

폭염과 가뭄을 위한 기후변화 취약성 평가 데이터베이스 시스템 설계

정은화* · 김철원** · 박중훈***

Design of Climate Change Vulnerability Assessment Database System for Heat wave and Drought

Eun-Hwa Jung* · Chul-Won Kim** · Jong-Hoon Park***

요 약

본 논문에서는 가뭄에 의한 용수, 가뭄에 의한 수질과 폭염에 의한 온열질환에 대한 취약성 평가 항목에 대한 선정 배경을 기술하였고, 선정된 취약성 평가 항목에 대해 취약성 평가 가중치 산정을 수행하였다. 또한 취약성 평가 절차에서는 단계적으로 적용되는 계산 방법과 실제 사례를 함께 서술하였다. 취약성 평가 데이터베이스 구축에 대해 분석하고, 이러한 취약성 평가 절차를 적용한 폭염과 가뭄을 위한 기후변화 취약성 평가 시스템을 설계하였다.

ABSTRACT

In this paper, the assessment items were selected for water by drought, water quality by drought, and thermal diseases by heat wave. We described the selection background for these assessment items, and then we weighted the selected vulnerability assessment items. The vulnerability assessment procedures also describe the calculation methods applied in phases and the actual cases. The vulnerability assessment database was analyzed and a climate change vulnerability assessment system for heat waves and droughts using these vulnerability assessment procedures was designed.

키워드

Drought, Heat Wave, Vulnerability, Assessment, Database
가뭄, 폭염, 취약성, 평가, 데이터베이스

1. 서 론

기후변화의 영향으로 지구는 극한 기후 현상들이 전반적으로 발생하고 있다. 이 같은 극한 현상으로 지구는 이상 현상들이 수시로 발생하고 그간에 체험하지 못했던 상황들을 발생하고, 각각의 환경에서 취약한 분야가 나타나기 시작했다. 이러한 취약한 분야의 변화에 적응하기 위해 각국에서는 분야

별 변화에 따른 적응에 관한 연구를 수행하며 과학적 적응방법으로 접근하기 위해 다양한 시스템이 개발되고 있다.

우리나라는 기후변화에 따른 적응을 위해 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 제 38조 2항에 따른 관계 중앙행정기관의 장 및 광역·기초 지자체장은 기후변화 적응대책 세부시행계획을 5년 단위로 수립·시행해야 하고 제1, 2차 광역지자체(2011년, 2016년), 제1차 기초지자체(2015년)

* 한국환경정책평가 연구원(ehjung@kei.re.kr)

** 호남대학교 컴퓨터공학과(cwkim@honam.ac.kr)

*** 교신저자 : 중부대학교 게임소프트웨어학과

• 접수일 : 2018. 05. 17

• 수정완료일 : 2018. 07. 01

• 게재확정일 : 2018. 08. 15

• Received : May. 17, 2018, Revised : Jul. 01, 2018, Accepted : Aug. 15, 2018

• Corresponding Author : Jong-Hoon Park

Dept. of Game Software, Joongbu University,

Email : jhpark@joongbu.ac.kr

적응 대책 세부시행계획을 수립하기 위해 과학적 근거 기반 마련을 위해 기후변화 취약성 평가 지원도구를 필요로 하고 있다.

이에 따라 광역 및 기초지자체 기후변화 적응 대책 수립을 위해 국립공원 생태계 취약성 시범평가(2015, 국립공원연구원), 인천지역 기후변화에 따른 미세먼지의 건강 취약성 평가(2017, 인천보건환경연구원) 등 다수의 기후변화 적응 기초연구에서 기후변화 취약성 평가 지원도구를 활용하였고 각 연구기관에서도 기후변화 적응에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이렇게 취약성평가 지원도구의 사용자가 증가하고 다변화됨에도 신규 취약성 평가항목 개발 시 취약성을 구성하는 각 요소에 대한 표준화된 기준이 없다는 문제가 존재하고, 취약성 평가 항목에 대해서 체계적이고 과학적인 정확한 기준으로 정부와 지방자치단체의 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립의 원활한 지원을 위해 필요 지표의 개발과 취약성 평가 데이터베이스 구축 서비스가 요구된다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 연구를 하였다. 2장에서 기후변화 취약성 평가 원리를 분석하였고, 폭염과 가뭄을 위한 취약성 항목 선정 배경을 설명하고, 선정항목에 대해 취약성 평가 가중치 산정을 수행하였다. 3장에서는 취약성 평가 절차에 대해 단계적으로 계산되는 실제 사례와 함께 계산 방법을 설명하였다. 4장에서는 폭염과 가뭄을 위한 취약성 평가 데이터베이스 구축절차와 설계에 대해 제안한다.

