

# 통계적 기법을 활용한 한국형 호우영향도 기준 산정 연구

이승운\* · 김병식\*\* · 정승권\*\*\*

Lee, Seung Woon\* · Kim, Byung Sik\*\* · Jung, Seung Kwon\*\*\*

## Statistical Techniques to Derive Heavy Rain Impact Level Criteria Suitable for Use in Korea

### ABSTRACT

Presenting the impact of meteorological disasters departs from the traditional weather forecasting approach for meteorological phenomena. It is important to provide impact forecasts so that precautions against disruption and damage can be taken. Countries such as the United States, the U.K., and France already conduct impact forecasting for heavy rain, heavy snow, and cold weather. This study improves and applies forecasts of the impact of heavy rain among various weather phenomena in accordance with domestic conditions. A total of 33 impact factors for heavy rain were constructed per 1 km grids, and four impact levels (minimal, minor, significant, and severe) were calculated using standard normal distribution. Estimated criteria were used as indicators to estimate heavy rain risk impacts for 6 categories (residential, commercial, utility, community, agriculture, and transport) centered on people, facilities, and traffic.

**Key words :** Heavy rain, Impact level criteria, Impact library, Receptor, Risk matrix

### 초록

기상현상 발생에 대한 기존 기상예보 방식에서 벗어나 기상재해가 사회와 인간생활에 끼치는 영향을 제공함으로써 사전에 영향범위에 대한 피해예방 및 행동예방을 취할 수 있는 영향예보를 제공하는 것이 필요하다. 이를 위해 미국, 영국, 프랑스 등 세계 각국에서는 호우, 폭설, 한파 등의 영향예보를 시행하고 있으며, 보다 효율적인 예보방안에 대해 고민하고 있다. 본 연구에서는 여러 기상현상 중 호우에 대한 영향예보를 국내의 실정에 맞도록 개선하고, 적용하기 위해 33개의 호우영향인자(Impact Library)를 격자단위(1 km)로 구축하고, 표준정규분포법을 이용하여 4개의 위험등급(Minimal, minor, significant, severe)의 기준을 산정하였다. 산정된 기준은 호우영향 대상체인 사람, 시설, 농업, 교통을 중심으로 한 6개의 카테고리(Residential, commercial, utility, community, agriculture, transport)에 대한 호우위험영향(Heavy rain risk impact)를 산정하기 위한 지표로 활용된다.

**검색어 :** 호우, 영향수준기준, 영향인자, 대상체, 위험매트릭스

## 1. 서론

세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)는 2015년 발표한 보고서를 통해 날씨가 미치는 영향에 대한 이해 부족으로 적시에 적절한 예·특보를 발표한다고 하더라도 적절한 대응이 부족하여 매년 전 세계적으로 인명 및 재산피해가 발생한다고 발표하였다

\* (재)국제도시물정보과학연구원 정보화연구실 선임연구원 (ICUH·seungwoonlee90@gmail.com)

\*\* 정회원·강원대학교 방재전문대학원 교수 (Kangwon National University·hydrokbs@kangwon.ac.kr)

\*\*\* 정회원·교신저자·(재)국제도시물정보과학연구원 연구위원 (Corresponding Author·ICUH·skjung6779@gmail.com)

Received May 15, 2020 / revised June 28, 2020 / accepted September 22, 2020

(Kim, 2017). 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 단순 기상현상의 발생에 대한 예보방식에서 벗어나 기상재해가 사회와 인간생활에 끼치는 영향을 제공함으로써 사전에 영향범위에 대한 피해예방 및 행동예방을 취할 수 있는 영향예보를 제공하는 것이 필요하다.

WMO(2015)는 영향예보를 위해서는 재해의 가능성, 재해의 취약성, 재해에 따른 위험노출을 동시에 고려하여야 한다고 말하고 있다. Yeh(2017)는 재해성 기상현상이 사회경제에 미치는 영향은 날로 증가하고 있기에 영향예보의 필요성은 어느 때보다 시급하다고 언급하고 있다.

