우 농림부에서 제공하는 농림통계연보 중 비료소비량과 지자체별 경지면적을 이용하여 산정하였다. 수질오염 적발율은 환경통

계연감에서 제공하는 수질오염단속건수 및 부적격업소수를 이용하여 산정하였으며, 조수보호구역현황은 2004년까지의 자료를 환경통계연감에서 제공을 하였으나, 2005년부터는 제공을 하지 않고 있으며 조수보호구역의 면적이 과거로부터 변화율이 크지 않기 때문에 2005년~2007년의 조수보호구역면적은 2004년과 동일하다는 가정으로 지수를 산정하였다. 수자원관련지출은 사업비 지출이 수자원관련에 많이 투자될 경우 전체적으로 환경적인 측면에서 개선이 될 가능성이 많다고 보기 때문에 이 지수를 인용하였다. 수자원관련지출을 산정하기 위해서 상수도세출과 하수도세출의 값은 각각 상수도통계 및 하수도통계자료를 이용하여 국가통계포털에서 제공하는 총 세출의 값을 이용하여 수자원지출 비율을 산정하였다.

2.2 기후 변동성지수(Climate Variability Index, CVI)

물이용에 대한 가용성을 나타내는 물 빈곤지수는 각각의 물 부족 레벨에 대한 결정을 할 수 있는 값은 아니지만, 자원의 능률적인 활용을 나타낼 수 있다(Sullivan, 2002). 또한, 물 빈곤지수의 경우 몇몇의 의미 있는 결과를 보여주고 있지만, 이 지수가 아주 분명한 수치를 제시하거나 특정 상황에 대해 총체적으로 정확한 결과를 제시하는 것은 아니다. 그 어떠한 지수로도 이런 기능을 할 수는 없기 때문에, 한 국가 안에서도 구체적인 의사결정을 하기 위해서는 지역별로 평가를 하는 것이 필수적이다.

국외의 경우 물 빈곤지수에 지형학적 인자를 포함하여 새롭게 기후영향을 파악하거나 홍수관리에 유용한 지표개발을 해오고 있다. Castelazo et al. (2002)은 물 빈곤지수에 지형학적 인자를 추가하여 기후취약성지수를 개발하였다. 이 지표의 경우 물 빈곤지수에 해일, 빙하 등의 기후변화를 고려할 수 있는 세부지표들을 추가하여 지수를 제시하였으며, 이를 국내에 적용하기에는 세부지표 관련 기초자료의 획득과 분석의 어려움 등의 문제점이 있다. 또한 제시된 기후취약성지수는 세계

각국에 대한 분석을 수행하기 위해 개발된 지수로써 지역적 특성 및 기후 변동성을 평가하기 위해서는 그 지역에 맞는 세부항목을 추가로 고려할 필요가 있다(Sullivan and Meigh, 2005). 본 연구에서는 물 빈곤지수에 국내 적용성을 고려하여 수정한 지표를 추가하고, 지역적인 특성을 고려하며 해당지역의 치수적인 측면과 기후의 변동성을 고려할 수 있는 지역별 특성 항목을 선정하여 기후 변동성지수를 개발하여 분석을 실시하였다.

지역의 특성을 표시할 수 있는 항목은 Sullivan and Meigh(2005)의 경우 지역의 특성별로 해수면의 상승, 해일 및 산사태 발생, 산림개간, 사막화 토양침식, 토지피복변화 및 빙하 등으로 구분하였으며, Castelazo et al. (2007)은 인구밀도, 수입 음식에 대한 의존량, 저수량에 대한 의존도, 기온, 토지이용변화, 식생분포, 사회기반시설 및 경제기반시설, 건강기반시설 및 홍수위험도 등을 사용하여 기후 취약성지수 분석에 이용하였다. 하지만 본 연구에서는 국내의 특성에 맞고 경년변화를 볼 수 있도록 매년 제공하는 자료를 기준으로 지역의 특성을 나타내는 지표를 표 2와 같이 선정하였다.

지역별 특성 인자의 세부 구성항목을 본 연구에서는 인구밀도, 평균기온, 농업인구수, 쌀 생산량, 홍수 피해인구, 사회기반시설밀도 및 침수피해면적 등으로 구성하였다. 선정된 자료를 상관성 분석을 통하여 상관성이 높은 자료들을 제외하여 분석을 실시하였다. 분석결과 농가인구수와 인구

표 2. 기후 변동성지수 산정을 위한 지역별 특성 인자

세부항목	생성지표	가용자료
지역별 특성 인자 (Geospatial)	인구밀도	총인구
		국토면적
	평균기온	평균기온
	농업인구수	농업인구수
		총인구
	쌀생산량	논, 밭 쌀생산량
		경지면적
	홍수피해인구	총인구
		이재민수
		사망자수
	사회기반시설 밀도	도로연장
		국토면적
침수피해면적	침수피해면적	
	국토면적	

밀도가 역상관성이 높게 나타났으며, 인구밀도와 사회기반시설도 상관성이 높은 편으로 나타났다. 하지만 본 연구에서는 인구는 중복성을 갖고 있는 농가인구수를 제외하였으며, 사회기반시설밀도의 경우 지역적 특성을 나타내는 중요인자로 판단하였기 때문에 상관성이 높아도 제외하지 않았다. 인구밀도와 사회기반시설밀도의 상관성이 높은 이유는 도시지역으로 인구가 집중되면서 지역개발과 함께 도로의 포장률과 더불어 연장이 함께 늘어나기 때문으로 판단된다. 상관성분석으로 나타난 값은 다음 표 3과 같다.

