



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0116820  
(43) 공개일자 2018년10월26일

<p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G06Q 50/26 (2012.01) G06F 17/18 (2006.01) G06Q 10/06 (2012.01)</p> <p>(52) CPC특허분류 G06Q 50/26 (2013.01) G06F 17/18 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2017-0049560 (22) 출원일자 2017년04월18일 심사청구일자 없음</p>	<p>(71) 출원인 연세대학교 산학협력단 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)</p> <p>(72) 발명자 김연주 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 1공학관 N308 박혜선 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 1공학관 A374</p> <p>(74) 대리인 김인철</p>
--	--

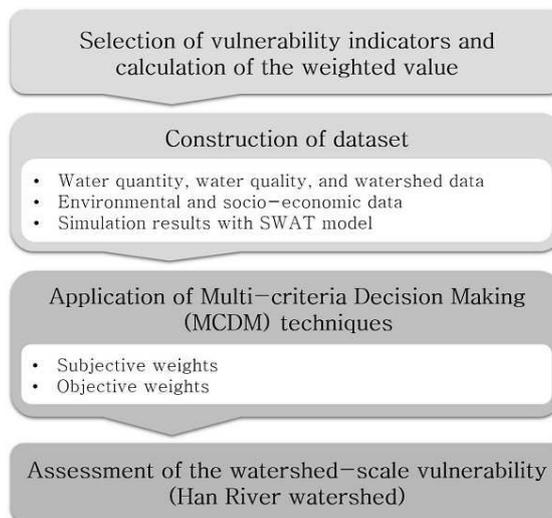
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **다중 가중치 산정 및 TOPSIS를 이용한 단위유역별 수자원 취약성 평가 방법**

**(57) 요약**

본 명세서에서는 소규모 유역별로 취약성을 평가하기 위하여 각 유역의 상황을 고려한 지표를 선정하였다. 지표 자료는 현재 시점을 기준으로 한 국가 통계 및 보고서와 유역별 모의가 가능한 SWAT 모형을 활용하여 구축하였다. 또한 주관적 및 객관적 가중치를 활용하여 다중 가중치를 적용하였으며, 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS 기법을 적용하여 단위유역별 취약성을 평가하였다. 수자원 취약성 평가 시 수량 및 수질/수생태로 분류하여 유역별로 어떤 부분에 대한 취약성이 높은지 파악할 수 있도록 하였다.

**대표도** - 도1



(52) CPC특허분류  
*G06Q 10/06* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

- (1) 수량, 수질, 유역환경, 사회경제적 자료 및 SWAT 모의 자료를 통해 지표 자료를 수집하는 단계;
- (2) 수문학적 요소, 사회·경제적 요소, 노출, 민감도, 적응능력을 전문가 설문조사를 기반으로 하는 주관적 (Subjective) 가중치와 자료 기반의 객관적(Objective) 가중치를 적용하여 지표를 구성하는 단계;
- (3) 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS를 활용하여 유역의 수자원 취약성을 평가하는 단계; 및
- (4) 대상 유역으로 단위유역별 수량 및 수질/수생태 취약성을 각각 평가하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 단위유역별 수자원 취약성 평가 방법

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 수자원 취약성 평가 방법에 관한 것으로서, 구체적으로는 다중 가중치 산정 및 TOPSIS를 이용한 단위 유역별 수자원 취약성 평가 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] IPCC(2007)는 기후변화 취약성을 시스템이 노출된 기후변화의 특성, 규모, 속도, 기후변화에 대한 민감도, 적응 능력의 함수라 정의하였으며, 기후변화의 영향이 크고 이에 대한 적응능력이 작을수록 취약성이 증가하게 된다. 또한 기후변화 영향 중 가장 취약한 부분으로 강수패턴의 변화와 이에 따른 가용 수자원 변화를 선정하였으며, 이로 인하여 2050년이 되면 아시아에서 10억 명 이상이 물 부족을 겪게 될 것으로 전망하였다. 지속적으로 기후 변화에 따른 취약성 문제가 대두되고 있으며, 이에 따라 수자원에 대한 취약성을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 최근 수자원 취약성 및 현황을 파악하기 위하여 지표를 활용한 연구들이 진행되고 있다. 다수의 지표를 활용할 경우 각 지표의 중요도를 나타내는 가중치 산정 방법의 신뢰성 확보를 위하여 다양한 방법으로 가중치를 적용하고 있으나, 대부분 단일 가중치를 적용하였다. 주관적 또는 객관적 가중치 산정 방법을 활용하여 가중치를 부여한다. 주관적 가중치는 설문조사를 실시하여 의사결정자의 판단을 통한 방법으로 가중치가 산정되며, 객관적 가중치는 자료를 기반으로 하는 엔트로피(Entropy) 방법과 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA) 등을 활용하고 산정한다. 이외에도 지표에 대한 중요도 정보가 없는 경우 중립적인 가치 판단에 따라 동일 가중치를 적용한다. 또한 일반적으로 수자원 취약성 평가는 국가차원에서 수행되었으며 최근에는 일부 지역별 또는 유역별 취약성 평가가 진행되고 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0003] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1665324호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 제1 목적으로, 선행연구에서는 대부분 주관적 또는 객관적 가중치를 산정하여 단일 가중치를 적용하여 취약성을 분석하였다. 가중치는 지표의 중요도를 나타내는 것으로 산정 방법의 신뢰성 확보가 중요하다. 이에 본 명세서에서는 주관적 및 객관적 가중치를 적용하여 취약성을 평가하고, 이를 비교하여 가중치 적용 방법에 대한 신뢰성을 높였다.

[0005] 제2 목적으로, 선행연구는 일반적으로 국가차원에서의 수자원 취약성 평가를 수행하였다. 이는 지역적 특성을

반영하기 어려운 점이 있어, 최근에는 일부 지역별 또는 유역별 취약성 평가가 진행되기도 하였다. 그러나 본 명세서에서는 소규모 유역의 수자원 취약성을 평가하고 지역적 특성을 반영하고자 단위유역별 수자원 취약성 평가를 수행하였다.