국내의 경우 산지가 70 % 이상이며, 나머지 30 %도 도시화로 인해 인구밀집현상과 인구 고령화, 그리고 1인 가구의 증가 등으로 인한 사회 구조적 변화 및 국민소득 향상에 따른 여가활동의 증가 등으로 위험 기상에 따른 기상재해 영향을 야기하는 원인으로 작용하고 있다. 기존의 기상예보는 기상요소의 정량적인 데이터만을 제공하여 일반 국민들이 기상재해가 실생활에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 정보를 습득하는 데에는 한계가 있었고, 더욱이 기상재해에 따라 발생하는 사회, 경제적인 피해에 대한 정보의 부족으로 재해대비를 해야 하는 정부부처 및 지자체가 의사결정을 할 수 있는 정보의 지원이 이루어지지 않은 것이 현실이다. 다시 말하면, 날씨가 어떠한 것이라는 인식은 있으나, 그 날씨가 미치는 영향에 대한 이해는 부족하다는 것이다. 날씨의 영향에 대한 이해의 차이를 좁히기 위해서는 위험기상을 특보(주의보 및 경보) 수준 발표에 그치지 않고, 해당 현상으로 인한 위험요소와 이로 인한 영향에 이르기까지 통합적인 정보를 제공하는 것이 필요한 이유가 여기에 있다. 특히 2012년 제주도에 내린 폭설로 인해 제주공항이

마비되는 사태를 경험하며 국내 실정에 맞는 영향예보의 필요성이 대두되는 실정이다. 이를 위해 기상청에서는 2019년 6월부터 폭염에 대해 영향예보를 제공 중에 있으며, 본 연구를 통해 호우 분야에도 영향예보를 제공하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 호우영향 예보가 가능하도록 호우위험영향을 평가할 수 있는 영향정도를 통계적 기법을 활용하여 산정, 제시하였다.

## 2. 호우영향평가 매트릭스 구성

영국 기상청(Met office)은 2011년부터 위험기상 매트릭스를 활용해 확률을 기반으로 위험도를 예보하는 ‘국가위험기상경보서비스’(NSWWS)를 운영하고 있다. 위험기상 매트릭스는 가로축 ‘잠재적인 영향의 정도’(취약성)와, 세로축 ‘재해 발생 가능성 정도’(노출)를 표시하는데, 각각 4단계씩 나누어 분류한다. 호우영향 예보의 경우에는 가로축은 해당지역이 호우에 얼마나 취약한지를, 세로축은 강우발생가능성을 나타낸다.

스코틀랜드 환경 보호국(SEPA)은 CREW 2012\_03 보고서 (Moore et al., 2015)를 통해 홍수예측서비스를 위한 국가홍수위험 정도 매트릭스 접근방식을 제시하였다. Jung(2019)은 호우위험영향 매트릭스의 구성을 위해 3차원으로 구성된 Risk Impact Matrix Cube를 2차원으로 변형시켜 Z축인 Threshold Rainfall과 X축의 Impact Level을 결합하여 Potential Risk Impact로 전환하고, Y축을 강우발생가능성인 Likelihood로 적용하는 방안을 제시하였다.

제시된 매트릭스는 Fig. 1과 같으며, 앞 절에서 언급한 바와 같이 X축인 Potential Impacts는 침수피해를 유발하는 한계강우량

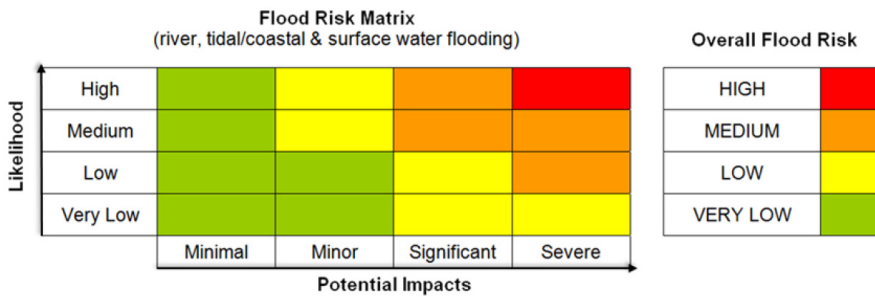


Fig. 1. The National Flood Risk Matrix Used by SEPA (Scottish Environment Protection Agency) in their Flood Guidance Statement (SEPA, 2014)

