

## Fuzzy set을 이용한 실시간 지점단위 농경지 침수위험 지수 산정

은상규 · 김태곤 · 이지민\* · 장민원\*\* · 서교\*\*\*

서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 · \*서울대학교 농업생명과학연구원

\*\*경상대학교 농업생명과학대학 지역환경기반공학과, 경상대학교 농업생명과학연구원

\*\*\*서울대학교 조경·지역시스템공학부, 서울대학교 농업생명과학연구원, 그린바이오과학기술연구원

## Estimating Real-time Inundation Vulnerability Index at Point-unit Farmland Scale using Fuzzy set

Eun, Sangkyu · Kim, Taegon · Lee, Jimin\* · Jang, Min-Won\*\* · Suh, Kyo\*\*\*

*Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University*

*\*Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University*

*\*\*Institute for Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University*

*\*\*\*Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University, Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, and Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University*

**ABSTRACT** : Smartphones change the picture of data and information sharing and make it possible to share various real-time flooding data and information. The vulnerability indicators of farmland inundation is needed to calculate the risk of farmland flood based on changeable hydro-meteorological data over time with morphologic characteristics of flood-damaged areas. To find related variables show the vulnerability of farmland inundation using the binary-logit model and correlation analysis and to provide vulnerability indicators were estimated by fuzzy set method. The outputs of vulnerability indicators were compared with the results of Monte Carlo simulation (MCS) for verification. From the result vulnerability indicators are applicable to mobile\_based information system of farmland inundation.

**Key words** : farmland inundation, point-unit data, real-time data, vulnerability indicator

### 1. 서 론

침수위험은 고도, 지형, 위치특성과 같은 고정적인 요인에 의한 영향뿐만 아니라 연속강우일수, 강우강도, 강수량 등과 같이 시간적으로 변화하는 인자의 영향을 받기 때문에 ICT(Information and Communication Technology) 기반의 실시간 정보제공의 필요성이 매우 크다(Sung, 2011; Kim et al., 2013; Kim et al., 2012). 특히 최근 국지성 호우, 태풍, 집중강우 등 기후변화에 따른 이

상기후 발생빈도가 증가하면서(Park et al., 2010), 이에 따른 농경지 침수피해가 증가하고 있어 이에 대한 대응으로 보급이 증가하고 있는 스마트폰을 이용한 실시간 정보제공 방안이 제시되고 있다(Lee and Kim, 2012).

일반적으로 이러한 침수위험 산정을 위해서는 유역단위 자료를 기반으로 한 모델을 이용한다(황유정, 2006). 유역단위 모델들의 경우 유역의 과거 홍수사상을 기반으로 유출수문곡선을 도출하고(Bhaskar et al., 2000), 상승부경사, 강수량, 홍수반응시간 등을 이용하여 침수위험 정도를 결정하는 방법으로, 유역단위의 장기간 자료를 바탕으로 기상 및 수문 조건을 반영한 위험성 분석에 용이하지만 농경지 침수피해와 같이 지점단위에서 발생하

Corresponding author : Suh, Kyo

Tel : 02-880-4715

E-mail : kyosuh@snu.ac.kr

는 침수위험을 평가하기에는 한계가 존재한다(Jo et al., 2013). 이러한 유역단위 모델의 한계를 극복하기 위해서 고도, 경사, 하천과의 거리 등 지점의 정보를 기반으로 침수위험을 산정하기 위한 대안이 제시되었다(Kim et al., 2013; Song et al., 2013).

하지만 지점단위 위험성 평가는 다양한 실시간 기상 및 수문 정보를 반영하지 못하기 때문에 스마트폰을 기반으로 하는 실시간 위험 정보 서비스에 적용하는데 한계가 있다. 따라서 지점단위 정보와 함께 실시간 기상 및 지리적 수문 정보를 통하여 사용자 위치나 관심지점의 농경지 침수위험성을 정량화하여 제공할 수 있는 방법이 요구된다. 이를 위해서는 모바일 기기의 특성을 활용하여 실시간으로 변화하는 사용자 위치기반의 농경지 침수위험 정보를 효과적으로 제공할 수 있는 시스템이 요구되며, 침수위험성을 설명하는 다양한 실시간 정보와 침수와 상관성 분석을 통해 침수에 영향을 미치는 유효인자를 발굴하여 시간에 따라 변화하는 인자에 의한 침수위험을 정량화하여 산정할 수 있는 모형이 필요하다(Lee et al., 2009; Lee et al., 2012).

본 연구에서는 실시간 지점단위 기상 및 수문 정보로부터 이항 로짓분석과 상관성 분석을 통하여 농경지 침수위험 변수를 추출하고, 퍼지집합 기법을 이용하여 농경지 침수위험지표를 산정하였다. 퍼지 이론은 경계가 모호한 문제를 다루는 대표적인 방법으로, 퍼지 집합과 퍼지 신뢰성 해석기법을 이용하여 파괴 위험도를 지표로 정량화한 연구가 있으며(Yi and Lisnianski, 2008; Kaya and Kahraman, 2010), 실시간 인자의 특징을 모델에 효과적으로 반영할 수 있는 것으로 알려져 있다(Mon and Cheng, 1994). 또한 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation, MCS)을 이용하여 도출한 위험지표와 모형에서 얻은 위험지표를 비교를 이용하여 모형의 검증을 실시하였으며, 퍼지 신뢰성해석 방법을 이용하여 산출한 실시간 침수위험 지수를 기존의 실제 농경지 침수피해 사례와 비교함으로써 농경지 침수위험 지수 산출 모형의 방향을 제시하였다.