[0006] 제3 목적으로, 일반적으로 수자원 취약성 평가 시 물 부족과 관련하여 물이용에 집중하게 되는 경향이 있지만 본 명세서에서는 물이용 취약성 평가를 위한 수량뿐만 아니라 효율적으로 지속가능한 물이용을 위한 수질/수생태 부문에 대하여 각각 취약성 평가를 수행하였다. 수량 및 수질/수생태 취약성을 각각 분석함에 따라 단위유역별 취약 부문을 좀 더 세밀하게 평가할 수 있다.

[0007] 제4 목적으로, 본 명세서에서는 소유역별 취약성 평가를 위한 지표 자료를 구축하기 위해 국가 통계 및 관측 자료뿐 아니라 유역단위 준분포형 장기 강우-유출 모형(SWAT 모형) 결과를 활용하였다. SWAT 모형은 토양의 특징과 토지이용, 댐 등의 다양한 수자원 시설물을 고려하여 유역의 유출 및 수질을 모의할 수 있어, 모형 활용 시 관측 등을 통해 얻기 힘든 지표 자료를 제공받을 수 있다. 또한 지표 자료로 활용된 국가 통계 및 관측 자료 중 일부를 SWAT의 입력 자료로 활용하여 지표 간의 일관성을 확보하였다.

[0008] 본 명세서에 기재된 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 본 명세서에서는 소규모 유역별로 취약성을 평가하기 위하여 각 유역의 상황을 고려한 지표를 선정하였다. 지표 자료는 현재 시점을 기준으로 한 국가 통계 및 보고서와 유역별 모의가 가능한 SWAT 모형을 활용하여 구축하였다. 또한 주관적 및 객관적 가중치를 활용하여 다중 가중치를 적용하였으며, 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS 기법을 적용하여 단위유역별 취약성을 평가하였다. 수자원 취약성 평가 시 수량 및 수질/수생태로 분류하여 유역별로 어떤 부분에 대한 취약성이 높은지 파악할 수 있도록 하였다.

[0010] 기후변화에 대응하기 위한 단위유역별 취약성 평가 방법은 소규모 유역의 수자원 취약성을 평가하기 위한 지표 기반의 접근법을 개발하였다. 취약성을 파악하기 위하여 설문조사를 통하여 산정된 주관적 가중치와 자료기반 Entropy 개념을 활용하여 산정된 객관적 가중치를 적용하였으며, 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)를 이용하여 단위유역에 대한 취약성을 도출하였다. 평가 지표는 기후뿐만 아니라 사회, 경제, 환경적 측면을 고려하였으며, 기존의 취약성 관련 연구에서 이용된 지표들을 기반으로 전문가 토론을 거쳐 16개의 수량 지표와 13개의 수질/수생태 지표를 최종 선정하였다. 이는 취약성 평가 체계에 따라 노출(Exposure), 민감도(Sensitivity), 적응능력(Adaptive capacity)으로 구성하였다. 수량 지표 중 노출 부문은 기후 및 유역환경 등의 외부요인들이며, 민감도는 물이용에 영향을 주는 지표로 사회, 물공급, 물이용 변수로 구성되었다. 또한 적응능력은 물이용의 불안정함을 완화할 수 있는 지표들로 물공급, 경제, 거버넌스를 대표하는 변수로 구성하였다. 수질/수생태 지표 중 노출 부문은 기후 및 오염원 등의 외부인들이며, 민감도는 유역환경, 물공급과 관련된 변수로 구성하였다.

### 발명의 효과

[0011] 적응능력은 물공급, 경제, 거버넌스 대표 변수를 구성하였다. 각각의 지표 자료들은 국가 통계 자료 및 유역 모형인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형의 모의 자료의 결과를 활용하여 향후 기후변화 시나리오를 적용할 수 있도록 하였다. 본 명세서를 통하여 유역별 취약성 순위 및 분포의 차이를 확인할 수 있었으며, 향후 유역규모에서의 수자원 계획 수립 및 대책 마련에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

[0012] 본 명세서에 기재된 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 명세서에 따른 수자원 취약성 평가 방법을 개략적으로 도시한 흐름도이다.

도 2는 연구 대상 유역의 예시도이다.

도 3 및 도 4는 가중치에 따른 취약성 순위 도출 결과 예시도이다.

