지역특성을 고려한 호우위험 전망정보 제시 방안 연구

A Study on the Development of Rainfall Risk Information Considering Local Characteristics

최천규* · 김경탁**

Choi, Cheonkyu*, and Kim, Kyungtak**

Abstract

Natural disasters caused by climate change frequently occur around the world. In Korea, flood warnings and storm warnings are used to prepare for flood damage. However, flood warnings are specifically issued for rivers while storm warnings use the same criteria throughout the country. Accordingly, there is a limit to effective flood preparation which reflects the regional characteristics of each administrative district. In this study, the flood risk matrix for each administrative district is developed in order to provide flood risk forecast information that reflects upon local characteristics. Moreover, the applicability is evaluated by using dichotomous forecasting. As a result of the forecast's evaluation, the probability of detection was determined to be over 80%. Therefore, it is possible to prepare for a flood through the forecast information of the administrative district using the flood risk matrix. In the future, it will be necessary to study how to improve the utilization of flood risk forecasting information through the continuous investigation of past damage phenomenon along with a review of flood-influencing factors.

Key words : Rainfall Risk Matrix, Criteria of Rainfall, LENS, Method for Dichotomous Forecast

요 지

세계적으로 기후변화에 따른 자연재난이 빈번하게 발생하고 있다. 국내의 경우에는 홍수피해에 대비하기 위한 기준으로 홍수특보와 호우특보가 활용되고 있다. 그러나 홍수특보는 하천을 중심으로 특보를 발령하고 있고, 호우특보는 전국을 동일한 기준을 활용하고 있어 행정구역별 지역 특성을 반영한 효과적인 홍수 대비에는 한계가 있다. 본 연구에서는 지역특성을 반영한 호우위험 전망정보를 제공을 위해 행정구역별 호우위험 매트릭스를 개발하고 이를 양분예보기법을 활용하여 적용성을 평가하였다. 예보성능 평가 결과, 탐지확률이 80% 이상으로 호우위험 매트릭스를 활용한 행정구역 호우위험 전망정보를 통해 호우에 대비할 수 있을 것으로 판단되었다. 향후, 과거 피해현상에 대한 지속적인 조사와 호우피해 유발 인자에 대한 검토를 통해 호우위험 전망정보의 활용성을 높이는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 호우위험 매트릭스, 강우기준, 강우양상불자료, 양분예보기법

1. 서 론

세계적으로 기후변화에 따라 자연재난이 빈번하게 발생하고 있다. 국내에서도 태풍, 호우(Heavy rainfall)로 인한 피해가 크게 증가하고 있다. 2006년부터 2016년까지 국내에

서 발생한 자연재난 중 태풍(28.1%)과 호우(65.3%)에 의한 피해가 전체의 92.5%로 큰 비중을 차지하고 있다(MPSS, 2016; Choi et al., 2018). 점차 증가하는 홍수 피해로부터 생명과 재산을 보호하기 위해서는 사전에 홍수에 대비할 수 있는 시간확보와 대비가 필요하다. 세계기상기구(World

*정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 전임연구원(E-mail: cheonkyuchoi@kict.re.kr)

Member, Research Specialist, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원(Tel: +82-31-910-0267, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: ktkim1@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Meteorological Organization, WMO)는 기상재해로부터 인명과 재산을 보호하기 위한 일환의 하나로 영향예보(Impact forecasts)를 제시한 바 있으며, 영향예보는 재해(Hazard), 노출(Exposure), 취약성(Vulnerability)을 포함하고 있다(WMO, 2015; Lee, 2017).

홍수통제소의 홍수특보는 하천 60개 주요지점을 중심으로 홍수주의보와 홍수경보를 발령하고 있다. 홍수특보는 일부 국가하천 중심으로 특보 지점을 선정하여 모든 기초지자체에서 홍수에 대비하는 데 활용하기에는 공간적으로 한계가 있다. 이에 228개 기초지자체의 홍수 재난대응 단계 설정 기준은 기상청 호우특보와 태풍특보를 기준을 활용하여 홍수에 대비하고 있는 실정이다.