## II. 자료 및 방법

### 1. 자료 및 분석모형

농경지 침수위험 인자는 침수 발생에 직·간접적인 관계가 있는 변수이며, 시간과 위치에 의해 크기가 변하는 특징이 있다. 시간 및 위치의 영향을 받는지 여부를 토대로 변수를 분류하였으며, 시간과 위치 차이에 의해 크

기가 변하는 인자를 변동변수, 위치 변화에만 영향을 받는 인자를 고정변수로 구분하였다. 본 연구의 목적은 고정변수의 침수위험 지표에서 고려하지 못한 변동변수의 위험지표를 산정하고 고정변수와 변동변수를 통합할 수 있는 모형을 모색하는 것이다. 이에 변동변수에 대한 자료를 중심으로 분석을 하였으며, 분석 자료는 국토교통부에서 제공하는 WAMIS(<http://www.wamis.go.kr/>)로부터 구득한 것으로써 기간이 1992년부터 2011년도까지인 시군에 속한 면 지역 중 침수가 일어난 28개 지역을 대상으로 20년 간 모니터링 자료를 이용하였다. 사용한 자료의 단위는 강수량, 댐 상류 강수량은 시간당 관측한 값을 이용한 일 변화량, 댐 저수위는 댐 크기를 고려한 수위의 시간당 관측한 값을 이용한 일 변화량, 하천수위는 하천의 높이를 고려한 수위의 시간당 관측한 값을 이용한 일 변화량, 강우강도는 시간당 관측된 값이다.

모바일 기기를 기반으로 하고 있는 농경지 침수정보 시스템의 목적은 전문가뿐만 아니라 일반사용자를 대상으로 정보를 전달하는 것이기 때문에 직관적인 정보를 제공하는 것이 필요하다. 이에 여러 인자들에 의해 발생하는 특정 현상을 수치 등으로 설명함으로써 신속하고 정확한 의사결정이 가능하도록 하는 방법인 지표와 지수를 이용하여 각 변동변수에 관한 침수위험성을 정량화하는 연구가 이루어져 왔다(Matthew and Victoria, 2001; Suh et al., 2003; Ologunorisa, 2004). 본 연구에서는 농경지 침수위험성 지표의 모형을 도입단계, 지표구축 단계, 모형구축 단계, 모형평가 단계로 구성하여 침수위험 지표와 지수를 산정하였다(Figure 1). 도입단계에서는 문헌 조사를 이용하여 농경지 침수관련 인자를 수집하였으며, 이항 로짓분석으로 농경지 침수위험 인자를 도출하였다. 지표구축 단계에서는 변수크기와 그 크기에 따른 농경지 침수 경우의 수인 fuzzy number로 이루어진 fuzzy set을

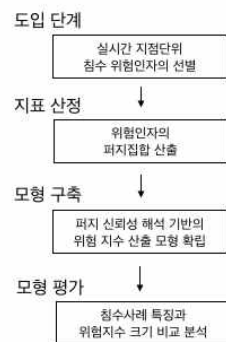


Figure 1. Process of calculating farmland inundation by using fuzzy set

구성하였다. 모형구축 단계에서는 퍼지 신뢰성해석 기법을 토대로 농경지 침수위험 지수 산출 모형을 구성하였으며, 모형에 인자를 적용하여 침수위험성을 정량화 하였다. 모형평가 단계에서는 MCS를 이용하여 산출한 위험지표와 모형을 이용하여 측정된 위험지표의 결과 차이를 토대로 모형의 유효성을 판단하였으며, 실제 침수사례를 토대로 위험 지수를 산출하고, 침수의 발생 조건과 위험 지수를 비교함으로써 모형의 연구방향을 제시하였다.

## 2. 위험인자 분석

농경지 침수위험 인자 분석은 변수와 농경지 침수발생 유무를 이용하여 분석하였으며, 방법은 이항 로짓모형을 사용하였다. 선형회귀식이 가진 기본가정을 충족시키지 못하는 이항 선택항에 대한 취약점을 이항 로짓모형은 보완할 수 있으며,  $x_k$ 는 설명변수,  $\epsilon$ 은 오차항,  $y^*$ 는 잠재변수,  $K$ 는 변수의 수,  $\beta$ 는 추정기로 구성된 식 (1)으로 표현된다.

$$y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \epsilon \quad (1)$$

인자 간에 선형관계인 다중공선성이 있으면 회귀선의 형태가 달라지고 분석의 정확성이 떨어질 수 있다 (Jonston, 1984). 이에 본 연구에서는 상관성 분석을 사용하여 다중공선성을 분석하였으며, 이때 상관성 크기는 0 과 1사이의 실수이고 상관계수 값이 0.8 이상이면 심각한 다중공선성이 있는 것으로 판단하였다(Judge et al., 1982).

## 3. 위험지표

지표는 실시간 지점단위 인자의 위험성을 정량화 한 것으로서, 식 (2)와 같이 fuzzy set에서 변수크기에 따른 사건 발생 경우인 fuzzy number로 정의된다. 이때 특정 변수크기에서 사건이 항상 발생하는 경우를 1, 전혀 발생하지 않는 경우를 0으로 나타내었으며, 식 (2)의  $x$ 는 변수이고,  $\mu_A$ 는 fuzzy number이며 집합  $A$ 에 속한 정도를 나타내는 값이고,  $U$ 는 실수집합이고,  $A$ 는 변수와 fuzzy number로 구성된 퍼지집합이다(Zadeh, 1965; Buckley, 2006).