표 3. 세부지표에 대한 상관계수 산정

	인구밀도	평균기온	침수 피해면적	홍수 피해인구	사회 기반시설	농가 인구수	쌀생산량
인구밀도	1						
평균기온	0.07102	1					
침수면적	-0.10224	0.09714	1				
홍수피해인구	-0.18560	-0.09784	0.22655	1			
사회기반시설	0.76478	-0.04835	-0.14590	-0.11619	1		
농가인구수	-0.86848	0.03074	0.16257	0.11346	-0.52454	1	
쌀생산량	-0.03388	-0.65182	-0.10311	-0.04542	-0.06954	-0.02100	1

상관성 분석을 실시한 후 총 6개의 지표를 선정하였으며, 선정된 자료들에 대해 설명을 하면 다음과 같다. 인구밀도의 경우 주민등록인구통계를 국토면적으로 나누어서 산정하게 되며, 평균기온은 연강수량과 마찬가지로 지자체 통계연보를 이용하였다. 쌀 생산량의 경우 통계청에서 제공하는 논 및 밭 쌀 생산량자료와 경지면적을 이용하였으며, 홍수피해인구의 경우 재해연보에서 제공하는 홍수로 인한 재해원인(호우, 태풍, 호우태풍, 폭풍우)별 이재민수와 사망자수로 분석하였다. 사회기반시설밀도의 경우 교량연장을 제외한 포장된 도로연장의 값과 해당지역의 면적을 이용하여 산정하였다.

3. 지수 산정방법

그림 1에서 제시한 절차에 따라 우선적으로 평가하고자 하는 분야에 대한 세부항목 및 지표를 결정한다. 표 1과 같이 선정된 세부항목 및 지표에 대해 본 연구에서 분석하고자 하는 대상구역(시·도)의 기초자료를 조사, 수집하며 이를 통해 각 지표의 값을 산정한다. 산정된 지표 값은 단위와 범위가 다르기 때문에 단순 비교가 어려워 비교가 가능하도록 표준화 과정을 거치게 된다. 본 연구에서는 기존 연구에서 사용하였던 표준화 방법인 Re-scaling 방법을 이용하여 각 지표에 대해 표준화를 하였다. 표준화된 값들은 하나의 세부항목 값으로 변화하기 위해 표준화된 지표값에 가중치를 부여하게 되며 이를 종합하여 세부항목 값을 산정한다. 또한 산정된 각 세부항목별 분석값에 가중치를 부여하여 종합함으로써 최종적인 지수값을 산정하게 된다. 가중치를 부여하는 방법에는 비율법, AHP, 동일가중치법 등 여러 가지가 있으며 일반적으로 계층분석기법인 AHP 방법을 사용하고 있다. 가중치를 적용한 결과와 가중치를 적용하지 않은 경우의 평가결과에 있어서 차이가 거의 없는 것으로 보고되고 있으며 이는 실제 일련의 토지평가기준이나 우리나라의 산지전용기준 등과 같이 거의 대부분의 토지분류나 평가에서 쉽

게 찾아볼 수 있다(채미옥과 오용준, 2003). 또한 부적절한 가중치의 적용은 평가결과의 왜곡을 가져올 수 있으며 국내·외에서 적용한 물 빈곤지수 산정에 있어 동일가중치를 부여한 점을 고려하여 본 연구에서도 세부항목별, 지표별 가중치를 동일하게 적용하였다.

3.1 물 빈곤지수 산정방법

단위와 범위가 다른 각 지표에 대한 표준화 과정을 Re-scaling 방법을 이용하여 수행하여 모두 0-1의 값을 가지도록 하였다. 물 빈곤지수에 순영향을 주는 값에 대해서는 식 (1)을 이용하였으며 악영향을 주는 값은 식 (2)를 이용하였다.

$$Indicator = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

$$Indicator = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

여기서, X_i 는 세부항목의 값, X_{max} 와 X_{min} 은 각 항목의 최댓값과 최솟값을 나타낸다.

표준화된 지표값을 이용하여 항목값을 산정하기 위해서 국내·외에서 널리 통용되고 있는 누적합산방법인 식 (3)을 이용하였다.

$$I_j = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i}{N} \times \frac{100}{M} \quad (3)$$

여기서 I_j 은 각 항목을 구성하는 지표의 표준화 및 가중치 부여 후 산정된 값, w_i 는 각 항목에 속해있는 지표들의 가중치($w_i = \frac{1}{N}$), N 은 항목별 지표수, M 은 지수를 구성하는 항목 수를 나타낸다.

물 빈곤지수는 수자원 이용에 따른 영향을 체계적인 기준에서 좋음과 나쁨을 판가름 할 수 있는 지수로 표현되고, 5가지의 세부항목을 이용하여 공식화 되었다(Castelazo et al., 2007). 5가지 세부항목으로는 수자원의 양(I_R), 수자원 배분의 공평성(I_A), 수자원 이용효율성(I_U), 수자원의 이

용능력(I_C) 및 환경(I_E)로 이루어져 있다. 물 빈곤 지수의 산정은 식(4)와 같다.

$$WPI = \frac{w_r I_R + w_a I_A + w_u I_U + w_c I_C + w_e I_E}{w_r + w_a + w_u + w_c + w_e} \quad (4)$$

여기서, WPI 는 물 빈곤지수를 의미하며, I_R , I_A , I_U , I_C 및 I_E 는 각 세부항목값을 의미하고, w 는 각 항목별 가중치를 의미한다($w = \frac{1}{M}$).

3.2 기후 변동성지수 산정방법

기후 변동성지수는 물이용 측면에서 개발된 물 빈곤지수에 치수와 기후변동성을 더해 개발하였다. 현재 기후 변동성지수에서 사용된 지역별 특성인자는 국외에서도 국가별 지형적 특성에 따른 분석을 실시하기 위하여 제안되어지고 있다. 기후 변동성 지수는 물 빈곤지수의 5가지 항목에 지역별 특성 인자를 추가하여 총 6가지의 항목을 이용하여 산정하게 된다. 지역별 특성인자(I_G)의 항목 값 역시 식(3)을 이용하여 산정하게 된다. 이러한 기후 변

동성지수를 산정하기 위해서는 식 (5)가 사용된다.

$$CVI = \frac{w_r I_R + w_a I_A + w_u I_U + w_c I_C + w_e I_E + w_g I_G}{w_r + w_a + w_u + w_c + w_e + w_g} \quad (5)$$

여기서, CVI 는 기후 변동성지수를 의미하며, I_G 는 지역별 특성인자 세부항목값을 의미하고, 각 항목별 가중치는 동일가중치($\frac{1}{M}$)를 적용하였다.

