

## 홍수피해예상지역을 고려한 홍수위험도 산정기법 개선방안 연구

홍승진·주홍준\*·김경탁

한국건설기술연구원 수자원하천연구소  
\*인하대학교 토목공학과

### Study on the Improvement Method of Flood Risk Assessment by Flood Damage Area

Seungjin Hong·Hongjun Joo\*·Kyungtak Kim

*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Hydro Science and Engineering Research Institute*

*\*Department of Civil Engineering, Inha university, Korea*

(Received : 16 October 2017, Revised: 27 October 2017, Accepted: 03 November 2017)

#### 요약

본 연구에서는 우리나라 수자원 관련 최상위계획인 수자원장기종합계획에서 활용했던 홍수위험도 산정 기법인 홍수피해잠재능(PFD)와 홍수위험도지표에 대한 개선을 목표로 연구를 진행하였다. 두 방법론 모두 치수위험성을 평가하는 항목이지만 자료 활용에 대한 문제점과 특정지역에 발생한 피해를 평균개념으로 적용하였기 때문에 신뢰성에 문제가 지적되고 있다. 이에 본 연구에서는 1) 항목별 분석을 위한 분석자료 및 방법의 개선, 2) 홍수범람예상지역을 홍수피해범위로 제한하여 방향성을 설정하였다. 기법의 개선 및 최근 제공되는 GIS 자료를 홍수피해예상지역에 적용함으로써 기존 방법의 활용성을 높일 수 있는 개선방안을 제안하고, 기존 분석기법과 개선된 방법을 CASE별로 시범유역에 적용하여 비교·분석을 실시하였다.

핵심용어 : 홍수피해잠재능, 홍수위험도지표, 수자원장기종합계획, 홍수위험도

#### Abstract

The aim of this study is to improve Potential Flood Damage(PFD) that a flood risk assessment technique used in the National Water Resource Plan comprehensive plan for water resources, which is a top-level plan related to domestic water resources and Flood Risk Indices. Both methods are used to evaluate flood control risks. However, there is a problem of reliability because the problem of data utilization and the damage that occurred in a specific area are applied as an average concept. Therefore, this study improved the method for analysis by components and the flood inundation area was limited to flood damage area. Also, the improvement of the method and the application of the recently provided GIS data to the flood damage prediction area were proposed to improve the usability of the existing method. The existing analysis method and the improved method were applied to the test watershed by each case.

Key words : Potential Flood Damage, Flood Risk Indices, National Water Resources Plan, Flood Risk

## 1. 서론

우리나라에서 2006년-2015년에 발생한 재해로 인한 피해중, 홍수(호우, 태풍)가 전체의 약 80% 이상으로 집계된다. 기상청(2011)에 따르면 호우경보 강수빈도는 지난 20년간(1991-2010)동안 60%가 증가하게 되면서 집중호우에 각별한 주의가 요구되고 있다. 이러한 문제점으로 인해 정부에서는 구조적 대책과 비구조적 대책을 추진하면서 재해를 경감하기 위한 노력을 기울이고 있다. 하지만 대부분의 노력들은 사후복구에 중점을 두고 있어서 사전 예방을 위

한 치수대책은 미비한 실정이다.

우리나라는 치수관련 계획의 수립에 있어 수자원 최상위 계획인 수자원장기종합계획을 기반으로 하여 유역종합치수계획과 하천 기본계획이 수립되어 왔으나 상·하위 계획간의 연계가 부족하다는 지적이 끊임없이 제기되어왔다. 또한, 2017년 “수자원 조사 계획 및 관리에 관한 법률(약칭 : 수자원법)”의 제정으로 기존의 수자원계획의 일부 변경이 발생하였고, 상·하위 계획 간의 연계에서도 변화가 있을 것으로 판단된다.

국내의 경우 수자원장기종합계획(MOCT, 2001)에서 홍수위험도 평가를 위해 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)의 개념을 도입하여 전국 150개의 치수단위 구역별 홍수위험도를 산정하였다. 이후 2006년 수자원장기

\* To whom correspondence should be addressed.  
Department of Civil Engineering, Inha University, Korea  
E-mail: engineer1026@nate.com

종합계획(보완)에서도 동일한 방법론을 적용하였으며, 2011년 수자원장기종합계획(보완)에서는 홍수위험도지표를 활용하여 치수대책방향 제시하였다. 홍수피해잠재능의 경우 기존에 제시되고 있던 문제점을 개선하여 제시하는 후속연구들(Kim and Kim, 2003 ; Ahn et al., 2006 ; Lee et al., 2006)이 활발히 진행되어, 유역종합치수계획에서도 활용되는 모습을 보이게 되었다. 하지만 수자원장기종합계획의 하위계획인 유역종합치수계획에서는 홍수피해잠재능과 수정홍수피해잠재능을 권역별로 상이하게 활용하게 되면서 상위계획의 연구결과와 다른 모습을 나타내고 있다. 또한 단위구역의 범위도 달라 실제 상위계획에서의 결과가 무의미하게 활용되고 있다.

홍수위험성에 따른 분석은 국내외적으로 많은 연구결과가 존재한다. 특히, 국내에서는 홍수위험성과 관련한 연구가 많이 진행되었는데(Park et al., 2005; Jang, 2010, NEMA, 2011), 이러한 연구들 중에 실제 수자원계획에서 적용하는 방법론은 극히 소수에 불과하다. 대부분 적용이 어려운 이유는 시범유역 특정대상물에 대해서 적용하거나, 아니면 위험도를 산정하는데 들어간 원 데이터들의 주기적인 제공이 어려운 경우에는 실제 수자원 계획에서 활용하기에는 무리가 있다. 또한, 치수관련 피해의 경우 유역에 전반적인 피해를 주는 것이 아닌 특정범위에서만 발생하는 피해가 주를 이루기 때문에 유역의 평균개념을 가지고 분석을 하게 된다면 과대 혹은 과소 추정되는 결과를 제시할 수 있다. 국외의 경우 이러한 문제점을 보완하기 위해서 홍수위험지역내 대상물을 추출하고 인구활용에 대해서는 센서스 자료의 활용을 통해 평균개념을 개선하고 있으며(Friedman, 1975; Petak and Atkinson, 1982; DEFRA, 2003), 미국의 경우 Flood Hazard Map을 기반으로 수문자료의 축적을 통해 홍수보험요율도를 작성하여 홍수발생 위험지역을 선정하고 해당지역내의 홍수위험도 평가를 실시하고 있다. 우리나라도 이와 비슷하게 홍수위험지도를 구축하고 있으며 이를 활용하게 된다면 홍수위험지역에 대한 분석에 효율성이 높을 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 기존 수자원장기종합계획에서 활용하고 있는 방법론을 검토한 뒤, 이를 홍수위험지역내로 분석범위를 한정하고 현재 시점에 맞추어서 개선 가능한 방향성을 제시하여 기존 자료와의 비교·분석을 통해 방법론의 개선방안을 제시하고자 한다.