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\} \quad (2)$$

Fuzzy set의 부분집합인 fuzzy  $\alpha$ -cut set은 식 (3)와 같이 정의되며, fuzzy number 중  $\alpha$ 보다 큰 값으로 재구성된 집합이다.

$$\bar{A}\{\alpha\} = \{x \in U | \bar{A} \geq \alpha\} \quad (3)$$

본 모형에서 fuzzy number는 사건 발생 시 변수  $x_{ij}$ 와 사건 미발생시 변수  $x_{ik}$ 를 이용하여 산출한 값이다. 이러한 fuzzy number인  $P_i$ 는 0에서 1사이의 실수 값이며, 각 변수 크기에서 사건이 발생하였던 비율을 소속함수로 사용하여  $P_i$ 의 크기를 산출하였다(식 (4)).

$$P_i = \frac{\text{count case}(x_{ij})}{\text{count case}(x_{ij}) + \text{count case}(x_{ik})} \quad (4)$$

## 4. MCS를 이용한 모형의 유효성 평가 및 위험지수 산출

본 연구에서 제시하는 모형의 검증을 위해서 제한적인 자료와 모형이 가지는 불확정성에 의한 오차를 찾는 방향으로 MCS를 실시하였다(Kroese and Tainre, 2011). 이때 MCS를 이용하여 도출한 지표와 모형을 이용하여 도출한 지표를 비교하고 두 값의 오차율을 구함으로써 실시간 지점 자료를 이용한 농경지 침수위험지표의 유효성을 평가하였다.

퍼지 신뢰성해석 기법을 토대로 고정변수와 변동변수를 통합한 농경지 침수위험 지수의 산출방안을 모색하였으며, 시스템의 기능이 상실되는 정도를 정량화한 시스템의 파괴지수를 이용하여 농경지 침수위험 지수를 도출하였다. 이는 시스템을 이루고 있는 요소들의 관계를 고려하여 fault tree 구성하고 이를 토대로 위험인자의 지표 값을 종합하여 지수를 산출하는 방법이다(Mon, 1994; Ding, 2008). 다음의 방법은 식 (5)를 이용하여 파괴지수  $R$ 을 구할 수 있으며, 식 (5)에서 오퍼레이터( $\tilde{\Phi}$ )는 변수 관계에 의해 사용하는 방정식이 상이하고, 그 방법은 변수관계가 독립일 경우 Figure 2 (a), 종속인 경우 Figure 2 (b)의 방법을 사용하여 위험지수를 산출한다.

$$R = \tilde{\Phi}(F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (5)$$

# III. 결과 및 고찰

## 1. 침수위험 인자 분석

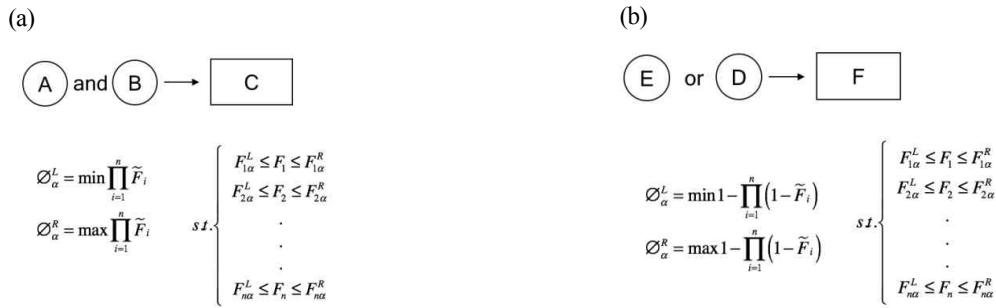


Figure 2. Integrating method of fault tree, (a) case of series, (b) case of parallel

침수위험성을 설명하는 다양한 실시간 정보들 중에서 실질적으로 침수에 영향을 미치는 인자를 선정하기 위해서 이항 로짓분석을 하였다. 다음의 이항 로짓분석에서는 수집이 가능한 강수량, 강우강도, 하천수위, 댐 저수위, 댐 방류량, 댐 상류 강수량을 독립변수로 설정하였으며, 침수발생이 일어난 경우에는 1, 침수발생이 없었던 경우에는 0으로 종속변수로 설정하였다. 그 결과, 댐 방류량은 로짓분석에서 실시하는 Wald의 Chi-square 검증 통계량(Pr)이 0.254로써 귀무가설을 지지하는 영역의 값이기 때문에 농경지 침수위험 인자가 아닌 것으로 나타났다(Table 1). 이에 본 연구에서 사용 변동변수 중 실질적으로 농경지 침수에 영향을 미치는 인자는 강수량, 강우강도, 하천수위, 댐 저수위, 댐 상류 강수량이다.

하지만 로짓 회귀분석에서 다중공선성의 인자가 존재하면 분석의 결과가 왜곡될 수 있다. 이에 상관성 분석을 이용하여 인자들의 다중공선성을 분석하였으며, 그 결과를 토대로 다중공선성이 있는 인자를 제외한 변동변수들을 대상으로 이항 로짓분석을 실시하였다. 상관성 분석의 결과, 강수량과 강우강도는 계수 값이 0.856으로써 다중공선성이 있는 인자이다. 따라서 강수량을 제외한 강우강도, 하천수위, 댐 저수위, 댐 방류량, 댐 상류

강수량을 대상으로 이항 로짓분석을 실시하였으며, 강우강도를 제외한 강수량, 하천수위, 댐 저수위, 댐 방류량, 댐 상류 강수량을 대상으로 이항 로짓분석을 실시하였다. 다중공선성이 있는 인자를 제외하고 이항 로짓분석을 실시한 결과, 댐 방류량은 실질적으로 농경지 침수에 영향을 미치는 인자가 아닌 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 Table 1의 결과를 토대로 도출한 농경지 침수위험 인자인 강수량, 강우강도, 하천수위, 댐 저수위 및 상류 강수량을 대상으로 위험지표와 지수를 산출하였다.

