

# 통계·역학 모형 기반 지자체 통합 홍수위험도 예측 및 평가

Integrated flood risk assessment using statistical-dynamical models in the  
Korean local governments

윤선권





# 통계·역학 모형 기반 지자체 통합 홍수위험도 예측 및 평가

Integrated flood risk assessment using statistical-dynamical models in the  
Korean local governments

윤선권



## 발간사

홍수는 전 세계적으로 잘 알려진 자연재해 중 하나이며, 해마다 우기철이면 반복되는 홍수로 인하여 인명과 재산상의 막대한 손실을 초래하고 있습니다. 특히 최근의 기후변화와 이상기후 현상은 홍수피해의 발생빈도와 강도를 더욱 증가시키는 요인으로 작용하고 있습니다. 이러한 홍수는 국가적, 그리고 사회·경제적으로도 큰 손실을 가져오고 있어 적절한 대응책 마련이 필요합니다. 그간 여러 홍수대책들은 국지적으로 짧은 시간에 대응하기 위한 노력이 주로 이루어져 왔으나, 앞으로는 발생 가능한 홍수위험에 대한 선행시간 확보를 위한 연구 노력이 필요합니다.

최근 영국 기상청의 경우, 홍수로 인한 막대한 경제적 손실을 줄이기 위하여 위험기상 매트릭스를 활용한 확률기반 재해위험 영향예보를 세계 최초로 실시하고 있습니다. 이 시스템은 영국 전역의 재난관련 비상사무국, 지자체, 사회공동체에서 활용할 수 있도록 정보를 제공하고 있으며, 총 24개 재해에 대한 영향예보를 목표로 현재 바람, 홍수, 산사태의 3가지 정보에 대한 서비스를 실시하고 있습니다. 영향예보를 위해서는 무엇보다 관련분야 다양한 전문가 및 관리자의 협업이 중요하며, 재해발생 가능성 정도(노출도)에 대한 예측뿐만 아니라 잠재적인 영향의 정도(취약도)를 제시해 줌으로써 보다 종합적이고 실제적인 사전 예방 차원의 재난 대비가 가능 할 것입니다.

본 연구에서는 중·장기 홍수위험 영향예보를 위한 기반기술을 개발하였으며, 우리나라 243개 시·군·구 지자체를 대상으로 그 적용성을 평가하였습니다. 통

계·역학 모형에 의한 계절예측 정보는 APEC 기후센터의 Multi Model Ensemble (MME) 예측 정보와 다양한 추계예측 모형에 의한 예측정보가 사용되었습니다. 또한, Delphi-AHP 기법을 통한 홍수위험 지수별 우선순위를 결정하고 가중치를 산정하였으며, 지자체 통합홍수위험 예측 실시를 통한 홍수발생에 따른 재난관리 방향을 제시하였습니다. 본 연구의 결과는 엘니뇨/라니냐 등 잘 알려진 기후 매커니즘에 의한 이상기후 발생시 홍수위험 예측의 신뢰도를 높이고, 그 활용성을 제고하는 유용한 정보가 될 것입니다.

지금까지의 홍수위험 대책들과 더불어 중·장기적 관점에서 선행시간 확보 및 재해위험 영향예보에 대한 연구개발 투자가 필요한 시점입니다. 모쪼록 본 연구의 결과가 우리나라 지자체 및 해외 개발도상국가의 홍수위험관리를 위한 정책지원 및 의사결정 지원 자료로 활용되기를 기대해 봅니다.

끝으로 연구결과가 나오기까지 본 연구를 수행해 주신 윤선권 박사의 노고에 감사드립니다. 또한 바쁘신 중에도 설문조사에 응해주신 여러 전문가 분들과 실무 관점에서 조언을 아끼지 않으신 지자체 공무원 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

2017년 1월  
APEC 기후센터  
원장 정 홍 상

---

## ABSTRACT

Floods are one of the most common and frequent natural disaster events in the world. It can lead to very serious loss in terms of lives, agriculture, buildings, roads, and infrastructures on the national level. In recent years, flood damage has been accelerated due to the effects of global climate change and abnormal climate phenomena. However, with the advancement of computer technology in recent years, the speed of computation has accelerated, enabling the prediction of a certain level of climate over various time scales. This is called seamless prediction, which is a concept of securing a certain level of predictability from the very short term to the very long term of climate change. Well-known abnormal weather phenomena such as El Niño, La Niña and Indian Ocean Dipole can especially be used as the main information in determining the long-term variability of water resources. Due to the seamless prediction technology, the approach of flood disaster management is gradually becoming diversified and refined. Seamless predictions can serve as a new paradigm for the prediction of long-term flood risks, and are increasingly expanding the range of preventive and prepared roles to ensure an effective lead time for flood disasters.

This study performed the mid- and long-term flood risk assessment using predicted climate information through the statistical-dynamical models, and carried out the utilization plan for Korean local governments. The study processed the Automated Synoptic Observing System (ASOS) rainfall levels from the Korean Meteorological Administration (KMA), and its weather information typically used for flood risk assessment. The study also collected and analyzed geographic information

system (GIS) data for terrain and spatial information. In addition, nonlinear correlation was estimated using the teleconnection between the climate index and hydrological variables, and the possibility of time series prediction using the climate index was diagnosed. Furthermore, monthly rainfall forecasting in local areas was carried out by constructing statistical forecasting models (e.g.: AR, MA, ARMA, ARIMA, VAR) for each region of Korea. The predictability of each model result was examined by taking ensemble members. The Multi Model Ensemble (MME) prediction information provided by the APEC Climate Center was used to predict the monthly precipitation using the dynamical climate model.

Next, for the flood risk analysis, a Delphi-Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used from expert surveys to develop the flood risk index, and to calculate the weight for each index. In addition, the long-term flood risk was analyzed for the Korean 243-local governments, and used a number of GIS layers that were generated in a digital format to analyze flood risk and vulnerability. In order to assess flood hazard and vulnerability, the hierarchy of the integrated flood risk index was assessed by separating several criteria and indicators, which include hydrological hazard, socio-economic exposure, and socio-economic vulnerability. The indicators were classified, standardized, and weighted, and then were combined to gain the integrated flood risk index map. Different levels of flood risk were defined to be: (1) "Very High", (2) "High", (3) "Medium", (4) "Low", and (5) "Very Low". The integrated flood risk index confirmed that there is an increasing tendency of risk in the recent period and also that there is a somewhat increased tendency of risk in the case of the Central Pacific El Niño period. When forecasting the summer (June to September, JJAS) integrated flood risk in 2016, it is confirmed that the integrated flood risk increased from June to July, and that there is decreasing tendency of risk in August and September in Korea's central region. However, in the southern region, there was high flood risk in June, especially in the southern

coastal region. In July, the flood risk decreased overall, with the exception of a part of Changwon in Gyeongnam, and increased again in August and September.

Based on the results of this study, several lessons were obtained regarding the enhancement of policy standards and formulation of measures, in order to reduce long-range flood risk in local governments. The results of this study are expected to provide useful data for reducing flood risk to stakeholders and decision makers. Finally, the long-range flood risk forecasting in local areas can propose the possibility of mid- and long-term planning and forecasting of flood risk for the management of water resources for one to three months of seasonal forecasting information. It can also be used as useful forecasting information for acquisition of lead time in reducing the impacts of disasters such as drought and flood.

*Keyword:* Integrated Flood Risk, Long-Range Forecasting, Statistical-Dynamical Model, Korean Local Government





## 목 차

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. 서론                      | 1  |
| 1.1 배경 및 필요성               | 1  |
| 1.2 연구 동향                  | 2  |
| 1.3 연구 목적 및 범위             | 6  |
| 1.4 연구 내용 및 방법             | 6  |
| 2. 연구 내용 및 방법              | 8  |
| 2.1 국외 사례 조사               | 8  |
| 2.1.1 미국 기후 탄력 툴킷          | 8  |
| 2.1.2 미국 기상청 국가 수문 분석 시스템  | 9  |
| 2.1.3 호주 기상청 계절유량 예측 시스템   | 10 |
| 2.1.4 영국 기상청 영향예보 시스템      | 11 |
| 2.2 연구 대상지역 및 자료 분석        | 12 |
| 2.2.1 연구 대상지역              | 12 |
| 2.2.2 연구 대상 자료             | 13 |
| 2.2.3 수문기상 자료              | 13 |
| 2.2.4 티센 네트워크 구축           | 17 |
| 2.2.5 강수의 변동성/경향성 분석 및 군집화 | 20 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3. 통계·역학 모형에 의한 강수예측-----            | 22 |
| 3.1 통계 모형에 의한 월강수량 예측-----           | 22 |
| 3.1.1 시계열 예측-----                    | 22 |
| 3.1.2 모형 예측성 평가 방법-----              | 23 |
| 3.1.3 예측 결과-----                     | 24 |
| 3.2 역학 모형에 의한 월 강수량 예측-----          | 29 |
| 3.3 해수면 온도지수 예측-----                 | 31 |
| 4. 통합홍수위험 평가 설문 조사 분석-----           | 35 |
| 4.1 Delphi-AHP 분석-----               | 35 |
| 4.2 평가지표의 선정-----                    | 37 |
| 4.3 평가지표 개발-----                     | 38 |
| 4.4 설문지의 구성-----                     | 40 |
| 4.5 전문가 집단의 구성-----                  | 40 |
| 4.6 중·장기 예측 정보 활용성 조사 결과-----        | 42 |
| 4.7 Delphi 기법-----                   | 43 |
| 4.8 AHP 분석방법-----                    | 45 |
| 4.9 AHP 분석 계층 구조(Hierarch Tree)----- | 46 |
| 4.10 신뢰도 평가 결과-----                  | 47 |
| 4.11 중요도 평가 결과-----                  | 49 |
| 5. 통합 홍수 위험도 평가-----                 | 54 |
| 5.1 위험도 분석 및 평가 구간-----              | 54 |
| 5.2 지표별 DB구축 결과-----                 | 55 |
| 5.2.1 위해성 지표 DB구축 결과-----            | 55 |

|         |                          |     |
|---------|--------------------------|-----|
| 5.2.2   | 노출성 지표 DB구축 결과           | 56  |
| 5.2.3   | 취약성 지표 DB구축 결과           | 58  |
| 5.3     | 지표의 표준화                  | 60  |
| 5.4     | 통합 홍수위험도 평가 결과           | 62  |
| 5.4.1   | 1995년 이전과 이후 홍수위험 평가     | 62  |
| 5.4.2   | ENSO 패턴 변화에 따른 홍수위험 평가   | 64  |
| 5.4.2.1 | 엘니뇨 시기(CT El Niño)       | 64  |
| 5.4.2.2 | 중양태평양 엘니뇨 시기(WP El Niño) | 66  |
| 5.4.2.3 | 라니냐 시기(La Niña)          | 67  |
| 5.4.3   | 통합홍수위험도 예측 결과            | 69  |
| 6.      | 중장기 홍수 재난 위험도 관리 및 활용방안  | 71  |
| 6.1     | 이음새 없는 예측의 수자원분야 활용      | 71  |
| 6.2     | 재난관리의 방향                 | 72  |
| 6.3     | 홍수발생에 따른 재난관리 및 활용방향     | 74  |
| 7.      | 결론 및 토의                  | 77  |
| Ⅱ       | REFERENCE                | 80  |
| Ⅲ       | 부 록                      | 84  |
| [부록1]   | 설문조사서                    | 84  |
| [부록2]   | 설문조사 결과 통계분석             | 101 |
| [부록3]   | 지표관련 자료출처                | 111 |
| [부록4]   | 지자체 시군구별 티센 가중치 작성 결과    | 118 |
| [부록5]   | 지자체 홍수위험 지수 표출 결과        | 124 |



## 1. 서론

### 1.1 배경 및 필요성

홍수는 전 세계적으로 잘 알려진 자연재해 중 하나이며, 해마다 우기철이면 반복되는 홍수로 인하여 인명과 재산상의 막대한 손실을 초래하고 있다. 특히 최근 기후변화와 이상기후 현상 영향으로 인하여 지구촌 곳곳에서 홍수피해를 겪는 지역이 점차 다양화 가속화 되고 있는 실정이다. 이런 홍수(치수) 관련된 문제는 개인이 조심하고 적절히 잘 대처한다고 해서 해결될 사항이 아니며, 또한 현 사회 시스템이 단기적으로 해결될 문제는 더더욱 아니다. 국가차원에서 중장기적인 대책과 계획수립을 통하여 장기적으로 다루어져야 할 중요한 정책 과제 중 하나이며, 만약 이러한 홍수피해에 적절히 대비하지 못하였을 경우 겪어야 할 인적·물적 손실이 매우 클 수밖에 없다. 그러나 지금까지 예방적 차원에서 홍수피해를 방지하기 위한 여러 가지 대책들이 마련되고 있지만, 국지적으로 짧은 시간에 넓은 범위로 발생하는 홍수에 적절히 대비하기란 매우 어려운 일이다.