기상청 호우특보는 호우주의보와 호우경보로 구분된다. 호우주의보는 3시간에 60 mm 이상이 예상되거나, 12시간에 110 mm 이상이 예상되는 경우이다. 또한 호우경보는 3시간에 90 mm 이상이 예상되거나, 12시간에 180 mm 이상이 예상되는 경우이다. 그러나 전국 228개 행정구역에 대해 동일한 기준을 제시하고 있어 지역별 재해(Disaster) 발생 특성을 반영하고 있지는 못하고 있다.

기상선진국으로 불리는 영국의 경우, 환경청(Environment agency)과 기상청(Met office)에서 홍수예보를 위한 조직인 홍수예보센터(Flood Forecasting Centre, FFC)를 설립하고, 강우예측자료와 Grid-to-Grid (G2D)모형을 연계하여 지역별 위험도를 반영한 홍수예보를 수행하고 있다. FFC에서는 하천, 조위, 해안 등에 대한 홍수발생가능성과 잠재적 피해영향을 조합하여 홍수위험도 정보를 제공하고 있다. 여기서, 홍수발생가능성은 4단계(Very low, Low, Medium, High)로 구분하고, 홍수에 의한 영향에 따른 피해 형태에 따라서 4등급(Minimal, Minor, Significant, Severe)으로 구분하여 각 항목을 조합한 홍수위험 매트릭스(Flood risk matrix)를 제공하고 있다. 영국 환경청은 FFC의 홍수위험도 정보를 활용하여 5일 예보를 수행하고 있다(<https://www.gov.uk/check-flood-risk>).

국내에서 호우위험 전망정보 제시와 관련된 연구를 살펴보면, Lee (2017)는 강남 지역을 대상으로 강우시나리오를 생산하고 60분과 120분의 지속시간을 가지는 강우-면적-침수심 관계곡선을 작성하고, 도시침수에 의한 영향예보 대상 항목(보행자, 차량, 건물 등)에 대해 홍수 영향 임계값을 추정한 바 있다. 또한 Lee et al. (2018)은 서울특별시의 사당동과 서초동을 대상으로 강우-유출모형인 S-RAT과 범람해석 모형인 FLO-2D를 활용하여 한계강우량을 산정하여, 대상지역에 적용을 통한 과거 발생한 침수사례와의 비교 연구를 수행한 바 있다. NDMI (2014)는 서울시 주요 침수지역을 대상으로 지역별 침수위험 기준을 선정하고 시나리오를 기반으로 한 도시 홍수 대응체계를 제시한 바 있다. 대상지역내 CCTV를 활용하여 침수 사례를 분석 하고 홍수 경보체계를 개발한 바 있다. 또한 NDMI (2017)에서는 Neuro-Fuzzy 모형을 활용하여 한계강우량 산정이 불가능한 지역을 대상으

로 피해이력을 기반으로 한계강우량을 산정하여 호우 경보 기준을 설정한 바 있다. 국내 연구사례는 주로 도시지역을 대상으로 연구가 수행되었으며, 지역별로 홍수피해 특성이 상이한 각 지자체에 적용하여 호우피해에 대비하기에는 한계가 있다. 따라서 사전에 홍수피해에 대비하기 위해서는 지역특성을 고려한 호우 위기정보단계 기준 설정 및 행정구역별 홍수위험전망정보의 제공이 필요하다.

본 연구에서는 지역 특성을 반영한 행정구역별 호우위험 전망정보를 제시하고자 한다. 이에 따라 행정구역별 과거 호우피해 정보와 확률강우량을 활용하여 강우기준을 제시하고, 수치예보모델 중 기상청의 국지 앙상블모델(Local ENsemble prediction System, LENS)의 강우앙상블자료를 활용하여 호우피해 발생가능성을 산정하였다. 또한 산정된 강우기준과 발생가능성을 활용하여 행정구역별 호우위험 매트릭스를 구축하고, 호우피해를 저감하기 위한 3일 이전의 대응단계를 설정하고자 하였다. 설정된 호우위험 매트릭스는 과거 피해사례와의 비교를 통해 적용성을 평가하였다.