## 2. 위험도 산정 및 개선 방안

### 2.1 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)

홍수피해잠재능은 홍수피해의 특성을 파악하기 위해 개발된 방법으로 수자원장기종합계획(2000, 2006)에서 활용되었으며, 치수단위구역의 잠재적인 홍수피해 취약 정도를 나타내는 지수로써 잠재성과 위험성으로 나눌 수 있다. 잠재성은 동일조건(위치, 표고, 강우량 등)하에서 홍수가 발생하였을 때 예상되는 잠재적인 피해정도로써 인구밀도, 자산,

**Table 1.** Components of Potential Flood Damage

Components	Sub-Components	
Potential, $F_{PO}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Population Density, <math>F_{PD}</math></li> <li>• Property, <math>F_{PF}</math></li> <li>• Urbanization, <math>F_{RUB}</math></li> <li>• Social Overhead Capital(Railroad, Bridge, Road), <math>F_{SOC}</math></li> </ul>	
Risk, $F_{RI}$	Likelihood	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flood Damage Cost, <math>F_{FD}</math></li> <li>• Probability Rainfall(100year), <math>F_{PR}</math></li> </ul>
	Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• River improvements, <math>F_{CI}</math></li> <li>• Dam and Reservoir, <math>F_{DAM}</math></li> <li>• Pumping Station, <math>F_{PUMP}</math></li> </ul>

도시화율, 사회기반시설 등의 세부기준에 의해 산정된다. 또한, 위험성은 어떤 지역에 대해 홍수피해가 일어날 가능성 및 홍수피해 발생시 이를 저지할 수 있는 방어능력 정도를 나타내는 요소로 가능성 요소 및 방어능력 요소로 구성되어 지며, 각 항목별 내용은 Table 1과 같다.

홍수피해잠재능은 주요 항목인 잠재성 및 위험성 지수를 각 항목별 중요도에 따라 가중계수( $\alpha$ )를 이용하여 산정하며, 세부항목의 중요도에 따라 가중계수( $\beta$ )를 이용하여 조절한 후 각각의 세부 항목을 합산하여 다음과 같은 식으로 나타낸다(Eq. 1).

$$\begin{aligned}
 PFD &= F_{PO}^{\alpha_1} \times F_{RI}^{\alpha_2} \quad (1) \\
 &= [\beta_1 F_{PD} + \beta_2 F_{PF} + \beta_3 F_{RUB} + \beta_4 F_{SOC}]^{\alpha_1} \\
 &\quad \times [\beta_5 F_{FD} + \beta_6 F_{PR} + \beta_7 F_{CI} + \beta_8 F_{DAM} + \beta_9 F_{PUMP}]^{\alpha_2}
 \end{aligned}$$

가중치에 의해 산정된 홍수피해잠재능은 4개 군으로 그룹화하여 치수사업의 방향을 결정하고 있으며 그 내용은 Table 2와 같다.

**Table 2.** Grouping by Potential Flood Damage characteristics

Components	Potential	Risk	Direction of flood control project
A Group	0.5 or more	0.5 or more	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strengthening flood defense facilities</li> <li>• Structure measure</li> </ul>
B Group	0.5 or more	Less than 0.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flood protection facility installation</li> <li>• Structure measure &amp; Non-Structure measure</li> </ul>
C Group	Less than 0.5	Less than 0.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature-friendly</li> </ul>
D Group	Less than 0.5	0.5 or more	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considering basin condition (washland establishment, etc)</li> </ul>

### 2.2 홍수위험도지표(Flood Risk Indices)

홍수위험도의 각 지표 항목별 자료는 Fig. 1에 나타난 항목들을 DEM 자료와 시군별 자료를 단위구역별로 환산하여 정리하는데, 단위구역으로의 환산은 시군별 단위구역 편면적비를 이용하여 환산한다. 과거피해자료는 재해연보상의 과거 홍수

로 인한 피해액 및 발생확률 등을 이용하는 것으로 과거의 홍수에 대한 위험성을 대표한다고 할 수 있다. 기상학적 취약성은 이상홍수에 대응할 수 있는 지표로 의미하는 것으로 극한강우 사상 빈도(시간당 50mm 이상인 횟수)와 일강우사상의 빈도(일당 150mm 이상인 횟수)를 이용하였다. 경제적 취약성은 재정자립도 등을 의미하며 환경적 취약성은 폐기물 처리장등을 의미하며, 사회적 취약성은 인구밀도, 의존인구비율 등을 의미한다. 시설물적 취약성은 주요 시설물로, 배수펌프장과 같은 치수관련 시설물과, 응급시설 및 소방서와 같은 의료 및 기동시설, 관공서 및 대피소와 같은 대응시설물 등을 의미한다. 수문-지형학적 취약성은 기존의 홍수피해잠재능의 위험성 부분과 유사한 부분들이 있으며, 이는 기본적으로 홍수위험도 산정의 기본 이론이 위험(Risk)=위험성(Hazard) × 취약성(Vulnerability)에 기초하여 제시되고 있기 때문이다. 위험성의 부분을 유역경사, 유출계수 등을 고려하였고, 과거 침수흔적도 및 침수 이력 및 피해액 등을 이용하였다.



Fig. 1. Flood risk indices components

이러한 분류를 기초로 하여 홍수위험도를 앞서 제시한 기상학적 취약성, 수문-지형학적 취약성, 사회-경제적 취약성, 홍수방어 취약성으로 구분하였으며 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다(Eq. 2).

$$\text{홍수위험도 지표} = C + G + S - P \quad (2)$$

여기서 C는 기상학적 취약성, S는 사회-경제적 취약성, G는 수문-지형학적 취약성, P는 홍수 방어 능력을 의미하며, 각각의 지표를 산정하여 홍수위험도를 산정하게 된다(MLTM, 2010). 또한, 산정된 홍수위험도지표는 5등급으로 구분되며, 5가지 등급 및 세부항목별 결과값에 따라 4가지 그룹으로 정의되고, 그룹 범위에 따라 적절한 대안을 수립하게 된다(Table 3).

### 2.3 개선방향 설정

홍수위험도는 현재 국가 수자원개발 계획에서는 홍수피해잠재능(수자원장기종합계획, 유역종합치수계획), 수정 홍수피해잠재능(유역종합치수계획), 홍수위험도지표(수자원장기종합계획)가 활용되고 있다. 본 연구에서 개선방향을 설정하기 위해 선정한 홍수피해잠재능과 홍수위험도지표는 수자원장기종합계획이라는 수자원 관련 최상위 계획에서 활용된 위험도 산정기법으로 상위계획의 위험도 분석결과가 하위 계획 수립에 영향을 미치지 때문에 현 시점에서는 최상위 계획에서 활용되었던 위험도 산정기법을 토대로 개선방향을 설정하였다. 개선방향은 크게 두 가지의 방향으로 설정하였는데, 1) 항목별 분석을 위한 분석자료 및 방법의 개선, 2) 홍수피해범위를 홍수범람예상지역으로 제한하여 설정하였다. 이러한 분석을 통해 기존 방법의 문제점 및 개선방안을 제시하고자 하였다.