도 5 및 도 6은 전체 유역 내 세부 유역의 취약성지수 비교에 관한 비교도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0014] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.
- [0015] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.
- [0016] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0017] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0018] 기후변화로 인하여 전 세계적으로 가뭄 및 홍수 등의 자연재해가 발생하고 있다. UNDP(2005)에서는 취약성을 기후변동이나 스트레스에 대한 노출, 이에 대한 대처, 회복, 적응능력에 따른 노출의 민감도로 정의하였다. IPCC(2007)는 기후변화 취약성을 시스템이 노출된 기후변화의 특성, 규모, 속도, 기후변화에 대한 민감도, 적응능력의 함수라 정의하였으며, 기후변화의 영향이 크고 이에 대한 적응능력이 작을수록 취약성이 증가하게 된다. 또한 기후변화 영향 중 가장 취약한 부분으로 강수패턴의 변화와 이에 따른 가용 수자원 변화를 선정하였으며, 이로 인하여 2050년이 되면 아시아에서 10억명 이상이 물 부족을 겪게 될 것으로 전망하였다. 지속적으로 기후변화에 따른 취약성 문제가 대두되고 있으며, 이에 따라 수자원에 대한 취약성을 정량적으로 평가할 필요가 있다(Jung et al., 2008; KEI, 2008; Kim et al., 2011).
- [0019] 최근 수자원의 취약성 및 현황을 평가하기 위하여 지표를 활용한 연구들이 지속적으로 진행되고 있으며, 기존의 국가차원에서의 취약성 평가 외에도 지역별 혹은 유역별로 취약성을 평가하기 위한 연구가 이어지고 있다. Jung et al.(2008)은 지표들을 이용하여 유역별로 홍수피해 취약성을 정량화하여 A2 시나리오에 따른 미래 취약성을 평가하였으며, KEI(2008)는 기후변화 취약성을 평가하기 위하여 국내 상황에 맞는 지역별 취약성 평가 지표를 개발하였다. Chung et al.(2012)은 안양천 유역을 대상으로 하수처리수 재이용 위치 선정에 Fuzzy-TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)를 활용하였고, Kim et al.(2012)는 Fuzzy-TOPSIS와 가중합계법을 활용하여 홍수 취약성을 정량화하고, 순위상관 분석을 실시하였다. Wang et al.(2012)는 중국 북부 지역을 대상으로 주요 요소들을 수집하여 유역별 수자원 취약성을 산정하였다. Kim and Chung(2014)은 수량 및 수질 취약성을 정량화하기 위하여 가중합계법과 TOPSIS를 활용하였으며, 다양한 기후변화 시나리오를 고려한 지표 기반의 의사결정 프레임워크를 개발하였다. Oh et al.(2014)은 연안도시의 특성을 고려한 기후변화 취약성 평가 지표를 개발하여 국내 주요 연안도시 10곳의 취약성을 평가하여 평가지표에 대한 신뢰성을 검토하였다.
- [0020] 또한, 다수의 지표를 활용하는 경우 각 지표의 중요도를 나타내는 가중치(Weight) 산정 방법의 신뢰성을 확보하기 위하여 다양한 방법으로 가중치를 적용하고 있다. Baeck et al.(2011)은 기 개발된 홍수 위험지수 지표 자료들의 표준화 및 가중치 부여 방법에 따른 결과를 비교·분석하였다. Kim et al.(2011)은 델파이(Delphi) 기법을 통하여 가중치를 산정하여 국내 중소하천의 기후변화 취약성을 분석하고, 수자원분야의 취약성은 민감도의 분야에서의 다양한 변수들의 영향을 받고 있는 것을 확인하였다. Kong et al.(2014)은 이·치수 취약성을 평가하기 위하여 TOPSIS를 활용하였으며, 델파이 기법을 통한 주관적 가중치와 객관적인 엔트로피(Entropy) 가중치를 적용하여 차이를 분석하였다. Garg et al.(2015)는 엔트로피 개념을 적용하여 가중치를 산정하고 Fuzzy-TOPSIS를 적용하여 주택 선택에 대한 우선순위 평가를 실시하였으며, 최적의 대안을 도출하기 위하여 가중치가 가장 중요하다고 제시하였다. Lee et al.(2015)는 대기오염의 취약성을 평가하기 위하여 객관적인 분석이 가능한 엔트로피 가중치를 적용하였으며, Won et al.(2015)은 엔트로피 가중치 및 TOPSIS를 적용하여 국내의 물이용 취약성을 평가하였다.
- [0021] 따라서 본 명세서에서는 유역의 수자원 취약성을 평가하기 위하여 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS를 활용하였으

며, 한강유역을 대상으로 단위유역별 수량 및 수질/수생태 취약성을 각각 평가하고자 하였다. 지표는 수문학적 요소뿐만 아니라 사회·경제적 요소를 고려하여 선정하였으며, 노출, 민감도, 적응능력으로 구성하였다. 또한, 가중치 적용 방법에 따른 취약성을 평가하고자 선정된 지표에 대하여 전문가 설문조사를 기반으로 하는 주관적(Subjective) 가중치와 자료 기반의 객관적(Objective) 가중치를 적용하여 비교·분석하였다.

- [0022] 도 1은 본 명세서에 따른 수자원 취약성 평가 방법을 개략적으로 도시한 흐름도이다.
- [0023] 1단계 - 지표는 수문학적 요소뿐만 아니라 사회·경제적 요소를 고려하여 선정하였으며, 노출, 민감도, 적응능력으로 구성하였다. 또한, 가중치 적용 방법에 따른 취약성을 평가하고자 선정된 지표에 대하여 전문가 설문조사를 기반으로 하는 주관적(Subjective) 가중치와 자료 기반의 객관적(Objective) 가중치를 적용하였다.
- [0024] 2단계 - 지표 자료는 수량, 수질, 유역환경 자료 뿐 아니라 사회경제적 자료와 SWAT 모의 자료를 활용하였다.
- [0025] 3단계 - 유역의 수자원 취약성을 평가하기 위하여 주관적 및 객관적 가중치를 각각 적용하였으며, 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS를 활용하였다.
- [0026] 4단계 - 한강유역을 대상으로 단위유역별 수량 및 수질/수생태 취약성을 각각 평가하였다.
- [0027] 도 2는 연구 대상 유역의 예시도이다.
- [0028] 본 명세서에서는 우리나라의 수도인 서울특별시를 포함하고 있어 상대적으로 인구 및 산업의 밀집도가 높은 한강 유역을 대상으로 총 237개의 표준단위유역으로 구축하였으며, 유역 내 일부 북한을 포함하는 인근 지역에 대해서는 자료가 충분하지 않으므로 고려하지 않았다. 전체 유역을 4개의 세부 유역(임진강, 북한강, 남한강, 한강)으로 분할하여 세부 유역에 대한 취약성 평가를 수행하였다.
- [0029] 따라서 총 205개의 유효한 유역에 대하여 취약성 분석을 실시하였으며, 유역 특성을 고려하여 4개의 세부유역(임진강, 북한강, 남한강, 한강)으로 구분하였다. 전체 유역은 2개 시(서울특별시, 인천광역시)와 4개 도(경기도, 강원도, 충청북도, 경상북도)로 구성되어 있다.
- [0030] 이론적 배경으로, 주관적(Subjective) 및 객관적(Objective) 가중치가 있다.
- [0031] 가중치는 각 지표 속성들의 중요도를 의미하는 것이며, 효율적인 결과를 얻기 위해서는 적절한 가중치를 부여하는 것이 중요하다. 따라서 계산과정이 복잡하지 않고 이해하기 쉬워야 한다(Lee, 2003; Garg et al., 2015).
- [0032] 본 명세서에서는 취약성 평가 체계에 따라 선정된 수량 및 수질/수생태 지표들의 가중치를 주관적 가중치(Subjective weights)와 객관적 가중치(Objective weights)로 각각 산정하였다. 주관적 가중치 산정을 위하여 각 지표들에 대한 전문가 설문조사를 실시하였다. 또한 객관적 가중치는 Shannon(1948)에 의해 도입된 엔트로피(Entropy) 개념을 활용하였으며, 이는 어떤 신호가 가지고 있는 정보량으로 정의된다. 엔트로피 개념은 주어진 자료 간의 차이를 비교적 쉽게 확인할 수 있으며, 정량적인 특성만을 반영하기 때문에 객관적인 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 엔트로피가 크다는 것은 정보의 양이 많이 있다는 것을 의미하여 불확실성이 감소한다고 볼 수 있다(Lee, 2003; Kim and Chung, 2015; Won et al., 2015; Lee et al., 2015).
- [0033] TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)는 다기준 의사결정기법(Multi Criteria Decision Making, MCDM)은 평가기준이 다수이고 고려해야 하는 대안들도 다수인 경우에 각각의 선호도를 측정하고 각 기준에 대한 중요도를 고려한 최선의 대안이나 순위 등을 의미하며, 다수의 연구에서 대안을 평가하는데 활용되고 있다.
- [0034] TOPSIS는 Hwang and Yoon(1981)에 의해 처음으로 소개되었으며, 양의 이상적인 해(Positive Ideal Solution, PIS)와 가깝고 부의 이상적인 해(Negative Ideal Solution, NIS)에서 먼 대안을 선택하는 기법으로 합리적인 선택이 가능하다(Chung et al., 2012; Kim and Chung, 2014).
- [0035] 순위상관계수 분석은 자료가 순서에 의한 척도인 경우에 사용하며, 스피어만 상관계수(Spearman correlation coefficient,  $\rho$ )는 두 변수의 순위간의 관계성을 나타낸다. 이는 Eq. (1)과 같이 계산되며, 결과 값의 범위는 -1에서 1사이이다. 두 변수의 순위가 완전히 일치하는 경우 1이며, 반대의 경우에는 -1이 된다. 변수의 분포와 상관성이 없으며, 선형관계가 없어도 관계성 분석이 가능하다.