II. 관련 연구 분석

2.1 기후변화 취약성 평가원리

기후변화 취약성은 시스템이 노출되는 기후변화의 정도(기후노출도, climate exposure), 기후변화에 대해 시스템이 민감한 정도(민감도, sensitivity), 기후변화에 대해 시스템이 적응할 수 있는 정도(적응능력, adaptive capacity)의 세 가지 요소로 구성된 함수로서 계산할 수 있다[1].

$$\text{취약성} = (\alpha \times \text{기후노출도} + \beta \times \text{민감도}) - (\gamma \times \text{적응능력})$$

각각의 지표의 모든 가중치는 전문가 대상의 AHP(Analytic Hierarchy Process)에 기반해 계산된다. AHP는 의사결정 과정에서 널리 쓰이는 기법으로 다양한 상황에 대해 단계별로 분석을 수행함으로써 종합적인 의사결정에 이르는 기법이다[2]. 여기서 계산된 가중치는 $\alpha=0.5$, $\beta=0.25$, $\gamma=0.25$ 로 정의되었다.

기후노출도는 기온, 강수량, 상대습도와 같은 기후요소 혹은 기후요소에 기반한 지수로 구성되고 α 는 기후노출도의 가중치 값이며, 민감도는 시스템이 해당 기후노출도에 얼마나 민감한 지를 나타내며 β 는 민감도의 가중치 값이고, 보통 취약대상의 수, 밀도 등으로 구성되고, 일반적으로 기후변화 영향은 기후노출도와 민감도를 합한 값으로 표현 될 수 있다.

적응능력은 기후변화 영향을 저감할 수 있는 정책적, 기술적 정도를 나타내며 γ 는 적응능력 가중치 값으로 주어지고, 지역 내 총생산, 소방서 인력, 하/폐수종말 처리용량 등으로 구성될 수 있다.

마지막으로 α , β , γ 는 총합은 1이 되어야 하며, 취약성 평가항목에 따라 비중이 달라질 수 있다.

기후노출도, 민감도, 적응능력의 세 요소는 각각을 대표하는 지표로 구성된다. 기후노출도는 폭염을 나타내는 지표로 열파 지속지수, 일 최고기온의 연간 평균 값, 일 최고기온이 섭씨 33도 이상인 날의 횟수 등으로 구성하고, 민감도는 폭염에 취약한 14세 이하 인구, 65세 이상 인구 등으로 구성하고, 적응능력은 정책 혹은 기술적 대비정도를 나타내는 인구당 보건소 인력, 재정자립도, 지역 내 총생산 등으로 구성한다.

2.2 취약성 평가 항목선정

(1) 폭염에 의한 온열질환항목 : 폭염은 기후변화로 인한 기상재해 중에서 가장 많은 피해를 입힐 것으로 예상되며, 실제 여름철 폭염으로 인한 인명피해는 전 세계 뿐 만 아니라 우리나라에도 큰 이슈가 되고 있는 실정이며, 기상자료개방포털에서는 전국 평균 폭염 일수 통계를 제공 하고 있으며, 1973년~2017년 사이 폭염일수의 20위까지 순위를 보면, 2000년대가 10개가 포함되어있을 만큼, 최근 폭염일수는 증가하고 있으며, 이에 대한 대응이 시급하고, 10위권 내에서는 2위(2016년), 3위(2013년), 9위(2012년), 10위(2017년)가 2010년대 이므로 폭염은 갈수록 심각해질 것으로 전망하고 있다[3,4].