4. 지수 산정 결과

4.1 물 빈곤지수 산정

물 빈곤지수를 산정하기 위해서 앞에서 나열한 자료의 연도별 값을 획득하여 분석하였다. 물 빈곤지수는 그 값이 커지면 커질수록 물을 풍요롭게 이용할 수 있음을 의미한다. 전국을 대상으로 한 물 빈곤지수의 산정결과는 표 4와 같으며, 그림 2 는 1998년부터 2007년까지의 지자체별로 물 빈곤지수의 변동성을 나타내었다.

표 4. 연도별 물 빈곤지수

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	AVG
Gangwon	54.7	53.0	54.4	53.3	55.2	56.7	57.0	58.1	58.4	59.0	56.0
Gyeonggi	54.5	55.8	54.6	54.2	54.6	55.8	56.8	57.7	59.6	59.7	56.3
Gyeongnam	54.4	54.9	53.4	55.8	57.2	57.1	61.0	60.5	62.5	64.0	58.1
Gyungbuk	53.1	52.1	53.5	53.7	55.5	53.6	56.6	57.0	59.7	61.5	55.6
Gwangju	51.7	51.3	49.0	49.3	50.0	50.9	50.9	51.1	54.4	52.5	51.1
Daegu	51.5	49.7	47.1	45.2	47.9	48.6	46.7	49.3	52.1	51.5	49.0
Daejeon	50.5	45.1	47.0	46.0	44.6	47.6	49.3	48.6	48.2	49.8	47.7
Busan	51.0	49.0	47.6	49.7	49.7	50.4	48.4	51.9	54.4	54.0	50.6
Seoul	55.8	52.2	52.7	50.9	50.9	53.7	53.2	53.5	54.4	55.1	53.2
Ulsan	52.7	52.3	50.0	51.0	56.2	58.0	58.6	61.6	62.8	64.0	56.7
Incheon	51.1	49.6	51.1	50.8	51.6	52.4	55.4	52.2	54.6	54.6	52.3
Jeonnam	51.0	52.2	52.4	53.1	53.8	55.0	58.7	60.6	62.0	64.2	56.3
Jeonbuk	44.8	45.7	46.4	50.2	49.5	49.2	51.5	52.8	54.5	53.0	49.8
Jeju	57.3	56.1	57.2	59.7	56.5	57.3	57.9	57.9	60.6	63.6	58.4
Chungnam	48.6	50.1	49.8	51.3	50.4	49.4	54.6	55.5	57.1	56.7	52.4
Chungbuk	57.6	59.0	59.0	60.0	58.5	60.8	62.4	61.2	63.8	64.2	60.6
Average	52.5	51.7	51.6	52.1	52.6	53.5	54.9	55.6	57.5	58.0	
Maximum	57.6	59.0	59.0	60.0	58.5	60.8	62.4	61.6	63.8	64.2	
Minimum	44.8	45.1	46.4	45.2	44.6	47.6	46.7	48.6	48.2	49.8	

물 빈곤지수의 지난 10년간 경년변화를 지역별로 살펴보면 지속적으로 상승하는 것으로 분석되었다(그림 2). 이는 물의 이용이 풍요로워짐을 의미하고 있다. 하지만 물 빈곤지수가 전반적인 물 이용의 풍요로움을 의미할 수는 있지만 세부항목별로 모두 좋아지는 것을 의미하는 것은 아니기 때문에 세부항목별 검토가 필요하다. 전체적으로 충북의 물 빈곤지수가 60.6로 가장 크게 나타났으며 대전광역시가 47.7로 가장 낮은 물 빈곤지수를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 인구가 많이 집중되어있는 특·광역시와 경기도를 중심으로 물 빈곤지수는 낮은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 물 이용측면에서 인구의 집중으로 인해 물이용이 증가하기 때문으로 분석된다. 국내에서는 2000년과 2001년에 극심한 가뭄 피해를 입었으며 이번에 산정된 물 빈곤지수에서는 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 2000년과 2001년에 상승폭이 현저하게 줄어드는 것을 확인

할 수 있으며, 지수값이 작아진 지역도 있었다. 이는 수자원총량이 줄어들었기 때문으로 판단된다. 또한 물 빈곤지수가 2006년을 기점으로 값이 급격히 변하는 전라북도, 광주광역시 및 전라남도 등을 확인할 수 있는데, 각각의 세부항목별 변화를 살펴보면 전라북도의 경우 전년도에 비해 비료소비율의 증가와 수자원관련 지출의 감소 및 산업용수 비율과 제조업이 GDP에서 차지하는 비율이 감소하였기 때문으로 분석되었으며, 광주광역시의 경우 비료소비율의 증가, 1인 1일 급수량의 감소, 농업용수 비율과 농업이 GDP에서 차지하는 비율의 감소 및 5세 미만 영아사망률의 증가로 인해 전체적인 물 빈곤지수의 값이 줄어드는 것을 확인하였다. 또한, 전라북도의 경우 환경적인 측면 즉 수질의 악화와 비료소비량의 증가 및 수질오염 적발률이 전년도에 비해 많이 증가하여 물 빈곤지수에 영향을 준 것으로 분석되었다.