$$\rho = 1 - \frac{6\sum D_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

- [0036]
- [0037] 여기서, D는 x변수 순위와 u변수 순위의 차이이며, n은 변수의 총 개수이다.
- [0038] 우선, 지표 선정이 필요하다.
- [0039] 주요 지표를 선정하기 위하여 국내외의 연구 보고 등의 선행연구를 통하여 기후 및 사회경제적 요소를 고려한 대응변수를 선정하였다. 이후 지표 자료의 가용성 등을 고려하여 총 25개의 최종 지표를 선정하였다. 이는 취약성 평가 체계에 따라 노출, 민감도, 적응능력으로 구성하고, 각각 16개의 수량 세부 지표 및 13개의 수질/수생태 세부 지표로 분류하였다(Tables 1 and 2).
- [0040] 다음으로, 자료 DB 구축이 필요하다.
- [0041] 이에 대한 예시로 도 7 및 도 8에 표가 있다.
- [0042] 다음으로, 가중치 결정이 필요하다.
- [0043] 주관적 가중치의 경우, 전문가들을 대상으로 각 지표에 대한 우선순위 설문을 통하여 지표별로 산정하였다. 수량 취약성 지표 중에서 노출에서는 유효강수량(A1), 민감도는 생활용수 사용량(A9)과 인구밀도(A5) 순으로 중요한 것으로 나타났다. 적응능력에서는 상수도 보급률(A12)이 가장 높았다. 수질/수생태 지표 중에서 노출에서는 연속 무강수일수 최대값(B1), 민감도는 산림면적률(B7)과 하수도 보급률(B8)이 높았으며, 적응능력은 상수도 보급률(B10)이 가장 높게 나타났다.
- [0044] 객관적 가중치의 경우, 엔트로피 개념을 적용하여 지표 자료만을 이용하여 산정하였다. 수량 취약성 지표에서는 노출에서 유효강수량(A1)이 가장 높았으나 경작지(A2)나 불투수층(A3)도 비슷한 수준의 가중치를 보였다. 민감도는 지하수위(A8)가 높은 값을 보였으며, 적응능력에서는 상수도 보급률(A12)이 높게 나타났다. 수질/수생태 지표 중에서 노출에서는 인(B4), 질소(B3), BOD(B6) 부하량 순으로 가중치가 높게 산정되었으며, 민감도는 산림면적률(B7), 적응능력에서는 상수도 보급률(B10)이 높게 나타났다.
- [0045] 다음으로, 자료 표준화이다.
- [0046] 선정된 지표는 각각 단위와 범위가 다르기 때문에 이를 통합하기 위하여 각 지표에 대한 표준화를 실시하였다. 모든 지표에 대한 원자료 분포를 확인하였으며, 로그함수를 취하여 최대-최소값 표준화를 수행하였다. 또한 전체 지표 중 노출 및 민감도의 일부 지표(유효강수량, 지하수위, 산림면적률, 하수도 보급률)는 높은 값을 보이는 경우 낮은 취약성을 나타내기 때문에 취약성 산정 시 지표값의 방향성을 맞추어 표준화하였다.
- [0047] 이를 토해, TOPSIS 기법을 적용한 수자원 취약성 순위를 확인할 수 있다.
- [0048] 표준화된 각 지표 자료에 대하여 주관적 및 객관적 가중치를 적용하였으며, 수량 및 수질/수생태에 따른 각 지표들을 통합하기 위하여 TOPSIS 기법을 적용하였다. 유역에 대한 수량 및 수질/수생태 부문별로 취약성 지수를 확인하고 각 순위를 비교하였다.
- [0049] 도 3 및 도 4는 가중치에 따른 취약성 순위 도출 결과 예시도이다.
- [0050] 도 3은 단위유역별 수량 취약성 순위 도출 결과이며, 도 4는 단위유역별 수질/수생태 취약성 순위 도출 결과이다. 각각은 주관적 가중치 적용 결과와 객관적 가중치 적용 결과, 그리고 가중치 적용 결과에 따른 순위 차이를 나타내고 있다.
- [0051] 수량 취약성 순위는 가중치 적용 방법에 따라 충청북도 및 강원도 등의 일부 유역에서 차이를 보였으나 비교적 유사한 분포를 보였다. 대부분 상수도 누수율이 높거나 용수 사용량이 많은 강원도 및 충청북도 지역에서 취약성이 높았으며, 수도권 등의 적응능력 지수가 높은 곳 혹은 강원도 일부지역과 같이 상수도 보급률, 유효강수량, 지하수위가 높은 경우 취약성이 감소하는 결과를 보였다. 수질/수생태 취약성 순위는 수량 취약성 순위에 비하여 가중치 적용 방법에 따른 차이를 보이는 지역이 많았으며, 대부분 수도권 지역에서 나타났다. 주관적 가중치 적용 시 서울을 제외한 수도권 지역의 취약성이 높았으나, 객관적 가중치를 적용한 경우에는 서울을 포함한 수도권 지역에서의 취약성이 높게 나타나는 등 일부 지역에서 가중치 적용 방법에 따른 상반되는 결과를 보여 차이가 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 수도권 및 강원 중부 등 취약성이 높게 나타난 지역의

