

Study on Measurement of Flood Risk and Forecasting Model

S. H. Kwon* · H. S. Oh**†

*Department of Statistics, Hannam University

**Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University

홍수 위험도 척도 및 예측모형 연구

권세혁* · 오현승**†

*한남대학교 경상대학 비즈니스통계학과

**한남대학교 공과대학 산업경영공학과

There have been various studies on measurements of flood risk and forecasting models. For river and dam region, PDF and FVI has been proposed for measurement of flood risk and regression models have been applied for forecasting model. For Bo region unlikely river or dam region, flood risk would unexpectedly increase due to outgoing water to keep water amount under the designated risk level even the drain system could hardly manage the water amount. GFI and general linear model was proposed for flood risk measurement and forecasting model. In this paper, FVI with the consideration of duration on GFI was proposed for flood risk measurement at Bo region. General linear model was applied to the empirical data from Bo region of Nadong river to derive the forecasting model of FVI at three different values of Base High Level, 2m, 2.5m and 3m. The significant predictor variables on the target variable, FVI were as follows: ground water level based on sea level with negative effect, difference between ground altitude of ground water and river level with negative effect, and difference between ground water level and river level after Bo water being filled with positive sign for quantitative variables. And for qualitative variable, effective soil depth and ground soil type were significant for FVI.

Keywords : Base High Level, Bo region, Flood Risk Measurement, FVI, MDS

1. 서론

홍수 위험도를 측정할 수 있는 척도 개발 및 예측모형에 대한 국내 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 국내 수자원장기종합계획에서 활용하고 있는 지역의 홍수에 대한 취약도 지수인 PFD(Potential Flood Damage)는 홍수 위험도를 잠재성과 위험성으로 구성하였다. 잠재성 요소는 인구밀도, 자산, 도시화율, 사회기반시설로 세부항목을 구성하였다. 위험성은 가능성 요소와 방어능력 요소

로 이분화 하고 가능성 요소는 홍수 피해액 밀도와 확률강우량을 세부항목으로 방어능력 요소는 외수방어능력, 댐 및 저수지, 내수방어능력을 세부항목으로 구성하여 PFD를 산정하였다[10].

장옥재와 김영오[4]는 PFD 산정 시 구성요소의 가중치는 모형에 의해 추정하는 것이 아니므로 예측모형으로 활용할 수 없는 단점을 가지고 있다고 언급하며 가능홍수 피해금액을 지역 총자산으로 나눈 홍수 취약도 지수를 홍수 위험도 척도로 산정하였다. 가능홍수 피해금액을 목표변수로 15mm 이상 강우량(자연 침투 우량을 초과한 우량), 5시간 최대 강우량을 예측변수로 하고 성장함수(growth function)를 추정모형으로 하여 계수를 추정하였다.

Received 3 February 2015; Finally Revised 23 February 2015;
Accepted 23 February 2015

† Corresponding Author : hsoh@hnu.kr

성장함수에 의해 추정된 회귀계수를 목표변수로 하고 사회 인구조적 변인들을 예측변수로 하여 회귀분석을 실시하여 홍수에 영향을 미치는 인자를 발견하고 홍수 위험도인 홍수 피해액을 산정하였다.

송재하[12] 등은 낙동강 유역의 시·군·구 단위의 홍수 위험도를 측정하기 위하여 척도로 홍수 위험지수 FRI (Flood Vulnerability Index)를 제안하였다. 홍수 위험 정도를 3개의 구조로 분류하여 압력(Pressure), 현상(State), 대책(Response)으로 설정하고 구조 하위에 계층적 세부 지표를 총 17개로 구성하였다. 세부지표들은 각기 다른 범위와 단위로 측정된 값이므로 T-Score 방법을 사용하여 동일한 범위로 변환되었다. 또한 엔트로피(Entropy) 가중치 산정방법에 의한 가중치를 사용하여 가중치 적용에 따른 주관적인 편정을 최소화하였다. 압력지수(PI), 현상지수(SI), 대책지수(RI)의 3개 지수를 통합하여 지역의 전반적인 홍수 위험 상태를 파악할 수 있는 홍수 위험지수를 산정하였다.