Table 1. Impact Descriptions Using 1 km Grid-Cell Impact Thresholds (Moore et al., 2015)

| Impact Category | Residential Properties | Commercial | Utilities | Community Service | Road                      |
|-----------------|------------------------|------------|-----------|-------------------|---------------------------|
| Minimal         | –                      | –          | –         | –                 | –                         |
| Minor           | 1 – 100                | 1 – 20     | 1 – 2     | 1 – 2             | –                         |
| Significant     | 1 – 100                | 20<        | 2<        | 2<                | <5 m Road<br><5 m Railway |
| Severe          | 100<                   | –          | –         | –                 | –                         |

(Threshold rainfall)과 호우영향정도(Impact Level)의 조합으로 구성되어 있으며, 이때 호우영향정도는 Table 1과 같이 인구와 재산 영향(지역사회 서비스, 공공시설, 상업 재산) 그리고 운송(철도 및 도로)으로 분류하고 있다.

본 연구에서는 Table 1에서 제시된 호우영향정도 평가기준을 한국의 특성에 맞는 지표로 재구성하고, 상세한 지표 기초자료의 분석을 통해 고도화된 호우영향정도 기준을 제시하고자 한다. 호우의 영향정도는 대상체인 사람, 시설, 교통, 농업으로 분류하여 적용하고, 특히 시설의 경우는 개인소유시설, 일반시설, 공공서비스시설로 구분하여 적용하였다.

### 3. 호우영향정도(Heavy rain impact level) 기준 선정

#### 3.1 Impact Library 구성

국내의 실정을 고려한 영향정도(Impact Level) 산정을 위하여 호우에 영향을 받는 대상체(Receptor)를 Table 2와 같이 인구, 시설(Commercial, Utilities, Community Service), 농업, 교통의 6개 카테고리 나눈어 선정하였다. DB 구축을 위해 통계지리정보 서비스(통계청), 도로명주소개발자센터(행정안전부)에서 Impact Library별 전국 DB를 Table 2와 같이 수집하고, 구축된 자료를 국가지점번호 기준으로 생성한 1 km × 1 km 격자의 ID를 부여하여

Table 2. Impact Library for Estimating Impact Level Criteria

| Main Category                       | Category              | Sub-Category           | Source   | Base Year |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|--|-----------|
| People                              | Population            | Residential population | Statistical Geographic Information Service (Statistics Korea)            | 2017      |
|                                     |                       | Working population     |  | 2016      |
|                                     |                       | Vulnerable class       |  | 2017      |
| Facility                            | House                 | General house          | Road Name Address Developer Center (Ministry of the Interior and Safety) | 2019      |
|                                     |                       | Apartment              |  |           |
|                                     | Factory               | Factory                |  |           |
|                                     | Commercial district   | General store          |  |           |
|                                     |                       | Large shopping mall    |  |           |
|                                     |                       | Accommodation facility |  |           |
|                                     | School                | Universities           |  |           |
|                                     |                       | High school            |  |           |
|                                     |                       | Middle school          |  |           |
|                                     |                       | Elementary school      |  |           |
|                                     | Kindergarten /Daycare | Kindergarten/Daycare   |  |           |
|                                     | Medical facility      | Hospital               |  |           |
|                                     |                       | Local clinic           |  |           |
|                                     |                       | Other medical facility |  |           |
|                                     | Infrastructure        | Airport                |  |           |
| Harbor                              |                       |                        |  |           |
| Bus terminal                        |                       |                        |  |           |
| Train/Subway station                |                       |                        |  |           |
| Power plant                         |                       |                        |  |           |
| Broadcasting/Communication facility |                       |                        |  |           |
| Public facility                     |                       |                        |  |           |
| Administrative facility             |                       |                        |  |           |
| Agriculture                         | Agriculture           | Paddy                  | Farm Map (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries)               | 2019      |
|                                     |                       | Field                  |  |           |
|                                     |                       | Orchard                |  |           |
|                                     |                       | Greenhouse             |  |           |
| Transportation                      | Road                  | General road           | Road Name Address Developer Center (Ministry of the Interior and Safety) | 2019      |
|                                     |                       | Expressway             |  |           |
|                                     | Road facility         | Overpass               |  |           |
|                                     |                       | Underground roadway    |  |           |
|                                     |                       | Bridges                |  |           |
|                                     |                       | Tunnel                 |  |           |
|                                     | Railroad              | Train track            |  |           |
|                                     |                       | Subway track           |  |           |

대상물의 공간분포를 지표로 구성하였다.