기존 기법들의 개선을 위해서는 원데이터를 검토하여 해당 자료들의 개선이 현 시점에서 가능한지를 우선적으로 검토하였다. 현재 우리나라는 정부 3.0으로 인해 Open Source Data들이 다양화 되면서 기존에 활용되었던 자료들의 획득 용이성이 증가하였다. 이를 통해 기존 기법들의 가장 큰 문제점이었던 평균개념 자료 및 실제 피해발생지역에 대한 적용성 개선이 수월해 질 수 있다. 예를 들어 많은 연구에서 활용되었던 인구밀도의 경우 대상유역에 따른 편입면적비를 대부분 활용하였기 때문에 인구의 밀집정도(분포도)를 명확히 반영 할 수 없었다. 하지만 최근에 제공되고 있는 격자별 인구자료, 센서스 자료 등을 활용하게 되면 실제

Table 3. Flood risk grade & Flood countermeasure by group

Grade	Flood risk range	Classified by vulnerability	Countermeasure		
5	0.8 - 1.0	5 grade	A group	• Need to strengthen flood protect facilities • Establishing structural measures	• Levee • Dam • Channel maintenance
4	0.6 - 0.8	Protection vulnerability > 0.75 & Hydro-geological vulnerability > 0.75 0.4 ~ 0.6			
3	0.4 - 0.6	Protection vulnerability > 0.6 & Socio-economic vulnerability > 0.6	B group	• Need to strengthen flood protect facilities • Establishing structural & non-structural measures	• Rising reservoir • Residents of migration • Storm and flood Insurance (obligation) • Flood forecast warning
		0.0 ~ 0.2			
2	0.2 - 0.4	Hydro-geological > 0.5 or Socio-economic vulnerability > 0.5	C group	• Need to strengthen flood protect facilities. but, Focus on non-structural measures	• Storm and Flood Insurance (choice) • Flood forecast warning • Landuse and Building Control
		Hydro-geological vulnerability <= 0.5 & Socio-economic vulnerability <= 0.5	D group		
1	0.0 - 0.2	1 grade			

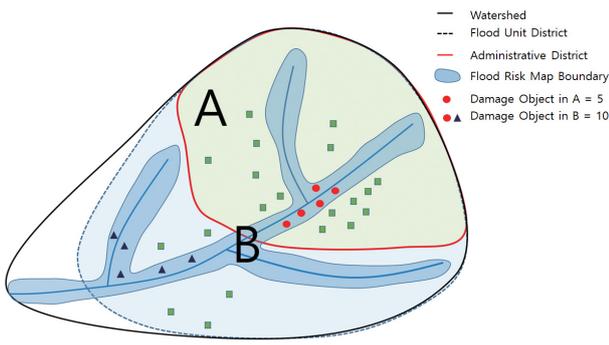


Fig. 2. Concept of Damage Object should be used in risk assessment

평균개념의 인구 밀도 보다는 좀 더 세분화된 분포를 확인할 수 있어 유역의 특정부분에 영향을 미치는 치수위험에 대해서 보다 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있게 된다.

Fig. 2는 본 연구의 방향성을 유역내 치수단위구역 및 행정구역 그리고 피해대상물(인구, 건물, 도로, 철도 등)의 위치를 개념적으로 나타낸 것이다(Kim et al, 2017). 홍수와 같은 재난은 강풍, 해일, 지진 등의 재난과는 발생하는 위치에서 다른 특징을 갖게 된다. 홍수는 유역내에서 발생할 수 있는 지역이 대부분 하천변 홍수터에 국한된다고 볼 수 있지만, 본 연구에서는 하천변 홍수터에 국한되는 연구로 Fig. 2와 같이 개선에 따른 홍수위험 범위를 홍수범람예상지역을 통해 설정하였다. Fig. 2를 예를 들면 유역 내에 포함된 대상물은 총 30개이다. 행정구역 A에 포함된 대상물은 20개이고, 만약, B를 단위구역으로 설정했다면 대상물은 30개라 할 수 있다. 그러나 단위구역 B에 대한 치수특성 평가를 위해 이용되는 피해대상물(damage object)은 홍수로 인해 피해를 입는 목적이 홍수터(홍수위험지도의 범람구역) 내에 존재하는 대상물이 대부분을 차지하기 때문에 그곳에 포함되어 있는 10개만을 이용해야한다. 이렇듯, 홍수위험도 산정에 대한 기존에 분석되고 있는 유역평균개념을 개선할 필요성이 있는 것이다.

하지만 기존에 수자원장기종합계획에서 진행된 방법론들은 유역전체에 해당 피해가 동일하게 발생하는 것으로 분석되었다. 이러한 문제점은 상·하위 수자원관련 계획 간의 연계성에도 문제가 발생하게 되어 본 연구에서는 홍수피해 발생 예상지역을 국가하천, 지방하천, 소하천 등의 홍수범람예상도를 통해 홍수피해 우심지역 자료를 추출하여 분석을 실시하였다. 홍수피해발생 예상 지역을 적용할 경우 기존에 국가차원에서 제공하고 있는 위험지도의 활용성이 증가할 것이며, 실제 위험지역 자료 활용으로 인한 위험도 분석 결과에 대한 객관성이 증가할 것으로 판단된다.

### 3. 방법론 개선

#### 3.1 홍수피해잠재능 방법론 개선

홍수피해잠재능의 개선방향을 설정하기 위해 현재 위험도 분석기법을 지속적으로 활용할 경우 분석방법(데이터의 활용) 개선에 따른 치수위험도의 변화를 검토하였다. 홍수피해잠재

능의 경우 잠재성(Potential)과 위험성(Risk)의 항목으로 Table 1과 같이 구분되어 있다. 위험성 항목의 경우 세부항목들의 개선 보다는 기존에 활용되고 있는 방법론의 문제점 및 새로운 방법의 제안이 필요할 것으로 판단되기 때문에 개선보다는 개발에 초점을 두어야한다. 이에 본 연구에서 논의하고자 하는 개선(자료 및 범위의 개선)과는 차별이 되므로 위험성 항목의 개선은 고려하지 않았다. 하지만, 잠재성의 경우 실제 평균적인 자료의 개념을 개선방향설정이 가능한 항목들이 존재하므로 기존자료의 검토를 통해 개선하고자 하였다.

홍수피해잠재능의 잠재성항목에는 인구밀도, 자산, 도시화율 및 사회기반시설이 포함되어 있다. 각 항목별 원데이터는 통계연보, 부동산 공시에 관한 연차보고서 등을 통해 수집하게 된다. 각 항목별 문제점은 인구의 경우 실제 거주 인구 분포의 반영이 어려우며, 자산의 경우 시군구 자산 평균 데이터가 세분화 되어 입력되지 않고, 도시화의 경우 지자체 통계연보를 통한 면적분포만 들어가 있어 실제 도시화 지역 면적 분포 반영이 불가능하다. 또한, 사회기반의 경우 자료획득 및 구축에 많은 시간이 소모되는 문제점이 있다. 또한 가장 큰 문제점은 홍수피해가 발생하는 지역에 대한 고려가 전혀 이루어지고 있지 않다는 것이다,

우선 해당 자료들을 별도의 가공 없이 공간단위 면적으로 나누어 자료화하는 경우 평균적인 밀도데이터로 대표되어 세부적인 데이터의 특성을 잃어버리게 된다. 이러한 문제점을 보완하고 실제 데이터의 이질성을 고려하기 위하여 데시메트릭 매핑 개념이 사용되는데, 이는 주 데이터와 연관된 공간적 보조데이터를 사용하여 더 세밀한 밀도분포를 재현하는 방법이다. 본 연구에서는 데시메트릭 매핑 개념을 통해 인구밀도 자료를 구축하였다. 인구의 경우 토지피복도(중분류)에서 제공하고 있는 주거지역을 통한 실거주 지역을 활용하여 모든 인구가 주거용 건축물에 거주한다는 조건하에