(2) 가뭄에 의한 용수 및 수질 항목 : 가뭄의 특징은 매우 느리게 발전되며, 장기적이고 광범위한 것이 특징이며 최근에는 기후변화로 인하여 강수량이 점차 줄어들고 일부 기간에 집중적으로 내리는 경향이 있다. 김병식(2013)은 RCP(Representative Concentration Pathways ; 대표농도경로) 기후변화시나리오를 이용한 미래 가뭄전망을 분석하고 미래 기후변화 자료의 연(yearly) 변동성을 조사한 결과, 미래로 갈수록 강수량과 증발산량이 모두 증가하고 있는 경향을 보여 심각성을 드러내고 있다[5].

2.3 취약성 평가 지표 선정

(1) 폭염에 의한 온열질환 취약성 지표

- 기후노출도: 열지수 32이상인 날 수
- 민감도 : 인구, 심혈관질환 인구비율
- 적응능력 : GRDP, 인구당 의료기관수, 인구당 응급 의료기관수, 인구당 소방서 인력

(2) 가뭄에 의한 용수 취약성 지표

- 기후노출도 : 연간 3개월 SPI -1 이하인 날수, 연간 3개월 EDDI -1 이하인 날수, 4-5월 간 3개월 SPI -1 이하인 날수, 4-5월간 3개월 EDDI -1 이하인 날수
- 민감도 : 총용수 사용량, 농업용수 사용량, 공업용수 사용량, 생활용수 사용량
- 적응능력 : GRDP, 용수 공급용 저수지 최대용량, 수리답 비율, 관개전 비율, 상수원 최대 저수량, 상수도 보급률, 비상급수 보유량

(3) 가뭄에 의한 수질 취약성 지표

- 기후노출도 : 연간 3개월 SPI -1 이하인 날수, 연간 3개월 EDDI -1 이하인 날수
- 민감도 : 오염부하량
- 적응능력 : GRDP, 비점오염저감시설 처리용량, 하수종말처리시설 처리용량, 폐수종말처리시설 처리용량, 유량, 유속

2.4 취약성 평가 항목별 가중치 산정

취약성 평가항목 별 지표간 가중치 산정을 위해 의사결정계층인 AHP(Analytic Hierachy Process) 분석 방법으로 폭염에 의한 온열질환 취약성, 가뭄에 의한 용수 취약성, 가뭄에 의한 수질 취약성에 대한 평가 항목 및 지표를 선정하고 평가지표 별 가중치 산

정을 위해 분야별(온열질환 분야, 용수·수질 분야) 전문가 10명을 대상으로 AHP 설문문을 수행하였다.

III. 취약성 평가 절차

서울특별시 송파구를 기준으로 AHP 설문결과를 이용하여 폭염에 의한 온열질환 취약성(일반) 평가 수행되는 과정을 설명한다.

3.1 평가하고자 하는 평가항목 및 지표

폭염에 의한 온열질환 취약성(일반) 평가항목에 대한 지표는 다음과 같다. 지표의 원시데이터 기후노출도는 열지수 32 이상인 날 수, 가중치 1.00이고, 민감도는 인구이고, 가중치 1.00이며, 적응능력에서 세부 지표의 종류는 GRDP(Gross Regional Domestic Product)(가중치 0.14), 인구당 의료기관 수(가중치 0.24), 인구당 응급의료기관 수(가중치 0.39), 인구당 소방서 인력(가중치 0.23)으로 폭염에 의한 온열질환 취약성 평가 지표로 개발되었다.

3.2 지표별 원시 데이터 검색

항목에 대한 지표는 기후노출도, 민감도, 적응능력으로 구분되며 해당 지역의 원시 데이터는 원시데이터 데이터베이스로부터 가져온다. 기후노출도 지표 데이터(서울특별시 구별 열지수 32 이상인 날)에서 송파구 값은 39.47, 서울특별시 구별 민감도 인구 지표 원시 데이터에서 송파구 값은 634941명, 서울특별시 구별 적응능력 부문도 지표 원시 데이터에서 송파구의 값은 인구당 소방서인력 142.11, 인구당 의료기관수 48.17, 인구당 응급의료기관수 0.74, GRDP 17,663,808.97원으로 검색되었으며, 취약성 평가 계산을 위해 각각의 지표들은 표준화에 의해 재가공 되어야 한다.