## 2. 침수위험지표

실질적으로 농경지 침수에 영향을 미치는 변동변수의 침수위험 지표를 fuzzy 기법을 이용하여 Table 2와 같은 결과를 산출하였다. Table 2는 각 변수의 fuzzy set을 같이 표현한 표로써 변동변수의 크기 및 fuzzy number로 구성되어 있으며, 변수의 크기는 0과 1사이의 실수로 한정하는 평균화 과정(standardization)을 거친 값이다. 이때의 fuzzy number는 침수의 fuzzy set에서 침수가 일어나는 경우를 1, 침수가 일어나지 않는 경우를 0으로 하는

Table 1. Result of binary logit regression analysis about farmland inundation variables

	Estimate	Std. Error	z value	Pr
Intercept	2.259e+01	2.975e+00	7.592	2.14e-14 ***
rainfall	2.800e-02	1.588e-03	17.638	< 2e-16 ***
rainfall intensity	2.721e-02	5.476e-03	14.098	< 2e-16 ***
river stage	2.365e-01	6.398e-02	3.696	0.0002 ***
dam stage	-6.091e-01	5.995e-02	-10.160	< 2e-16 ***
dam discharge	-6.708e-05	5.878e-05	-1.141	0.2538
rainfall of upper region	6.405e-03	1.216e-03	5.266	1.39e-07 ***

\*\*\* rejected

값이며, 소속 함수인 식 (4)를 사용하여 fuzzy number를 도출하였다. 그리고 침수라는 fuzzy set에 소속되는 정도를 정량적으로 표현하기 위해서, 과거에 특정 변수의 크기에서 일어났던 침수발생의 비율을 소속 함수로 이용하였다. 이로부터 현재 발생하고 있는 변수의 크기 및 예측되는 변수의 크기를 토대로 침수라는 fuzzy set에서 소속되는 정도인 fuzzy number를 도출할 수 있으며, 이를 이용하여 변수가 침수의 fuzzy set에 소속하는 정도를 정량적으로 산출하고 농경지 침수의 위험성을 판단할 수 있다. 예를 들어 기상청에서 내일 비가 230mm 발생할 것이라는 예보가 있을 경우, 예상 강수량 230mm ÷ 일 최대 강수량 860mm = 변수 크기 0.27을 도출하였고, 변수 크기가 0.27인 경우 fuzzy number는 약 0.53이며, 이로부터 내일 강수량을 고려할 때 침수가 일어나는 fuzzy

set에 소속 정도가 약 0.53이기 때문에 내일 침수가 발생할 가능성이 있다(Kang and Lee, 2012).

실시간 지점단위의 농경지 침수위험 지표는 Table 2의 결과를 이용하여 Table 3과 같이 만들었으며, 기존 연구의 결과를 토대로 5단계의 침수위험 구간으로 구분하였다(은상규 등, 2013). 침수위험 5 단계는 주의, 관심, 불안, 위험, 매우 위험으로 명명하였으며, 변수의 fuzzy number를 프로그램 R의 Mclust 패키지에 적용하여 단계를 구분하였다. 단, 침수 fuzzy set에 소속정도인 fuzzy number값이 0.1 이하는 침수가 발생할 가능성이 매우 낮은 것을 의미하고 있으며, fuzzy number의 크기가 0.1 이상인 경우만을 패키지에 적용하였다. 위험 구간을 분류한 Table 3에서의 변수크기는 각 구간에서의 상한 값이며, 단, 매우 위험은 하한 값으로 표시하였다.

Table 2. Occurrence rate of farmland inundation factor

variables size	rainfall	rainfall intensity	river stage	dam stage	rainfall of upper region
0.01	0.001	0.001	0.001	0.0001	0.001
0.06	0.037	0.006	0.004	0.008	0.010
0.10	0.283	0.023	0.012	0.018	0.014
0.15	0.462	0.124	0.016	0.023	0.035
0.20	0.478	0.174	0.027	0.033	0.046
0.25	0.529	0.200	0.041	0.051	0.057
0.29	0.565	0.258	0.042	0.063	0.058
0.34	0.719	0.392	0.064	0.087	0.080
0.39	0.765	0.400	0.099	0.092	0.109
0.44	0.800	0.459	0.116	0.113	0.156
0.48	0.877	0.500	0.158	0.126	0.146
0.53	0.890	0.571	0.174	0.165	0.177
0.58	0.908	0.633	0.178	0.241	0.208
0.62	0.935	0.667	0.229	0.341	0.292
0.67	0.964	0.867	0.362	0.373	0.321
0.72	0.972	0.896	0.519	0.448	0.383
0.77	0.992	0.920	0.697	0.495	0.449
0.81	1.000	0.930	0.873	0.511	0.540
0.86	1.000	0.938	0.927	0.563	0.619
0.91	1.000	0.971	0.971	0.635	0.659
0.96	1.000	0.983	0.983	0.871	0.663
1.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

variables size: equalization (0 to 1)