2. 연구방법

사전에 홍수위험에 대한 정보를 파악하여 사전에 홍수피해를 대비하기 위해서는 행정구역별 지역특성을 반영한 강우기준을 제시가 필요하며, 이를 활용한 홍수위험 매트릭스를 행정구역별로 제시함으로써 인명과 재산을 보호할 수 있다. 이에 본 연구에서는 홍수피해를 유발하는 강우인자의 크기에 따른 단계를 구분하고, 홍수피해의 발생 가능성을 활용한 홍수위험 매트릭스 구축하고자 하였다. 홍수위험 매트릭스는 잠재홍수피해등급을 나타내는 X축과 홍수피해 발생가능성을 나타내는 Y축으로 구성된다. 매트릭스의 각 셀은 위험정도에 따라 대응단계(관심[파랑], 주의[노랑], 경계[주황], 심각[빨강])로 구분하였으며, Fig. 1은 홍수위험 매트릭스의 개념도를 나타낸 것이다.

Likelihood	High				
	Medium				
	Low				
	Very Low				
		Minimal	Minor	Significant	Severe
		Impact			

Fig. 1. Flood Risk Matrix

홍수위험 매트릭스는 홍수피해 발생가능성과 잠재홍수피해등급을 구분할 수 있는 기준으로 구성된다. 본 연구는 홍수피해 발생가능성(Y축)을 4단계(20%, 40%, 60%)로 구

분하고, 발생가능성을 판단하기 위해 기상청의 수치예보자료인 강우양상불자료를 활용하였다. 잠재홍수피해등급(X축)은 홍수피해 유발인자 중 하나인 강우량을 활용하였으며, 잠재 홍수피해 등급의 단계를 구분하기 위해 행정구역별 과거 홍수피해 조사를 통한 강우량, 피해현상, 홍수피해액 등과 행정구역별 확률강우량을 활용하였다. 홍수위험 매트릭스의 각 셀은 홍수 위기대응 단계를 나타내며, 관심(파랑), 주의(노랑), 경계(주황), 심각(빨강)으로 4단계로 구분된다. 본 연구에서 제시된 행정구역별 대응단계는 낙동강권역 69개 행정구역에 적용하였으며, 과거에 발생한 실제 강우사상을 적용한 결과와 실제 강우사상을 양분예보기법을 활용하여 예보 성능을 평가하였다.

3. 가용자료 구축

행정구역 홍수위험 매트릭스를 구축하기 위해서는 홍수 피해 규모에 따른 강우량의 기준과 홍수피해 발생가능성에 대한 정보가 필요하며, 이를 바탕으로 대응단계를 설정하여 홍수에 대비하는데 활용이 가능하다. 따라서 강우량기준을 제시하기 위해 본 연구에서는 홍수피해 규모에 따른 강우량과 피해 현상 등을 활용하였으며, 조사된 피해현상은 본 연구에서 제시한 홍수피해 현상표를 통해 홍수피해 규모를 설정하였다. 기상청의 강우양상불자료는 컨트롤 멤버(Control member [m00])와 12개의 섭동 멤버(Perturbation member [m01~m12])로 구성되며(<http://www.kma.go.kr> [KMA]), 컨트롤 멤버는 초기 분석장에 섭동을 주지 않은 기준이 되는 멤버이다. 이에 본 연구에서는 컨트롤 멤버를 제외한 12개 멤버를 활용하여 발생가능성을 제시하는데 활용하였다.

3.1 홍수피해 정보

홍수피해 특성은 행정구역별로 강우특성과 지역특성에 따라 달라진다. 이러한 특성을 반영하기 위해서는 과거에 발생한 홍수피해 조사를 통한 정보를 수집하고 이를 반영한 기준이 필요하다. 그러나 발생한 호우피해 이력이 없거나 적은 경우에는 피해규모를 파악할 수 없어 적절한 강우기준을 제시하기에 한계가 있다. 또한 지역적 강우특성을 나타내는 확률강우량은 과거 대상지역내 발생한 강우량을 기반으

로 작성되어 강우특성은 나타낼 수 있으나 호우피해와 직접적으로 연계하기에는 한계가 있다. 한편, 호우피해액은 호우에 따른 피해규모를 파악하는데 활용할 수 있으며, 강우기준의 적정성을 파악하는데 활용이 가능하다. 본 연구에서는 호우피해 당시 피해현상을 파악하기 위해 각종 미디어 및 뉴스 등을 조사하였으며, 조사된 피해현상을 바탕으로 강우기준을 구분하는데 활용하고자 하였다. Table 1은 본 연구에서 행정구역별 강우기준 제시를 위해 활용한 가용자료를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 자료 수집 기간을 2000년부터 2012년까지 행정구역별 홍수피해 사상이 발생한 기간에 대해 조사하였으며, 이를 통해 과거 발생한 호우피해 사례에 대한 현상, 강우량, 홍수피해액을 수집하였다. 또한 확률강우량은 2016년 기준으로 제시된 확률강우량(<http://210.92.123.136>)을 행정구역 평균 강우량으로 환산하여 본 연구의 강우기준 제시에 활용하였다.