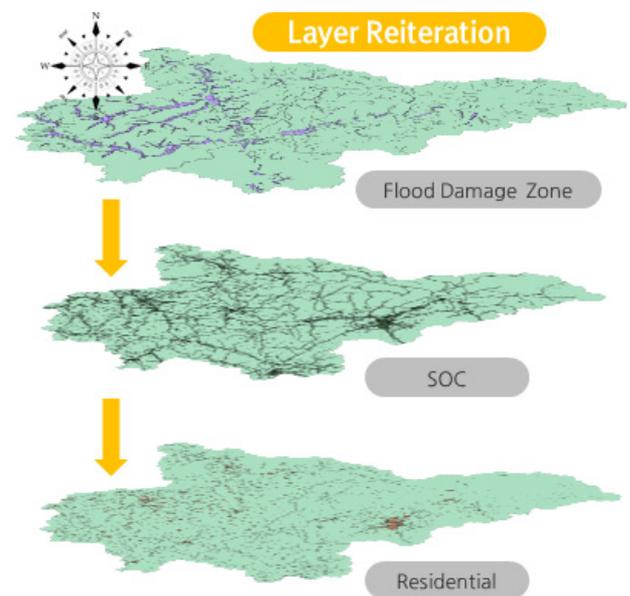


Fig. 3. Flood damage zone data extraction

인구밀도를 재산정하였으며, 기존산정식을 Table 4와 같이 새로이 제안하였다. 도시화는 기존에 활용하던 지자체별 통계연보자료의 도시화 지역 면적 자료(평균개념)를 토지피복도상 주거, 공업, 상업, 문화체육, 공공시설 지역을 활용함으로써 개선하였다. 또한, 사회기반의 경우 토지피복도의 교통 지역을 활용하여 개선방안을 제시하였다(Fig. 3, Table 4). 그리고, 자산의 경우 부동산공시가격 알리미(웹사이트)를 통합 읍면동별 표준공시지가자료를 추출하여 공시지가에 대한 자료를 세분화 하고자 하였으나, 현재 제공되는 자료의 문제점(행정동별 자료제공이 상이 하거나 자료가 없는 경우 존재)이 있어 본 연구에서는 고려하지 않았다.

**3.2 홍수위험도지표 산정 개선 방안**

홍수위험도지표의 개선방안을 도출하기 위해 기존의 홍수 위험도지표 구축방법을 검토하였다. 홍수위험도지표는 앞서 홍수피해잠재능에서 언급한 것처럼 실거주 인구 분포 추정에서 어려움이 따른다. 그리고 기상학적 특성의 시강우 발생빈도(50mm 이상 강우 횟수) 및 일강우 발생빈도(150mm 이상 강우 횟수)의 강우기준에 대한 임계값 설정이 모호한 단점이 있다. 홍수위험도지표에서 제시하는 기준 강수량의 설정기준이 명확하지 않기 때문에 기상학적 특성 항목에서 활용하는 강수량의 기준을 우리나라의 기상특성을 고려하여 제시할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 홍수위험도 지표 개선안으로 기상학적 특성을 우리나라의 호우주의보 기준 강우 발생 횟수와 호우 경보 기준 강우 발생 횟수로 대체하였다. 다만, 호우 주의보 및 경보

발령 횟수에 대한 자료가 없으므로, 기준 강수량이 유지되는 시간 횟수를 측정하여 제시하였다. 또한, 인구부분은 홍수피해 잠재능 개선방안과 동일한 방법을 적용하였다(Table 5).

그 외 다른 항목들의 경우 대부분 GIS 자료를 활용하거나 지역별 상세화를 하기 어려운 자료로 이루어져 있어 본 연구에서는 고려하지 않았다.

**4. 개선방법을 활용한 시범구역 치수위험도 분석**

**4.1 대상 구역**

우리나라의 홍수피해에 대한 방재계획 및 대책은 시군구별로 이루어지고 있으나, 상대적 개선정도를 파악하기 위해서 본 연구에서는 대상구역이 포함된 중권역과 표준유역을 통해 분석을 실시하였다. 한강 유역내의 중권역 일부 구간을 포함하여 이하 표준유역을 대상으로 하였으며, 중권역 코드로는 1005(충주댐 하류), 1006(섬강), 1007(남한강 하류)으로 3개에 해당되는 구간이다. 중권역의 면적은 각각 약 524.19km<sup>2</sup>, 1,491.0km<sup>2</sup>, 2,072.72km<sup>2</sup>에 해당되며 총 34개의 표준유역과 11개의 행정구역으로 이루어져 있다. 대상구역에는 원주시, 여주시, 용인시가 포함된 도시지역과 홍천군, 횡성군 등이 포함된 산지 및 농지 지역이 고루 분포되어 있어 위험도 분석시 여러 케이스를 고려할 수 있어 대상구역으로 선정하였다.

해당 구역의 각 연도의 홍수위험도 변화 추이를 살펴보기 위해 산정 기간은 2009~2014년으로 지정하였으며, Table 6와 Fig. 4는 각각 구역의 현황 및 위치도를 나타낸다.

**Table 4. Improving Potential Flood Damage**

Classification	Existing	Improvement
Population density	Population by local government*Area ratio by unit area / Unit area	Population by local government*Residential area ratio by unit area / Unit area
Urbanization	(Landuse*Area ratio by unit area) / Unit area	Urban area/Unit area
SOC	{(Road and Bridge length*Road and Bridge Unit)*Area ratio by unit area} / Unit Area	Traffic area/Unit area

※ Residential area, Urban area, Traffic area using by Land Cover Map

**Table 5. Improving flood risk indices**

Components	Classification	Existing	Improvement
Socio-Economic	Population density	Population by local government*Area ratio by unit area/Unit area	Population by local government * Residential area ratio by unit area/Unit area
Climatic	Frequency of hourly rainfall	P>=50mm	Heavy rain watch (6hour >=70mm or 12hour >=110mm)
	Frequency of daily rainfall	P>=150mm	Heavy rain warning (6hour >=110mm or 12hour >=180mm)

**Table 6. Watershed Status**

River	Basin	Basin Code	Area(km <sup>2</sup> )	SGG
Namhan River	Chungju-Dam Downstream	1005	524.42	Wonju-Si, Yeosu-Si, Chungju-Si
Sum River	Sum River	1006	1,491.01	Wonju-Si, Hongcheon-Gun, Hoengseong-Gun, Yangpyung-Gun, Yeosu-Si
Namhan River	Namhan River Downstream	1007	2,072.72	Gwangju-Si, Ansong-Si, Yangpyung-Gun, Yeosu-Si, Youngin-Si, Icheon-Si, Eunseong-Gun

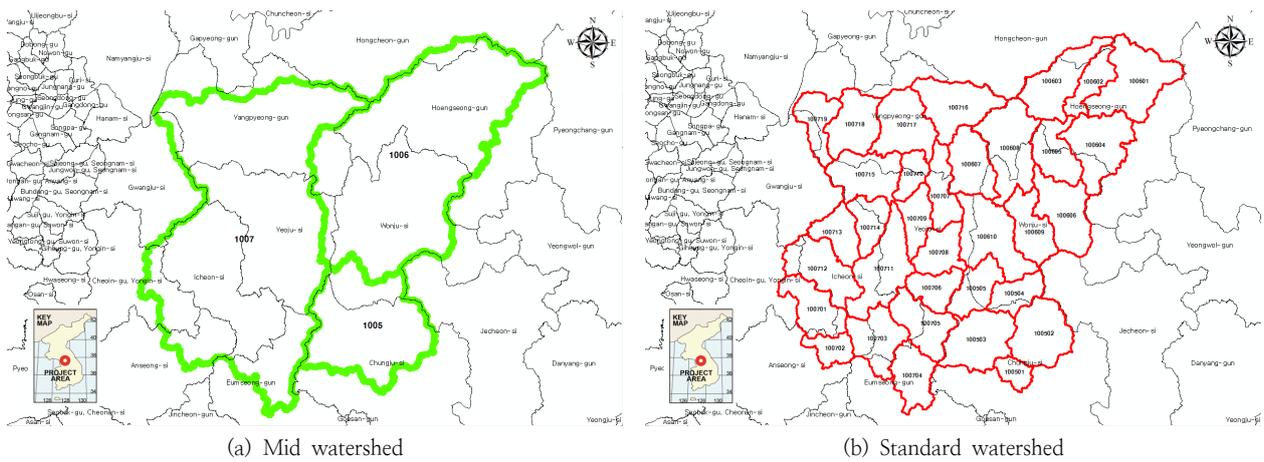


Fig. 4. Location map of Watershed

4.2 홍수피해잠재능 개선방안 적용분석

홍수위험도를 산정하기 위해 기존의 방법과 본 연구에서 제시한 개선방법의 비교를 위해 총 세 가지 CASE에 대해서 비교·분석을 실시하였다. 각 CASE에 따른 설명은 아래와 같다.