담수 목적의 댐이나 하천 유역과는 달리 보는 특성 상 일년 내내 일정 수준의 수위를 유지하도록 설계되어 있어 호우기에는 보 주변 지역은 홍수 위험에 더 많이 노출되게 된다. 호우기에도 홍수 피해가 없도록 지역이 배출할 수 있는 물의 양을 고려하여 배수 설계가 되어 있으나 보에서 수위 조절을 위하여 배수하는 물의 양으로 인하여 배수 능력을 초과하는 물의 양이 유입되기 때문이다. 보 지역의 홍수 위험도는 물의 유입량을 결정하는 하천 수위, 보 수위, 그리고 관정 수위와 물의 배출에 영향을 주는 토양과 지질 인자들에 의해 결정된다[5].

독일 Dresden 지역의 홍수 동안 평균 최고 지하수위 이상의 지하수위, 지속기간, 지표면과 최고치 지하수위와의 차이, 그리고 지하수위 상승 경사에 관하여 수행하였다[11]. 국내 연구에서는 기상 및 수문 현황 조건을 고려하여 호우기에는 평균 최고 지하수위 산정을 기간별 지하수위 분포의 백분율을 활용하여 홍수 위험도를 산정하였다. 홍수 위험도에 대한 척도로 GFI(Ground water Flood Intensity)를 제안하였다[5].

권세혁·오현승[5]은 호수 시 보 수위를 일정 수준을 유지하기 위하여 발생하게 되는 보 주변지역 홍수 위험도를 예측할 수 있는 모형에 대한 연구도 병행되어 진행하였다. 목표변수 홍수 위험도 척도인 GFI, 예측인자는 보 지역의 물 유입량에 영향을 미치는 보 수위, 관정 수위 등이고 배출에 영향을 주는 토양 및 지질 특성을 활용하였다. 함안보와 강정보 지역 데이터를 활용한 실증 분석을 통하여 홍수기와 갈수기 각각의 예측모형을 제시하였다.

본 연구에서는 홍수 위험도 척도를 FVI로 정의하고 FVI

계산 시 필요한 적정 기저고수위(BHL, Base High Level) 수준을 결정하는 방법을 제안하였다. 그리고 갈수기와 호우기에 적용할 수 있는 통합 홍수 위험도 예측모형 도출하였다. 제 2장에서는 홍수 위험도에 대한 척도를 기술하였으며, 실증분석에 활용되는 데이터와 예측변인에 대하여 제 3장에 정리하였다. 제 4장에는 실증분석 결과인 예측모형 도출과 해석을 정리하였고 제 5장에서는 연구 결론과 향후 연구방향을 기술하였다.

2. 홍수 위험도 척도

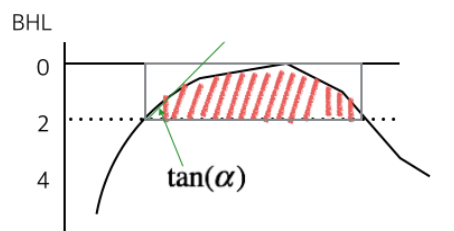
이전 연구에서는 국내 보지역 홍수 위험도 척도로 GFI (Ground water Flood Intensity)를 제안하였고 호우기와 갈수기에 따라 산정 식을 다르게 정의하였다. 호우기에는 관정 지하수위 상승하는 경사율, $\tan(\alpha)$ 을 지하수위 최고치와 지표면 사이의 최소 차이(DTW_{min} ; Depth To Water) 값으로 나누어 계산하였고 갈수기에는 담수 이후의 갈수기 평균 지하수위(DTW_{mean}) 역수로 GFI를 정의하였다[5].

$$GFI_{호우} = \frac{\tan(\alpha)}{DTW_{min}} \quad (1)$$

$$GFI_{갈수} = \frac{1}{DTW_{mean}} \quad (2)$$

호우기의 GFI 값을 결정하는 경사율 계산은 지하수위 상승 시점을 판단할 수 있는 기준 수위에 따라 달라지므로 지하수위 상승 시점을 기저고수위로 정의하고 측정기간 동안 지하수위 분포의 80% 백분위 값을 기저고수위로 설정하였다[5].