최근에는 컴퓨터 기술의 발달로 전산처리 속도가 빨라지고 다양한 시간 스케일에서 일정 수준 이상의 기후 예측 기술이 적용될 수 있음으로 인하여 이음새 없는 예측(seamless prediction)<sup>1)</sup>이 가능해 지게 되었다. 이에 따라 홍수재난 관리의 접근도 점차 다양화 정밀화 되어가고 있는 추세이다. 특히 전 지구적 이상기후 현상인 엘니뇨(El Nino), 라니냐(La Nina), 그리고 인도양다이폴(Indian Ocean Dipole) 등의 예측 정보는 수자원의 중·장기 예측 관점에서 장기 변동성에 대한 중요한 정보로 활용이 될 수 있다. 이러한 이음새 없는 예측 노력은 중·장기 홍수위험 예측 관점에서 새로운 패러다임 전환요소로 작용할 수 있으며, 홍수 재난발생의 선행시간 확보를 위한 사전 예방과 대비의 역할 범위를 점차 확장 시켜주고 있다.

실제로 미국, 호주, 영국 등 일부 선진국에서는 중·장기 예측기술을 적용한 다양한 응용분야(특히 홍수, 가뭄, 재난재해 분야)에 적용하고 취약성평가 요소를 고려한 영향예보를 실시하고자 하는 연구들이 최근 들어 활발히 수행 중에 있다. 이러한 기술

1) 초단기, 단기, S2S (Sub-seasonal to Seasonal), 계절예측, 기후변화에 이르기까지 다양한 시간 규모에서 일정수준 이상의 기후예측 기술을 확보한다는 개념

은 이미 시스템화 되어 현업에서 활용되고 있는 사례들 또한 찾아볼 수 있다.

우리나라의 경우, 북반구 중위도 지역에 위치하여 기상·기후학적인 영향과 더불어 동고서저형의 산악 지형 형태를 이루고 있는 지형학적 영향 특성에 따라 강수량의 여름철 편중이 심한 편이어서 지속가능한 수자원 확보와 홍수재난관리에 취약한 실정이다. 지금까지의 홍수위험 저감을 위한 대책들은 주로 구조물적인 방향 계획이 수립되어 이루어져 왔으며, 최근 들어 조기경보 시스템 개발 및 비상대처계획 수립 등 비구조적 방법에 의한 대책들이 수립되고 있는 실정이다. 그러나 아직까지는 초단기 및 단기 홍수예측 차원에서의 대안들이 대부분이며, 중·장기적 측면에서 홍수위험에 대처하고 홍수피해 노출과 홍수방어 취약성을 줄이고자 하는 노력은 극히 드문 편이다.

더욱이 국가 차원을 넘어서 지자체 활용을 목표로 중·장기 홍수위험 예측시스템을 개발하여 적용한다는 것은 아직까지 우리나라의 관련 규정 및 조례, 법·제도가 정비되지 않은 상태에서 어려움이 따르는 일이며, 앞으로도 많은 시간과 노력이 필요할 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고, 중·장기 기후예측정보의 활용과 전 세계 기상·기후 예측 분야가 영향예보로의 추세를 감안한다면, 우리나라의 국가 및 지자체 차원에서 관심을 갖고 연구·개발 수행이 필요한 분야라고 판단되며, 앞으로도 연구적으로나 정책적으로 투자가 지속될 필요성이 있다.

## 1.2 연구 동향

수문 및 기후과학자들을 통하여 대규모 해수면온도 변화에 따른 한반도 지역 수문 변동 영향 평가와 강수량 예측에 관한 연구들이 지속적으로 수행되고 있으며, 통계모형 및 역학모형에 의한 중장기 기후예측과 강수량 예측 관련 연구들이 활발히 수행되고 있다. 또한 수문 분야에서 홍수위험 평가 및 가중치 적용을 위한 Delphi-AHP 분석 및 평가지표개발 관련 연구들이 다양하게 수행되고 있으며, 지역 또는 유역규모 홍수위험 평가를 통한 활용사례들을 많이 찾아 볼 수 있다. 본 연구에서 수행하고자 하는 연구 내용과 관련하여 주요 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

우리나라를 대상으로 해수면 온도와 관련한 이상기후현상이 지역수문 변동에 미치는 영향을 분석한 연구는 많지 않으나, 일부 내용을 정리하면 다음과 같다. Moon et

al. (2005)은 Wavelet 분석과 독립성분 분석을 통한 저빈도 분석으로 필리핀과 호주 연안의 3개월 SST를 이용한 우리나라의 계절 강수량 예측 가능성을 진단하였으며, Kug et al. (2010)은 두 가지 형태의 El Niño 사상과 우리나라의 기후변동에 관한 통계적 분석결과 El Niño 발달기에 CT El Niño해에는 우리나라 대부분 지역에서 차가운 기후특성이 있으며, WP El Niño해에는 따뜻한 기후특성이 있음을 제시한 바 있다. Kim et al. (2012)은 El Niño Modoki일 때 우리나라 여름철 계절 강수량과 최대 강수량, 그리고 중호우사상의 뚜렷한 증가경향을 밝힌 바 있으며, Yoon et al. (2013)은 전형적인 El Niño와 El Niño Modoki를 구분하여 서로 다른 형태의 El Niño에 따른 한강유역의 여름철 강수량과 극치강수의 변동특성을 분석하여 El Niño Modoki일 때 한강유역의 여름철 강수량과 극치강수의 증가 특성이 있음을 밝혔고, Son et al. (2014)은 3가지 중앙태평양 El Niño의 진화패턴에 따른 우리나라 영향 태풍에 의한 강수량의 지역적 변동특성을 분석하였다.

또한, 통계모형을 통한 강수예측 사례와 관련한 연구동향을 살펴보면, Yakowitz and Karlsson (1987)는 Nearest Neighbor 방법을 통한 비매개변수적 회귀모형을 구축하여 수문시계열을 예측하는 기법을 제안하였으며, Kember et al. (1993)는 하천의 유량 예측을 위하여 Nearest Neighbor방법을 이용한 비매개변수적 회귀모형을 구축한 후 수문시계열 예측을 실시하고 ARIMA 모형의 결과와 비교분석 하였다. 문영일 (1997)은 수문 시계열자료의 비선형 상관관계를 검토하기 위해서 Mutual Information (MI)을 이용하였으며, 김형수 등(1999)은 엘리뇨 지수인 SOI자료의 선형적 특성을 가정하여 ARMA모형을 구축한 후 BDS통계를 통해 무작위하지 않다는 결론을 얻어 카오스특성을 판단하기 위한 Close Returns Test를 실시하여 비선형 추계학적 기법의 적용을 제시한바 있다. Montanar and Brath (2004)는 ADM모형과 분포형모형을 통하여 추계학적 방법으로 유출모의를 실시하였다. 윤선권 등(2009)은 우리나라 안동댐 유역을 대상으로 월강수량과 증발산량 예측을 위한 ARIMA(autoregressive integrated moving average) 시계열 예측 모형을 구축하였으며, 장기유출모형인 TANK 모형과 연계하여 유량예측을 통한 중·장기 수문시계열 예측의 적용성을 평가하였다. Oh and Moon (2010)은 우리나라의 61개 기상관측지점의 강수량 자료와 해수면 온도 자료를 통하여 군집분석과 주성분 분석을 통한 상관성 분석을 실시하였으며, 지역가중 다항식을 이용한 해수면 온도 관측에 따른 우리나라의 3개월 정량적 강

우량 예측 가능성을 분석하였다. 역학 모형을 통한 강수의 계절예측은 전 세계 수많은 기관과 연구자들에 의해 수행되고 있으며, 지역기후모형을 이용한 역학적 다운스케일링 연구도 활발히 진행 중에 있다. 대표적인 사례로 APEC 기후센터(APEC Climate Center, [www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))에서는 결정론적 방법과 확률론적 방법에 의한 다양한 기후예측 모형의 MME (Multi Model Ensemble) 기법을 적용하여 매달 3개월에서 6개월까지의 기후예측 정보를 생산 제공하고 있으며, 호주 기상청(BOM, [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))에서는 POAMA (Prediction Ocean Atmosphere Model for Australia) 모형을 이용하여 9개월까지의 예측자료를 앙상블 형태로 매달 제공하고 있다. 이 외에도 미국 NOAA의 NMME자료와 유럽연합의 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 자료가 대표적인 중·장기 기후예측 자료에 해당된다.

다음으로, Delphi-AHP분석과 관련한 연구는 다기준의사결정기법(MCDA, Multi-Criteria Decision Making Analysis)을 통한 항목별 우선순위의 중요도(Weighting Factor) 결정을 위하여 많은 연구자들에 의하여 연구가 이루어져왔으며, 그 방법론 또한 정형화 되어 제시되고 있다. Delphi 기법은 1948년 미국의 RAND연구소에서 개발되어 현재에도 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 전문가들의 경험적 지식에 의한 문제해결 방안 제시 및 미래예측 분야에 활용되고 있다. AHP (Analytic Hierarchy Process)는 다수 대안에 대한 여러 평가 기준을 적용하여 의사결정을 지원하는 방법의 하나로, 평가항목별 가중치(Weighting)를 산정할 때 주로 사용되는 도구(tool)이며, 1980년 토머스 사티(Thoma L. Saaty)에 의해 고안되어 지금도 활발히 사용되고 있다. Saaty (1990)는 AHP 분석 기법을 개발하였으며, 설문조사 결과의 신뢰성 평가를 위하여 일관성 비율인 CR(Consistency Ratio)를 제안하여 0.1미만이만 만족스러운 정도, 0.2 미만이면 허용할 만한 일관성 정도, 그 이상이면 설문조사 결과를 제외하도록 권고 하였다. Lee et al. (2013)은 퍼지 TOPSIS 방법과 Delphi 기법을 이용한 통합 다기준 홍수 취약성 평가 기법을 개발하였으며, 우리나라의 남한강 유역을 대상으로 그 적용성을 평가하였다. 또한 서준표 등 (2014)은 우리나라 사방댐 준설 시행여부 판단을 위하여 델파이 기법과 AHP를 이용한 중력식 사방댐 준설 평가지표와 조사야장을 개발하여, 불필요한 사방댐 준설작업을 방지하고 사방댐 유지관리 및 관련사업 정책 수립을 위한 의사결정에 활용할 수 있도록 하였으며, 최지혁 등 (2016)은 기후변화로 인한 강우강도 변화와 댐 시설물의 노후화에 따른 댐 안전성 문



제에 대비하여 위하여 전문가 그룹과 비전문가 그룹을 포함한 AHP 분석을 실시하여  
 댐 재개발 평가항목별 중요도를 평가하였다.