- CASE 1 : 기존분석기법 + 홍수위험지역
- CASE 2 : 개선된 분석기법
- CASE 3 : CASE 2 + 홍수위험지역

홍수피해잠재능의 경우 잠재성과 위험성 항목 중에서 잠재성 항목에 대해서만 개선방법이 적용됨을 앞서 언급하였다. 잠재성의 경우 중권역 1005의 경우 CASE 별로 감소하는 모습을 보이고 있으며, 중권역 1006과 1007은 기존과 유사한 잠재성을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 기존에 평균개념으로 들어가 있던 인구, 도시화율, 사회기반시설들이 홍수 위험지역 범위 및 공간분포의 개선을 통해 실제와 거의 유사한 분포로 반영되었기 때문으로 판단되며, 그 중 1005유역에서 기존방법에 대해서 상대적으로 개선된 방법에 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다.

개선된 방법을 통해 대상유역의 홍수피해잠재능의 분석 결과 중권역 1005의 등급이 B에서 C로 변화되는 모습을 보여, 기존 방법에 비해 치수위험도가 상대적으로 안정된 모습을 나타내었으며, 이는 잠재성항목의 값이 줄어들었기 때문으로 분석되었다(Table 7). Fig. 5에 나타난 바와 같이 중권역단위에서는 기존 방법과 각 CASE 별 등급을 확인한 결과 중권역 1005를 제외하고는 동일한 홍수피해잠재능의 등급을 나타내었으며, 개선된 방법을 적용한 각 CASE별 변화는 없는 것으로 나타났다. 여기서 Fig. 5 (a)-(h)는 해당기간별로 동일한 값을 나타내는 년도들끼리 값을 그룹화하였고, 대부분 2011년을 기준으로 값의 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 2011년 이후 위험도 항목의 증가에 기여한 것으로 분석되었다. 중권역 1007의 경우 2011년 이후부터는 홍수방어시설의 강화가 요구되는 것으로 나타났다는데, 이는 잠재성과는 다르게 해당기간의 위험성이 증가한 것으로 분석되었다. 홍수피해잠재능의 등급변화는 있었지만 기존의 수자원장기종합계획에서 활용하고 있는 중권역단위에 대해서는 개선된 방법별(CASE 1-3)로 큰 차이가 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.

Table 7. Change of PFD(potential) by case compared to existing methods

	Mid watershed	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PFD	1005	0.653	0.643	0.590	0.563	0.536	0.505
	1006	0.126	0.114	0.114	0.116	0.122	0.130
	1007	0.704	0.752	0.807	0.822	0.830	0.836
CASE 1	1005	0.445	0.431	0.385	0.358	0.334	0.308
	1006	0.194	0.186	0.185	0.188	0.192	0.199
	1007	0.789	0.835	0.889	0.902	0.910	0.915
CASE 2	1005	0.436	0.422	0.377	0.351	0.260	0.233
	1006	0.342	0.331	0.331	0.333	0.320	0.327
	1007	0.698	0.745	0.798	0.811	0.897	0.903
CASE 3	1005	0.409	0.394	0.347	0.322	0.334	0.306
	1006	0.265	0.258	0.257	0.260	0.194	0.202
	1007	0.779	0.825	0.878	0.891	0.909	0.915

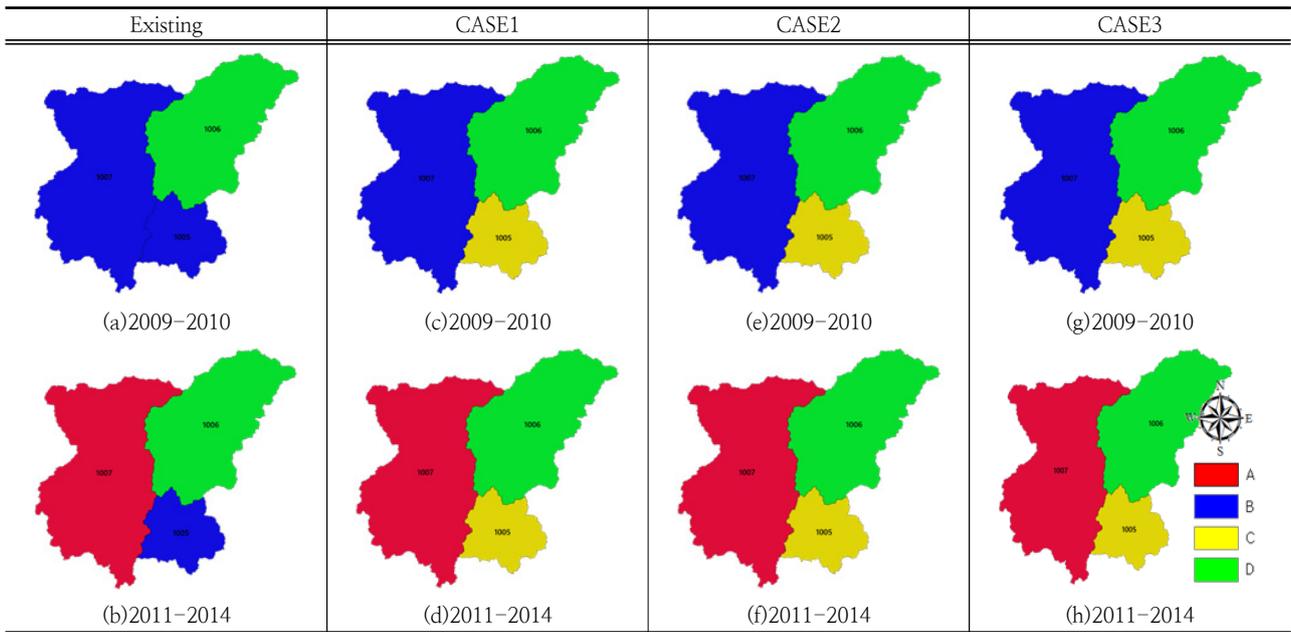


Fig. 5. Potential Flood Damage calculation result (Mid watershed)