### 3.2 평가방법론 선정

일반적으로 대푯값을 산정하기 위해서는 평균을 사용하는 방법 외에 중앙값을 이용하는 방법, 사분위수를 적용해 0 %, 25 %, 75 %, 100 % 값을 기준으로 구간을 활용하는 방법 등 다양하게 연구되어 적용되고 있으며 이렇게 다양한 방법 중 어느 방법을 적용해야 하는가를 제시하기 위해 면접점수의 표준화방법 모의실험비교에서 Z점수 평균(평균편차일치법), 순위평균, 절사평균(최댓값, 최솟값 제외 방법)방법 간 성능을 비교하였다(Park, 2011). 여러 방법 중 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 전체자료를 사용하여 정보의 손실을 막을 수 있고, 명확한 범위 산정이 가능한 표준정규분포 방법을 활용하였다.

정규 분포 밀도함수에서  $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$  를 통해 X값을 Z로 정규화함으로써 평균이 0, 표준편차가 1인 표준정규분포를 얻을 수 있다.

Table 3. Calculation of Impact Level - Population

| Impact Category | Impact Receptor                |              |
|-----------------|--------------------------------|--------------|
|                 | Residential (Population Count) | Distribution |
| Minimal (1)     | 0~119                          | 0~5 %        |
| Minor (2)       | 120~973                        | 5~50 %       |
| Significant (3) | 974~7,907                      | 50~95 %      |
| Severe (4)      | 7,907<                         | 95~100 %     |

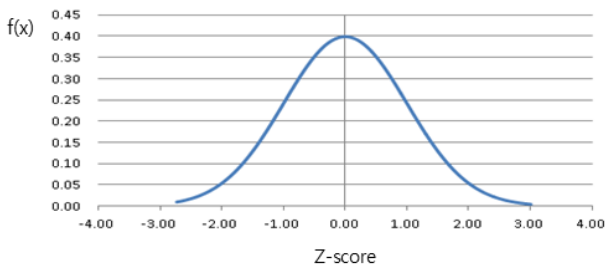


Fig. 2. Standard Normal Distribution Graph - Population

표준정규분포화 하였을 때 모형이 정규성, 선형성, 등분산성의 가정에 맞지 않은 경우 변수를 변환하고자 하였다. 이를 위해 Box, G.E.P.와 D.R. Cox 제시한 비정규분포를 정규분포처럼 바꿔주는 기법을 이용하였다(Box and Cox, 1964). Box-Cox 변환 기법은  $y^\lambda = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda} & \text{if } \lambda \neq 0, \\ \ln y & \text{if } \lambda = 0, \end{cases}$  로 변수 Y를  $Y^\lambda$ 로 교체하는데, 여러 가지 램다 값을 차례로 변경하면서 자료에 가장 정규성을 높여주는 값을 찾아서 적용하는 방법으로 이를 활용하였다.

### 3.3 Residential 영향정도 평가기준 산정

전국 기반의 인구 DB는 통계지리정보서비스의 인구자료를 활용하여 집계구별로 주거인구, 직장인구, 취약계층(14세 이하, 65세 이상)의 포인트 Data를 생성하였다. 이중 주거인구와 직장인구를 격자별로 합산하여 17,107개의 격자별로 산정한 인구수를 밀이 10인 log로 변환하여 Z표준화를 하고, 이를 Table 3과 같이 %에 따라 Impact Level을 구분하였다.