Table 3. Risk steps of realtime farmland inundation point-unit factor and risk indicator

step	factor size				
	rainfall(mm/day)	rainfall intensity(mm/day)	river stage(%)	dam stage(%)	rainfall of upper region (mm/day)
caution	< 52.2	< 12.8	< 52.8	< 58.9	< 62.3
attention	< 104.4	< 37.2	< 64.8	< 71.2	< 120.4
anxiety	< 269.7	< 48.6	< 72.8	< 78.5	< 185.4
danger	< 391.5	< 75.5	< 92.4	< 80.1	< 220.2
great danger	> 391.5	> 75.5	> 92.4	> 80.1	> 220.2

### 3. 위험 지표의 유효성 판단

실시간 농경지 침수에 영향을 미치는 기상 및 수문 인자인 변동변수를 토대로 산출한 위험지표의 유효성을 판단하기 위해서 MCS 방법을 이용하였다. 이를 위해서 침수가 발생하였던 28개 면 단위 지역의 실제 데이터를 이용하여 확률분포를 산출하고, 분포를 토대로 강수량, 강우강도, 하천수위, 댐 저수위 등 변수의 데이터를 시뮬레이션 하였다. 그리고 각 위험인자의 시뮬레이션 데이터를 본 연구에서 제시한 위험지표 산출 모형에 적용하였으며, 실제 데이터의 위험지표와 시뮬레이션 데이터의 위험 지표의 차이를 비교함으로써 변동변수의 위험지표를 검증하였다. MCS의 이용에는 침수에 영향을 주는 인자에 대한 확률분포 형태를 결정하는 것이 필요하며, 이에 변동변수의 왜곡도(skewness), 변동계수(coefficient of variation) 등을 토대로 확률분포의 형태를 결정하였다. 다음의 형태를 결정할 때 사용한 데이터는 1월에서 12월 까지 1년 단위의 시계열 자료와 2001년 1월부터 2005년

12월로 표현되는 5년 단위의 시계열 자료이며, 다음의 데이터에 가장 적합한 확률분포 형태를 모색하였다. 또한 실제 데이터와 시뮬레이션 데이터의 K-S(Kolmogorov-Smirnow test)검증 등을 이용하여 확률분포 형태를 검증하였다. 그 결과, 본 연구에서 사용한 실시간 침수에 영향을 미치는 침수위험 인자에 적합한 확률분포 형태는 와이블 분포로(Figure 3) 도출되었으며, 프로그램 R을 이용하여 도출한 각 침수 영향 인자의 특징이 반영된 와이블 분포를 토대로 변동변수의 데이터를 시뮬레이션 하였다. 그리고 실제 변동변수의 데이터를 토대로 산출한 위험지표와 시뮬레이션 데이터를 토대로 산출한 위험지표를 Yao와 Chu (2007)가 MCS와의 비교오차를 구한 방법에 따라 식 (6)을 이용하여 구한 결과, 오차율은 6.17%였으며, 실시간 농경지 침수에 영향을 미치는 변동변수의 위험지표를 모바일 기반 농경지 침수위험 정보제공 시스템에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 식 (6)의  $Data_{actual}$ 은 실제 관측한 데이터,  $Data_{MCS}$ 는 시뮬레이션으로 산출한 데이터, n은 데이터의 총 개수이다.

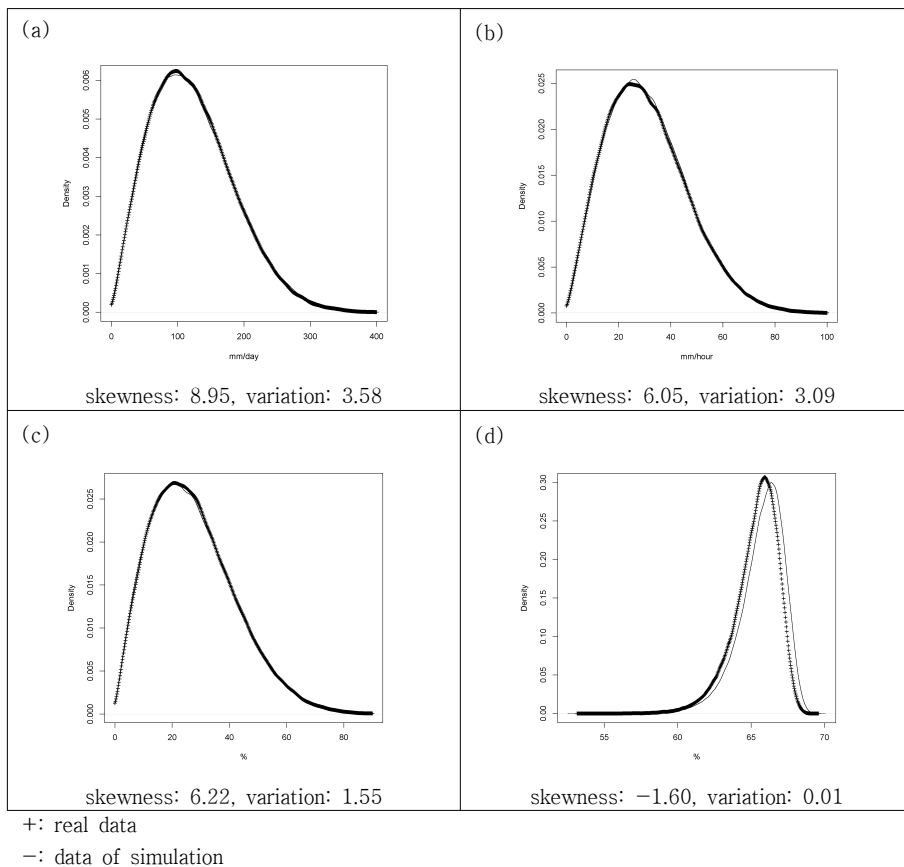


Figure 3 Comparative distribution of real data and Distribution by MCS  
(a) rainfall, (b) rainfall intensity, (c) river stage, (d) dam stage

$$error(\%) = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left( \frac{Data_{Actualk} - Data_{MCSk}}{Data_{MCSk}} \right)^2} \times 100 = 6.17\% \quad (6)$$