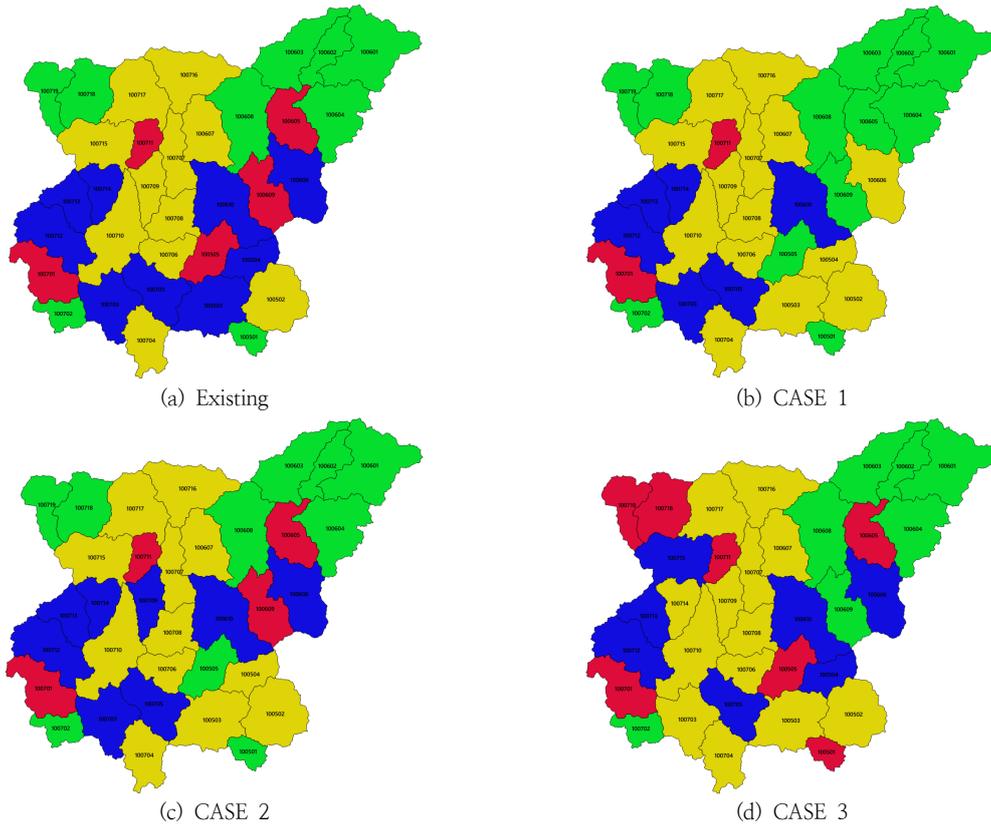


Fig. 6. Potential Flood Damage change by Case (By 2009)

중권역에서 등급의 변화가 크지 않다는 것을 확인한 후 해당방법을 표준유역에 동일하게 각 CASE별로 적용하였다. 본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 2009-2014년까지의 기간에 대해서 분석을 실시하였지만, 전체기간에 대해 보여주는 것에 한계가 있으므로 2009년의 결과를 Fig. 6과 같이 제시하였다. 2009년에 대해서 분석을 해보면 총 34개의

표준유역에 대해서 등급의 변화를 보인 것은 CASE 1 : 6개, CASE 2 : 4개, CASE 3 : 8개 로 잠재성 변화의 영향으로 인한 등급의 변화가 발생한 것으로 나타났다. 대부분의 등급이 CASE 1-2에서는 C, D 등급의 증가가 보였으며, CASE 3에서는 A등급의 증가 및 D등급의 감소가 나타나는 것으로 분석되었다. 이를 좀 더 자세히 알아보면, 표준유역

**Table 8.** Flood Potential Damage change trend (unit watershed)

Group	Existing	CASE 1	CASE 2	CASE 3
A	33	11	28	44
B	45	37	42	42
C	50	58	53	53
D	76	98	81	65

100718, 100719의 경우 다른 표준유역에 비해 도시지역이 집중되어 있어, 인구밀도와 자산가치가 높은 지역이다. 해당지역은 기존방법, CASE 1, 2에서는 위험도만 높은 D등급으로 표현이 되었는데 모든 개선방법을 적용할 경우 상대적으로 잠재성이 높아지는 모습을 나타내 위험성만 높았던 지역이 잠재성의 위험도 포함하게 되면서 위험도가 상대적으로 올라간 것으로 분석되었다. Table 8에 나타난 바와 같이 전체기간에 대한 표준유역 분석결과는 CASE별로 등급의 변화가 최대 22% 발생하는 것으로 분석되었으며, CASE 3에서 잠재성 항목의 감소로 인해 위험성만 높았던 지역들이 A등급으로 변화하면서 등급의 변화가 가장 심하게 나타난 것으로 분석되었다. 기존의 결과와 다르게 실제 홍수피해상지역을 고려한 부분에서의 해석이 잠재성측면의 개선으로 활용성 측면에서 높아진 것으로 사료된다.

**4.3 홍수위험도지표 개선방안 적용분석**

홍수위험도 지표의 분석은 홍수피해잠재능과 동일한 CASE로 분석을 실시하였다. Table 9와 Table 10에 나타난 바와같이 2009년은 전반적으로 개선기법을 적용함에 따라 값이 위험도가 감소하는 것으로 분석되었으며, 이 현상은 2011년까지 지속되었다. 2012~2014년도 또한, 개선안을 적용할 때 홍수위험도가 감소하였으나, 홍수위험지역을 적용할 시 홍수위험도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 2011년 이후로 홍수위험지역에 인구밀도가 높아져서 생긴 결과로 판단된다. 개선안이 적용되는 CASE 3에서 감소폭이 증가함으로써 홍수위험도가 감소하였으며 이는, 기존의 홍수위험도 지표의 인구밀도 및 기상학적 취약성이 좀 더 과다 산정되게 설정되었다는 것을 나타낸다(Table 9, Table 10).

홍수위험도 지표의 그룹을 분포도를 통해 살펴보면, 전 구간에 걸쳐 A그룹은 존재하지 않았으며, 대부분 B그룹으로 나타났다. 기존의 방법과 CASE 1은 크지 않는 변화를 보였고 CASE 2는 CASE 3과 홍수위험도가 일치하였다. 또한, 기존 방법 및 CASE 1에서 B그룹이던 중권역 1006의 홍수위험도가 CASE 2,3에서의 일부 연도는 D그룹으로 산정되었다.

**Table 9.** Change of Flood risk indices by case compared to existing methods

	Mid watershed	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Flood risk indices	1005	0.553	0.393	0.388	0.461	0.394	0.388
	1006	0.577	0.647	0.659	0.598	0.596	0.527
	1007	0.439	0.494	0.461	0.410	0.426	0.414
CASE 1	1005	0.536	0.374	0.369	0.486	0.419	0.412
	1006	0.572	0.642	0.653	0.643	0.640	0.571
	1007	0.432	0.485	0.450	0.381	0.396	0.384
CASE 2	1005	0.374	0.390	0.344	0.350	0.349	0.342
	1006	0.626	0.713	0.589	0.635	0.639	0.523
	1007	0.439	0.364	0.375	0.385	0.435	0.396
CASE 3	1005	0.356	0.373	0.327	0.378	0.377	0.370
	1006	0.576	0.635	0.554	0.612	0.612	0.539
	1007	0.407	0.333	0.343	0.336	0.355	0.346

**Table 10.** Change of Flood risk indices by case compared to existing grade

	Mid watershed	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Flood risk indices	1005	3	2	2	3	2	2
	1006	3	4	4	3	3	3
	1007	3	3	3	3	3	3
CASE 1	1005	3	2	2	3	3	3
	1006	3	4	4	4	4	3
	1007	3	3	3	2	2	2
CASE 2	1005	2	2	2	2	2	2
	1006	4	4	3	4	4	3
	1007	3	2	2	2	3	2
CASE 3	1005	2	2	2	2	2	2
	1006	4	4	3	4	4	3
	1007	3	2	2	2	3	2