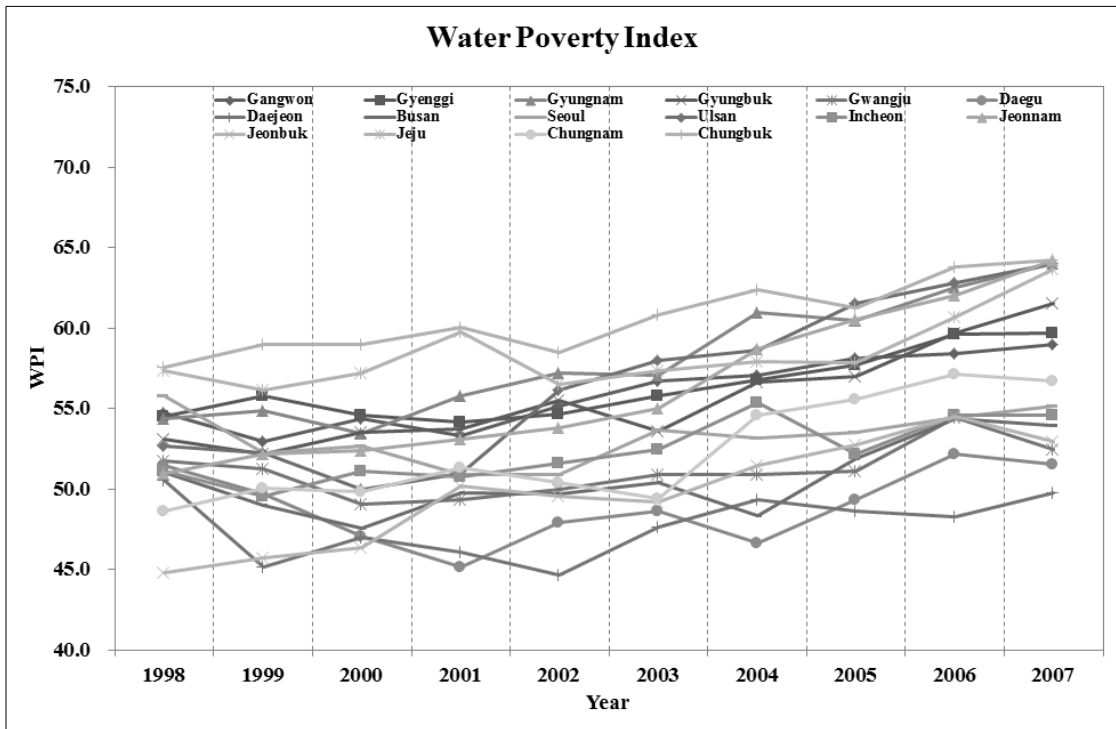


그림 2 지역별 물 빈곤지수의 변화

이와 같은 세부항목별 내용을 확인하기 위하여 그림 3과 같이 연도별 세 가지 그룹으로 정리하였으며, 지역별 물 빈곤지수 세부항목이 차지하는 값을 도표에 표시하였다. 세 가지로 나누어진 그룹은 1998년~2000년(이하 A), 2001년~2003년(이하 B) 및 2004년~2007년(이하 C)으로 분류하여 항목별 변화를 살펴보았다. 세 그룹별 물 빈곤지수에서는 인구와 산업기반이 집중되어있는 특

· 광역시에서 전체적으로 낮은 물 빈곤지수를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 전체적으로는 충청북도에서 가장 좋은 물 빈곤지수를 갖는 것으로 분석되었는데, 이를 세부항목별로 살펴보았을 때 충청북도의 세부항목별 값이 전체적으로 상위권에 속하는 값을 갖고 있기 때문으로 분석되었다. 이는 하나의 세부항목 값으로 인해 전체적인 물 빈곤지수에 영향을 주지 않는 것을 나타내고 있다.

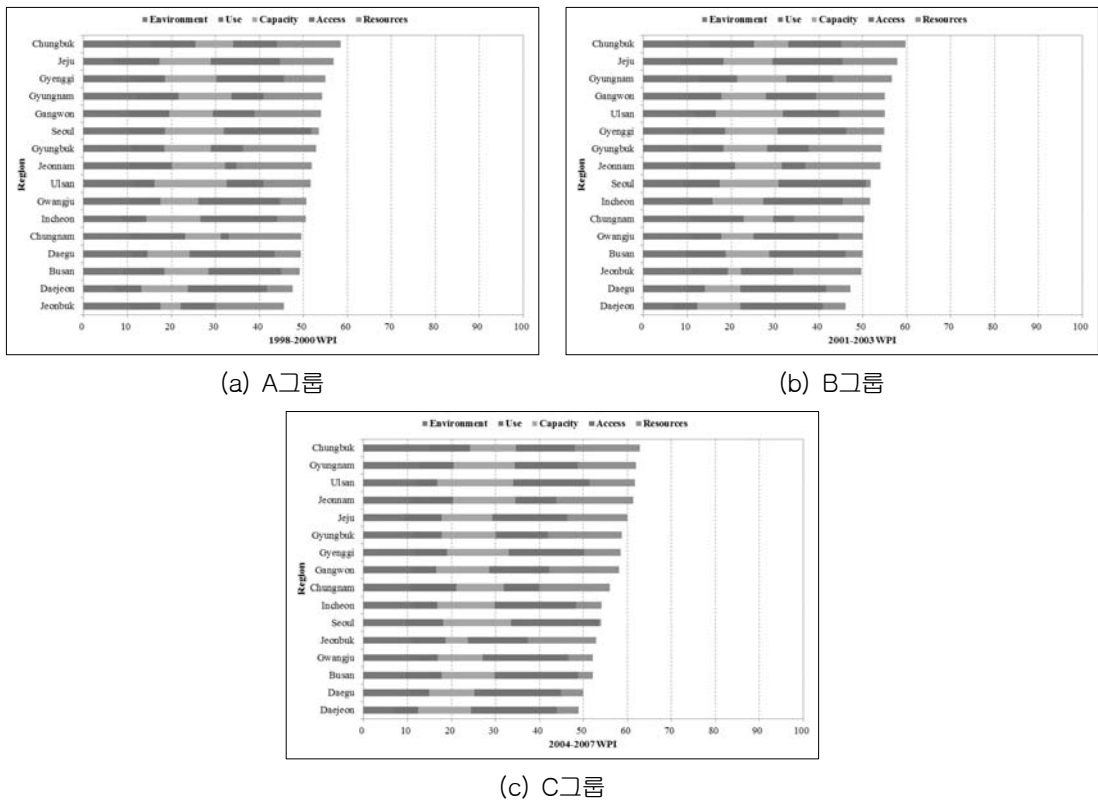


그림 3. 그룹별 물 빈곤지수 세부항목 변화

물 빈곤지수의 산정결과 환경 지수는 대전과 인천 같은 공업단지가 많은 지역에서 낮은 값을 나타냈으며, 충청북도와 경상남도 같은 지역의 경우 환경 지수는 증가하는 값을 나타내었다.