4. 농경지 침수위험 지수

실시간 지점단위의 농경지 침수위험 지표들을 통합한 지수를 산출하기 위해서 퍼지 신뢰성해석 기법을 토대로 한 모형을 제안하였다. 다음의 지수 산출 모형은 fault tree와 membership function으로 구성되어 있으며, 고정변수와 변동변수인 실시간 지점단위 위험 인자를 모형에 적용한 결과는 0과 1 사이의 실수 값이다. 모형의 특징을 살펴보기 위해서 변동변수의 지표들 모형에 적용하였으며, 결과로 도출한 위험지수와 실제 침수사례를 비교하였다. 또한 진주시를 대상으로 실질적으로 농경지 침수에 영향을 미치는 인자인 변동변수와 고정변수를 고려한 침수위험 지수를 산출하였다. 이를 위해서 본 연구에서 산정한 변동변수의 위험지표와 김수진 등(2013)의 연구에서 제시한 공간분석 기법으로 산출한 고정변수인 해발고도, 경사, 하천으로부터의 거리의 위험지표를 농경지 침수위험 지수 모형에 적용하였고, 그 결과를 침수사례와 비교하였다.

실질적으로 농경지 침수에 영향을 미치는 인자들을 대상으로 fault tree를 작성하였으며, Figure 5와 같은 결과를 도출하였다. Fault tree를 작성하기 위해서 상관성 분석, 회귀분석, 엔트로피 기법을 이용하여 인자들의 관계를 구분하였으며, 회귀분석으로 침수관련 변수를 추출, 상관성 분석을 이용하여 각 변수의 관련성을 분석, 엔트로피 기법으로 상관성이 높은 변수의 전·후 관계를 분석하였다. 엔트로피 기법은 Mutual information 모델을 사용하였고, 프로그램 R의 엔트로피(entropy) 패키지를 사용하였다. 지점의 강수량과 강우강도는 상관성이 높았으나, 분석방법에 따라 인과관계가 명확하지 않은 부분이 있었으며, 두 인자의 관계를 구분하는데 한계가 있었다. 본 연구에서는 두 인자의 인과관계를 명확히 구분하지 않아도 지수 값의 변화가 없기 때문에 두 인자의 불분명한

인과관계가 문제되지 않았으며, 이에 fault tree에서 지점의 강수량과 강우강도를 결과인 Figure 4와 같이 표시하였다.

농경지 침수위험 지수 모형에 변동변수를 적용하여 위험지수를 산출하였으며, 변동변수의 침수위험 지수는 실시간 자료를 토대로 산정한 현재의 침수 위험성을 정량화 한 것이다. 지수 산정 대상지역은 여수, 강릉, 안동, 서산, 양평, 홍천으로 총 6개 지역을 선정하였으며, 지역적 분포, 유역, 지형학적 특성 등이 중복되지 않도록 선택하였다. 선정된 지역을 대상으로 침수위험 지수를 도출한 결과 Table 4와 같이 도출하였다. 대상지역 중 여수의 침수 당일 하천수위에 대한 위험지표가 0.971으로 가장 높은 값으로 나타났으며, 강릉의 침수 당일 강수량에 대한 위험지표가 1.000이고 강우강도가 0.921이었다. 안동의 침수 당일 지표 중 하천수위가 0.873이고 댐 저수위가 0.635이었으며, 서산의 침수 당일 지표 중 하천수위가 0.927이고 강우강도가 0.500이었다. 이러한 농경지 침수 사례를 토대로 대부분의 지역에서 침수위험 지수가 0.5 이상일 때 침수가 발생하는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 실시간 지점단위의 변수 지표 값이 불안 이상으로 분류되는 것이 2개 이상일 경우에도 농경지 침수가 있었다. 하지만 안동과 같은 경우 지수 값이 0.5이

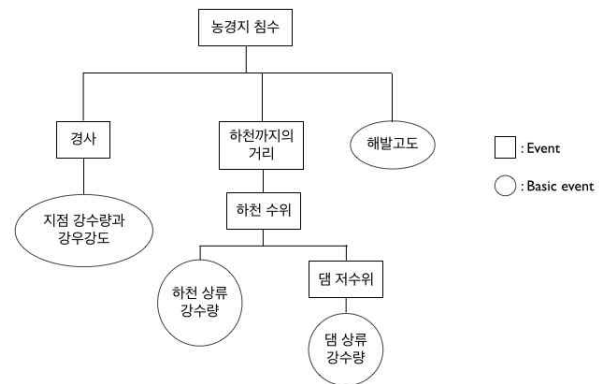


Figure 4. Fault tree of consideration about farmland inundation factors

Table 4. Risk index of farmland inundation fluctuation factors

region	time of occurrence (year/month/day)	cause	risk index(0-1)
Yeosu	1997/ 8/ 17	typhoon	0.757
Seosan	1998/ 7/ 31	localized heavy rain and poor drainage	0.526
Andong	2002/ 8/ 3	localized heavy rain and overflow	0.390
Yangpyung	2002/ 8/ 3	localized heavy rain and bank sweep	0.600
Gangneoung	2002/ 8/ 31	localized heavy rain and bank sweep	0.532
Hongcheon	2006/ 7/ 8/	typhoon and bank sweep	0.891