3.2 홍수피해 현상표(Flood impact table)

홍수피해 현상표는 과거에 발생한 홍수피해 현상에 따라 그 피해 규모를 구분할 수 있으며, 강우기준 설정에 필요하다. 본 연구에서는 피해 현상에 따라 피해규모를 1등급(Minimal impacts), 2등급(Minor impacts), 3등급(Significant impacts) 및 4등급(Severe impacts)으로 구분하였다. 피해등급별 현상은 강우에 의해 발생한 피해 현상에 따라 구분하는데, 본 연구에서는 영국의 홍수피해현상표(Flood impact table), 자연재난 표준행동 매뉴얼(여주군, 홍수 및 호우관련 국민행동요령(<http://www.safekorea.go.kr> [MOIS]), 수방매뉴얼(서울시설공단), 홍수대책 매뉴얼(홍수통제소) 등을 활용하여 국내 설정에 적합한 홍수피해 현상표를 제시하였다. Table 2는 본 연구에서 제시한 홍수피해현상표(Flood impact table)를 나타낸 것이다.

4. 행정구역별 강우기준 제시

본 연구에서는 행정구역별로 피해유발 강우기준을 설정하기 위해 과거 호우피해가 발생한 이력 정보와 확률강우량을 활용하였다. 먼저 피해현상기반 강우기준을 설정하기

Table 1. Description of the Data

Data	Factors	References
Probable rainfall	• Probable rainfall	• Korea Precipitation Frequency Data Server
Rainfall	• Rainfall [1hr]	• WAMIS
Flood impact information	• Flood damage phenomenon	• Storm and flood damage reduction plan report by administrative district • Flood damage phenomenon information including Internet, News, etc.
Flood damage	• Date, flood damage	• Disaster annual report (2001 ~ 2012)

Table 2. Flood Impact Table

Classify	[level1] Minimal Impacts	[level2] Minor Impacts	[level3] Significant Impacts	[level4] Severe Impacts
Rainfall intensity	<ul style="list-style-type: none"> Raining If it rains for a long time, clothes get wet. 	<ul style="list-style-type: none"> Hard rains If you walk, your pants get wet 	<ul style="list-style-type: none"> Heavy rain falls Even if I have an umbrella, my clothes get wet 	<ul style="list-style-type: none"> Rains so much. You can not see ahead The umbrella does not help
Ground	<ul style="list-style-type: none"> Small puddle in the ground 	<ul style="list-style-type: none"> Big puddle in the ground There is a flow of water on the ground and makes a furrow 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation occurs A small streams overflow Underground facilities are flooded 	<ul style="list-style-type: none"> Large areas are flooded The water overflows from the manhole Evacuation to safe area is necessary
Road	<ul style="list-style-type: none"> No impact on driving 	<ul style="list-style-type: none"> The road is partially submerged 	<ul style="list-style-type: none"> Road are blocked due to flooding 	<ul style="list-style-type: none"> The car floods in water The road is paralyzed
In car	<ul style="list-style-type: none"> Operating the wiper 	<ul style="list-style-type: none"> Quickly operate the wiper 	<ul style="list-style-type: none"> The wiper does not seem to work quickly 	<ul style="list-style-type: none"> Brake malfunction Driving is dangerous
Damage asset	<ul style="list-style-type: none"> Needs Inspection in building Some assets are flooded 	<ul style="list-style-type: none"> Concerns about farmland and asset damage caused by local flooding 	<ul style="list-style-type: none"> Damage to buildings / structures 	<ul style="list-style-type: none"> Possibility of collapse in building / structure Expected large-scale damage

위해 행정구역별 홍수피해 현상조사 결과와 홍수피해 정도를 파악할 수 있는 홍수피해현상표를 매칭하여 강우기준의 등급을 설정하였다. 확률강우량을 활용한 강우기준 설정 방법은 기산정된 확률강우량 자료를 활용하여 행정구역별 강우기준의 등급을 설정하였다. 이때 각 등급별 강우기준은 하천 시설물의 설계빈도를 활용하였다. 2등급 기준은 하수 관거의 지선 설계빈도인 5년 빈도, 3등급은 하수관거 간선의 설계빈도인 10년 빈도, 4등급은 소하천 설계 빈도인 30년 빈도로 설정하였다.