대부분이 연속 무강수일수 최대값과 기온이 높아 수질 및 수생태계 악화를 유발하였을 것으로 예상된다. 또한 오염물질 부하량이 비교적 높았으며, 하수도 보급률이 낮은 것으로 나타났다. 충청북도 및 강원 동부 등의 산림 면적률이 높거나 하천수 이용률이 낮고 상수도 보급률이 높은 지역에서 취약성이 낮은 것으로 나타났다.

[0052] 도 5 및 도 6은 전체 유역 내 세부 유역의 취약성지수 비교에 관한 비교도이다.

[0053] 도 5는 수량 취약성 결과로 가중치 적용 방법에 따른 세부 유역별 지수값의 차이가 거의 없었으며, 특히 한강유역(W4)에서의 노출 지수가 가장 크게 나타났다. 각 세부 유역에 따라 가중치 적용 방법에 따른 차이를 보였으나, 수량 취약성 순위는 모두 북한강유역(W2)이 높고 한강유역(W4)이 낮은 것으로 나타났다. 도 6은 수질/수생태에서는 세부 유역에 따라 다른 결과를 보였다. 각 세부 유역의 수질/수생태 취약성 순위의 경우 주관적 가중치 적용 시 북한강유역(W2)이 가장 높았으며, 객관적 가중치 적용 시에는 한강유역(W4)의 취약성이 가장 높게 나타나는 차이를 보였다

[0054] 전체 대상유역을 강의 흐름에 따라 4개 세부유역(임진강, 북한강, 남한강, 한강)으로 나누어 확인한 결과이다. 수량 부문에서는 가중치 적용 방법에 따른 세부유역별 지수값의 차이가 거의 없었으며, 특히 한강유역(W4)에서의 노출 지수가 가장 크게 나타났다. 주관적 가중치 적용 시에는 전반적으로 노출과 민감도 지수가 높게 나타났으며, 객관적 가중치 적용 시 노출 지수가 높은 값을 보였다. 각 세부유역에 따라 가중치 적용 방법에 따른 차이를 보였으나, 수량 취약성 순위는 모두 북한강유역(W2)이 높고 한강유역(W4)이 낮은 것으로 나타났다. 수질/수생태에서는 세부유역에 따라 다른 결과를 보였다. 대부분의 경우 적응능력 지수가 높게 나타났으나, 한강유역(W4)에서는 다른 유역에 비하여 노출 지수가 높고 민감도 및 적응능력 지수가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 또한, 한강유역(W4)을 제외한 유역에서는 객관적 가중치 적용 시 노출과 민감도 지수값이 낮게 나타났다. 각 세부 유역의 수질/수생태 취약성 순위의 경우 주관적 가중치 적용 시 북한강유역(W2)이 가장 높았으며, 객관적 가중치 적용 시에는 한강유역(W4)의 취약성이 가장 높게 나타나는 차이를 보였다.

[0055] 마지막으로 가중치 적용 방법에 따른 취약성 상관관계 분석이 필요하다.

[0056] 본 명세서에서는 가중치 적용 방법에 따른 수자원 취약성 결과의 상관성 분석을 위하여 스피어만 상관계수 분석을 실시하였다. 수량 취약성의 경우 지수 값과 분포가 비교적 유사하게 나타났으며, 순위상관 분석 값은 0.80으로 산정되어 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 그러나, 수질/수생태 취약성의 경우에는 수량에 비하여 상대적으로 상관관계가 낮았으며, 0.51로 산정되었다. 이는 수질/수생태 지표에 엔트로피를 적용한 경우 민감도 지수에 많은 가중치를 부여하게 되었으며, 값의 차이가 큰 지표들이 노출과 민감도 분류에 포함되어 있어 상관성이 낮게 나타났다. 또한, 가중치 적용 방법에 따른 차이가 수량 지표들에 비하여 크게 나타났으며, 지표의 역절반가량의 가중치 값이 비교적 큰 차이를 보여 상관성이 낮아지는 결과를 보인 것으로 판단된다.

[0058] 본 명세서에서는 유역 수자원 관리를 위하여 단위유역 규모에서 수량 및 수질/수생태 취약성으로 분류하여 각각의 통합 취약성을 평가하고자 하였다. 지표들을 통합하기 위하여 다기준 의사결정기법 중 TOPSIS를 활용하여 유역별 취약성 평가를 실시하고, 우선순위를 비교·분석하였다. 평가 지표에 대한 가중치는 전문가 설문조사를 통하여 산정된 주관적 가중치와 수집된 자료를 기반으로 하여 엔트로피 개념을 적용한 객관적 가중치로 구분하여 적용하였다.

[0059] 취약성 평가 결과, 수량 부문이 취약한 유역들은 대부분 생·공·농업용수 사용량이 많고 상수도 누수율이 높았다. 그러나 유효강수량이 많고 상수도 보급률이 높은 지역에서는 취약성이 낮게 나타났다. 취약성 순위는 가중치에 따라 일부 유역에서 차이를 보였으나, 상관성 분석을 실시한 결과 0.80으로 산정되어 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한, 수질/수생태 취약성이 높은 대부분의 지역은 연속 무강수일수 최대값과 기온이 높았으며, 강원 동부 등의 비교적 오염물질 부하량과 하천수 이용률이 낮고 산림면적률과 상수도 보급률이 높았던 지역에서 취약성이 낮았다. 가중치 적용에 따른 취약성 순위는 수량 취약성에 비하여 차이가 비교적 크게 나타났으며, 주로 수도권에서 차이를 보였다. 이에 따라 상관성이 0.51로 산정되었으며, 수량 취약성에 비하여 상대적으로 낮게 나타났다.