하였지만 하천수위와 댐 저수위가 위험으로 나타났다. 이는 하천과의 거리, 고도, 경사도 등 고정변수를 고려가 필요한 것으로 생각되며, 퍼지 신뢰성해석을 토대로 만든 농경지 침수위험 지수 모형의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

농경지 침수에 영향을 미치는 인자인 강수량, 강우강도, 하천수위, 댐 저수위, 해발고도, 경사도, 하천까지의 거리를 토대로 진주시 침수사례에 관련한 침수위험 지수를 산출하였다(Table 5). 본 연구에서 산출한 침수위험 지수는 변동변수의 위험지표와 고정변수의 위험지표(김수진 등, 2013)를 종합하여 산출한 값이며, 지점단위의 정보만을 가지고 있는 고정변수에 실시간 정보를 가지고 있는 변동변수를 적용함으로써 실시간 지점단위의 농경지 침수위험 지수를 도출할 수 있었다. 침수위험 지수를 산출한 지역은 진주시의 문산읍 소문리, 일반성면 개암리, 대곡면 마진리이며, 각 지역에서 발생한 침수는 내수 침수, 내수배제 불량, 제방유실이 원인 이었다. 1999년 소문리에서 침수가 발생할 때의 농경지 침수위험 지수는 0.758이며, 변동변수의 침수위험 지수는 0.331이다. 그리고 2006년 소문리에서 침수가 발생할 때의 농경지 침수 위험 지수는 0.864이며, 변동변수의 침수위험 지수는 0.692이다. 소문리에서 1999년과 2006년 침수가 발생한 장소는 서로 약 1km 떨어진 지점이었으며, 두 지점의 해발고도와 하천까지의 거리는 동일하였다. 개암리에서 침수가 발생할 때의 위험지수는 0.809이며, 변동변수의 위험지수는 0.345이다. 마진리에서 침수가 발생할 때의 지수는 0.968이며, 변동변수의 지수는 0.723이다. 두 지역의 위험지수는 강수량, 하천 수위, 하천까지의 거리, 경사도의 차이로부터 발생하였으며, 개암리에서 위험지수와 변동변수의 위험지수 크기 차이가 발생한 것은 고정변수인 하천까지의 거리와 경사도를 위험지표를 반영하지 못한 것이 원인으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 이항 로짓분석을 이용하여 실질적으로

농경지 침수에 영향을 미치는 위험인자를 추출하였으며, 퍼지 기법을 이용하여 농경지 침수위험 지표와 지수를 산출하였다. 또한 변동변수를 대상으로 산출한 침수위험 지표와 MCS를 이용하여 산출한 침수위험 지표를 비교함으로써 지표의 유효성을 판단하였으며, 실제 침수사례에 대한 위험지수를 산출하고, 위험지수 결과와 실제 사례의 특징을 비교하였다.

이항 로짓분석을 이용하여 실시간 지점단위의 수문 및 기상 자료 가운데 실질적으로 농경지 침수에 영향을 주는 위험인자를 분석하였다. 그 결과 농경지 침수에 영향을 미치는 인자는 강수량, 강우강도, 하천수위, 댐 저수위, 댐 상류 강수량으로 산출되었으며, 침수에 영향을 미치는 인자들 가운데 강수량과 강우강도는 다중공선성이 높은 변수였지만, 이항 로짓분석의 결과를 왜곡하지 않았다. 퍼지 기법을 토대로 농경지 침수위험 지표와 지수를 산출하였다. 위험지표 결과, 농경지 침수가 발생하였던 경우에는 정규화한 침수위험 인자의 크기가 약 0.5 이상 혹은 농경지 침수 위험 지표가 ‘불안’보다 높은 인자가 2개 이상이 나타나는 경향이 있었다.

MCS를 이용하여 산출한 결과와 퍼지 집합 기법으로 산출한 지표를 비교하였으며, 오차율은 6.17%였다. MCS 비교 결과 농경지 침수위험지표가 유효한 것으로 판단되었지만, 실시간 정보를 가진 변수의 수가 늘어나고, 고정변수를 고려할 경우 MCS를 이용한 검증뿐 만 아니라 다양한 검증방법을 적용하는 것이 필요하다.

본 연구가 실시간 지점단위 침수위험 인자를 토대로 지표와 지수를 산출했다는 점에서 소규모 유역의 침수위험 산정 가능성과 모바일 기반 농경지 침수위험 정보 서비스의 실현 가능성을 제시하였지만 다음과 같은 한계를 지닌다. 제시한 농경지 침수위험 지수 산정 모형에 위험인자를 고려하여 실제 침수 사례와 지수 값을 비교하였으며, 실제 침수의 발생이 있었던 경우 지수가 높게 나오는 경우가 대부분 이었지만 안동과 같은 경우는 변동변수만 고려한 지수가 0.3이였으며, 그때의 지수 값이 작았음에도 불구하고 침수가 발생한 사례가 있었다. 이는 침수가 발생하는 지역에 실질적인 영향을 미치는 인자의 자료가 충분하지 않으면, 농경지 침수위험 지수가 왜곡

Table 5. Risk index of farmland inundation factors

region	time of occurrence (year/month/day)	cause	risk index(0-1)
Somoon-ri	1999/ 7/ 29	localized heavy rain and poor drainage	0.758
Gaeam-ri	1999/ 7/ 31	poor drainage	0.809
Somoon-ri	2006/ 7/ 10	poor drainage by increasing river stage	0.846
Majin-ri	2006/ 7/ 10	band sweep and overflow	0.968



될 수 있는 것으로 판단되며, 다양한 위험인자에 대한 자료조사와 모형의 적용이 필요한 것으로 판단된다.