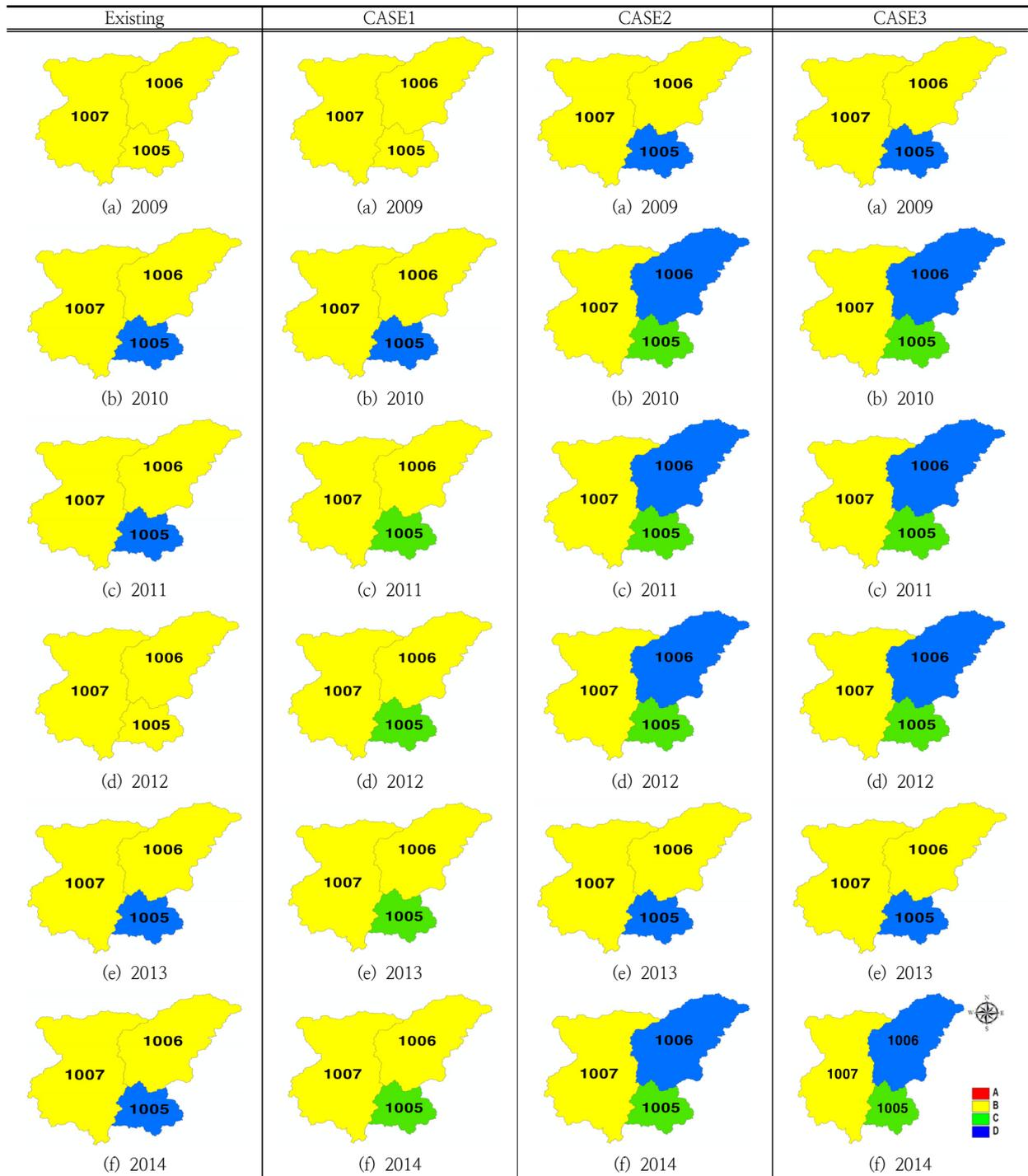


Fig. 7. Flood risk indices calculation result (Mid watershed)

이는 홍수위험도 지표의 등급이 아닌 대책 그룹으로 분석시, 홍수위험지역은 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다 (Fig 7). 하지만, 개선된 방법을 적용했을 때 홍수 위험도가 감소하는 것은 앞서 제시했듯이 기존의 홍수위험도지표가 좀 더 보수적인 기준에 의해 제시된 것을 의미하며, 특히, 기상학적 취약성의 항목 변화가 주요 원인인 것으로 판단된다. 기상학적 취약성의 경우 2009년에 CASE 2와 CASE 3에서는 기존 방법에 비해 상대적으로 높은 값을 나타냈으나 상대적

으로 2009년이후에는 안정된 모습을 나타내 2010 - 2014년에는 상대적으로 위험도가 개선된 모습을 나타내는 것으로 분석되었다.

2013년 기준 표준유역 분석결과 Fig. 8과 같은 분포를 확인할 수 있었으며, 중권역과 마찬가지로 전반적으로 B그룹이 많이 나타났다. 또한, 기존 방법을 포함한 CASE 별 홍수위험도 그룹의 변화는 큰 차이를 보이지 않았으며 등급 및 그룹의 정량적인 수치에 대한 변화도 거의 나타나지 않았지만, 2009년 개선방안을

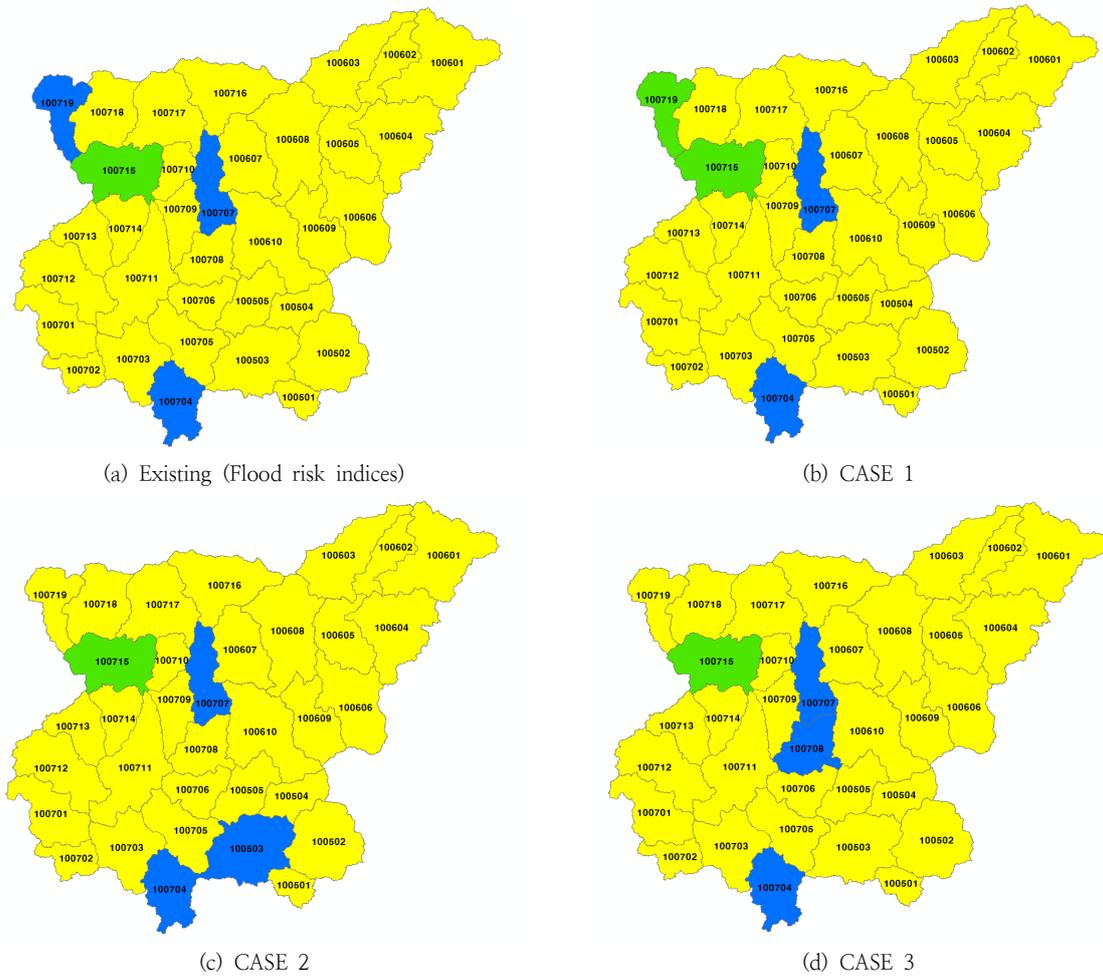


Fig. 8. Flood risk index change by case (By 2013)