주거인구 중 취약계층 비율을 산정하여 이를 지표 내 변수들의 표준편차에 의존하지 않고 범위에 기반하여 0과 1사이의 값으로 표현하는 Re-scaling 방법을 활용하였는데, 값이 작아지는 것을 방지하기 위해 +1을 적용하여 1과 2사이의 값을 주거인구에 가중치로 적용하였다. 이를 Table 3과 같이 %에 따라 Impact Level을 구분하였다.

### 3.4 Facility 영향정도 평가기준 산정

행정안전부에서 제공하는 전국 기반 시설 DB를 활용하여 76,197개의 격자에 각각의 시설 수를 산정하여 이를 표준정규분포화 하였을 때 모형이 정규성, 선형성, 등분산성의 가정에 맞지 않아 변수를 변환하고자 하였다. 앞서 제시한 Box-Cox 변환 기법을 사용하여 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 Commercial에 0.069, Utilities에 -0.2203, Community Service에 -0.1481의 램다값을 각각 적용하여 Z표준화를 하고, 이를 Table 4와 같이 %에 따라 Impact Level을 구분하였다.

Table 4. Calculation of Impact Level - Facilities

| Impact Category | Impact Receptor         |                     |           |              |           |              |          | Distribution |
|-----------------|-------------------------|---------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|----------|--------------|
|                 | Facility (Object Count) |                     |           |              |           |              |          |              |
|                 | Commercial              |                     | Utilities |              | Community |              |          |              |
|                 | House                   | Commercial District | Factory   | Social Infra | School    | Kindergarten | Hospital |              |
| Minimal (1)     | 0~2                     |                     | 0~1       |              | 0~1       |              |          | 0~5 %        |
| Minor (2)       | 3~30                    |                     | 2~4       |              | 2~3       |              |          | 5~50 %       |
| Significant (3) | 31~413                  |                     | 5~70      |              | 4~37      |              |          | 50~95 %      |
| Severe (4)      | 413<                    |                     | 70<       |              | 37<       |              |          | 95~100 %     |

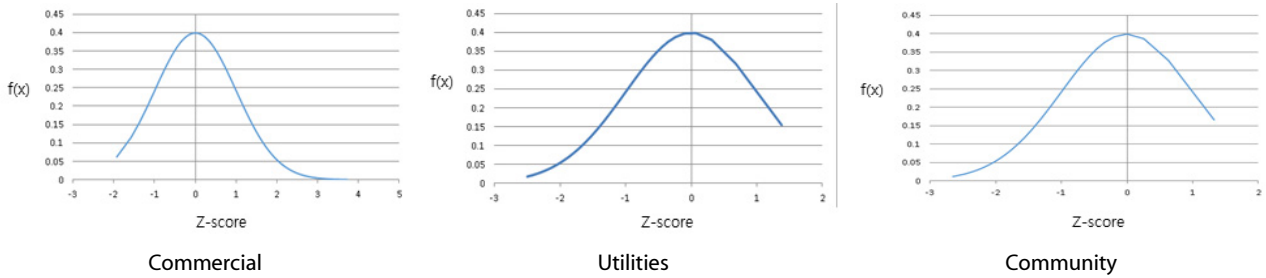


Fig. 3. Standard Normal Distribution Graph - Facilities

Table 5. Calculation of Impact Level - Transport

| Impact Category | Impact Receptor                      |              |
|-----------------|--------------------------------------|--------------|
|                 | Road Length (Km) x No. Lanes (Count) | Distribution |
| Minimal (1)     | 0~1.655                              | 0~5 %        |
| Minor (2)       | 1.656~ 7.639                         | 5~50 %       |
| Significant (3) | 7.640~ 28.619                        | 50~95 %      |
| Severe (4)      | 28.619<                              | 95~100 %     |

Table 6. Calculation of Impact Level - Agriculture

| Impact Category | Impact Receptor          |              |
|-----------------|--------------------------|--------------|
|                 | Agriculture (Area ratio) | Distribution |
| Minimal (1)     | 0~0.003                  | 0~5 %        |
| Minor (2)       | 0.003~0.07               | 5~50 %       |
| Significant (3) | 0.07~0.56                | 50~95 %      |
| Severe (4)      | 0.56<                    | 95~100 %     |