또한 강우기준에 활용된 강우의 지속시간은 3시간으로 설정하였다. 강우에 따른 홍수피해는 3시간 이상의 시간이 경과하면, 홍수로 인한 피해현상은 강우에 의한 영향보다 지역별 유출 특성이 반영된 홍수량(또는 홍수위)이 홍수에 더 영향을 많이 끼칠 것으로 판단하여 본 연구에서는 강우의 지속시간을 3시간으로 설정하였다.

4.1 대상지역

낙동강권역 내에는 총 70개 행정구역이 위치하고 있으며, 각 행정구역별 강우기준을 제시하고 이를 활용하여 홍수위험 매트릭스를 구축하고자 하였다. 지역 현황을 반영하기 위해 낙동강권역 행정구역 방문을 통해 담당 공무원의 의견을 수렴하였으나, 울릉도는 행정구역 방문을 통한 담당공무원의 의견 수렴이 되지 않아 대상 행정구역에서는 제외하였다. 본 연구에서는 낙동강권역의 69개 행정구역을 대상으로 홍수위험 매트릭스를 구성하였다. Fig 2는 본 연구의 대상지역 및 행정구역을 나타낸 것이다.

Fig. 2. Location of Study Area

4.2 강우기준의 비교

행정구역별 강우기준을 설정하기에 앞서 피해현상기반 강우기준과 확률강우량을 활용한 강우기준을 비교하였다. 비교 결과, 피해현상기반 강우기준이 확률강우량을 활용한 강우기준에 약 60%정도 낮게 분포하는 것으로 평가되었다. 이러한 분석 결과는 지역별 홍수피해 특성에 따라 서로 다르지만 실제 강우에 의한 홍수피해가 설계빈도의 약 60% 정도 작은 강우량에서 발생한다는 의미로 판단하였다. 이에 따라 본 연구에서는 확률강우량을 활용한 강우기준 설정시

확률강우량의 60%에 해당되는 강우량을 활용하였다.

피해현상기반 강우기준은 실제 피해사례를 활용하기 때문에 홍수발생에 따른 지역적 피해특성을 반영하는데 적합하지만, 피해이력이 없거나 이력이 적으면 강우기준을 설정하는데 한계가 있다. 이와 반대로 확률강우량을 활용한 강우기준은 과거 강우 특성만을 반영하기 때문에 홍수에 따른 지역특성을 반영하는데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 피해현상기반 강우기준과 확률강우량을 활용한 강우기준을 혼합하여 기준을 설정하고자 한다.

4.3 강우기준의 설정

낙동강권역에 대해 69개 행정구역별 강우기준을 과거 피해현상기반 강우기준과 확률강우량을 활용한 강우기준을 혼합하여 강우기준을 제시하였다. 피해현상 기반 강우기준은 기준 설정에 활용 가능한 피해현상이 충분하지 않을 경우 각 단계의 강우량 범위가 좁거나 넓게 분포하게 되며, 확률강우량의 경우에는 강우량만을 활용한 기준이기 때문에 피해 강도를 활용한 잠재호우피해 등급을 구분하기에는 한계가 있다. 이에 따라 두 개의 강우기준을 합성하여 제시하였으며, Fig. 3은 강우기준 제시 방법을 나타낸 것이다.

행정구역별 강우기준을 설정하기 위해 확률강우량의 60% 강우량을 활용하여 제시된 강우기준 중 4등급 강우량을 기준으로 2등급과 3등급의 비율을 산정하고, 동일한 방법으로 피해현상기반 강우기준도 4등급 강우량을 기준으로 각 등급별 비율을 산정하였다. 강우기준의 2등급과 3등급은 산정된 확률강우량을 활용한 강우기준과 피해 현상기반 강우기준의 비율 평균값을 각각 산정하여 설정하였다. 이후 확률강우량(60%)을 활용한 4등급 강우기준과 피해현상기반 4등급 강우기준의 평균 강우량을 산정한 후, 2등급과 3등급의 비율 평균값을 4등급 평균 강우량과 곱하여 등급별

강우기준 값을 제시하는 방법으로 강우기준을 설정하였다. 1등급 강우량 기준은 3시간 동안 누적강우량이 피해가 발생하지 않는 강우로 가정하여 5 mm의 강우량으로 설정하였다. Fig. 4는 본 연구에서 제시한 낙동강권역에 대한 강우기준 각 단계별 강우량의 분포를 대상지역 행정구역에 대해 상대적으로 나타낸 것이다.