수자원이용효율성 지수는 전체적으로 다른 지수들에 비해 낮은 값을 나타내었다. 이는 1인 1일 급수량이 지역별로 비교적 많은 양을 사용하고 있으며, 산업 및 농업용수 비율이 GRDP에서 차지

하는 비율이 적기 때문으로 분석되었다. 하지만 경년변화를 살펴보면 전체적으로 개선되어지는 모습을 확인할 수 있다. 이는 1인 1일 급수량이 줄어들면서 수자원 이용효율이 증가되고 있다고 판단되며, 이와 더불어 공업용수와 농업용수의 경제적 효율 또한 과거에 비해 지속적으로 증가하기 때문으로 판단된다.

수자원 이용능력의 경우 1인당 GRDP의 값이

지속적인 증가추세를 보이지만 2007년의 경우 1인당 GRDP 값이 최댓값을 갖는 울산지역과 약 4000만원과 최솟값을 갖는 대구지역의 1인당 GRDP 약 1200만원과 같이 지역별 편차가 큰 것으로 분석되었다. 하지만 교육지수는 지역별로 편차가 거의 없는 것으로 나타났으며, 지역적으로는 울산, 서울, 경기 등이 수자원 이용능력 지수가 높은 것으로 분석되었다.

수자원 배분의 공정성은 상수도 보급률을 나타내기 때문에 광역시와 같은 경우에는 보급률이 높은 값을 나타내고 있다. 전국적으로 상수도 및 하수도 보급이 증가하고 있기 때문에 수자원 배분의 공정성 지수 값은 지속적인 증가추세가 뚜렷하게 분석되었다.

수자원의 양은 특 · 광역시의 값이 현저히 낮게 나타났다. 담수공급량에 따른 1인당 이용량은 담수공급량이 과거에 비해 줄어들고 있고, 수자원총량 또한 과거에 비해 감소하고 있기 때문으로 분석되었다. 이는 인구가 적은 지역에서는 큰 값을

나타내고 있지만 인구가 집중되고 있는 지역에서는 적은 값을 나타내게 되는 것은 지역별 인구비로 산정되기 때문이다.

각 그룹에 해당하는 세부항목별 최댓값과 최솟값을 표 5와 같이 나타내었다. 전체적으로 환경을 제외한 다른 항목들은 최댓값과 최솟값을 나타내는 지역이 그룹별로 동일한 것으로 확인되었다. 환경을 제외한 네 가지 항목들은 지역별로 지속적인 증가나 감소추세를 보이는 세부항목들의 영향으로 항목의 값의 변동폭이 크지 않기 때문으로 판단된다. 제주의 경우 과거에는 환경 지수가 가장 낮은 값을 나타내고 있었으나, B그룹으로 넘어가면서 대전이 가장 낮은 환경지수값을 나타내었다. 대전의 경우에는 폐수배출시설부적격업소가 전국에서 가장 많아 환경적인 측면에서 좋지 않은 영향을 주어서 낮은 값을 가지고 있으며, 충북의 경우 조수보호구역의 지정, 수질, 수질오염적발건수 등 모든 항목에서 지속적으로 개선되어 매년 환경적인 측면에서는 높은 값을 갖게 된다.

표 5. 지역에 따른 세부항목별 최댓값과 최솟값

		Environment	Use	Capacity	Access	Resources
A group	max	Chungbuk	Chungnam	Ulsan	Seoul	Jeonnam
	min	Jeju	Daegu	Jeonbuk	Chungnam	Seoul
B group	max	Chungbuk	Chungnam	Ulsan	Seoul	Jeonnam
	min	Daejeon	Daegu	Jeonbuk	Chungnam	Seoul
C group	max	Chungbuk	Chungnam	Ulsan	Seoul	Jeonnam
	min	Daejeon	Daegu	Jeonbuk	Chungnam	Seoul

4.2 기후 변동성지수 산정

선정된 물 빈곤지수에 치수와 기후변동성이 고려된 지역별 인자들을 추가하여 기후 변동성지수를 산정하였다. 표 6은 지역별 기후 변동성지수의 경년변화를 나타낸 것이며, 그림 4는 기후 변동성지수의 1998년~2007년 산정결과를 도시한 것이다.

물 빈곤지수에서 사용된 세부항목을 포함하여 경년변화를 확인할 수 있는 지역적 특성인자가 고

려된 기후 변동성지수 분석결과에서는 경남이 64.8의 값으로 가장 높은 값을 나타내었으며, 대구가 48.4의 값으로 가장 낮은 기후 변동성지수 값을 나타내었다. 서울특별시를 비롯해서 광역시도의 값이 낮은 것으로 나타났는데 이는 인구밀도가 높고 자급할 수 있는 식량생산이 어렵기 때문으로 판단된다. 하지만 특 · 광역시의 경우 홍수로 인한 피해의 경우는 다른 지역에 비해서 안전한 것으로 분석되었다.