마지막으로, 재해 (Hazard)는 위험 (Risk)도 발생의 조건이 되며, 취약성 (Vulnerability)은  
 위험도 발생의 기본 상태에 해당되고, 위험도는 그 결과라 할 수 있다 (Maskrey 1989). 또한  
 Kasperson et al. (2005)은 전 지구적 환경변화에 의한 기후변화 영향 평가방법으로  
 사회-경제적 취약성(Socio-economic Vulnerability) 요인을 정의한바 있다. 전 세계  
 적으로 수자원 분야의 기후변화 위험도 관리(risk management) 및 기후변화 취약성  
 평가(vulnerability assessment)에 대한 연구는 활발히 진행 중에 있다. 기후변화 대  
 응(countermeasure) 및 적응(adaptation) 계획이 국가 및 지자체 단위로 수립이 되  
 고 있으며, 관련하여 여러 가지 영향 평가에 관한 다양한 대책들이 제시되고 있다  
 (Anselmo et al., 1996; Kasperson et al., 2005; Wang et al., 2011). 본 연구에  
 서는 기후변화 관점에서 위험도 분석 및 취약성 평가와 관련한 연구들을 답습할 필요  
 성이 있으며, 이를 활용한 중·장기 홍수위험평가가 이루어져야할 것으로 파악된다.  
 Watson et al. (1996)은 기후변화 취약성을 민감도(sensitivity), 적응능력(adaptation)  
 그리고 노출정도(exposure)로 구분하여 평가하였으며, 기후변화가 시스템에 피해를  
 주는 정도로 취약성을 정의한 바 있다. Connor and Hiroki (2005)는 기상 및 수문학  
 적 지표, 사회경제 지표, 대응책 관련 지표로 구분하여 기후변화 위험도 분석 및 취약  
 성을 평가하였으며, Rygel et al. (2006)은 기후변화 위험도 분석과 취약성 평가에서  
 가장 중요한 것은 적합한 지표들을 선정하는 것에 있다고 하였고, 취약성을 노출과  
 사회학적 지표로 구분하여 선정 및 수집하고 Pareto ranking process를 이용하여 사  
 회학적 취약성 지표를 통합한 평가기법을 제시하였다. Lee et al. (2011)은 한국의 5  
 대강유역을 대상으로 Multi-Model Ensemble 시나리오를 이용하여 기후변화에 따른  
 홍수위험도와 취약성 평가기법을 제안한바 있으며, Young and Choi (2012)는 Survey-  
 based approach를 통하여 한국의 소규모 하천 유역을 대상으로 기후변화에 따른 수  
 문학적 취약성 인자들을 Exposure, Sensitivity와 Adaptive Capacity의 항목으로 분  
 류하여 평가하였다.

연구동향 분석 결과를 종합해 보면, 아직까지 기후예측 정보를 활용한 일반화된  
 지역규모 통합위험지수 개발 및 평가에 대한 연구는 기초단계에 해당하는 것으로 분  
 석되며, 지역적 규모의 기후변화 영향분석 및 취약성 평가를 위한 개념적 인자분류

체계 구축을 통한 표준화연구의 수행이 필요하다. 더욱이 중장기 기후예측 정보를 활용한 홍수위험평가 사례는 찾아보기 힘들었으며, 신뢰성 있는 기후예측 정보가 제공된다면, 기후응용분야 활용성이 기대가 된다.

### 1.3 연구 목적 및 범위

본 연구의 목적은 통계·역학 모형을 통하여 예측된 기후정보를 활용하여 중·장기 홍수위험평가를 실시하고, 위험도 분석을 통한 지자체 활용방안을 모색하는 것이다. 이를 위하여 대규모 이상기후 현상과 한반도 수문변동영향을 분석하고 예측인자로 활용할 수 있는 방안을 간구하고, 추계학적 통계예측 모형과 역학 모형을 통하여 예측정보를 생산·활용할 수 있도록 한다. 또한 우리나라 지자체를 대상으로 통합홍수위험평가를 위한 지표를 개발하고, 이를 Delphi-AHP 설문조사를 통하여 전문가 의견을 반영한 평가지표로 개발 및 중요도를 산정하여 각 지표별 가중치를 산정한다. 개발된 지표를 바탕으로 우리나라 243개 시군구 지자체를 대상으로 중·장기 통합 홍수위험 평가를 실시하고 과거와 현재의 홍수위험도 변화분석 및 이상기후조건 변화에 따른 홍수위험도 평가를 실시하고, 2016년 여름철 홍수위험을 전국 지자체를 대상으로 분석하여 적응성을 평가한다. APCC MME 계절예측 정보와 기후전망 자료를 활용하여 통계·역학 모형 기반 한반도 수자원 계절예측 가능성을 진단하고 그 예측능력을 검증하여 우리나라 지자체 실무에 활용을 목적으로 한다.

### 1.4 연구 내용 및 방법

본 연구는 통계·역학(Statistical/Dynamical) 모형을 통한 중·장기 통합 홍수위험 예측 및 평가를 위하여 3단계의 연구 수행 목표를 설정하였다. 1단계로, 홍수위험 평가기술의 조사·분석 단계로 국내외 홍수위험 평가 사례를 조사 하고 분석하였다. 또한 국내 243개 시군구 지자체를 대상으로 각 지표에 대한 관련 자료를 수집하고 D/B(Data Base)를 구축하였다. 또한 홍수위험 평가에 사용되는 강우량 자료 및 관측 기상·기후 정보를 수집하고 이를 전처리 가공하는 작업을 수행하였으며, 지형 및 공간분포 정보 표출을 위한 GIS 자료를 수집·분석하였다. 또한 Delphi-AHP 분석을

위한 전문가 설문조사 내용 작성 및 분석을 위한 방안을 도출하였다. 2단계로, 통계·역학 모형 구축을 통한 중·장기 홍수위험 평가 시스템 구축을 실시하였다. 이를 위하여 엘니뇨, 라니냐 등의 Large-Scale 수문-기후 영향 분석을 실시하였으며, 한반도 영역에서의 지역 수문변동 영향을 분석하였다. 또한 MI(Mutual Information)통계기법을 이용한 기후지수와 수문변량간의 원격상관관계를 이용하여 비선형 상관성을 추정하였으며, 이를 이용하여 기후 지수를 활용한 시계열 예측의 가능성을 진단하였다. 또한 통계·역학 모형을 사용하여 중·장기 예측 정보를 통계 모형에 의한 월 강수량 예측을 위하여, 일반적으로 많이 사용되는 AR, MA, ARMA, ARIMA, VAR 모형을 사용하였으며, 각 모형 결과에 앙상블을 취하여 예측성을 검토하였다. 또한 역학 모형에 의한 월 강수량 예측은 APEC 기후센터에서 제공하는 APCC MME(APEC Climate Center Multi Model Ensemble)의 동아시아 영역 예측 정보를 사용하였다. 또한 중·장기 통합홍수위험 평가를 위한 지표를 개발하였으며, Delphi-AHP 분석을 위한 전문가 설문조사를 실시하였다. 마지막 3단계는 통합홍수위험 평가 시스템 검증 및 고도화 작업을 수행하였으며, 구축된 지역 DB와 개발된 통합홍수위험지수를 이용하여 우리나라 243개 시군구 지자체를 대상으로 홍수위험성을 평가였다. 이를 GIS tool을 활용하여 홍수위험도의 가시화 작업을 동시에 수행하였고 지자체 적용성 검토 및 활용을 위한 방안을 제시하였다. Fig. 1은 본 연구의 단계별 연구 목표 및 세부 연구내용 흐름도를 나타내었다.

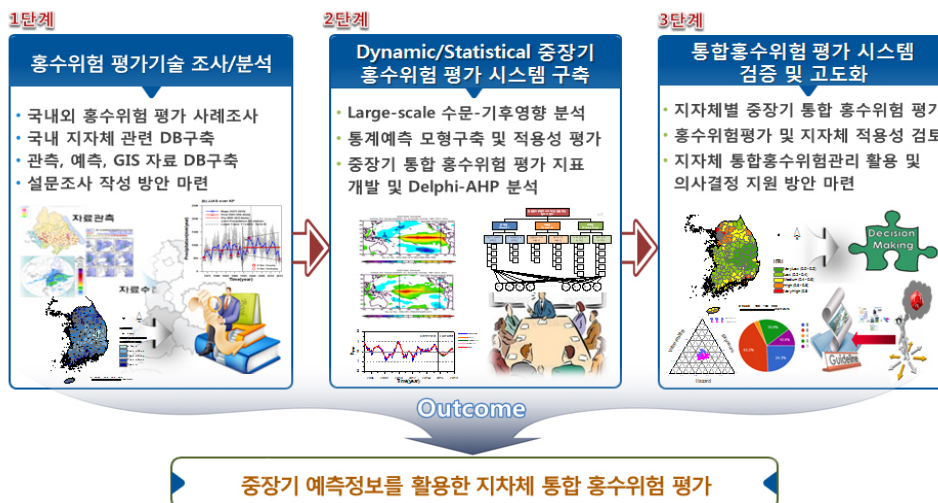


Figure 1 연구내용 및 연구 흐름도

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1 국외 사례 조사

#### 2.1.1 미국 기후 탄력 툴킷

미국에서는 중·장기 기후예측 정보 제공과 활용을 위하여 기후 탄력 툴킷(U.S. Climate Resilience Toolkit)을 개발하여 서비스 하고 있다(<https://toolkit.climate.gov/taking-action/seasonal-climate-forecast-serves-call-action>). 미국 내 각 지역 50여명의 기후재난분야 공무원들이 정기적인 모임을 통하여 이상기후와 재난재해 관련정보(예를 들어, 이상 고온 등에 의한 눈 녹음 현상에 따른 유역의 유출량 증가와 홍수발생, 이에 따른 환경변화와 보건·위생 분야의 영향, 기후관련 재난발생에 따른 계획 수립 등)들을 공유하고 실물에 활용하는 실제적으로 논의의 장이 마련되고 있다. 여기에서 주요하게 공유되고 다루어지는 기후예측 정보는 열대태평양지역의 해수면온도 변화에 따라 발생하는 이상기후 현상인 엘니뇨(El Niño) 및 라니냐(La Niña) 등 ENSO (El Niño-Southern Oscillation) 정보이다. 여기에서 제시하고 있는 기후탄력을 위한 단계별 옵션들은 먼저 기후 위험에 대한 진단이 이루어지면 각 분야 별로 취약성평가와 위험도 분석이 이루어지고, 분야별로 가능한 옵션들을 찾아내어 우선순위를 정하고 실제 액션을 취하는 과정으로 수행이 된다. Fig. 2는 미국의 기후탄력 Toolkit의 중·장기 예측 정보를 활용한 단계별 대응의 수행과정을 나타내고 있다.



Figure 2 미국 기후탄력 Toolkit 단계별 대응 수행 과정

## 2.1.2 미국 기상청 국가 수문 분석 시스템

미국의 기상청은 국가수문평가 시스템(National Hydrologic Assessment, <http://www.nws.noaa.gov/hic/nho/>)을 통하여 미국 전역에 대하여 계절규모 수자원 예측 정보를 제공하고 있다. Fig. 3은 미국 중부의 미시시피 강유역과 메인주 지역의 Minor, Moderate, Major의 세 단계로 구분하여 봄철 하천 홍수위험예측 결과에 대하여 공간분포 형태로 서비스하고 있는 모습이다. 이 시스템을 통하여 각 하천 지점 별로 관측되고 있는 과거 유량-수문자료들을 확인할 수 있도록 공간 분포형태로 제공하고 있으며, 평년에 비하여 홍수량 예측 값의 Magnitude(큰지, 작은지, 그리고 비슷한지)와 Timing(홍수발생 시기)를 평가할 수 있도록 하였다.