3.3 지표별 원시 데이터 표준화 및 취약성 종합 지수 계산

취약성 지표 계산을 위해서는 표준화 작업을 수행해야 하며, 원시 데이터로 표준화 수행은 (실제값-최소값)/(최대값-최소값)으로 표준화 값을 구할 수 있다. 여기서 표준화를 수행하는 가장 큰 원인은 지표 값들의 단위가 동일하지 않기 때문에 취약성 평가를 위해

서는 각 지표들의 단위를 0 ~ 1 사이의 값으로 만들고 1이상이 되지 않아야 하는 수행과정을 표준화라 한다.

식에서 표현된 속성은 아래와 같다.

- 최대값 : 해당 지역 전체 지역 중 원시 데이터가 값이 가장 큰 수
- 최소값 : 해당 지역 전체 지역 중 원시 데이터가 값이 가장 작은 수
- 실제값 : 해당 지역의 원시 데이터 값

표준화 값으로 취약성 평가 대푯값을 구할 수 있으며 취약성 평가 대푯값은 취약성 = $(\alpha \times \text{기후노출도} + \beta \times \text{민감도}) - (\gamma \times \text{적응능력})$ 로 구할 수 있다

서울특별시 송파구의 폭염에 의한 온열질환에 의취약성 평가를 원시 데이터 값을 표준화를 수행하고 그 취약성 평가 결과를 서울특별시 송파구를 기준으로 하여 결과 값을 구해 보기로 한다.

(1) 기후노출 부문 지표 표준화

기후노출도 지표 데이터(서울특별시 열지수 32 이상인 날)를 표준화하여 값을 구하는 방법이다. 표준화 식에 적용하면 기후노출 부문 표준화 값은 1 이다.

(2) 민감도 부문 지표 표준화

민감도 지표 데이터(서울특별시 구별 인구)를 표준화하여 값을 구하는 방법이다. 표준화 식에 적용하면 민감도 부문 표준화 값은 1 이다.

(3) 적응능력 부문 4개 지표 표준화 : 인구당 소방서 인력(명) 가중치 0.23, 인구당 의료기관수(개/명) 가중치 0.24, 인구당 응급의료기관 수(개/명) 가중치 0.39 GRDP(원) 가중치 0.14

적응능력 부문 지표 데이터(서울특별시)를 각각의 원시 데이터로 표준화 식에 대입하면 아래와 같은 값이 나타난다.

- 인구당 소방서 인력(명)의 표준화 값 : 0.077
- 인구당 의료기관수(개/명)의 표준화 값 : 0.053
- 인구당 응급의료기관 수(개/명)의 표준화 : 0.017
- GRDP(원)의 표준화 값 : 0.07
- 적응능력 부문의 지표 각각의 표준화 값을 합산하여 표준화 대푯값을 만든다. 적응능력 부문 대표 값 = $0.077 + 0.053 + 0.017 + 0.07 = 0.217$

(4) 마지막으로 폭염에 의한 온열질환 취약성(일반)에 대한 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(1 \times 0.5) + (1 \times 0.25) - (0.217 \times 0.25)/1 = (0.75 - 0.054)/1 = 0.69/1 = 0.69$$

최종 송파구의 취약성 종합지수는 0.69로 구해진다. 위에서 설명한 순서에 의해 서울특별시 각 구별 취약성 종합지수를 구할 수 있다.

IV. 기후변화 취약성 평가 데이터베이스 시스템 설계

4.1 폭염과 가뭄을 위한 취약성 평가 데이터베이스 시스템 구축 절차

정부, 지자체, 공공기관 등의 자료를 수집한 후, 지표별 활용 가능한 구축대상을 선정하고 일반통계의 경우 주제별, 항목별, 입력방법별 자료를 분류 및 입력하고, 원본자료와 비교하여 시, 군, 구 단위의 자료로 구축하였다. 공간정보의 경우 좌표체계, 자료형태, 축적 등을 표준화 및 원본자료와 비교검수 한 후, 통계청 행정구역도별로 추출하여 구축하였다. 시도, 시군구단위로 작성되어 있는 자료를 표현하기 위해 지표 DB 구축 항목을 행정구역 경계, 시군구 면적과 인구 비율로 산정하였고 전체 구축절차는 그림 1과 같다[6,7].