본 연구에서는 홍수 위험도의 척도를 GFI가 정해진 기저고수위 수준 이상 유지되는 기간까지 고려한 FVI(Flood Vulnerability Index)로 제안하였다. <Figure 1>에서 빗금친 영역이 정확한 FVI 값이다. 그러나 함수식을 추정하는 것이 불가능하여 계산이 가능한 정사각형 면적을 FVI 데이터 측정값으로 계산하였다.

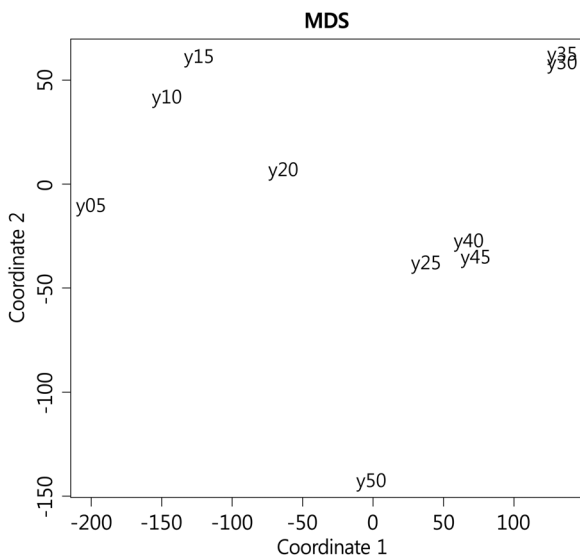


<Figure 1> FVI Measurement

3. 연구방법론

권세혁·오현승[5]은 홍수기와 갈수기를 나누어 예측모형을 적용하였으나 본 연구에서는 갈수기를 홍수 위험도가 낮은 것으로 간주하고 단일 예측모형을 도출하였다. FVI 값이 0이면 홍수 위험도 전혀 없음을 의미한다.

<Figure 1>에서 볼 수 있듯이 FVI 값은 기저고수위 수준에 따라 달라지므로 예측모형에서 사용하게 되는 기저고수위 값의 결정이 필요하다. 본 연구에서는 기저고수위를 0.5m~5m, 간격 0.5m로 하여 10개의 기저고수위 값에서 FVI를 측정하였다. 10개의 기저고수위 값에서 FVI 측정값의 유사성을 계산하고 2차원 공간에 표현한 다차원 척도법(Multi-Scaling Dimension)을 적용한 결과를 <Figure 2>에 제시하였다. 10개 기저위수위는 4개의 유사 그룹으로 구분하고(5m는 단일 기저위수위 값이므로 제외하였음), 최종적으로 기저고수위 수준을 2m(0.5m, 1m, 1.5m, 2m), 2.5m(2.5m, 4m, 4.5m), 3m(3m, 3.5m)로 선택하여 전체 기저고수위를 대표할 수 있도록 하였다. 각 유사 그룹에서 2m~3m 구간을 선택한 것은 가능하면 연속 구간을 선택하기 위한 주관적 결정이었다.



<Figure 2> MDS result of FVI

4대강 관측정이 있는 낙동강에 설치된 함안보, 함천보, 달성보, 고령보, 칠곡보, 구미보, 낙단보, 상주보에서 109개 관측값을 측정하였다. 제 2장에서 언급하였듯이 기저고수위 수준 0.5m~5m, 간격 0.5m 10개 FVI 계산하여 MDS 방법으로 3개의 대표 기저고수위 수준(2m, 2.5m, 3m)을 선정하였다. 각 기저고수위 수준에서 홍수 위험도의 척도 FVI를 예측모형의 목표변수로 활용하여 최적 예측모형을 도출하여 제 1장에 정리하였다.