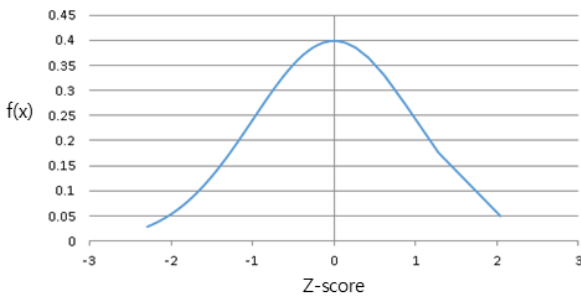


Fig. 4. Standard Normal Distribution Graph - Transport

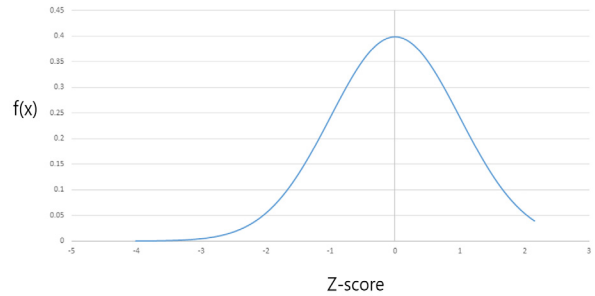


Fig. 5. Standard Normal Distribution Graph - Agriculture

### 3.5 Transport 영향정도 평가기준 산정

전국 기반의 교통 DB는 행정안전부의 일반도로와 고속도로를 기반으로 59,532개의 격자에 구축하였는데, 교통량을 고려하기 위해 도로 길이에 차선수를 곱하여 산정하였다. 교통 자료 역시 log 변환을 통해서 정규성을 띠지 않아 시설에서 사용한 Box-Cox 변환 기법을 통해 Fig. 4와 같이 랏다값 0.1468을 적용하고, Z표준화하여 이를 Table 5와 같이 %에 따라 Impact Level을 구분하였다.

### 3.6 Agriculture 영향정도 평가기준 산정

전국 기반의 농업 DB는 농림수산식품부 교육문화정보원의 팜맵을 기반으로 구축하였는데, 기존의 인자들과 달리 1 km x 1 km내에 해당하는 면적비를 산정하였다. 농업 자료 역시 log 변환을 통해서 정규성을 띠지 않아 시설에서 사용한 Box-Cox 변환 기법을 통해 Fig. 5와 같이 랏다값 0.1514를 적용하고, Z표준화하여 이를 Table 6과 같이 %에 따라 Impact Level을 구분하였다.

### 3.7 한국형 호우영향정도 기준 산정

본 연구에서는 1 km 격자단위의 자료를 기반으로 각각의 대상체인 Residential, Facility, Transport, Agriculture에 대한 호우영향정도 (Impact Level) 평가기준을 Tables 3~6과 같이 산정하였다. 이를 종합 정리한 것이 Table 7이며, 이를 기반으로 격자기반의 종합 호우영향정도(Overall Heavy Rain Impact Level)를 산정하였으며, 산정방식은 Fig. 6과 같다. 본 연구에서는 각 대상체별 가중치를 모두 1로 가정하여 산정하였으며, 가중치에 대한 과학적, 기술적 접근을 통한 산정연구는 진행 중에 있다. 호우영향예보의 선두그룹인 영국 기상청 (Met office)에서 사용하는 Table 1의 영향정도 산정기준을 국내 특성에 맞게 수정하고, 전국을 대상으로 1 km 격자단위의 자료를 분석함으로써 한국형 호우영향정도 산정기준을 제시하였다. Fig. 7은 산정된 기준을 기반으로 전국의 호우영향정도 등급을 제시한 것으로, 인구와 시설, 도로가 밀집되어 있는 서울을 중심으로 한 수도권과, 광역시를 중심으로 Severe 등급이 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 7. Criteria for Calculating the Degree of Heavy Rain Impact Level in Korea