Fig. 3. Decision of Rainfall Threshold

Fig. 4. Criteria of Rainfall (Nakdong River Basin)

5. 호우위험 매트릭스의 적용성 평가

본 연구에서는 낙동강권역 69개 행정구역을 대상으로 강우양상불자료와 피해현상 조사 자료, 확률강우량 및 호우 피해 현상표를 활용하여 호우위험매트릭스를 개발하였다. 이에 따라 개발된 호우위험 매트릭스의 적용성을 평가하고자 낙동강권역에서 발생한 8개의 강우사상을 선정하여 실측 강우량에 따른 강우기준과 비교 검토하였다. 검토방법은 선정된 강우사상 내 강우양상불자료를 통해 제시된 호우위험전망정보를 양분예보기법을 활용하여 예보 성능을 평가하였다.

5.1 강우사상의 선정

본 연구에서는 선정된 8개 강우사상에 대해 적용하였으며, 기상일보(KMA, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c)를 활용하여 대상 강우사상의 기상상황을 파악하였다. Table 3은 본 연구에서 활용한 강우사상에 대한 정보를 나타낸 것이다. 또한 강우사상 기간 동안의 강우양상불자료를 활용하여 호우위험 매트릭스에 적용하여 적용성을 평가하였다.

5.2 예보성능평가

본 연구에서 제시한 행정구역별 강우기준을 X축에 적용하고, 호우피해 발생가능성을 기성청의 강우양상불자료를 적용하여 호우위험 매트릭스로부터 설정된 대응단계를 실

측된 강우로부터 설정된 대응단계를 비교하고자 하였다. 이를 위해서 양분예보기법을 활용하였다.

5.2.1 양분예보기법

양분예보기법(Method for dichotomous forecast)은 예보 모델에 대한 예측 결과를 특정 임계값(Threshold value)을 기준으로 양분 예보를 평가하며, 강수 유무 판별을 통해 정확도를 검증하는 방법이다. 검증 방법은 관측값과 수치 예측값을 각각 이진변수로 나타낸 분할표(Confusion matrix)를 활용하여 다양한 예보 평가 지수의 결과를 통해 예보 성능을 평가하며, Table 4는 분할표를 나타낸 것이다.

본 연구에서 분할표를 활용한 예보 성능 설명 통계 지표의 종류로는 정확도(Accuracy, A), 편차도(Bias Score, B), 임계 성공지수(Critical Success Index, CSI), 하이테크 숙련도(Heidke Skill Score, HSS), 탐지확률(Probability of Detection, POD), 오보율(False Alarm Ratio, FAR), 성공률(Success Ratio, SR)을 평가하였다. Eqs. (1) ~ (6)은 예보성능을 평가하기 위한 각 통계 지표의 식을 나타낸 것이다.

$$A = \frac{H + C}{H + M + F + C} \quad (1)$$

$$B = \frac{H + F}{H + M} \quad (2)$$

$$CSI = \frac{H}{H + M + F} \quad (3)$$

Table 3. Rainfall Event

No.	Classify	Duration	Weather conditions
1	Atmospheric instability	2016.09.01. - 2016.09.05.	Atmospheric instability
2	Atmospheric instability	2016.09.15. - 2016.09.19.	Typhoon, Influence of low pressure
3	Influence of low pressure	2017.09.09. - 2017.09.13.	Influence of low pressure
4	Changma front	2017.07.01. - 2017.07.05.	Changma front, Typhoon
5	Changma front	2017.07.26. - 2017.08.16.	Changma front
6	Atmospheric instability	2017.08.12. - 2017.08.16.	Influence of low pressure, Atmospheric instability
7	Influence of low pressure	2017.09.25. - 2017.09.29.	Influence of low pressure
8	Atmospheric instability	2016.10.03. - 2016.10.07.	Atmospheric instability, Typhoon