예측모형 도출 시 예측변수를 양적변인과 질적변인으로 나누고 양적변인들의 유의성은 회귀분석, 질적변인들의 유의성 검정은 분산분석으로 검정하였다. 분산분석에서는 교호작용을 고려하지 않고 주효과 분산분석모형을 적용하였다. 회귀분석 결과 유의한 양적변인과 분산분석 결과 유의한 질적변인들을 동시에 고려한 일반선형모형으로 예측모형을 추정하였다[7].

홍수 위험도에 영향을 주는 양적변인은 보 지역에 유입되는 수량에 영향을 미치는 항목으로 보 지역 지하 관정과 하천과의 거리(DWR), 농경지표 지하수위(DTW), 해수면 기준수위(WSL), 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이(DGWR), 담수 후 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이(DGWR2), 수리 전도도(HC), 그리고 총적층 두께(TA)를 고려할 수 있다. DTW는 FVI 산정 시 분모에 활용되는 측정치이므로 예측변인에서 제외하여 본 연구에서는 총 6개 양적변인을 사용하였다. 양적변인들은 모형 적합성을 높이기 위하여 Anderson Darling AD-통계량 정규성 검정을 실시하고[1], 정규분포를 따르지 않는 변수들은 Box-Cox 정규분포 변환을 실시하여 예측모형에 활용하였다[2, 3].

보 지역으로 유입되는 물의 근원 거리가 멀수록 홍수 위험도는 낮아지고 보지역 관정 지하수위가 낮을수록, 그리고 보지역 수위와의 차이가 클수록 홍수 위험도는 커진다. <Table 1>은 목표변수인 홍수 위험도 척도 FVI에 영향을 미치는 양적변인들과 각 변인들이 FVI에 영향을 미치는 양/음 관계를 부호로 표시하였다. 부호 +의 의미는 변인의 값이 커질수록 홍수 위험도가 커진다는 것을 의미한다.

<Table 1> Quantitative Variables

Variable Name	Effect
Distance between ground Water and River(DWR)	-
ground water level based on sea level(WSL)	+
Difference between Ground altitude of ground Water and Nakdong River level(DGWR)	-
Difference between ground water level and Nakdong River level after Bo water being filled(DGWR2)	+
Hydraulic Conductivity(HC)	+
Thickness of Alluvium(TA)	-

홍수 위험도에 영향을 주는 보 지역의 물 배출 관련 변인들로 토양 및 토질 특성인 배수등급(DC), 유효토심(SD), 표토토성(GST), 심토토성(DST), 수문학적 토양군(SG), 토지 피복도(LC), 그리고 비산출율(SY)을 고려하였다. 일요인 개별 분산분석을 실시하여 토양 특성과 토지이용 실태 중 FVI에 영향을 주는 변인을 선택하고

선택된 변인의 범주도 FVI 값이 유의한 차이가 있도록 재그룹을 통한 조정을 하였다. <Table 2>에는 본 연구에 사용된 질적변인들과 변인들의 수준을 정리하였다. 변인의 수준 수는 수준별 반복수와 내용을 고려하여 유의성 검정 분산분석 전에 결정하였다. 유효토심의 경우에는 > 100수준 이외는 반복수가 적어 최종적으로 제외되었다.

<Table 2> Qualitative Variables

Variable name	Level
Dainage Class	good/poor
effective Soil Depth	20~50, > 100
Ground Soil Type	Sand / Loam / Silt Loam
Depth Soil Type	Sandy Loam / Silty Clay Loam / Clay Loam
hydrological Soil Type	A / B
Land cover	residential / agriculture / forest
Specific Yield	Fine Sandy / Silt Loam / Loam / Loam Fine

양적변인들은 직접 측정된 값이며 토양에 관련된 변인은 농식품부의 정밀토양도를 활용하였고[8], 토지이용 상태는 환경부가 제공하는 환경공간정보서비스[9]의 토지 피복도를 활용하였다.