| Impact Category | Impact Receptor |                      |         |              |        |               |          |                 |       |         |                | Distribution                         |
|-----------------|-----------------|----------------------|---------|--------------|--------|---------------|----------|-----------------|-------|---------|----------------|--------------------------------------|
|                 | People (Count)  | Facility (Count)     |         |              |        |               |          | Agriculture (%) |       |         | Transportation |                                      |
|                 | Population      | Commercial           |         | Utilities    |        | Community     |          | Agriculture     |       |         | Road           |                                      |
|                 | House           | Com-mercial District | Factory | Social Infra | School | Kinder-garten | Hospital | Paddy           | Field | Orchard | Green-house    | Road Length (km) × No. Lanes (Count) |
| Minimal (1)     | 0~119           | 0~2                  |         | 0~1          |        | 0~1           |          | 0~0.003         |       |         | 0~1.655        | 0~5 %                                |
| Minor (2)       | 120~973         | 3~30                 |         | 2~4          |        | 2~3           |          | 0.003~0.07      |       |         | 1.656~7.639    | 5~50 %                               |
| Significant (3) | 974~7,907       | 31~413               |         | 5~70         |        | 4~37          |          | 0.07~0.56       |       |         | 7.640~28.619   | 50~95 %                              |
| Severe (4)      | 7,907<          | 413<                 |         | 70<          |        | 37<           |          | 0.56<           |       |         | 28.619<        | 95~100 %                             |