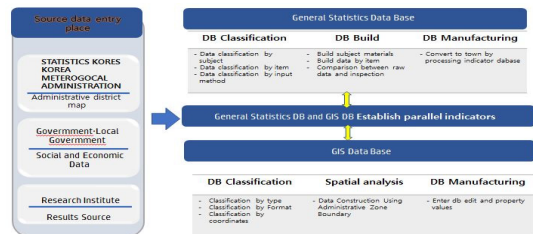


그림 1. 취약성 평가 데이터베이스 구축 절차
Fig. 1 Construction process of vulnerability assessment database

4.2 폭염과 가뭄을 위한 기후변화 취약성 평가 데이터베이스 시스템 설계

전체 취약성 평가 데이터베이스 시스템 개념도는 그림 2와 같으며, 여기서 가뭄과 폭염 데이터베이스 구성데이터블은 광역지자체 지표데이터, 광역지자체 시나리오 데이터, 광역지자체 취약성 평가데이터 분야로 분류하여 설계하였다. 데이터 테이블 별 관계를 분야별 특성에 따라 작성한 ERD는 그림 3과 같다[8-11].

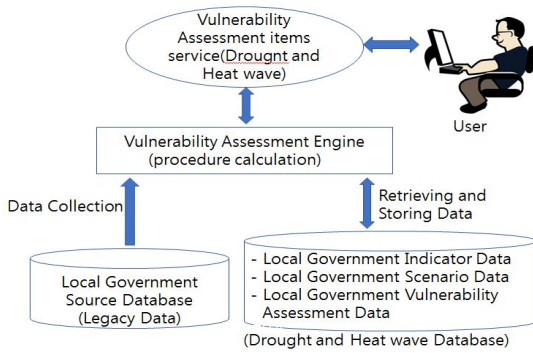


그림 2. 취약성 평가 DB 시스템 개념도

Fig. 2 Concept diagram of vulnerability assessment DB system

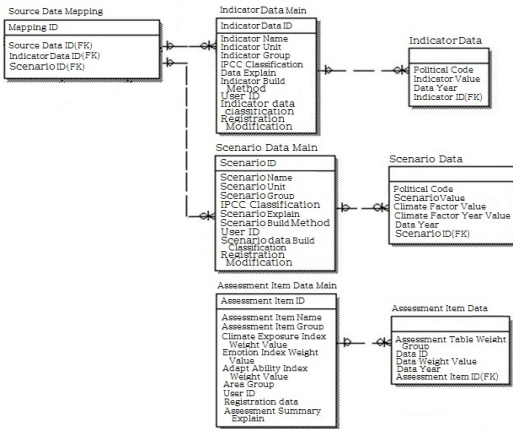


그림 3 전체 DB 시스템 설계도

Fig. 3 Design diagram of total database system

(1) 전체 DB 시스템 설계 : 지표 데이터, 시나리오 데이터, 평가 항목 데이터 분야로 구분하여 설계하였고 각 분야는 해당 데이터의 메타 데이터로 구성된 메인테이블과 실제 값으로 구성된 데이터 테이블로 구성하여 외래 키를 이용하여 각 메인테이블과 데이터 테이블로 연결하고 지표 데이터의 메인테이블은 지표명, 지표단위, 지표그룹으로 분류하고, 시나리오 데이터의 메인테이블은 시나리오 명, 시나리오 단위, 시나리오 그룹 구성 하였다. 평가 항목 데이터의 메인테이블은 평가 항목 명, 평가 항목 그룹, 지표 ID, 데이터 ID, 평가 항목 ID, 시나리오 ID로 구성하였다.

또한 지표 데이터와 시나리오 데이터는 광역지자체에서 보유한 원시자료를 활용하여야 하므로 원시자료 데이터와 지표 데이터 및 시나리오 데이터와 매핑이 되도록 테이블을 구성하였다.

(2) 지표 데이터 테이블 구성요소 : 취약성 항목 생성 및 취약성 평가, 취약성 지표 생성 기능에 필요한 DB로 지표 ID, 지표명, 지표단위, 지표그룹, IPCC 분류, 지표자료 설명, 지표구축 및 가공방법, 사용자 ID, 지표데이터 구축 분류, 등록 및 수정 일자의 범위로 지표 데이터 테이블을 구성하였다.