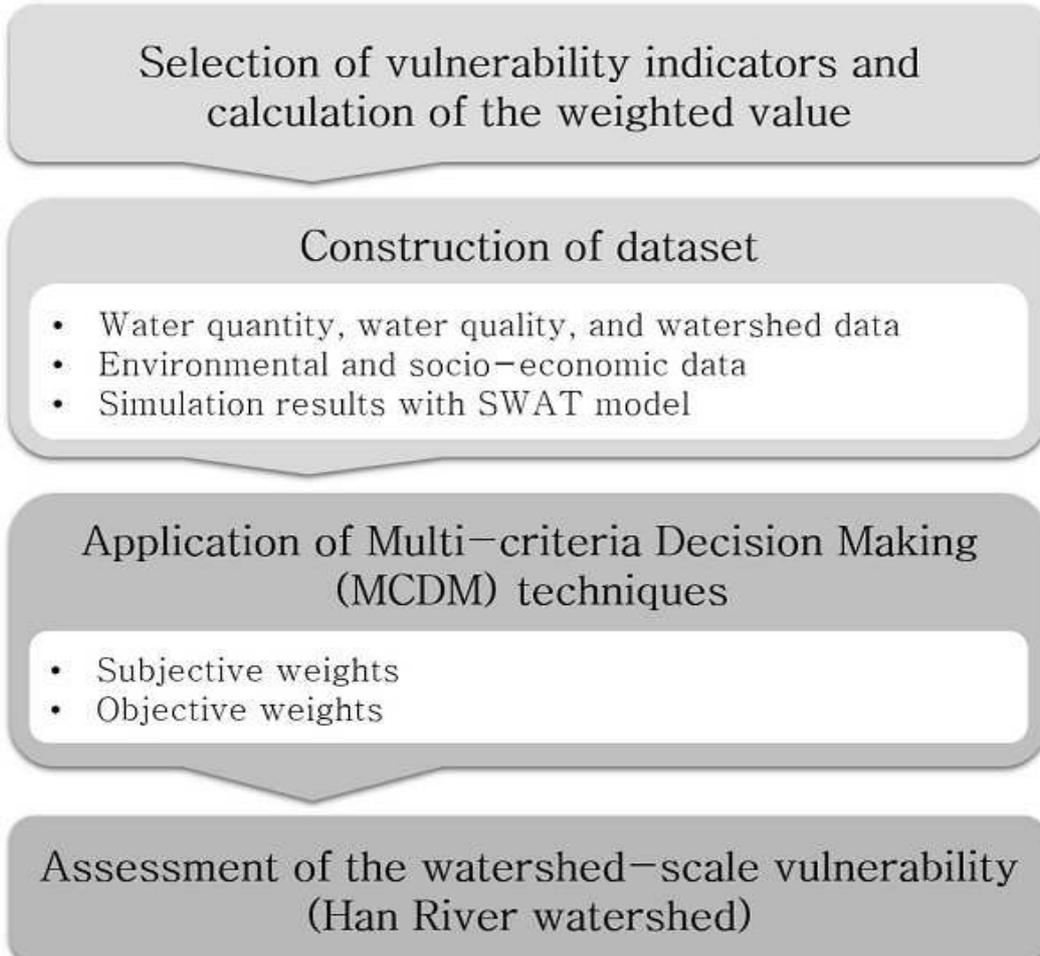
[0060] 본 명세서에서는 가중치 산정 방법에 따른 수량 및 수질/수생태 취약성을 각각 평가하였으며, 취약성 분포 및 우선순위를 확인할 수 있었다. 따라서 향후 다양한 가중치 산정 방법에 대한 비교 연구를 통하여 보다 신뢰도 높은 취약성 평가 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상되며, 이를 통한 유역규모에서의 수자원 계획 수립 및 대책 마련에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

[0061] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하

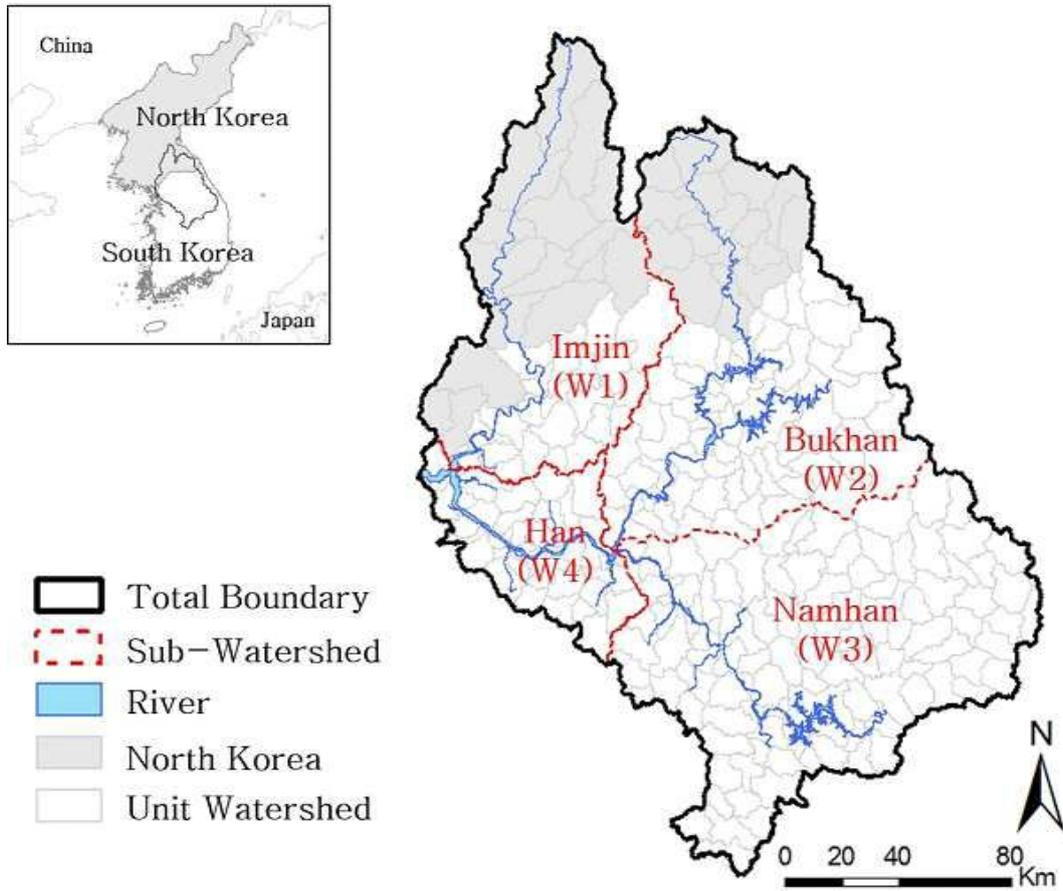
는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**도면**