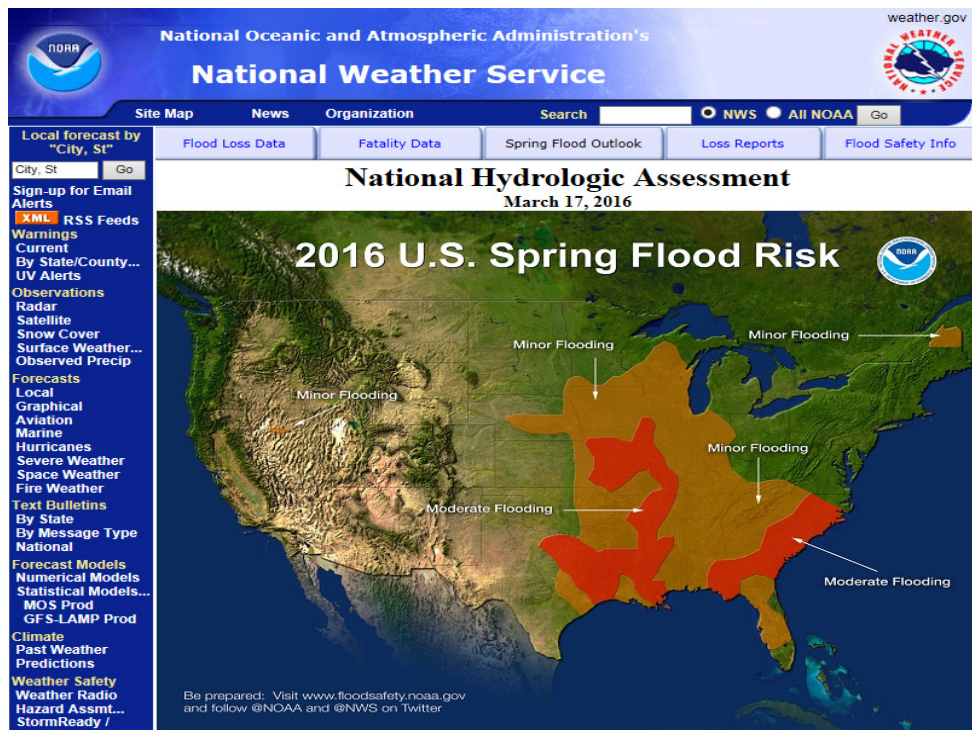


Figure 3 미국 국가수문평가 시스템 봄철 하천 홍수위험 서비스

### 2.1.3 호주 기상청 계절유량 예측 시스템

호주 기상청은 200개 주요 하천지점에 대하여 역학적 방법과 통계적 방법에 의한 3개월 유량예측 정보 서비스 시스템을 구축하여 서비스하고 있다. 계절 유량예측을 위한 역학방법은 POAMA (Predictive Ocean Atmosphere Model of Australia) 기후 모형에 의해 생성된 강수량 정보를 다운스케일링 한 후 GR4J 수문모형의 입력으로 활용하며, 통계적 방법은 기후인자와 해수면온도의 원격상관을 이용한 유출량 예측 모형을 활용함. 역학모형에 의한 유량예측 결과는 약6,200개 양상블로 모의가 되며, 확률밀도함수의 형태로 제시되고 있다. 또한 통계모형에 의한 유출량 모의 결과는 Bayesian Joint Probability (BJP)로 계산되며, 최종 계절유량예측 결과는 Merging을 통한 확률밀도함수로 재분석하여 파이(phi)차트 형태로 3개의 구간과 3개의 칼라로 구분하여 계절유량에 대한 저점별 위험도를 서비스 한다([www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml](http://www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml)). 다음 Fig. 4는 호주의 장기 유량예측 지역과 지점별 서비스 결과이다.

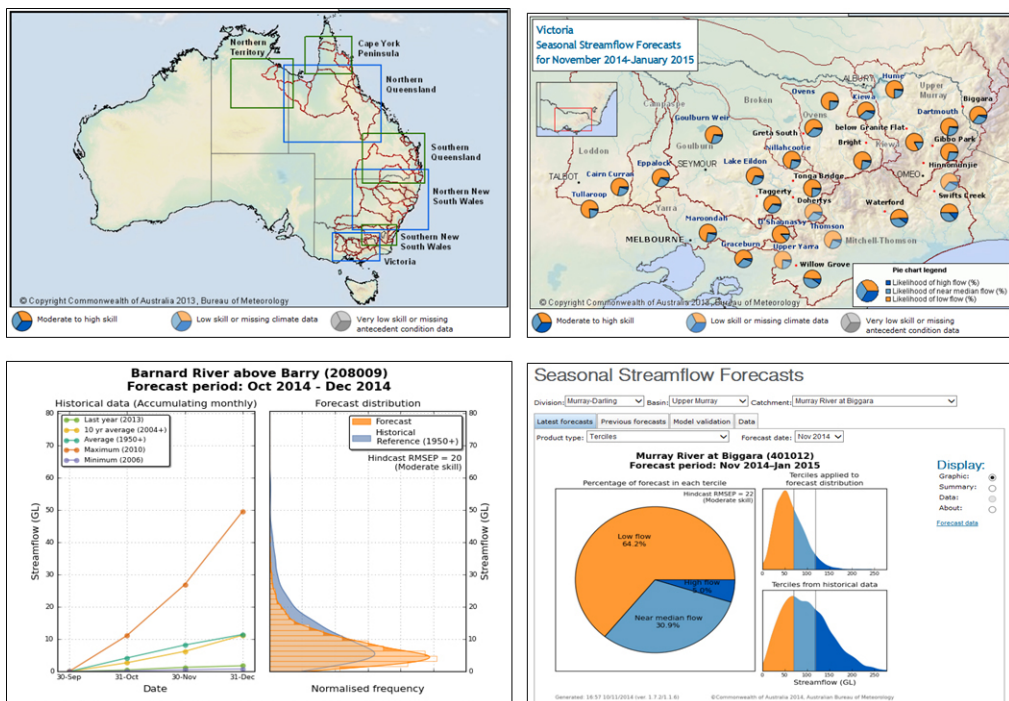


Figure 4 호주 기상청 계절유량예측 시스템



### 2.1.4 영국 기상청 영향예보 시스템

영국 기상청(Met Office, <http://www.metoffice.gov.uk/>)은 2007년 여름 대홍수로 인하여 경제적 손실이 6조원에 이르는 막대한 피해가 발생하여, 2년여 연구를 통하여 영향 예보 시스템을 개발하였다. 단순히 강수량만으로 설명할 수 없는 여러 요인들을 기상관련 전문가들과 다양한 분야 전문가 들이 협력을 통하여 기상·기후 관련 재해 발생 영향을 예측하고 중장기 예보에 활용하고 있다. 이 시스템은 2011년부터 위험기상 매트릭스를 활용하여 확률 기반으로 위험도를 예보하고 있으며, 국가위험기상정보서비스를 세계 최초로 실시하고 있다. 이 시스템은 영국 전역의 재난관련 비상사무국, 지자체, 사회공동체에서 활용할 수 있도록 정보를 제공하고 있으며, 총 24개 재해에 대한 영향예보를 하는 것을 목표로 현재 바람, 홍수, 산사태의 3가지 재해 정보에 대해 초점이 맞추어져 있다. 영향예보를 위해서는 무엇보다 다양한 분야 전문가들의 협업이 중요할 수 있다 하겠다. 다음 Fig. 5는 영국의 영향예보를 위한 위험 매트릭스를 나타내고 있다. 가로축은 잠재적인 영향의 정도(취약도)를 나타내고 있으며, 세로축은 재해발생 가능성 정도(노출)를 나타내고 있다. 각각의 단계는 4단계(매우낮음, 낮음, 중간, 높음)로 구분되며, 녹색(수문기상학적 재해가 예상되지 않음), 노랑색(주의 요망), 주황색(대비 요망), 빨강색(대응 실시)의 의미를 갖는다(출처: <http://www.etnews.com/20160717000040>).

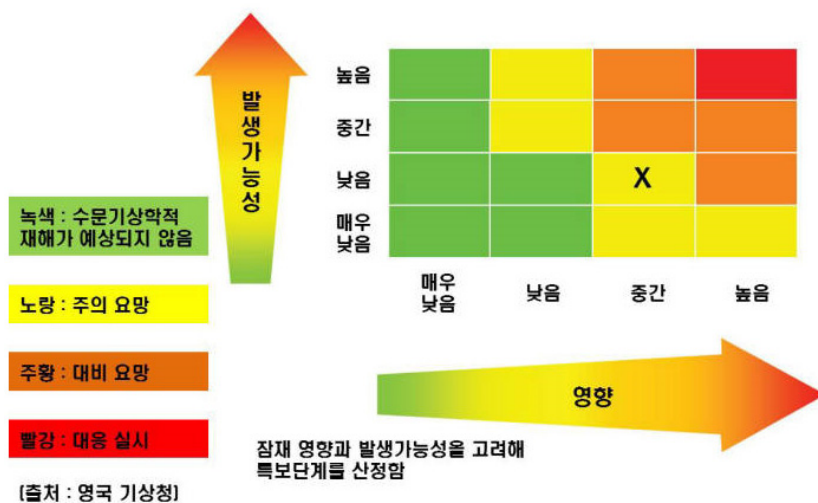


Figure 5 영국 기상청 영향예보 시스템

## 2.2 연구 대상지역 및 자료 분석

### 2.2.1 연구 대상지역

본 연구는 우리나라 지방자치단체를 대상으로 수행 하였다. 우리나라 행정구역은 1개의 특별시, 6개의 광역시, 8개의 도, 1개의 특별자치시, 1개의 특별자치도로 구성되어 총 17개의 행정구역이 광역지방자치단체로 분류되어 있다. 이 중 시군구 행정구역 단위로 구분하면 총 243개의 지자체가 존재하며, 본 연구에서는 우리나라 시군구를 대상으로 하였다. 우리나라 국토의 총 면적은 100,295km<sup>2</sup>이며, 총 인구수는 2016년 10월 31일 기준으로 51,677,054명<sup>2)</sup>이다. 또한 연평균 강수량은 1995년 이후 63개 기상관측 지점을 대상으로 분석하였을 경우 1,388.5mm이며, 우리나라의 서울을 포함한 중부지방과 남부지역에 집중해서 발생하고 있는 양상을 보이며, 홍수피해 또한 큰 것으로 확인 된다. Fig. 6은 본 연구의 대상지역 위치도 및 행정구역 구분도 이다.