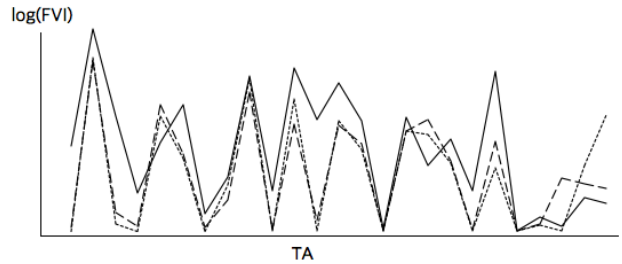
4. 실증분석 결과

예측모형의 적합성을 높이기 위하여 양적변수들은 Anderson Darling AD 정규성 검정[1]을 실시하고 필요 시 Box-Cox 정규분포 변환을 실시한 결과를 <Table 3>에 정리하였다. 변환 후 이상치가 존재하면 이를 분석에서 제외하였다. 이상치 진단은 $\pm 3 \times IQR$ 을 사용하였다.

<Table 3> Box-Cox Normality Transformation

Variables	Transformation
FVI	log
DWR	log
WSL	square root
DGWR	square root
DGWR2	sqrt
HC	log

목표변수 $\ln(FVI)$ 와 예측변인들의 산점도 분석결과 층적층 두께는 주기함수 형태를 가지게 되어 회귀분석모형에서는 제외하였다(<Figure 3> 참고).



<Figure 3> Scatter Plot of Log(FVI) with TA

<Table 4>에는 목표변수 $\ln(FVI)$ 에 유의한 영향을 정량변인(단계삽입 변수선택방법 적용)의 추정 회귀계수(셀의 값), 표준화 회귀계수(셀의 괄호 안 값), 그리고 모형의 결정계수를 정리하였다. 홍수 위험도가 전혀 없는 FVI 값이 0인 경우에는 로그 변환 값이 존재하지 않으므로 $0.1E^{-6}$ 으로 대치 후 변환하였다.

기저고수위 수준에 관계없이 유의한 변인은 동일하였고 해수면 기준수위가 높을수록 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이 클수록 홍수 위험도는 낮아짐을 알 수 있다. 담수 후 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이가 클수록 홍수 위험도는 높아지게 된다. 표준화 회귀계수를 보면 알 수 있듯이 기저고수위 수준에 따라 홍수 위험도에 각 유의 변인들의 상대적 중요도가 다르다. 기저고수위 = 2m에서는 해수면 기준수위, 2.5m는 담수 후 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이, 그리고 3m는 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이가 홍수 위험도에 영향을 가장 많이 미치고 있다. 결정계수가 낮은 것은 이상치 진단 분석을 시행하지 않았기 때문인데 이 문제는 최종 예측모형 도출 시 진단 및 해결하였다.

<Table 4> Regression Results of Log(FVI)

Independent variables	Base High Level		
	2m	2.5m	3m
Intercept	6.89	4.30	4.32
sqrt(DWR)	-	-	-
sqrt(WSL)	-3.00*** (-0.51)	-1.86** (-0.33)	-1.90** (-0.36)
sqrt(DGWR)	-3.75** (-0.25)	-4.78** (-0.33)	-4.11** (-0.39)
sqrt(DGWR2)	1.92* (0.12)	3.46* (0.23)	2.38* (0.17)
log(HC)	-	-	-
R^2	44.7%	34.8%	33.8%

*, **, *** : significance level of 10%, 5%, 1%.

<Table 5>는 질적 변인들에 대한 분산분석 결과를 제시하였다. 유의확률(p) 값을 제시하였으며 유의한 변인의

경우에는 변인의 각 수준에서 FVI 평균을 정리하였다. SD와 GST의 범주는 사전 일분산분석을 실시하여 조정하였다. 비산출율을 제외하고는 기저고수위 수준에 관계없이 유의한 질적변인은 동일하고 수준별 홍수 위험도 크기도 동일한 크기순서도 동일하다. 기저고수위 값 3m을 제외하고는 비산출율 각 범주의 관측치 수가 큰 차이가 있어 데이터의 불균형으로 유의한 결과를 얻지 못하였다. 그리고 다른 범주와 홍수 위험도의 차이가 매우 유의한 Loam Fine 관측치 수가 7개 밖에 되지 않아 예측모형에 활용하는 것은 적절하지 못하다. 예측모형에는 유효토심과 표토토성만 활용하고 표토토성의 범주는 홍수 위험도 값의 차이가 유의하지 않은 Sand와 Loam을 하나로 하여 Silt Loam과 그 외 범주로 이진형 범주로 활용하였다.