표 6. 연도별 기후 변동성지수

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	AVG
Gangwon	56.6	55.1	56.2	55.4	53.7	57.3	58.8	59.2	59.2	60.1	57.2
Gyeonggi	54.0	54.7	54.5	54.8	54.6	56.0	57.5	57.8	59.2	59.7	56.3
Gyungnam	56.3	56.3	55.3	57.8	57.2	54.4	62.4	61.3	62.8	64.8	58.9
Gyungbuk	54.8	54.6	55.9	56.4	56.4	54.7	58.8	58.7	61.1	62.8	57.4
Gwangju	53.6	53.0	50.7	51.6	51.6	52.1	52.4	52.6	55.8	54.2	52.7
Daegu	52.7	51.4	49.3	48.4	49.8	49.5	49.5	51.5	54.0	53.5	51.0
Daejeon	52.4	47.8	48.8	48.7	47.3	49.4	51.8	50.5	50.5	51.6	49.9
Busan	52.9	50.8	50.1	52.3	50.0	50.3	51.1	53.3	54.9	56.0	52.2
Seoul	56.8	53.9	54.7	53.3	53.5	55.7	55.7	55.4	56.6	57.1	55.3
Ulsan	54.7	54.4	52.4	53.6	57.5	57.9	60.1	61.8	63.2	64.1	58.0
Incheon	49.8	50.7	52.2	51.8	53.3	53.5	56.3	53.1	55.1	55.2	53.1
Jeonnam	53.6	54.0	54.9	55.3	55.9	56.7	59.3	61.5	63.0	64.7	57.9
Jeonbuk	48.8	49.6	49.2	53.4	52.2	51.0	53.4	53.5	57.1	55.4	52.4
Jeju	60.1	58.1	58.3	60.7	55.2	58.4	59.3	58.4	60.9	62.7	59.2
Chungnam	50.5	51.6	51.5	53.6	52.3	51.5	55.6	56.5	58.6	58.1	54.0
Chungbuk	58.7	60.2	59.9	61.1	58.8	60.8	62.2	61.6	63.9	64.2	61.1
Average	54.1	53.5	53.4	54.3	53.7	54.3	56.5	56.7	58.5	59.0	
Maximum	60.1	60.2	59.9	61.1	58.8	60.8	62.4	61.8	63.9	64.8	
Minimum	48.8	47.8	48.8	48.4	47.3	49.4	49.5	50.5	50.5	51.6	

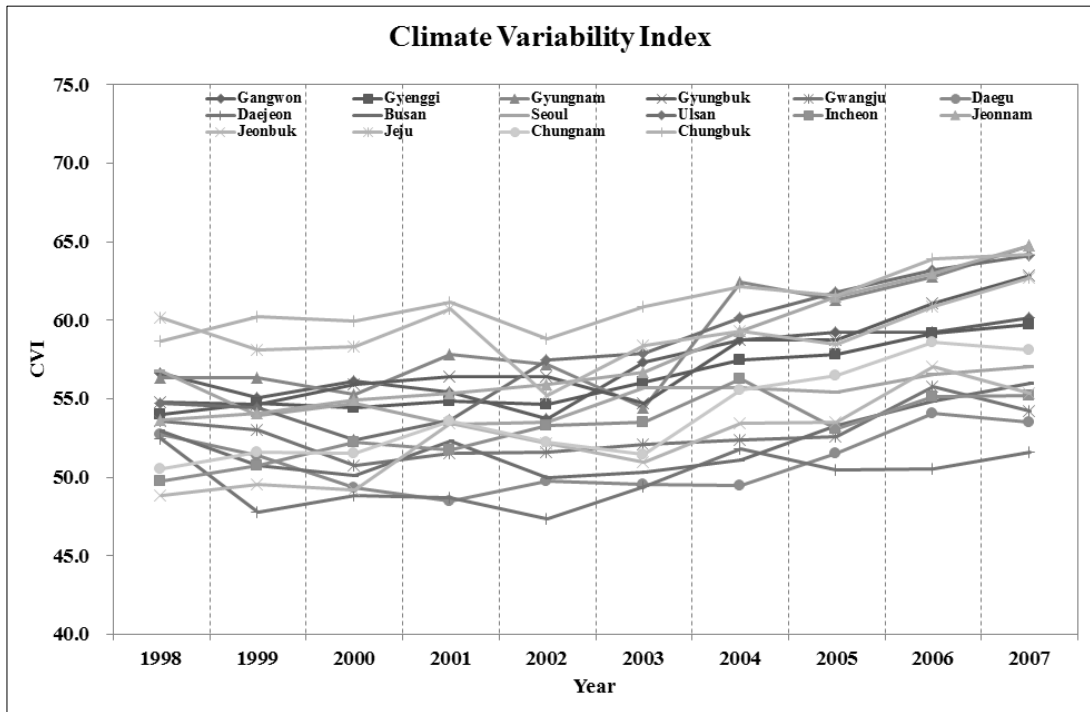
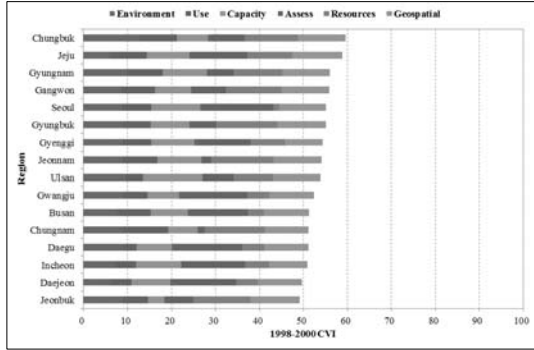


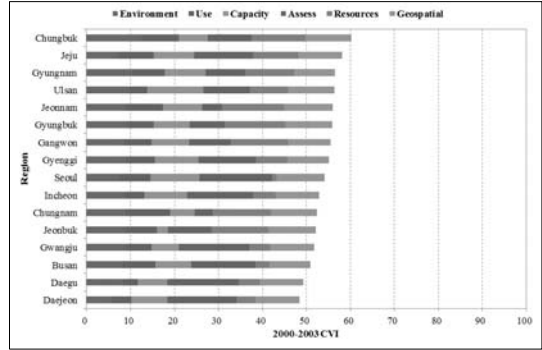
그림 4. 지역별 기후 변동성지수의 변화

항목별 기후 변동성지수의 변화를 살펴보기 위하여 물 빈곤지수와 동일하게 그림 5와같이 연도별로 3가지 그룹으로 정리하였다. 기 분석된 물 빈곤지수의 5가지 항목에 지역별 인자를 추가로 고려하여 분석하였기 때문에 새로 추가된 지역적 특성 항목에 관련한 내용만 언급하도록 하겠다.