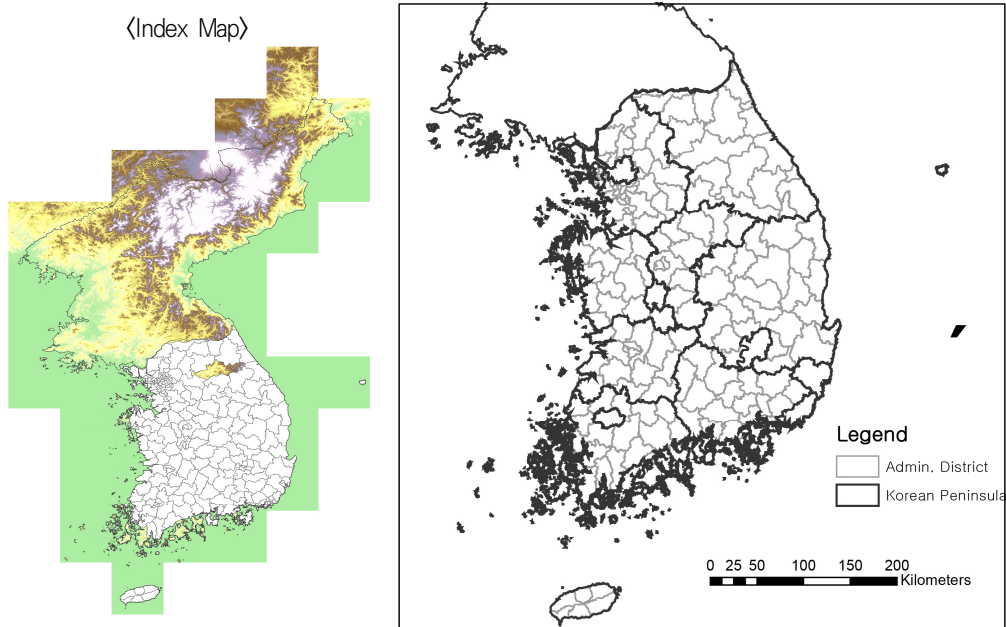


Figure 6 연구 대상지역 및 행정구역 구분도

2) 행정자치부 지방자치단체 행정구역 및 주민등록 인구 통계 (<http://www.moi.go.kr/>)



## 2.2.2 연구 대상 자료

본 연구에서 사용한 자료는 열대 태평양 지역 해수면온도 자료와 전 지구 강수량 관측자료, 기후지수관련자료, APCC MME자료, 한반도 기상관측자료, 국토부 국가수자원관리 종합정보시스템자료, 환경부 CCGIS자료, 통계청 국가통계포털자료, 지자체 기초통계자료, DEM 및 GIS관련 자료 등이다. 또한 각 세부 지표(위해성, 노출성, 취약성)별 기상-수문 관련 자료와 사회-경제 관련 자료를 수집하여 사용하였으며, 구체적인 출처 다음 Table 1과 [부록 3]을 참고할 수 있다.

Table 1 사용 자료 목록

| 사용 자료                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해수면온도 자료: NOAA (<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/">http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/</a>)</li> <li>• 전 지구 강수량 관측 자료: NOAA GPCP (URL: <a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl">http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl</a>)</li> <li>• 기후지수자료 NOAA CPC (URL: <a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml</a>)</li> <li>• APCC MME 자료: APEC Climate Center (URL: <a href="http://www.apcc21.org">http://www.apcc21.org</a>)</li> <li>• 기상청, 한반도 기상관측자료: KMA ASOS자료, AWS자료</li> <li>• 환경부, CCGIS자료, 배수펌프장 용량자료</li> <li>• 국토부, 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS, <a href="http://wamis.go.kr/">http://wamis.go.kr/</a>)</li> <li>• 통계청, 국가통계포털(인구수, 공무원 수, 재정, GRDP, 의료기관수 등)</li> <li>• DEM 및 GIS 관련 자료</li> </ul> |

## 2.2.3 수문기상 자료

본 연구에서는 수문·기상 인자의 극치 값(일 최대 강수량, 시간 최대 강수량, 빈도별 강수량 등) 분석을 위하여 우리나라 기상관측소의 시간(Hourly) 강우량 관측 자료를 사용하였다. 각 지점별 강우량 관측 자료는 기상청(Korea Meteorological Agency; [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr))에서 제공하는 종관기상관측장비 ASOS (Automated Surface Observing System)에 의해 관측된 자료를 사용하였으며, 관측개시일로부터 2015년 12월 31일 까지의 자료를 수집하였다. 수집된 자료로부터 일, 월, 계절, 그리고 년 강우 자료를 추출하여 극치 값 분석에 활용하였다. 다만, 비교적 최근에 관측을 시작한 지점들은 관측기간 짧아 분석에서 제외 하였으며, 2002년 이전부터 자료가 존재하는 총 74개 ASOS 기상관측 지점을 대상으로 분석을 실시하였다. 다음 Fig. 7은 본 연구에서 사

용은 우리나라 74개 기상관측지점과 위치도를 지도상에 나타내었으며, Table 2는 본 연구에서 사용한 74개 지상기상관측 지점 일람표와 지점별 관측자료 보유기간을 나타내었다.

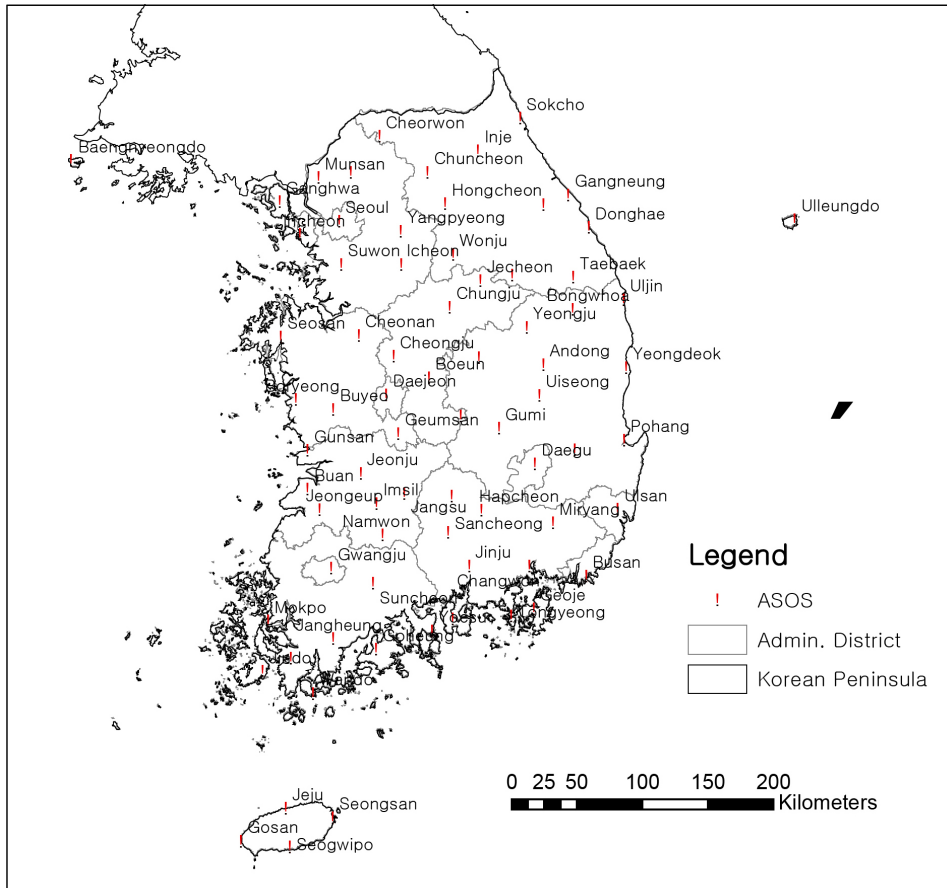


Figure 7 전국 74개 ASOS 기상 관측지점 위치도

Table 2 ASOS 지상기상관측지점 현황 및 관측 자료기간

| 지점번호<br>Station no. | 관측 지점<br>Station |               | 북위<br>Lat.(N) | 동경<br>Long.(E) | 해발높이<br>(m) | 지상높이<br>(m) | 자료 기간(Hourly) |      |
|---------------------|------------------|---------------|---------------|----------------|-------------|-------------|---------------|------|
|                     |                  |               |               |                |             |             | 시작            | 종료   |
| 090                 | 속 초              | Sokcho        | 38°15'        | 128°34'        | 17.8        | 0.6         | 1968          | 2015 |
| 095                 | 철 원              | Cheorwon      | 38°09'        | 127°18'        | 154.2       | 0.5         | 1988          | 2015 |
| 098                 | 동 두 천            | Dongducheon   | 37°54'        | 127°04'        | 112.5       | 0.6         | 1998          | 2015 |
| 099                 | 문 산              | Munsan        | 37°53'        | 126°46'        | 30.1        | 0.4         | 2002          | 2015 |
| 100                 | 대 관 령            | Daegwallyeong | 37°41'        | 128°46'        | 842.5       | 0.6         | 1972          | 2015 |
| 101                 | 춘 천              | Chuncheon     | 37°54'        | 127°44'        | 76.8        | 1.6         | 1966          | 2015 |
| 102                 | 백 령 도            | Baengnyeongdo | 37°58'        | 124°38'        | 144.4       | 0.6         | 2000          | 2015 |
| 105                 | 강 릉              | Gangneung     | 37°45'        | 128°54'        | 25.9        | 0.5         | 1961          | 2015 |
| 106                 | 동 해              | Donghae       | 37°30'        | 129°08'        | 39.6        | 0.6         | 1992          | 2015 |
| 108                 | 서 울              | Seoul         | 37°34'        | 126°58'        | 86.0        | 0.5         | 1961          | 2015 |
| 112                 | 인 천              | Incheon       | 37°28'        | 126°38'        | 68.9        | 0.5         | 1961          | 2015 |
| 114                 | 원 주              | Wonju         | 37°20'        | 127°57'        | 149.8       | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 115                 | 울 릉 도            | Ulleungdo     | 37°29'        | 130°54'        | 220.9       | 0.5         | 1961          | 2015 |
| 119                 | 수 원              | Suwon         | 37°16'        | 126°59'        | 33.6        | 0.7         | 1964          | 2015 |
| 121                 | 영 월              | Yeongwol      | 37°11'        | 128°28'        | 239.8       | 0.6         | 1995          | 2015 |
| 127                 | 충 주              | Chungju       | 36°58'        | 127°57'        | 114.1       | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 129                 | 서 산              | Seosan        | 36°46'        | 126°30'        | 25.9        | 0.5         | 1968          | 2015 |
| 130                 | 울 진              | Ulsan         | 36°59'        | 129°25'        | 49.4        | 0.6         | 1972          | 2015 |
| 131                 | 청 주              | Cheongju      | 36°38'        | 127°27'        | 57.4        | 0.5         | 1967          | 2015 |
| 133                 | 대 전              | Daejeon       | 36°22'        | 127°22'        | 68.3        | 1.5         | 1969          | 2015 |
| 135                 | 추 풍 령            | Chupungnyeong | 36°13'        | 128°00'        | 242.5       | 0.5         | 1961          | 2015 |
| 136                 | 안 동              | Andong        | 36°34'        | 128°43'        | 139.4       | 1.7         | 1983          | 2015 |
| 137                 | 상 주              | Sangju        | 36°24'        | 128°09'        | 99.9        | 0.4         | 2002          | 2015 |
| 138                 | 포 향              | Pohang        | 36°02'        | 129°23'        | 1.9         | 2.3         | 1961          | 2015 |
| 140                 | 군 산              | Gunsan        | 36°00'        | 126°45'        | 26.9        | 0.6         | 1968          | 2015 |
| 143                 | 대 구              | Daegu         | 35°53'        | 128°37'        | 57.6        | 0.6         | 1961          | 2015 |
| 146                 | 전 주              | Jeonju        | 35°49'        | 127°09'        | 53.5        | 0.6         | 1961          | 2015 |
| 152                 | 울 산              | Ulsan         | 35°33'        | 129°19'        | 34.7        | 0.6         | 1961          | 2015 |
| 155                 | 마 산              | Masan         | 35°11'        | 128°34'        | 37.4        | 0.6         | 1986          | 2015 |
| 156                 | 광 주              | Gwangju       | 35°10'        | 126°54'        | 70.5        | 0.6         | 1961          | 2015 |