본 논문은 “모바일 기반 농경지 침수정보관리 기술 개발” (과제번호 PJ008958)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Reference

1. Eun, S. K., T. G. Kim, J. M. Lee, K. Suh M. W. Jang, 2013, Mobile Application Design for Farmland Flooding Prevention and Realtime Data Collection, Korean Society of Rural Planning, 19(3), 1-12.
2. Jo, D. S., I. M. Son, H. I. Choi, 2013, Development of a New Flood Index for Local Flood Severity Predictions, Korea Water Resource Association, 46(1), 47-53.
3. Hwang, Y. J., 2006, Application of Geographic Database for Prediction of Flood Vulnerable Area, Association of Korean Geographers, 12(1), 172-178.
4. Kang, J. E. and M. J. Lee, 2012, Assessment of Flood Vulnerability to Climate Change Using Fuzzy Model and GIS in Seoul, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 15(3), 119-136.
5. Kim, H. S., Y. I. Song, Y. J. Kim, Y. S. Lim, 2007, Linking Environmental Assessment and Sustainable Development Indicators, Korea Environment Institute.
6. Kim, S. J., K. Suh, S. M. Kim, K. D. Lee, M. W. Jang, 2013, Mapping of Inundation Vulnerability Using Geomorphic Characteristics of Flood-damaged Farmlands, Korean Society of Rural Planning, 19(3), 51-59.
7. Kim, T. G., W. H. Nam, T. S. Lee, J. Y. Choi, J. T. Kim, 2012, Assessment of Mobile Technology Operability Based on RFID and QR Code for Real Time Information Management of Irrigation Facilities, Korean Society of Agricultural Engineers, 54(1), 1-9.
8. Lee, J. E., K. G. Yang, S. S. Byun, D. W. Park, 2009, Improving the Investigation System of Natural Disaster Damage, Journal of Safety and Crisis Management, 5(1), 73-84.
9. Lee, J. K. and C. S. Kim, 2013, An implementation of Application for Collecting Disaster Information using Smartphone, Korea Multimedia Association, 15(1), 108-114.
10. Lee, J. K., I. H. C. S. Kim, A Design of Prototype System for Information Collection and Management based on Disaster Site, Korea Multimedia Association, 15(1), 101-107.
11. Lim, G. S., S. J. Choi, D. L. Lee, J. W. Moon, 2010, Development of Flood Risk Index using causal relationships of Flood Indicators, Korean Society Civil Engineering, 30(2). 61-70.
12. Song, J. H., S. D. Kim, M. J. Park, H. I. Choi, 2013, Estimation of Flood Risk Index for the Nakdong River Watershed, Korea Water Resource Association, 46(1), 35-45.
13. Suh, K., J., M. Lee, H. J. Kim, N. S. Jung, S. J. Jo, J. J. Lee, 2003, Evaluation Index of Rural Development for Producing Potential Value of Rural Regions on a commercial Scale, Korean Society of Rural Planning, 9(1), 47-53.
14. Bhaskar, N. R., B. M. French and G. K. Kyiamah, 2000, Characterization of flash floods in Eastern Kentucky, Journal of Hydrologic Engineering, 5(3), 327-331.
15. Buckley, J. J., 2006, Fuzzy Probability and Statistics, Springer.
16. Ding, Y. and A. Lisnianski, 2008, Fuzzy Universal Generating Functions for Multi-state System Reliability Assessment, Fuzzy Sets and Systems, 159, 307-324.
17. Johnston, J., 1984, Econometric Methods, McGraw-Hill.
18. Kaya, I. and C. Kahraman, 2010, Fuzzy Process Capability Analysis with Fuzzy Normal Distribution, Expert Systems with Applications, 37, 5390-5403.
19. Kim, J. S., S. K. Lee, H. Y. Ahn, D. J. Seo, D. C. Seo, and J. C. Lee, 2013, Accuracy evaluation of a smartphone-based technology for coastal monitoring, Measurement, 46(1), 233-248.
20. Kroese, D. P. and Taimre, T., 2011, Handbook of Monte Carlo Methods, John Wiley & Sons.
21. Luce, D., 1953, Individual Choice Behavior, John Wiley & Sons.
22. Marschak, J., 1960, Binary Choice Constraints on Random Utility Indications in Stanford Symposium on

- Mathematical Methods in the Social Sciences, Stanford University Press, 312-329.
23. Matthew S. W. and A. Victoria, 2001, Urban Indicators for Managing Cities, Cities data Book.
24. Mon, D. L. and C. H. Cheng, 1994, Fuzzy System Reliability Analysis for Components with Different Membership Functions, Fuzzy Sets and Systems, 64, 145-157.
25. Ologunorisa, E. T., 2004, An Assessment of Flood Vulnerability Zones on the Niger Delta, International Journal of Environmental Studies, 61(1), 31-38.
26. Sung, S. J., 2011, How can we use mobile apps for disaster communications in Taiwan: Problems and possible practice, International Telecommunications Society conference.
27. Yao, M. and W. Chu, 2007, A new Approximation Algorithm for Obtaining the Probability Distribution Function for Project Complement Time, In Computers and Mathematics with Applications, 54(2): 282-295.
28. Zadeh, L., 1975, The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning, Information sciences, 8, 199-249.
- 

접 수 일: (2014년 3월 25일)

수 정 일: (1차: 2014년 4월 20일)

게재확정일: (2014년 4월 20일)

■ 3인 익명 심사필