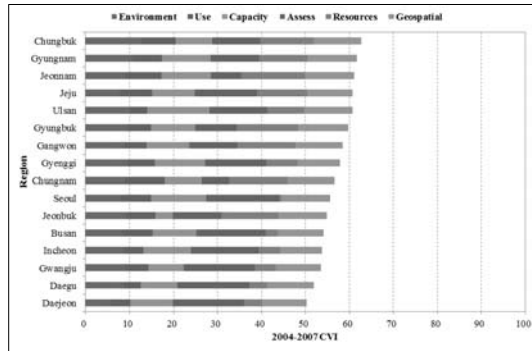
전체적으로 각 그룹별로 해당하는 지역적 특성 항목 값이 비교적 고른 분포의 모습으로 나타내고 있지만, 서울특별시를 비롯하여 인천광역시 및 경기도 지역의 경우 다른 지역에 비해 값이 현저히 낮은 것을 확인할 수 있는데, 이는 인구밀도가 다른 지역에 비해 높은 값을 갖고 있기 때문이다.



(a) A그룹



(b) B그룹



(c) C그룹

그림 5. 그룹별 기후 변동성지수 세부항목 변화

지역적 특성인자가 추가되면 지수 산정결과에 많은 변동이 생긴 것으로 분석되었다(표 7). 경기의 경우 지역적 특성 지수가 낮은 값을 갖게 되어 전체적인 순위가 A그룹에서 3위에서 7위로 떨어지는 것을 확인하였으며, B그룹에서는 전남이 8위에서 5위로 상승하는 것을 확인하였다. C그룹

의 경우 순위의 변화가 크지는 않았지만 전체적으로 많은 부분이 변화하는 모습을 보여주고 있었다. 이처럼 물이용만을 고려한 물 빈곤지수에 치수와 기후변동성을 고려한 지역적 특성인자를 고려하였을 경우 값의 차이가 나타나는 것을 확인하였다.

표 7. 물 빈곤지수와 기후 변동성지수의 변화 비교

RANK	A Group		B Group		C Group	
	WPI	CVI	WPI	CVI	WPI	CVI
1	Chungbuk	Chungbuk	Chungbuk	Chungbuk	Chungbuk	Chungbuk
2	Jeju	Jeju	Jeju	Jeju	Gyungnam	Gyungnam
3	Gyeonggi	Gyungnam	Gyungnam	Gyungnam	Ulsan	Jeonnam
4	Gyungnam	Gangwon	Gangwon	Ulsan	Jeonnam	Jeju
5	Gangwon	Seoul	Ulsan	Jeonnam	Jeju	Ulsan
6	Seoul	Gyungbuk	Gyeonggi	Gyungbuk	Gyungbuk	Gyungbuk
7	Gyungbuk	Gyeonggi	Gyungbuk	Gangwon	Gyeonggi	Gangwon
8	Jeonnam	Jeonnam	Jeonnam	Gyeonggi	Gangwon	Gyeonggi
9	Ulsan	Ulsan	Seoul	Seoul	Chungnam	Chungnam
10	Gwangju	Gwangju	Incheon	Incheon	Incheon	Seoul
11	Incheon	Busan	Chungnam	Chungnam	Seoul	Jeonbuk
12	Chungnam	Chungnam	Gwangju	Jeonbuk	Jeonbuk	Busan
13	Daegu	Daegu	Busan	Gwangju	Gwangju	Incheon
14	Busan	Incheon	Jeonbuk	Busan	Busan	Gwangju
15	Daejeon	Daejeon	Daegu	Daegu	Daegu	Daegu
16	Jeonbuk	Jeonbuk	Daejeon	Daejeon	Daejeon	Daejeon

4.3 세부지표별 상관성 분석

지표의 규모가 커지고 많아질수록 또한 관련성이 없는 지표들을 선정할수록 일관성이 결여되고 지표간의 독립성이 부족하여 상호간에 중첩되는 현상이 나타날 수 있다. 따라서 적절한 분석을 위해서는 지표 상호간의 독립성을 유지하여야 하며

이를 분석하기 위해 상관성 분석을 수행하였다.

본 연구에서 사용한 지표들과 물 빈곤지수 및 기후 변동성지수의 상관성을 분석하였다. 분석을 위해서 각 항목별 경년자료 160개를 이용하였으며, 비교 목록은 표 8에 나타나 있는 것과 같이 8개의 항목에 대해서 분석을 실시하였다.

표 8. 연도별 CVI 및 평균 CVI

	E	U	C	A	R	G	WPI	CVI
E	1							
U	0.148979	1						
C	-0.01786	-0.23474	1					
A	-0.32393	-0.56433	0.206189	1				
R	0.390624	0.433249	-0.24593	-0.83334	1			
G	0.135982	0.133347	0.037583	-0.25452	0.2633	1		
WPI	0.546349	0.237003	0.481707	-0.10727	0.420326	0.160824	1	
CVI	0.544789	0.251714	0.463298	-0.15411	0.451964	0.35902	0.97892	1

※ E ; Environment, U ; Use, C ; Capacity, A ; Access, R ; Resources, G ; Geospatial

분석을 실시한 결과 수자원 배분의 공평성 지수와 수자원의 양 지수항목 간 역상관성이 높게 나타났는데, 이는 인구가 집중되는 특·광역시와 광역시의 경우 보급률이 지속적으로 증가하지만, 지역인구가 많기 때문에 사용할 수 있는 수자원의 양은 감소하기 때문이다. 이를 제외한 나머지 지표 및 지수 간의 상관성은 낮게 나타나고 있기 때문에 본 연구에서 물 빈곤지수 및 기후 변동성지수를 구성하는 세부지표들의 독립성이 높음을 알 수 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 수자원 이용을 평가할 수 있는 지표인 물 빈곤지수와 물 빈곤지수에 지역적 특성 지표가 추가된 기후 변동성지수의 1998년부터 2007년까지의 국내변동성을 평가하였다. 물 빈곤지수와 기후 변동성지수를 산정하기 위해 환경, 수자원 이용 효율성, 수자원의 이용능력, 수자원 배분의 공평성 및 수자원의 양에 관련한 세부지표와 치수 및 기후변화를 지역적으로 평가할 수 있는 지역적 특성이 추가된 지역적 특성인자 항목의 세부지표를 선정하여 시도별 물 빈곤지수와 기후 변동성지수 산정하여 지수의 변화를 살펴보았다.