<Table 5> ANOVA result

Var.	Base High Level = 2m	Base High Level = 2.5m	Base High Level = 3m
DC	p = 0.41	p = 0.79	p = 0.80
SD	p = 0.09	p = 0.04	p = 0.01
20~50	-13.5	-12.3	-12.8
< 100	-8.77	-7.19	-6.51
GST	p = 0.02	p = 0.04	p = 0.01
Sand	-16.3	-11.7	-9.99
Loam	-11.7	-10.7	-10.9
Silt L.	-7.66	-6.33	-5.66
DST	p = 0.14	p = 0.16	p = 0.33
ST	p = 0.15	p = 0.22	p = 0.31
SY	p = 0.29	p = 0.21	p = 0.05
Fine S.	-	-	-4.98
Loam	-	-	-9.31
Loam F.	-	-	-14.2
Silt L.	-	-	-6.51
LC	p = 0.94	p = 0.11	p = 0.12

회귀분석 결과 유의한 정량변인들과 분산분석 결과 유의한 정성변인들을 동시에 고려한 일반선형모형을 추정하여 <Table 5>에 정리하였다. 정량변인과 정성변인의 결합 항까지 고려한 후 후진제거 방법으로 유의한 변수만 선택하였다. 이상치 진단을 시행하여 문제가 되는 관측치는 제외된 후 추정된 최종 예측모형을 제시한 것이다. 셀의 값은 회귀계수 추정값이고 괄호 안의 값은 표준화 회귀계수 추정값이다. 질적변인의 괄호 안 범주는 가변수 1에 해당되는 범주이다. 예를 들면, 기저고수위 = 2m 예측모형에서 유효토심 “20~50”이면 절편 = 5.69, “< 100”이면 8.02(= 5.69+2.33)이므로 유효토심 “< 100”인 경우 “20~50”에 비해 홍수 위험도가 높다.

<Table 6> Regression Results of Log(FVI)

Independent variables	Base High Level		
	2m (n = 38)	2.5m (n = 40)	3m (n = 40)
Intercept	5.69	6.23	8.56
sqrt(WSL)	-3.67*** (-0.72)	-3.52*** (-0.67)	-2.20*** (-0.45)
sqrt(DGWR)	-3.16*** (-0.22)	-3.06*** (-0.24)	-6.91*** (-0.61)
sqrt(DGWR2)	3.71*** (0.24)	4.91*** (0.36)	3.52*** (0.29)
SD(< 100)	2.33*	-	5.49***
GST(Silt Loam)	-	-	-3.57**
R ²	89.5%	83.1%	78.1%

4. 결 론

본 연구에서는 홍수 위험도 척도를 FVI로 정의하고 낙동강 보 지역 데이터를 활용하여 홍수 위험도 예측모형을 도출하였다. FVI는 기저고수위 수준에 따라 값이 달라지므로 대표 기저고수위 수준을 찾기 위하여 MDS 방법을 적용하여 2m, 2.5m, 3m, 3개 기저고수위 수준을 본 연구에서는 사용하였다.

목표변수 FVI에 대한 예측변수로 5개 양적변인과 7개 질적변인을 고려하여 양적변인은 회귀분석으로 질적변인은 분산분석으로 유의성을 검정한 후 유의한 변수들만으로 선형모형을 활용하여 예측모형을 도출하였다. 양적변인은 모형의 적합성을 높이기 위하여 정규성 분석과 정규변환을 적용한 후 분석하였고 질적변인은 개별 분산분석을 실시하여 변인의 수준 수를 사전 조정하였다. 최종 예측모형 추정 시 후진제거 방법 변수선택, 다중공선성 진단, 이상치 진단 및 해결을 시행하였다.