(3) 시나리오 데이터 테이블 구성요소 : 광역지자체 단위의 시나리오 DB 조회 기능에 필요한 시나리오 ID, 시나리오 명, 시나리오 단위, 시나리오 그룹, IPCC 분류, 시나리오 데이터 설명, 시나리오 구축 및 가공방법, 사용자 ID, 시나리오 데이터 구축 분류, 등록/수정 일자의 범위로 시나리오 데이터 테이블을 구성하였다.

(4) 평가 항목 데이터 테이블 : 가뭄과 폭염의 취약성 평가에 필요한 평가 항목 ID, 평가항목 명, 평가 항목그룹, 기후노출지수 가중치 값, 민감도 지수 가중치 값, 적응능력 지수 가중치 값, 항목 분야 그룹, 사용자 ID, 데이터 등록, 데이터 수정 일자, 평가 항목 요약 설명의 범위로 테이블을 구성하였다.

V. 결론

본 논문을 요약하면 기후변화 취약성 평가 원리를 분석하였고, 폭염과 가뭄을 위한 취약성 항목 선정 배경을 설명하고, 선정항목에 대해 취약성 평가 가중치 산정을 수행하였고, 취약성 평가 절차에 대해 단계적으로 계산되는 실제 사례와 함께 계산 방법을 기술하였다.

위 내용을 중심으로 폭염과 가뭄을 위한 취약성 평가 데이터베이스 구축절차와 취약성 평가 데이터베이스 시스템을 설계 하였다. 본 논문에서 제시한 취약성 평가의 원리, 항목 선정 그리고 단계적과 가중치 산정의 방법은 기후변화 취약성 적응대책 세부시행 계획을 수행하는 공무원, 관련 연구자, 일반인들이 기후변화 취약성 평가 관련된 일을 수행함에 있어 많은 참고가 될 것이며, 취약성평가 데이터베이스는 기후변화

취약성 평가 수행 시 과학적 근거로 활용하고 지자체 등 기후변화적응 정책 수립을 위한 의사결정을 지원 하는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

References

- [1] IPCC, "Climate change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability," *Fourth Assessment Report*, Cambridge University Press. Cambridge, UK. 2007.
- [2] T. L. Saaty, *The analytic hierarchy process. Planning. Priority setting, resource allocation.* New York: McGraw-Hill, 1980.
- [3] B. Kim, J. Sung, B. Lee, and D. Kim, "A Study on the Future Drought of South Korea for the use Standardized Precipitation Evapotranspiration and Representative Concentration Pathways," *J. of KOSHAM*, vol. 13. no. 2, 2013, pp. 97-109.
- [4] Weather data release portal <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>
- [5] N. B. Guttman, "Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm," *J. of American Water Resources Association*, vol. 35, no. 2, 1999, pp. 311-322.
- [6] S. Cho, "A Curriculum to Improve the Lecture of Database SQL," *J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 9, Sept. 2014, pp. 1005-1010.
- [7] C. Kim, "A Range Query Method using Index in Large-scale Database Systems," *J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, Sept. 2012, pp. 1095-1101.
- [8] K. Kim, K. Kang, K. Han, S. Jang, and C. Yun, "The Development of Smart TV and Smart Home Platform based on HTML5," *J. of the Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 9, Sept. 2014, pp. 994-997.
- [9] K. An, T. Lee, K. Kim, and M. Hong, "A Study on the Improvement Scheme of

Real-time Booking System which is Based on the HTML5 WebSocket," *J. of The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 2013, no. 6, 2013, pp. 92-93.

저자 소개

정은화(En-Hwa Jung)



1989년 광운대학교 전자계산기공학과 졸업(공학사)

1993년 광운대학교 산업정보대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2017년 중부대학교 대학원 정보과학과 박사과정 수료

1993년 ~ 현재 한국환경정책·평가연구원 재직

※ 관심분야 : 기후변화취약성 평가시스템, 기후변화 취약성 모델링

김철원(Chul-Won Kim)



1997년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)

1988년~현재 호남대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : XML 응용, 멀티미디어 정보검색, 멀티미디어 정보처리 및 응용 멀티미디어 정보통신

박종훈(Jong-Hoon Park)



1987년 광운대학교 전자계산기공학과 졸업(공학사)

1989년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

1995년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1999년-현재 중부대학교 게임소프트웨어학과 교수

※ 관심분야 : XML 웹서비스, 시맨틱 웹, 멀티미디어 정보검색