| 지점번호<br>Station no. | 관측 지점<br>Station |            | 북위<br>Lat.(N) | 동경<br>Long.(E) | 해발높이<br>(m) | 지상높이<br>(m) | 자료 기간(Hourly) |      |
|---------------------|------------------|------------|---------------|----------------|-------------|-------------|---------------|------|
|                     |                  |            |               |                |             |             | 시작            | 종료   |
| 159                 | 부 산              | Busan      | 35°06'        | 129°02'        | 69.2        | 0.6         | 1961          | 2015 |
| 162                 | 통 영              | Tongyeong  | 34°51'        | 128°26'        | 31.7        | 0.6         | 1968          | 2015 |
| 165                 | 목 포              | Mokpo      | 34°49'        | 126°23'        | 37.9        | 0.6         | 1961          | 2015 |
| 168                 | 여 수              | Yeosu      | 34°44'        | 127°45'        | 66.1        | 0.6         | 1961          | 2015 |
| 169                 | 흑 산 도            | Heuksando  | 34°41'        | 125°27'        | 79.4        | 0.6         | 1997          | 2015 |
| 170                 | 완 도              | Wando      | 34°24'        | 126°42'        | 34.9        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 174                 | 순 천              | Suncheon   | 35°01'        | 127°22'        | 165.0       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 175                 | 진 도              | Jindo      | 34°28'        | 126°20'        | 476.6       | 0.5         | 2002          | 2015 |
| 184                 | 제 주              | Jeju       | 33°31'        | 126°32'        | 20.0        | 0.5         | 1961          | 2015 |
| 185                 | 고 산              | Gosan      | 33°17'        | 126°10'        | 71.2        | 0.5         | 1988          | 2015 |
| 188                 | 성 산              | Seongsan   | 33°23'        | 126°53'        | 18.6        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 189                 | 서 귀 포            | Seogwipo   | 33°15'        | 126°34'        | 50.5        | 1.5         | 1961          | 2015 |
| 192                 | 진 주              | Jinju      | 35°12'        | 128°07'        | 21.3        | 0.6         | 1969          | 2015 |
| 201                 | 강 화              | Ganghwa    | 37°42'        | 126°27'        | 45.7        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 202                 | 양 평              | Yangpyeong | 37°29'        | 127°30'        | 47.0        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 203                 | 이 천              | Icheon     | 37°16'        | 127°29'        | 77.8        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 211                 | 인 제              | Inje       | 38°03'        | 128°10'        | 198.6       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 212                 | 홍 천              | Hongcheon  | 37°41'        | 127°53'        | 140.6       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 216                 | 태 백              | Taebaek    | 37°10'        | 128°59'        | 713.4       | 0.6         | 1986          | 2015 |
| 221                 | 제 천              | Jecheon    | 37°09'        | 128°12'        | 263.2       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 226                 | 보 은              | Boeun      | 36°29'        | 127°44'        | 174.1       | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 232                 | 천 안              | Cheonan    | 36°47'        | 127°07'        | 24.9        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 235                 | 보 령              | Boryeong   | 36°19'        | 126°34'        | 15.3        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 236                 | 부 여              | Buyeo      | 36°16'        | 126°55'        | 11.3        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 238                 | 금 산              | Geumsan    | 36°06'        | 127°29'        | 171.3       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 243                 | 부 안              | Buan       | 35°44'        | 126°43'        | 10.7        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 244                 | 임 실              | Imsil      | 35°37'        | 127°17'        | 246.9       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 245                 | 정 읍              | Jeongeup   | 35°34'        | 126°52'        | 44.1        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 247                 | 남 원              | Namwon     | 35°24'        | 127°20'        | 89.7        | 0.7         | 1973          | 2015 |
| 248                 | 장 수              | Jangsu     | 35°39'        | 127°31'        | 407.0       | 0.6         | 1988          | 2015 |
| 260                 | 장 흥              | Jangheung  | 34°41'        | 126°55'        | 45.2        | 0.7         | 1973          | 2015 |

| 지점번호<br>Station no. | 관측 지점<br>Station |            | 북위<br>Lat.(N) | 동경<br>Long.(E) | 해발높이<br>(m) | 지상높이<br>(m) | 자료 기간(Hourly) |      |
|---------------------|------------------|------------|---------------|----------------|-------------|-------------|---------------|------|
|                     |                  |            |               |                |             |             | 시작            | 종료   |
| 261                 | 해 남              | Haenam     | 34°33'        | 126°34'        | 13.7        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 262                 | 고 흥              | Goheung    | 34°37'        | 127°17'        | 53.3        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 271                 | 봉 화              | Bonghwa    | 36°56'        | 128°55'        | 321.5       | 0.6         | 1988          | 2015 |
| 272                 | 영 주              | Yeongju    | 36°52'        | 128°31'        | 210.2       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 273                 | 문 경              | Mungyeong  | 36°37'        | 128°09'        | 170.4       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 277                 | 영 덕              | Yeongdeok  | 36°32'        | 129°25'        | 41.2        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 278                 | 의 성              | Uiseong    | 36°21'        | 128°41'        | 81.1        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 279                 | 구 미              | Gumi       | 36°08'        | 128°19'        | 47.9        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 281                 | 영 천              | Yeongcheon | 35°58'        | 128°57'        | 94.1        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 284                 | 거 창              | Geochang   | 35°40'        | 127°55'        | 220.9       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 285                 | 합 천              | Hapcheon   | 35°34'        | 128°10'        | 32.7        | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 288                 | 밀 양              | Miryang    | 35°29'        | 128°45'        | 12.6        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 289                 | 산 청              | Sancheong  | 35°25'        | 127°53'        | 138.6       | 0.6         | 1973          | 2015 |
| 294                 | 거 제              | Geoje      | 34°53'        | 128°36'        | 45.3        | 0.5         | 1973          | 2015 |
| 295                 | 남 해              | Namhae     | 34°49'        | 127°56'        | 44.4        | 0.5         | 1973          | 2015 |

\* 해발높이 : 노장의 해발 높이(Height of observation field above mean sea level)

\* 지상높이 : 우량계의 지상 높이(Height of rain gauge above the ground)

## 2.2.4 티센 네트워크 구축

본 연구에서는 우리나라 243개 시군구 지자체 지역과 74개 ASOS 우량관측소를 대상으로 티센방법으로 다각형 삼각망을 구축하여 각 우량계에 대표되는 관측소의 면적비와 지자체별 해당관측소의 지배면적비를 산정하였다.

티센면적은 총면적에 대한 비로 나타내게 되며,  $a_i = A_i/A$ 로 가중인자가 된다. 이는 산술평균보다 정확도가 높고 수문분석 시 실무에서 활용도가 높다. 다음 Eq. (1)은 티센 면적평균 강우량 산정식이다.

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i} = \sum \frac{A_i}{A} P_i = \sum a_i P_i \quad (1)$$

여기서  $A_i$ 는  $i$ 관측소의 면적이고  $A$ 는 유역면적,  $a_i$ 는 가중인자 이다.

다음 Fig. 8은 우리나라 ASOS 강우 관측소를 대상으로 작성한 티센 폴리곤 네트워크를 작성하여 지자체 행정구역도를 GIS상에서 오버레이(Overlay)하여 나타낸 결과이다.

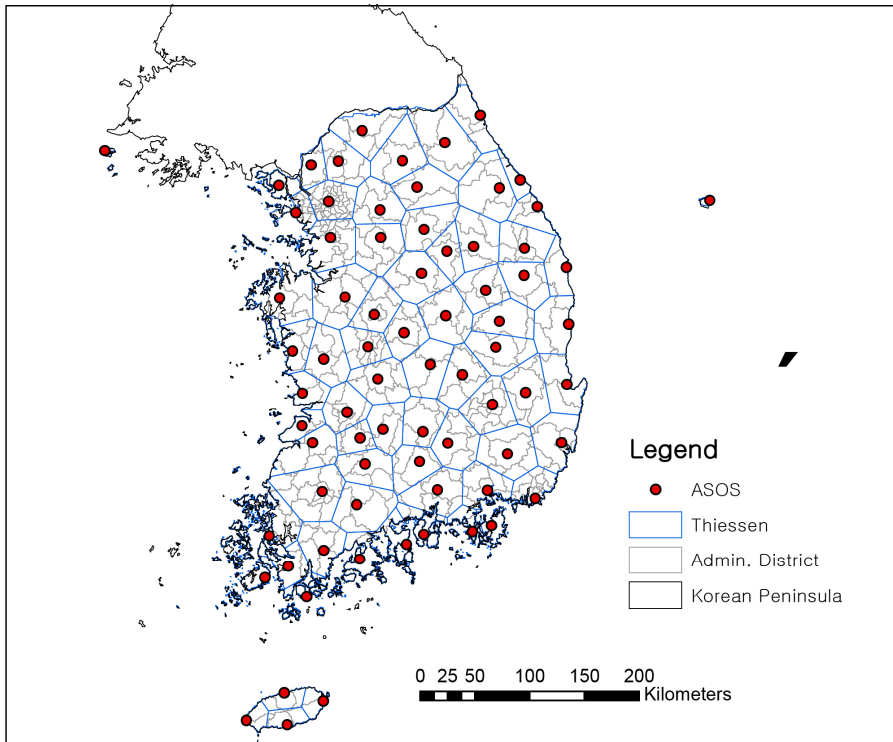


Figure 8 티센 폴리곤 네트워크 작성 결과

다음 Table 3은 본 연구에서 사용한 74개 ASOS 지상관측소별 지배면적과 티센면적 가중치를 산정한 결과 이며, 우리나라 243개 시군구 행정구역별 티센 방법에 의한 지배면적과 각 강우관측소에 해당하는 가중치 산정결과는 [부록 4]에 제시하였다.