그룹별 물 빈곤지수의 산정결과 환경 지수는 대전과 인천 같은 공업단지가 많은 지역에서 낮은 값을 나타냈으며, 충청북도와 경상남도 같은 지역의 경우 환경 지수는 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 수자원 이용효율성 항목은 전체적으로 다른 항목들에 비해 낮은 값을 나타내었으며, 수자원 이용능력의 경우 지역별 편차가 큰 것으로 분석되었다. 수자원 배분의 공평성은 상하수도 보급률을 나타내기 때문에 광역시와 같은 경우 보급률이 높은 값을 보였으며, 지속적인 증가추세가 뚜렷하게 분석되었다. 수자원의 양은 특·광역시의 값이 현저히 낮게 나타났다.

국내에서는 2000년과 2001년에 극심한 가뭄 피해를 입었으며 이번엔 산정된 물 빈곤지수에서는 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 2000년과 2001년에 상승폭이 현저하게 줄어드는 것을 확인

할 수 있으며, 지수값이 작아진 지역도 있었다. 이는 수자원총량이 줄어들었기 때문으로 판단된다.

기후 변동성지수에 새롭게 추가된 지역적 특성 항목의 경우 비교적 고른 분포의 모습으로 나타나고 있지만, 서울특별시를 비롯하여 인천광역시 및 경기도 지역의 경우 다른 지역에 비해 값이 현저히 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이는 인구밀도가 높고 자급할 수 있는 식량생산이 어렵기 때문으로 판단된다. 하지만 특·광역시의 경우 홍수로 인한 피해의 경우는 다른 지역에 비해서 안전한 것으로 분석되었다.

지역적 특성값이 추가된 기후 변동성지수와 물 빈곤지수의 변화를 살펴보았는데, 물이용만을 고려한 물 빈곤지수에 지역적 특성인자를 고려하였을 경우 지역별로 값의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 물 빈곤지수에 비해 순위의 변화도 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 수자원 현황 분석 및 기후변화를 고려한 물이용을 평가하기 위해서는 물이용만을 평가할 수 있는 물 빈곤지수의 적용보다는 물 빈곤지수의 내용을 포함하고 지역별 특성인자를 추가로 고려한 기후 변동성지수로 평가하는 것이 보다 합리적이라 할 수 있다.

본 연구에서 사용한 물 빈곤지수와 기후취약성 지수의 값이 각 지역별로 정확한 수치를 제공하는 것은 아니지만 물 부문 정책, 투자 및 적용에 대한 우선순위를 결정하는데 도움을 줄 수 있는 것으로 판단된다. 또한, 국내 수자원을 평가하기 위해서 보다 구체적이고 체계화된 지표선정이 필요할 것으로 판단되며, 앞으로는 기후변화를 고려한 지수를 선정하여 기후변화에 따른 지표값의 변화를 예측하는 연구와 지표의 선정방법과 국내 설정에 적합한 표준화 방법 및 가중치 부여방법에 대한 연구를 통하여 수자원관련 관련 지표개발 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부. 2007. 물 이용 특성 평가체계 연구
 국토해양부. 2008. 치수 특성 평가체계 연구

- 국토해양부. 2009. 하천 환경 특성평가체계 연구
- 국토해양부. 2010. 수자원 평가 세부지표 확대 연구
- 국토해양부. 2000. 수자원장기종합계획
- 손민우, 성진영, 정은성, 전경수. 2011. 기후변화를 고려한 홍수취약성지표의 개발. 한국수자원학회논문집, 제44권 제3호, pp 231~248.
- 이동률, 임광섭, 최시중. 2009. 치수특성평가를 위한 홍수위험지수 개발. 한국수자원학회 2009년 학술발표대회, 한국수자원학회, 제42권 제1호, pp 342~346.
- 임상준, 김현준, 장철희, 김철겸. 2005. 한강유역의 소유역별 물 빈곤지수의 산정. 대한토목학회논문집, 제25권 제6B호, pp 419~424.
- 임광섭, 이동률, 최시중. 2008. 수자원정책지원을 위한 지수개발 - 치수특성지수 중심으로. 2008년도 학술발표회 논문집. 한국수자원학회. pp. 53~60
- 임광섭, 최시중, 이동률, 문장원. 2010. 홍수지표의 인과관계를 이용한 홍수위험지수 개발. 대한토목학회논문집. 제30권, 제1-B호, pp 61~70
- 채미옥, 오용준. 2003. 토지적성평가의 지표추출 및 지표별 가중치 분석방법 고찰. 대한지리학회논문집. 제38권, 제9호, pp 725~740
- 최시중, 이동률. 2005. 지속가능한 수자원 개발과 관리를 평가하기 위한 지표. 한국수자원학회논문집, 제38권 제9호, pp 779~790.
- Castelazo, A.H., Mendoza, J.A.S.P., Solis, S.S., and Bojorquez, G.C. 2007. Incorporating Flood Vulnerability to the Water Poverty Index in the Juarez Municipality. UCOWR Conference. <http://opensiuc.lib.siu.edu/ucowrconfs> 2007/14
- Sullivan, C. and Meigh, J. 2005. Targeting attention on local vulnerability using an integrated index approach : the example of the climate vulnerability index. Water Science & Technology, Vol.51, No.5, pp. 69~78
- Lawrence, P., Meigh, J., and Sullivan, C. 2002. The Water Poverty Index : International Comparisons. Keele University, and Centre for Ecology & Hydrology.
- Sullivan, C.A.. 2002. Calculating a Water Poverty Index. World Development, Vol. 30. No.7, pp. 1195~1210.
- Sullivan, C.A. and Huntingford, C. 2009. Water resources, climate change and human vulnerability. 18th World IMACS, MODSIM Congress, Cairns, Australia 13~17.
- Sullivan, C.A.. 2010. Targeting adaptation needs using the Climate Vulnerability Index. Water and Climate Change. <http://www.maplecroft.com> - maplecroft <http://www.kosis.kr> - 국가통계포털 <http://water.nier.go.kr> - 물환경정보시스템
- 논문접수일 : 2011년 06월 10일
 - 심사의뢰일 : 2011년 06월 13일
 - 심사완료일 : 2011년 09월 24일