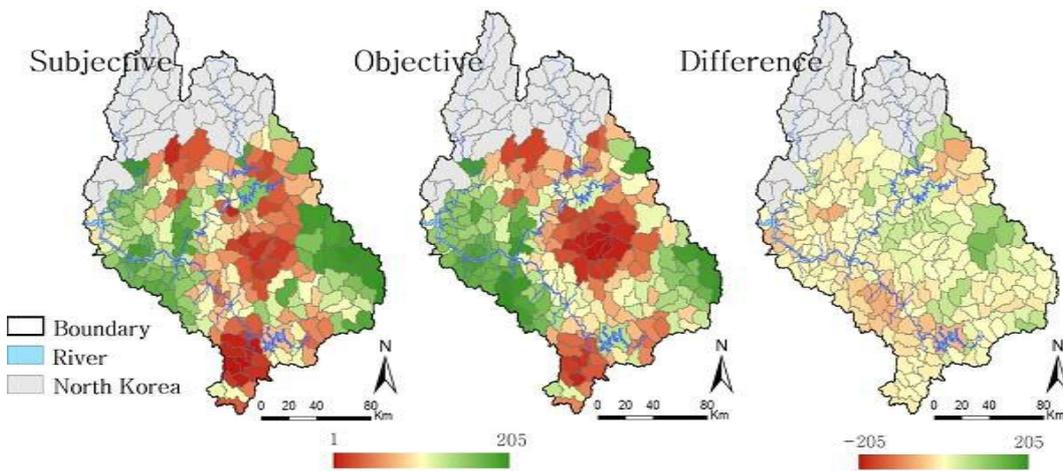
**도면1**



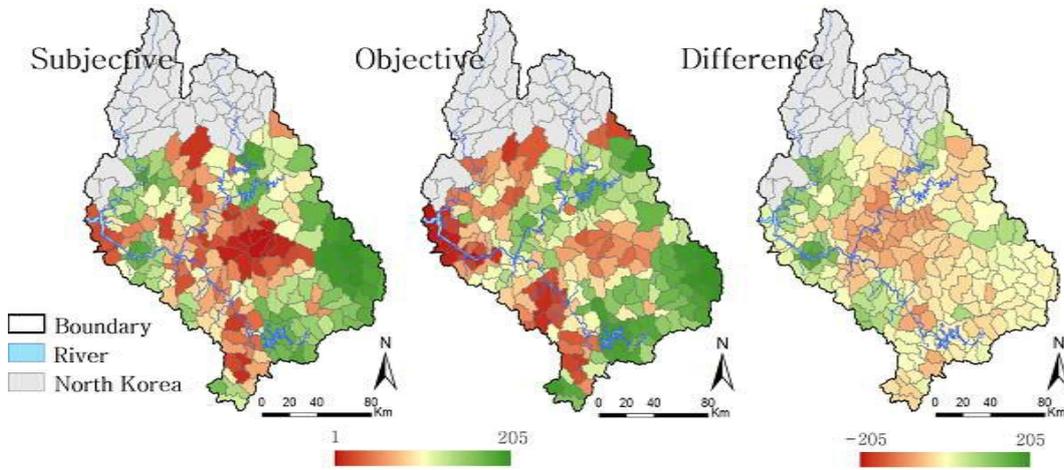
도면2



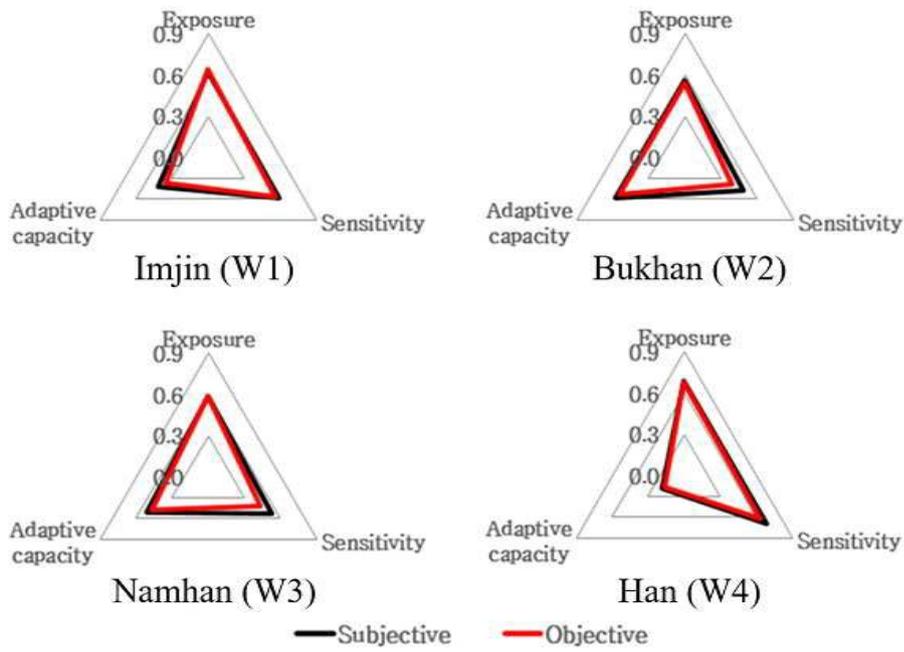
도면3



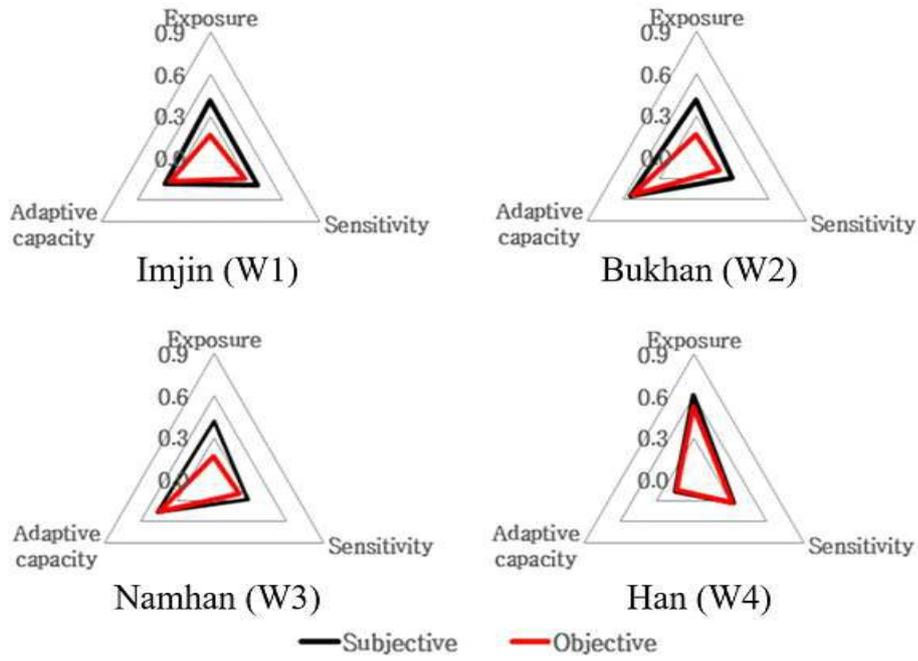
도면4



도면5



도면6



도면7

Criteria	Indicator		Description of Indicator	Reference	Period	
Exposure	Climate	A1	Effective precipitation (mm)	Amount of precipitation that is actually added and stored in the soil	SWAT	2005-2014
	Watershed environment	A2	Cropland (%)	Ratio of land on which crops are grown	ME	2008
		A3	Impervious surfaces (%)	Ratio of urbanization area, including impermeable layer		
Sensitivity	Society	A4	Total population (person)	Total number of persons inhabiting an area	WAMIS	2011
		A5	Population density (person/km <sup>2</sup> )	A measurement of population per unit area		
	Water supply	A6	Water leakage ratio (%)	Ratio of the amount of water loss from the water supply system	ME	2013
		A7	Moderate water use (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Ratio of runoff (can be used continuously) and usage	WAMIS, SWAT	2013, 2005-2014
		A8	Groundwater levels (m)	Depth to the water table from the surface	MDLIT	2013
	Water use	A9	Residential water use (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Total amount of water used to water/non-water supply areas and groundwater	WAMIS	2011
		A10	Industrial water use (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Total amount of water used to manufacturing and industry		
		A11	Agricultural water use (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Total amount of water used to grow fresh produce and sustain livestock		
	Adaptive capacity	Water supply	A12	Waterworks distribution rate (%)	Ratio of population receiving waterworks supply	ME
A13			Water reuse (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Amount of water reuse that treated wastewater for beneficial purposes	ME	2013
Economy		A14	Fiscal self-reliance ratio (%)	Ratio of the local government's own revenue to its total revenue expenditure	MDI	2015
		A15	GRDP (10 <sup>6</sup> won)	Gross regional domestic product	KOSIS	2013