Table 4. Confusion Matrix

Forecast	Observation		
	Yes	No	Total
Yes	Hit (H)	False alarm (F)	H + F
No	Miss (M)	Correct negative (C)	M + C
Total	H + M	F + C	H + F + M + C

$$\bullet HSS = \frac{H+C+R}{H+M+F+C-R},$$

$$R = \frac{(H+M)(H+F) + (C+M)(C+F)}{H+M+F+C} \quad (4)$$

$$\bullet FAR = \frac{F}{M+F} \quad (5)$$

$$\bullet SR = 1 - FAR = \frac{H}{H+F} \quad (6)$$

5.2.2 예보성능평가 결과

강우사상에 대한 예보성능평가 결과를 평가하기 위하여 강우양상불자료를 활용하여 낙동강권역 69개 행정구역에 적용하였다. 분할표의 임계값은 호우위험 매트릭스를 통해 제시된 호우위험 전망정보 단계 중 ‘주의’ 이상을 기준으로 설정하였으며, 분할표는 울릉도를 제외한 낙동강권역 69개 행정구역을 대상으로 하였다. 본 연구에서 선정된 각 강우사상은 선정된 기간 동안 6개의 강우양상불자료를 활용하여 전망정보를 제공하게 되며, 각 강우양상불자료는 예측 당일을 포함하여 3일 동안의 호우피해 전망정보를 제시하게 된다. 이에 따라 강우사상별 분할표에 사용된 데이터는 1,242개를 활용하였다. Table 5는 각 강우사상별로 작성된 분할표를 나타낸 것이다. 또한 강우사상별 분할표를 활용하여 예보성

능평가는 예보성능 설명 통계지표를 활용하였으며, Table 5는 예보성능 설명 통계 지표별 비교한 결과를 나타낸 것이다.

각 예보 성능 설명 통계 지표를 살펴보면 Fig. 5와 같다. 먼저, 예보 성능평가 지표 중 정확도(A)는 기상현상 중 저기압의 영향을 받은 ③번과 ⑦번 강우사상이 가장 높게 나타났으며, 장마전선의 영향을 받은 ④번과 ⑤번 강우사상은 정확도가 같은 기상현상을 나타내지만 각각 약 0.35, 0.80로 차이가 크게 나타나는 것으로 평가되었으며, 기상 현상이 대기불안정인 ①번, ②번, ⑥번과 ⑧번은 약 0.65정도의 정확도를 나타내는 것으로 나타났다.

편차도(B)는 실제 강우로 설정된 임계값보다 높은 단계일 경우보다 호우피해 전망정보에 의해 설정된 임계값 이상인 경우가 많으면 1.0보다 크게 나타나게 되는데, 본 연구에서는 모든 강우사상에서 높게 나타나는 것으로 평가되었다.

탐지확률(POD)은 실제 강우로부터 임계값 이상을 나타낸 경우에 호우피해 전망정보다 임계값 이상으로 나타낸 경우를 나타내며, 본 연구에서는 0.8 이상으로 높은 탐지확률을 나타내는 것으로 판단되었다.

오보율(FAR)과 성공률(SR)은 서로 반대의 성격을 나타내며, 오보율이 높으면 본 연구의 호우피해 전망정보가 실제 강우에 의한 단계를 정확히 예측하지 못한다는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 기상현상 중 저기압에 의한 영향을 받는

Table 5. Comparison of rainfall criteria (Nakdong river basin)

Event 1	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	655	390	1,045
No	61	136	197
Total	716	526	1,242

Event 3	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	414	118	532
No	8	702	710
Total	422	820	1,242

Event 5	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	174	237	411
No	18	813	831
Total	192	1,050	1,242

Event 7	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	393	120	513
No	3	726	729
Total	396	846	1,242

Event 2	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	507	530	1,037
No	27	178	205
Total	534	708	1,242

Event 4	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	390	808	1,198
No	0	44	44
Total	390	852	1,242

Event 6	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	557	399	956
No	5	281	286
Total	562	680	1,242

Event 8	Observation		
Forecast	Yes	No	Total
Yes	418	297	715
No	36	491	527
Total	454	788	1,242

Fig. 5. Forecast Evaluation Index

경우에 오보율이 약 0.2로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 장마전선의 영향을 받는 경우에 오보율이 약 0.6으로 높은 것으로 나타났다.