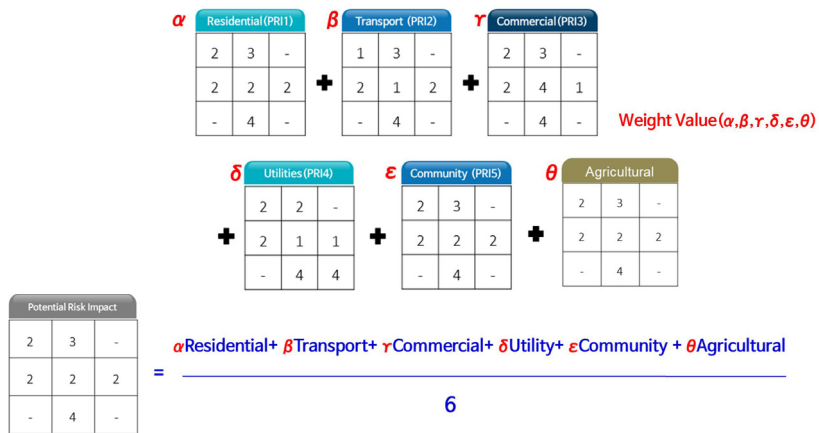


Fig. 6. Calculation Method of Comprehensive Heavy Rain Impact Level

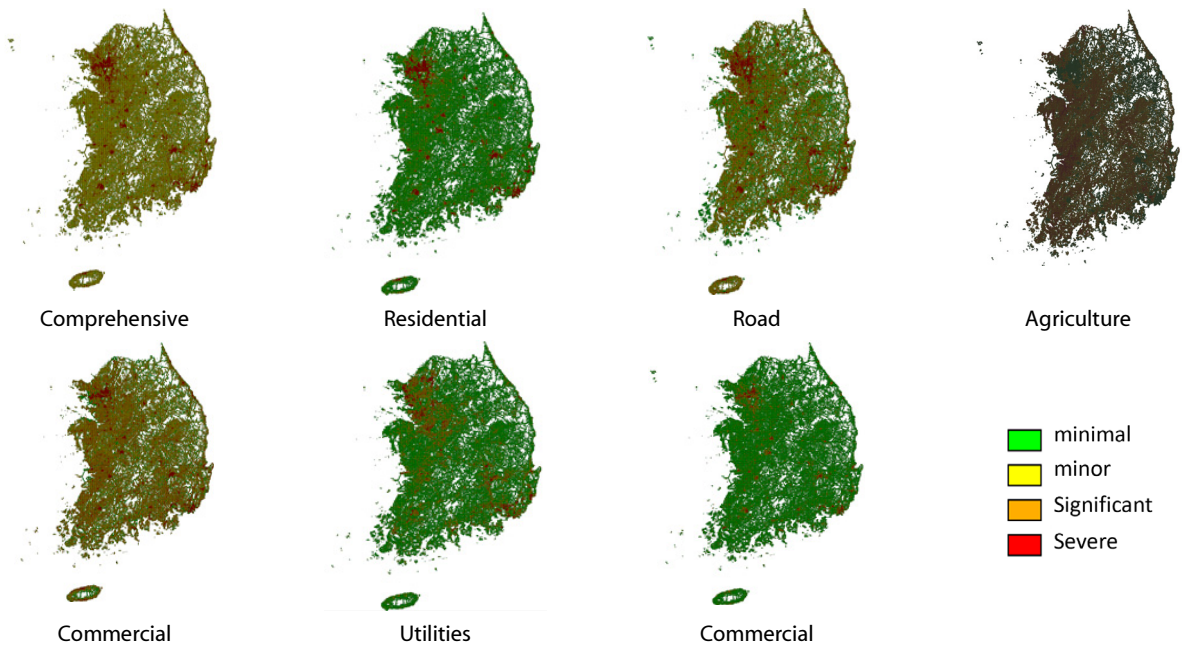


Fig. 7. Grid-Based Heavy Rain Impact Level Distribution Map

## 4. 결론

본 연구에서는 기존의 정량적인 강수량 정보를 제공하는 방식에서 벗어나 호우발생에 따른 생활환경의 변화에 끼치는 영향을 고려한 호우영향예보서비스의 필요성을 제시하였으며, 호우위험영향예보가 가능하도록 호우위험영향도 평가가 가능한 호우영향정도(Impact Level)을 국내 특성에 맞도록 개발, 적용하는 방안을 제시하였다.

따라서 본 연구에서 개발한 Impact Level을 바탕으로 집중호우로 인한 침수영향으로 사람의 보행에 영향을 주는 지역과 차량운행에 영향을 미치는 지역구간, 그리고 시설침수를 유발시킬 수 있는 지역, 농업시설물에 영향을 주는 지역에 대한 정보 생산이 가능할 것으로 판단된다. 이는 향후 정량적 강수량 정보를 전달하는 방식에서 벗어나 호우에 의한 위험영향정보를 제공할 수 있는 기술로 개발될 것이며, 더 나아가 호우위험영향 평가결과와 예보 콘텐츠의 연계를 통한 대국민 호우영향예보서비스로 발전시킬 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 한국기상산업기술원 자연재해대응 영향예보 생산기술 개발사업(KMI2018-03013)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- Box, G. E. P. and Cox, D. R. (1964). "An analysis of transformation." *Journal of the Royal Statistical Society B*, Vol. 26, No. 2, pp. 211-252.
- Jung, S. K. (2019). "A study on the development of a heavy rainfall risk impact evaluation matrix." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 52, No. 2, pp. 125-132 (in Korean).
- Kim, H. M. (2017). "Paradigm shift to impact forecast for weather disaster response." *Innovation Studies*, Vol. 12, No. 3, pp. 161-178 (in Korean).
- Moore, R. J., Cole, S. J., Dunn, S., Ghimire, S., Golding, B. W., Pierce, C. E., Roberts, N. M. and Speight, L. (2015). *Surface water flood forecasting for urban communities*, CREW report, Centre of expertise for waters in Scotland UK
- Park, C. Y. (2011). "Simulation comparison of standardization methods for interview scores." *Journal of Korean Data & Information Science Society*, Vol. 22, No. 2, pp. 189-196 (in Korean).
- Scottish Environment Protection Agency (SEPA) (2014). *Your guide to using the flood guidance statement*, Available at: [https://www.sepa.org.uk/media/149570/sffs\\_fgs\\_user\\_guide\\_2015.pdf](https://www.sepa.org.uk/media/149570/sffs_fgs_user_guide_2015.pdf), p. 3, (Accessed: February 6, 2020).
- World Meteorological Organization (WMO) (2015). *Multi-hazard impact-based forecast and warning services*, WMO Guidelines, No.1150, pp.1-6.
- Yeh, S. W. (2017). "Suggestions for expanding impact forecasting services." *Meteorological Technology & Policy*, Vol. 10, No. 1, pp. 6-17 (in Korean).