Governance		A16	Number of official for water management (person/km <sup>2</sup> )	Number of official for water management (Waterworks and Sewerage)	ME	2013

KMA : Korea Meteorological Administration, ME : Ministry of Environment, WAMIS : Water Management Information System, MDLIT : Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MDI : Ministry of the Interior, KOSIS : Korean Statistical Information Service, SWAT : SWAT modeling result

도면8

Criteria		Indicator		Description of indicator	Reference	Period
Exposure	Climate	B1	Consecutive dry days (day)	Maximum number of consecutive days with daily precipitation < 1 mm	KMA	2010-2014
		B2	Heat wave days (day)	Number of days with maximum temperature > 33°C		
	Pollution sources	B3	Nitrogen loading (kg/km <sup>2</sup> /day)	Nitrogen pollutant load	KEI	2009-2011
		B4	Phosphorus loading (kg/km <sup>2</sup> /day)	Phosphorus pollutant load		
		B5	Sediment loading (g/m <sup>2</sup> -yr)	Amount of potential soil loss	KEI, ME	
		B6	BOD loading (kg/km <sup>2</sup> /day)	Biochemical Oxygen Demand	KEI	
Sensitivity	Watershed environment	B7	Forest (%)	Ratio of forest area	ME	2008
	Water supply	B8	Sewerage distribution rate (%)	Ratio of population receiving sewerage system services	ME	2013
		B9	River water use (%)	Ratio of annual water demand and average annual runoff	MOLIT, SWAT	2011, 2005-2014
Adaptive capacity	Water supply	B10	Waterworks distribution rate (%)	Ratio of population receiving waterworks supply	ME	2013
	Economy	B11	Fiscal self-reliance ratio (%)	Ratio of the local government's own revenue to its total revenue expenditure	MCI	2015
		B12	GRDP (10 <sup>8</sup> won)	Gross regional domestic product	KOSIS	2013
	Governance	B13	Number of official for water management (person/km <sup>2</sup> )	Number of official for water management (Waterworks and Sewerage)	ME	2013

KMA : Korea Meteorological Administration, ME : Ministry of Environment, KEI : Korea Environment Institute, WAMIS : Water Management Information System, MOLIT : Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MCI : Ministry of the Interior, KOSIS : Korean Statistical Information Service, SWAT : SWAT modeling result