기저고수위 수준에 관계없이 담수 후 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이는 홍수 위험도에 양의 효과(차이가 클수록 홍수 위험도 높아짐), 해수면 기준수위와 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위 차이는 홍수 위험도에 음의 효과를 미친다. 기저고수위 2m와 2.5m에는 해수면 기준수위, 3m에서는 담수 후 관정 인근 농경표고와 낙동강 수위가 홍수 위험도에 대한 영향력이 가장 크다.

질적변인 중 유효토심은 기저고수위 2m와 3m에서 유의한 영향을 미치며 20~50 범주보다 < 100 범주에서 홍수 위험도가 높다. 표토토성은 기저고수위 3m에서만 유의하며 Silt Loam인 경우 다른 토성에 비해 홍수 위험도가 낮다.

추정된 선형모형의 결정계수는 기저고수위 2m에서 89.5%로 가장 높고, 2.5m에서는 83.1%, 3m에서는 78.1%

였다. 기저고수위가 커질수록 모형의 적합도가 낮아지고 있어 향후 연구에서는 새로운 예측변수에 대한 탐색을 통한 예측력 제고가 필요하다. 제안된 추정모형을 활용하는 방법은 사전에 보지역이 감당할 수 있는 FVI 값 결정하고 유지될 수 있도록 예측변인 값을 조정하는 것이다. 토양 및 토질의 변인은 조정 가능한 변인이 아니므로 조정 가능한 예측변인들이 어떤 범위에서 FVI 값을 위험 수준 이하로 유지하는지 사전 계산하여 예측변인 값들을 계산된 범위 내에서 조절하면 된다.

이상치 진단 결과 기저고수위 수준에 관계없이 이상치로 판단된 관측점의 홍수 위험도 $FVI = 0$ 인 지점이었으며 수준별로 상이한 관측지점에 대한 심층연구도 필요하다. 예측모형 산정 시 FVI 값의 측정과 달리 예측변수 값들은 관측지점에 따른 영향이 크므로 적절한 관측지점에 대한 연구가 필요하다. 최적 관측지점에 대한 연구는 권세혁·오현승[6]이 제안한 수질 측정 최적화 방법을 적용할 수 있을 것이다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by the 2014 University Research Fund of Hannam University, Daejeon, Korea.

References

- [1] Anderson, T. and Darling, D., Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes. *Annals of Mathematical Statistics*, 1952, Vol. 23, pp. 193-212.
- [2] Box, G. and Cox, D.R., An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 1964, Vol. 26, No. 2, pp. 211-252.
- [3] Cox, T.F. and Cox, M.A.A.. *Multidimensional Scaling*. Chapman and Hall, 2000.
- [4] Jang, O.J. and Kim, Y.O., Flood Risk Estimation Using Regional Regression Analysis, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 2009, Vol. 9, No. 4, pp. 1-10.
- [5] Kwon, S.H. and Oh, H.S., Forecasting Model for Flood Risk at Bo Region. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2014, Vol. 37, No. 1, pp. 1-6.
- [6] Kwon, S.H. and Oh, H.S., Construction of Observational Locations for Measuring Water Quality in River Area. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 3, pp. 187-191.
- [7] McCullagh, P. and Nelder, J., *Generalized Linear Model*, 2nd edition, Chapman and Hall/LRC, 1989.
- [8] Ministry of Agriculture, Food and Riral Affaires, *National Academy of Agricultural Science, Detailed Soil Map*, 2013.
- [9] Ministry of Environment, Environmental Geographic Information Service, <http://egis.me.go.kr>.
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Long-term Comprehensive Planning of Water Resources of 2006~2020, Report of 2006.
- [11] Sommer, T. and Ullrich, L., *Influence of Flood Event 2002 on Ground-water. Research Report(in German)*. Environmental Office, City of Dresden, 2005, p. 68.
- [12] Song, J.H., et al., Estimation of flood index for the Nakdong River Watershed. *JKWRA*, 2013, Vol. 46, No. 1, pp. 35-45.

ORCID

- S. H. Kwon | <http://orcid.org/0000-0001-6195-9141>
 H. S. Oh | <http://orcid.org/0000-0002-7773-3750>