Table 3 Calculation of thiessen polygon ratio using ASOS station

| ID  | Name        | Thiessen AREA | Thiessen Ratio | ID  | Name      | Thiessen AREA | Thiessen Ratio |
|-----|-------------|---------------|----------------|-----|-----------|---------------|----------------|
| 90  | Sokcho      | 1331526557.1  | 0.0134         | 185 | Gosan     | 348086781.3   | 0.0035         |
| 95  | Cheorwon    | 1829384422.4  | 0.0184         | 188 | Seongsan  | 424758827.0   | 0.0043         |
| 98  | Dongduche   | 1498863590.4  | 0.0151         | 189 | Seogwipo  | 535793750.8   | 0.0054         |
| 99  | Munsan      | 775684514.9   | 0.0078         | 192 | Jinju     | 1749038513.6  | 0.0176         |
| 100 | Daegwally   | 2333739773.1  | 0.0235         | 201 | Ganghwa   | 622353040.0   | 0.0063         |
| 101 | Chuncheon   | 1879019815.4  | 0.0189         | 202 | Yangpyeon | 1577770410.2  | 0.0159         |
| 102 | Baengnyeong | 66751403.8    | 0.0007         | 203 | Icheon    | 1763028805.7  | 0.0177         |
| 105 | Gangneung   | 491822687.8   | 0.0049         | 211 | Inje      | 2631785658.5  | 0.0264         |
| 106 | Donghae     | 839102176.1   | 0.0084         | 212 | Hongcheon | 1762300249.5  | 0.0177         |
| 108 | Seoul       | 1320643247.1  | 0.0133         | 216 | Taebaek   | 1515425475.1  | 0.0152         |
| 112 | Incheon     | 768453148.7   | 0.0077         | 221 | Jecheon   | 1085452201.7  | 0.0109         |
| 114 | Wonju       | 1576662866.9  | 0.0158         | 226 | Boeun     | 1437266759.9  | 0.0144         |
| 115 | Ulleungdo   | 68403492.4    | 0.0007         | 232 | Cheonan   | 2408487733.1  | 0.0242         |
| 119 | Suwon       | 1908448062.0  | 0.0192         | 235 | Boryeong  | 1169315116.9  | 0.0118         |
| 121 | Yeongwol    | 1821237586.0  | 0.0183         | 236 | Buyeo     | 1677768935.4  | 0.0169         |
| 127 | Chungju     | 1891020346.9  | 0.0190         | 238 | Geumsan   | 1774234261.5  | 0.0178         |
| 129 | Seosan      | 2253980793.5  | 0.0226         | 243 | Buan      | 682037508.2   | 0.0069         |
| 130 | Ulsan       | 914854384.0   | 0.0092         | 244 | Imsil     | 801387980.8   | 0.0081         |
| 131 | Cheongju    | 1433960784.0  | 0.0144         | 245 | Jeongeup  | 1675160288.1  | 0.0168         |
| 133 | Daejeon     | 1270488227.7  | 0.0128         | 247 | Namwon    | 1508011707.0  | 0.0152         |
| 135 | Chupungny   | 1765970182.7  | 0.0177         | 248 | Jangsu    | 1278038350.6  | 0.0128         |
| 136 | Andong      | 1531997245.0  | 0.0154         | 260 | Jangheung | 1557611900.6  | 0.0157         |
| 138 | Pohang      | 1489592137.6  | 0.0150         | 261 | Haenam    | 840582796.0   | 0.0084         |
| 140 | Gunsan      | 811068964.0   | 0.0082         | 262 | Goheung   | 1010404026.1  | 0.0102         |
| 143 | Daegu       | 1762158670.4  | 0.0177         | 271 | Bongwha   | 1499679519.4  | 0.0151         |
| 146 | Jeonju      | 1393015296.9  | 0.0140         | 272 | Yeongju   | 1485412136.2  | 0.0149         |
| 152 | Ulsan       | 1746145767.1  | 0.0175         | 273 | Mungyeong | 1886462084.1  | 0.0190         |
| 155 | Changwon    | 1336682844.9  | 0.0134         | 277 | Yeongdeok | 1630142100.6  | 0.0164         |
| 156 | Gwangju     | 2461848250.8  | 0.0247         | 278 | Uiseong   | 1741020090.7  | 0.0175         |
| 159 | Busan       | 951752999.5   | 0.0096         | 279 | Gumi      | 1684952262.3  | 0.0169         |
| 162 | Tongyeong   | 492970100.3   | 0.0050         | 281 | Yeongcheo | 1925530894.2  | 0.0193         |
| 165 | Mokpo       | 1726198734.5  | 0.0173         | 284 | Geochang  | 1501064026.1  | 0.0151         |
| 168 | Yoesu       | 671816124.9   | 0.0068         | 285 | Hapcheon  | 1699069324.3  | 0.0171         |
| 170 | Wando       | 484066513.6   | 0.0049         | 288 | Miryang   | 2061360851.1  | 0.0207         |
| 174 | Suncheon    | 2022272691.8  | 0.0203         | 289 | Sancheong | 1370604631.0  | 0.0138         |
| 175 | Jindo       | 629957537.3   | 0.0063         | 294 | Geoje     | 408287228.0   | 0.0041         |
| 184 | Jeju        | 536526842.4   | 0.0054         | 295 | Namhae    | 696865727.4   | 0.0070         |

## 2.2.5 강수의 변동성/경향성 분석 및 군집화

변동성 분석은 강수량 자료의 평균과 분산의 편차에 따른 변동점을 가정하여 변동 전·후의 강수량 자료의 통계적인 변화에 대한 유의성을 검증하는 방법이며, 경향성 분석은 강수량자료의 증가 또는 감소의 경향을 모수적, 또는 비모수적 방법에 의하여 통계적으로 유의한 정도를 검정하는 방법이다. 본 연구에서는 우리나라 기상청 ASOS기상관측 지점을 대상으로 1973년 이후 강수량 자료가 존재하는 총 63개 관측소를 대상으로 연평균강수량과 여름철 강수량(6월~9월)을 추출하여 변동성과 경향성 분석을 실시하였다. 변동성 분석을 위하여 사용한 방법은 Mann-Whitney u분석, sign분석, T분석, F 분석, 수정 T 분석, 수정 F분석의 총 6가지 방법을 사용하였으며, 경향성 분석을 위하여 사용한 방법은 T-분석, Mann-kendall 분석, Hotelling-Pabst 분석, Sen 분석의 총 4가지 방법을 사용하였다. 각 방법에 대한 이론은 여러 문헌들에서 제시하고 있기 때문에 본 연구에서는 따로 기재하지 않도록 하겠다.

Fig. 9는 우리나라 63개 기상관측소 연평균 강수량 평균과 여름철(JJAS)강수량의 시계열자료를 표시한 결과이며, 각 지점 평균 강수량에 대한 변동성 및 경향성 분석 결과를 나타내었다. 그리고 엘니뇨가 강하게 발달하였던 해의 발달기(Developing)와 쇠퇴기(Decaying)를 구분하여 여름철 강수량 시계열에 표시하였다. 각 방법에 의한 우리나라 강수량 자료의 변동성과 경향성을 분석한 결과, 변동성의 경우 대관령(100), 춘천(101), 서울(108), 인천(112), 울릉도(115), 수원(119), 안동(136), 완도(170), 서귀포(189), 양평(202), 홍천(212), 영주(272), 구미(279) 지점에서 총 6개의 변동성 분석 방법 중 4개 이상의 방법이 신뢰구간 95%(유의수준 5%) 이내에서 유의한 증가 경향이 있는 것으로 분석되었다. 또한 경향성 분석의 경우, 서울(108), 인천(112), 울릉도(115), 수원(119), 성산(188), 서귀포(189), 양평(202) 지점에서 4개의 경향성 분석 방법 중 3개 이상이 통계적으로 신뢰구간 95%(유의수준 5%) 이내에서 유의한 증가 경향이 있는 것으로 분석되었다.

Table 4는 본 연구에서 선정한 우리나라 74개 강우관측소를 대상으로 수문-기상학적으로 동질한 지역으로 구분하여 강우예측모형 개발 및 티센면적 평균 강수량의 적용을 위하여 군집분석을 통한 강우관측소의 군집화 및 지역구분을 실시한 결과이다. 군집분석은 오태석 등 (2008)의 결과를 활용하였으며, 최종적으로 군집화된 지역



은 5개의 지역(Region 1: 광주, 전남, 제주, 부산, 울산, 경남 지역, Region 2: 대전, 충남, 전북 지역, Region 3: 서울, 인천, 경기 지역, Region 4: 강원 지역, Region 5: 대구, 경북, 충북 지역)과 각 지역에 해당하는 강우 관측소로 구분하여 나타내었다.

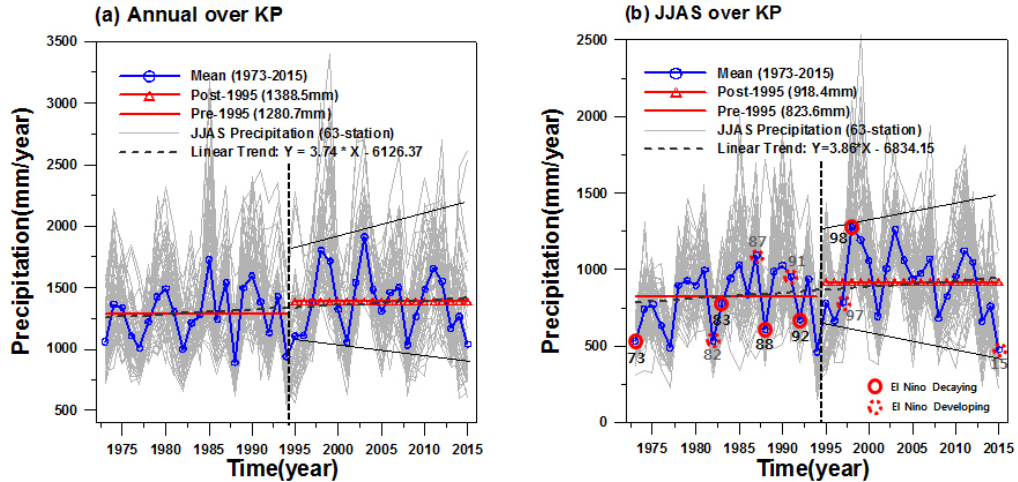


Figure 9 우리나라 63개 기상관측소 강수량 평균의 변동성 및 경향성 분석결과. (a) 연평균 강수량, (b) 여름철 (JJAS) 강수량

Table 4 강우관측소의 군집화 및 지역 구분

| 지역 구분                                | 강우관측소                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Region 1<br>(광주, 전남, 제주, 부산, 울산, 경남) | 울산(152), 창원(155), 광주(156), 부산(159), 통영(162), 목포(165), 여수(168), 완도(170), 순천(174), 진도(175), 제주(184), 고산(185), 성산(188), 서귀포(189), 진주(192), 장흥(260), 해남(261), 고흥(262), 거창(284), 합천(285), 밀양(288), 산청(289), 거제(294), 남해(295) |
| Region 2<br>(대전, 충남, 전북)             | 서산(129), 대전(133), 군산(140), 전주(146), 천안(232), 보령(235), 부여(236), 금산(238), 부안(243), 임실(244), 정읍(245), 남원(247), 장수(248)                                                                                                     |
| Region 3<br>(서울, 인천, 경기)             | 동두천(098), 문산(099), 백령도(102), 서울(108), 인천(112), 수원(119), 강화(201), 양평(202), 이천(203)                                                                                                                                       |
| Region 4<br>(강원)                     | 속초(090), 철원(095), 대관령(100), 춘천(101), 강릉(105), 동해(106), 원주(114), 영월(121), 인제(211), 홍천(212), 태백(216)                                                                                                                      |
| Region 5<br>(대구, 경북, 충북)             | 울릉도(115), 충주(127), 울진(130), 청주(131), 추풍령(135), 안동(136), 포항(138), 대구(143), 제천(221), 보은(226), 봉화(271), 영주(272), 문경(273), 영덕(277), 의성(278), 구미(279), 영천(281)                                                               |

### 3. 통계·역학 모형에 의한 강수예측

#### 3.1 통계 모형에 의한 월강수량 예측

##### 3.1.1 시계열 예측

통계모형을 통한 월강수량 예측을 위하여 시계열 모형을 구축하였으며, 군집분석을 통하여 동일 강우 지역으로 구분한 5개의 지역 강우관측소 월강수량 자료를 바탕으로 Box-Jenkins 방법론에 따라 각 시계열예측에 적합한 모형을 구축하여, 12개월 예측 값인  $Z_{n+12}$ 를 추정하였다. 먼저 Box-Cox 변환을 통하여 원자료 시계열이 가지고 있는 추세와 경향 성분을 제거하고 분산을 안정화 시킨 후 모형의 식별(Identification)과 추정(Estimation), 검진(Diagnostic checking)의 3단계 과정을 거쳐 만들어진 시계열 예측모형을 통하여 예측을 실시하였다. 변환된 모든 시계열자료는 SSA (Singular Spectrum Analysis) 기법의 주성분분석(PCA, Principle Component Analysis)을 통하여 장주기와 단주기에 해당하는 재분석 자료(RC, reconstructed component)를 추출하였고, 원자료 시계열에 가장 적합한 RC-16 성분을 바탕으로 시계열 예측을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 각 시계열 예측 모형에 대한 구체적인 이론과 방법론은 「윤선권, APEC기후센터 연구보고서 2015-14」의 연구보고서를 참고할 수 있다. 우리나라 지역별 월강수량의 예측 기간은 2016년 1 ~ 12월까지 12개월이며, 열대 태평양 지역 기후지수는 2016년 10월 ~ 2020년 10월까지의 4년(48개월)이다. 본 연구에서 구축한 개별 통계 모형의 시계열 예측은 오픈소스 통계분석 패키지인 Gretl (<http://gretl.sourceforge.net/>)을 이용하였으며, 각 시계열 예측 모형별 매개변수 및 통계지표관련 결과는 본문제 따로 제시하지 않도록 하겠다. Fig. 10은 본 연구에서 실시한 통계모형에 의한 시계열 예측 과정에 대한 모식도를 나타내었다.