적용한 기상학적 취약성 항목의 값이 높아 상대적으로 홍수위험이 높은 것으로 나타났으나, 2009년 이후에는 기상학적 취약성 등급이 높지 않아 상대적으로 안정된 모습을 나타내었다 (TABLE 11 & 12). 하지만 해당 유역을 대상으로 홍수위험도 지표를 산정할 때 유역간의 홍수위험도의 편차가 크지 않은 원인은 개선방안을 적용했을 경우 세부 지표값들의 변화가 거의 나타나지 않았으며, 나타났다면 그 차이가 상대적으로 작았기 때문으로 분석되었다. 이는 표준유역 대상으로 하여 분석 대상지역이 늘어났음에도 불구하고, 정규화 분포의 특성인 표본 개수의 부족에 따른 신뢰성 저하와 기존 방법에 비해 본 연구에서 선택한 해당기법의 개선방안이 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다. 또한, 홍수위험도의 편차가 크지 않아서 1,5 등급이 나타나지 않았는데, 이는 홍수위험도 지표의 산정 방식이 임계치에 영향을 받지 않게 설정된 것도 배제할 수 없을 것이다. 다만, 100719 유역은 홍수위험도가 증가하다가 마지막엔 B그룹으로 고정되어 있었는데, 이는 앞서 홍수피해 잠재능에서 언급했던 것처럼 도심지역의 홍수취약성이 높아져 그룹이 변화한 것으로 판단된다. 본 분석 결과만으로 단정할 수 없지만 추후, 분석 유역의 확장을 통한 표본 개수 증가 등을 통하여 좀 더 나은 홍수위험도 지표를 제시하여야 할

것으로 사료된다. 하지만, 일부 도심지역이 개선 방법에 의해서 홍수위험도가 증가한 것을 보면, 본 연구가 홍수위험도 지표의 개선안에 다가가는 계기가 될 수 있어 고무적이라 하겠다.

Table 11. Flood risk indices grade change trend (standard watershed)

Grade	Existing	CASE 1	CASE 2	CASE 3
1	0	0	0	0
2	42	46	39	40
3	141	141	138	135
4	21	17	27	29
5	0	0	0	0

Table 12. Flood risk indices group change trend (standard watershed)

Group	Existing	CASE 1	CASE 2	CASE 3
D	28	36	27	31
C	14	10	12	9
B	162	158	165	164
A	0	0	0	0

## 5. 결 론

본 연구에서는 수자원장기종합계획에서 활용한 홍수위험도 평가기법에 대한 개선방향을 제시하고, 대상유역에 적용하여 결과의 변화를 산정하여 기존방법에 따른 개선방향을 제시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 수자원장기종합계획에서 활용하고 있는 홍수피해잠재능과 홍수위험도지표에 대한 개선방향을 제시하였다. 개선방향성은 크게 활용자료의 개선과 홍수발생예상지역의 고려를 통해 기존 방법론의 문제점을 개선하였다. 데시메트릭 매핑 기법을 실제 홍수발생예상지역의 인구추정을 위해 활용하였으며, 토지피복도를 통한 도시화 및 도로 및 교량 자료를 활용하여 위험도 해석시 사용 자료에 대한 활용성을 높이기 위한 개선방향을 설정하였다.

2) 개선방법을 각 CASE별로 적용한 결과 홍수피해잠재능의 경우, 중권역에 적용할 경우에는 개선의 차이가 크게 나타나지 않았으나 표준유역의 경우 도심지역이 밀집되어 있는 100718, 100719 유역에서 CASE 3을 적용하였을 때 위험도가 증가하는 모습을 보였다. 홍수위험도지표의 경우 중권역과 표준유역에서 거의 유사한 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 도심지역이 위치한 100719 유역에서 동일하게 위험도가 증가하는 결과를 확인할 수 있어 향후, 시범유역의 확장 및 추가적인 방법론의 개선이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 단계를 거치게 되면서 각 방법론들의 유역해상도에 따른 적용성 분석에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 제시한 개선안은 여러 홍수위험도 산정기법들의 개선에 방향성을 제시할 수 있는 객관적인 연구결과로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 수자원계획 및 위험도 산정기법에 대한 개선 및 개발방향 수립에 기초자료로도 활용될 것으로 판단된다. 하지만, 표준화의 특성상 표본의 개수에 따라 다른 결과를 보일 수 있기 때문에, 향후 대상유역의 확장(전국화)을 통한 분석과 상하위 계획의 연계가 가능하도록 단위구역별 홍수위험도 지표의 개발이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 현재 고려되고 있지 않는 내수침수 및 관로의 통수능 등을 참고하여 개선하는 방향도 모색해 봐야 할 것이며, 홍수위험지역내 피해 대상물의 분포에 대한 최신자료의 보완을 통해 홍수위험도 재산정이 이루어져야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(16AWMP-B121100-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Ahn, JH, Kang DS and Yoon YN (2006). An Improvement of Estimation Technique on Potential Flood Damage. *Proceedings 2006 Annual Conference KSCE*, pp. 2040-2043 [Korean Literature]
- Department for Environment, Food & Rural Affairs (2003). *Flood Risks to People Phase 1*
- Friedman, DG (1975). *Computer simulation in natural hazard assessment (No.2)*. Boulder, Colorado: Institute of Behavioral Science, University of Colorado.
- Jang, DW (2010) *Development and Application of Risk Management Index for Flood Prevention Alternatives*, Ph.D Dissertation, Inha University [Korean Literature]
- Kim, JH and Kim YO (2003). Improving Potential Flood Damage. *Proceedings 2003 Annual Conference KSCE*, p.p 2373- 2378 [Korean Literature]
- Kim, KT, Choi, YS, Kim, GH and Hong, SJ (2017). *Study on flood unit district and flood characteristic evaluation*, Water for Future, 50(7), pp. 37-46 [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA) 2011. *White Paper on Changma*. Seoul, Korea [Korean literature]
- Lee, SJ, Kim, YO, Lee, JH and Lee, YY (2006). Improving Potential Flood Damage for Basin Flood Mitigation Safety Level. 2006 *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, p.p. 226-230 [Korean Literature]
- Ministry of Construction and Transportation (2001). *National Water Resource Plan* [Korean Literature]
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010). *National Water Resource Plan (2010-2020)*[Korean Literature]
- National Emergency Management Agency (2011). *Assessment for urban flood risk & development of integrated management plan* [Korean Literature]
- Park, TS, Kim, GM, Yoon, YS and Lee, SB (2005). Analysis of Flood Damage Characteristics and Development of Flood Damage Index, *Korea Research Institute for Human Settlements* [Korean Literature]
- Petak, WJ, and Atkinson, AA (1982). *Natural hazard risk assessment and public policy. Anticipating the unexpected*, Springer-Verlag, Inc., New York.