이 외에도 호우피해 전망정보와 실측 강우가 임계값 이상을 나타내는 전체 개수 중 현상을 예측한 경우를 나타내는 임계성공지수(CSI)는 1에 가까울수록 전망정보의 예측을 잘하는 것으로 판단할 수 있다. 본 연구에서는 기상현상별로 구분되는데 저기압의 영향, 대기불안정, 장마전선 순으로 높은 값을 나타냈다.

하이테크 숙련도(HSS)는 호우피해 매트릭스를 활용하여 제시된 전망정보의 성공률을 나타내는데 1에 가까울수록

예보성능이 좋음을 나타낸다. 본 연구에서는 저기압의 영향을 받는 ③번과 ⑦번 강우사상이 약 0.8로 높게 나타나 예보성능이 높은 것으로 나타났다.

통계지표를 활용하여 낙동강권역에 적용한 결과, 8개의 강우사상이 기상현상별(저기압의 영향, 장마전선, 대기불안정)로 구분되는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 선정된 강우사상의 탐지확률이 80% 이상으로 높게 나타나 본 연구의 호우피해 매트릭스의 적용성이 있음을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구의 호우피해 전망정보가 기상현상별로도 저기압의 영향, 대기불안정, 장마전선 순으로 높은 정확도를 나타내는 것으로 판단되었다.

6. 결론 및 고찰

본 연구에서는 행정구역별 호우위험 매트릭스를 개발하고 이를 활용한 사전에 호우위험 전망정보를 제시하고자 하였다. 이를 위해 행정구역별 과거 호우피해 정보 조사와 확률강우량 및 호우피해 현상표를 활용한 잠재호우피해 등급을 구분하고, 강우양상불자료를 활용한 호우피해 발생가능성을 산정하였다. 개발된 호우위험 매트릭스의 적용성을 검토하기 위해 낙동강권역 69개 행정구역에 적용함으로써 예보 성능을 평가하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 낙동강권역 69개 행정구역에 대해 지역특성을 반영한 강우기준 제시하였으며, 강우양상불자료를 활용한 호우위험 매트릭스를 개발하였다. 개발된 호우위험 매트릭스의 예보성능평가 결과, 탐지확률이 80% 이상으로 예보 성능이 높은 것으로 판단되었다.
- (2) 낙동강권역에 적용한 8개 강우사상을 기상현상에 따라 저기압의 영향, 대기불안정, 장마전선으로 구분하였으며, 기상현상에 따른 예보 성능을 평가하였다. 평가 결과 저기압의 영향을 받은 강우사상에 가장 예측 능력이 높은 것으로 평가되었다.
- (3) 본 연구에서 제시한 호우위험 매트릭스를 활용한 호우위험 전망정보는 호우피해 발생하기 전 행정구역별 위험도 특성을 반영한 맞춤형 대응단계를 사전에 제시할 수 있다. 따라서 행정구역별 재난담당자는 사전에 호우피해를 저감할 수 있는 적절한 조치를 통해 호우피해에 보다 효율적으로 대응할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2017002640001).

References

- Choi, C.K., Kim, K.T., Kim, G.H., and Shim, M.P. (2018). *Study on influencing factors of flood damage to single houses using field survey data. J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 535-543.
- Korea Meteorological Administration (KMA). Retrieved from

- <http://www.kma.go.kr>
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2016a). *Monthly weather report (October)*.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2016b). *Monthly weather report (September)*.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2017a). *Monthly weather report (August)*.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2017b). *Monthly weather report (July)*.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2017c). *Monthly weather report (September)*.
- Lee, B.J. (2017). Analysis on inundation characteristics for flood impact forecasting in Gangnam drainage basin. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 27, No. 2, pp. 189-197.
- Lee, S.H., Kang, D.H., and Kim, B.S. (2018). A study on the method of calculating the threshold rainfall for rainfall impact forecasting. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 93-102.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). *National disaster safety portal*. Retrieved from <http://www.safekorea.go.kr>
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS). (2016). *Disaster annual report in 2015*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2014). *A development of regional major disasters response scenarios and standards (I): Focused on urban flooding and drought*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2017). *Development of advanced technique for urban flood alert criteria*.
- World Meteorological Organization (WMO). (2015). *Guideline on multi-hazard impact-based forecast and warning system*. WMO-No. 1150.

Received	November 8, 2019
Revised	November 13, 2019
Accepted	December 9, 2019