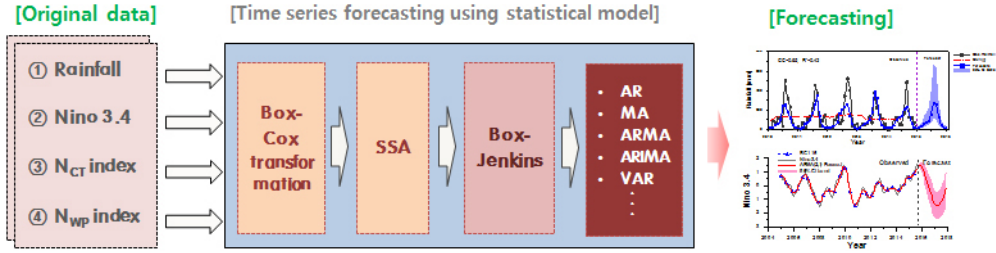


Figure 10 통계 예측 모형을 통한 시계열 예측 과정 모식도

### 3.1.2 모형 예측성 평가 방법

통계예측 모형을 통한 월강수량 시계열 예측 결과와 관측 자료에 대하여 비교·분석을 통하여 예측성 평가를 실시하였으며, 사용된 기초통계 분석 방법은 상관계수( $CC$ ), 결정계수( $R^2$ ), 평균제곱근오차( $RMSE$ ), 그리고 용적오차( $VE$ )이다.

일반적으로 상관계수는 두 변수 사이에 존재하는 관계의 특성과 정도에 대한 정보를 제공한다. 월강수량 예측과 시계열 모형에 의한 예측결과의 상관성에 기초한 회귀분석식의 정확도를 판단하기 위하여 결정계수( $R^2$ )를 산정하였다. 관측자료와 예측 자료 간의 상관성을 분석하기 위한 상관계수는 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 결정계수는 Eq. (3)과 같다.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

여기서,  $x_i$ 는 월별 관측된 강수량 시계열자료이며,  $y_i$ 는 통계예측 모형에 의한 월별예측 강우 시계열 자료이다. 또한,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 이고,  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ 이다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3)$$

여기서,  $SST = SSR + SSE$ 이며,  $SST = \sum (x_i - \bar{x})^2$ ,  $SSR = \sum (\hat{x}_i - \bar{x})^2$ ,  $SSE = \sum (x_i - \hat{x}_i)^2$ 이다.  $\bar{x}$ 는 자료의 평균값,  $x_i$ 는 관측값,  $\hat{x}_i$ 는 예측값을 의미한다.

또한  $SST$  (total sum of squares)는 종속변수의 총분산이며,  $SSR$  (regression sum of squares)는 모형에서 설명되는 분산,  $SSE$  (error sum of squares)는 모형에서 설명이 되지 않는 분산 즉 잔차를 의미한다.

다음으로 관측과 예측 오차에 대한 적합성을 판단하기 위하여 일반적인 통계지표로 사용되는 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)의 합과 백분위 용적오차(VE)를 산정하여 평가하였으며, 다음 Eqs. (4), (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (SC_i - SO_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$VE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n SC_i - \sum_{i=1}^n SO_i}{\sum_{i=1}^n SO_i} \right) \times 100(\%) \quad (5)$$

여기서,  $SC_i$ 는 시계열 모형에 의하여 예측된 월별 예측 강우량이며,  $SO_i$ 는 관측 월강우량,  $n$ 은 자료의 개수를 의미한다.

### 3.1.3 예측 결과

Fig. 11은 원자료 시계열(observed series), 각 예측 모형에 의한  $Z_{n+12}$ 의 예측 시계열(forecasting series)을 각 지역별로 도시한 결과이다. 통계예측 모델 구성을 위해 사용된 시계열 자료는 SSA 기법의 주성분 분석으로 각 시계열 강우 정보로부터 추출해 낸 RC자료를 이용하였으며, 실제 예측에 사용된 모형은 계절형 ARIMA(p,d,q) × (P,D,Q)<sub>12</sub> 모형과 VARMA(p,q), 그리고 예측모형의 평균값을 취한 MME (Multi Model Ensemble) 예측 결과이다. 예측에 사용된 시계열자료는 1973년부터 2015년 12월까지 관측된 지역별 월강수량 관측자료이며, 2016년 1월부터 12월까지 12개월 예측을 실시하였다.

Table 5는 지역별 월강수량 예측 결과에 대한 예측성 평가 결과를 나타내고 있다. 상관계수와 결정계수는 값이 클수록, 평균제곱근오차와 용적오차는 값이 0에 가까울

수록 관측과 유사함을 의미한다. Region 1의 경우, RC자료를 제외한 모형 상관계수는 MME 결과가 0.845로 가장 높게 나타났으며, 결정계수는 0.721로 분석되었다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형 또한 MME (RMSE=57.4, VE=12.0)로 분석되었다. Region 2의 경우, RC자료를 제외한 모형 상관계수는 MME 결과가 0.838로 가장 높게 나타났으며, 결정계수는 0.702로 분석되었다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형 또한 MME (RMSE=56.8, VE=16.6)로 분석되었다. Region 3의 경우, RC자료를 제외한 모형 상관계수는 MME 결과가 0.748로 가장 높게 나타났으며, 결정계수는 0.559로 분석되었다. 평균제곱근오차가 가장 작은 모형은 MME (RMSE=102.3)으로 분석되었으며, 용적오차가 가장 작은 모형은 VAR 모형 (RMSE=25.5)으로 분석되었다. Region 4의 경우, RC자료를 제외한 모형 상관계수는 MME 결과가 0.753로 가장 높게 나타났으며, 결정계수는 0.567로 분석되었다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형 또한 MME (RMSE=83.3, VE=31.9)로 분석되었다. 마지막으로 Region 5의 경우, RC자료를 제외한 모형 상관계수는 MME 결과가 0.790로 가장 높게 나타났으며, 결정계수는 0.625로 분석되었다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형 또한 MME (RMSE=52.4, VE=20.0)로 분석되었다.

통계예측모형을 통하여 우리나라 지역별 월강수량 예측을 실시한 결과, 관측기간과 상관계수가 0.748 ~ 0.849의 비교적 높은 예측력을 보이고 있음을 확인하였으며, Region 1에서 예측력이 가장 높은 것으로 분석되었다. 평균제곱근오차의 경우 52.4 ~ 102.5의 분포를 보이는 것으로 분석되었으며, 용적오차는 12.0 ~ 31.9의 분포를 보이는 것으로 분석되었다. Region 1은 제주도를 포함한 남부 해안지역으로, 2014년 여름의 강수량 피크를 예측하지 못했으나, 2015년에 감소되는 강수량을 비교적 잘 모의하고 있어 전반적으로 가장 좋은 예측력을 보였다. 또한 서울과 경기 지역에 해당하는 Region 2의 경우 가장 낮은 예측력을 보였으며, 2011년의 여름철 집중호우 피크를 잘 예측하지 못했으며, 2014년과 2015년 두 해에 걸친 중부지방 가뭄에 따른 강수량 감소 현상을 제대로 모의하지 못함으로 인한 결과로 사료된다. 또한 상관계수와 결정계수, 평균제곱근오차 및 용적오차 평가를 종합해 볼 때, 여러 통계모형의 결과를 취합하여 사용하는 MME예측의 경우가 월강수량 예측에 있어 가장 좋은 결과를 나타냄을 확인하였으며, 추후 보다 다양한 통계예측 모형의 활용 및 극치 수문사상을 제대로 모의할 수 있는 통계예측 모형의 활용 필요할 것으로 판단된다.

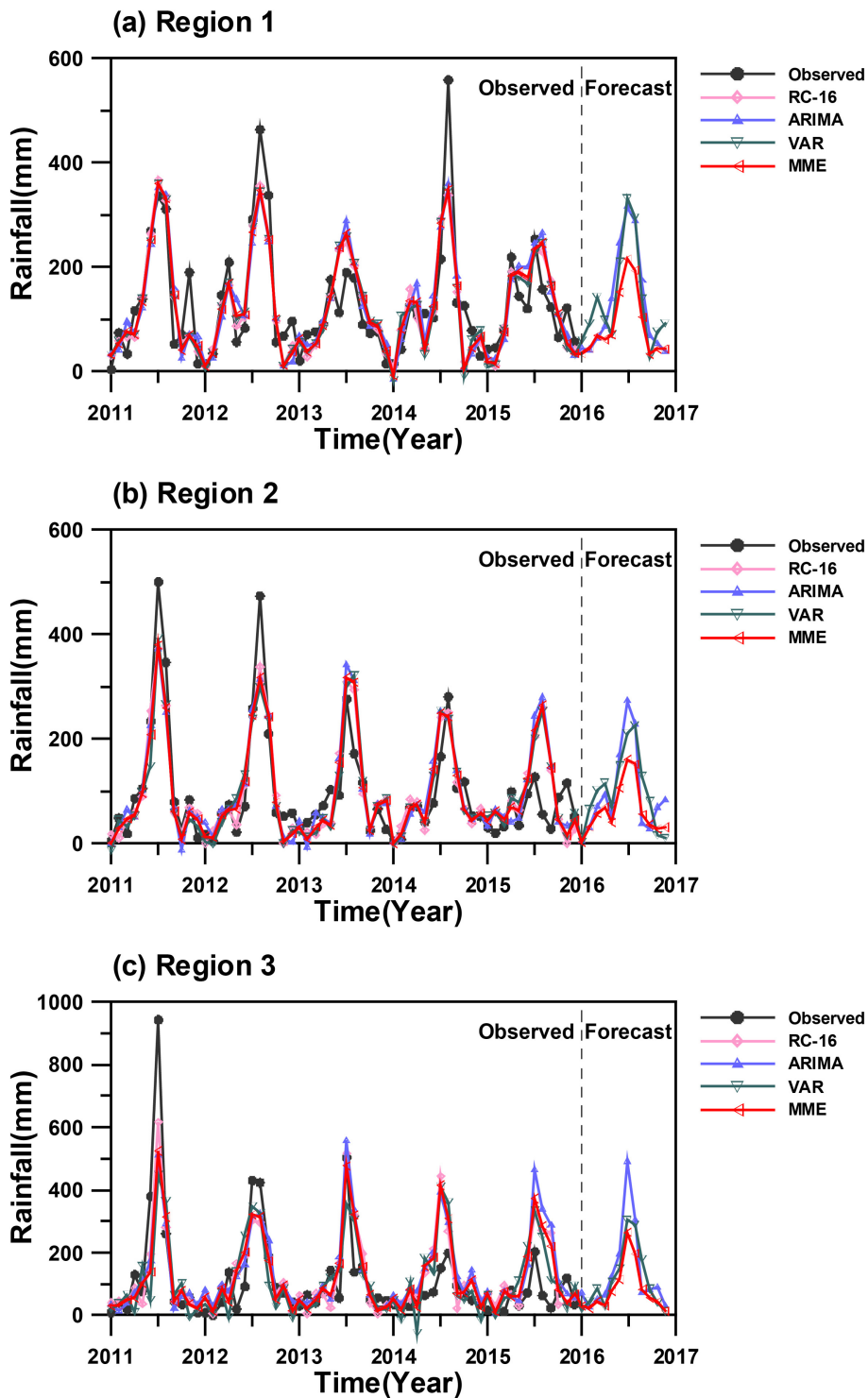


Figure 11 통계 모형에 의한 월강수량 시계열 예측 결과

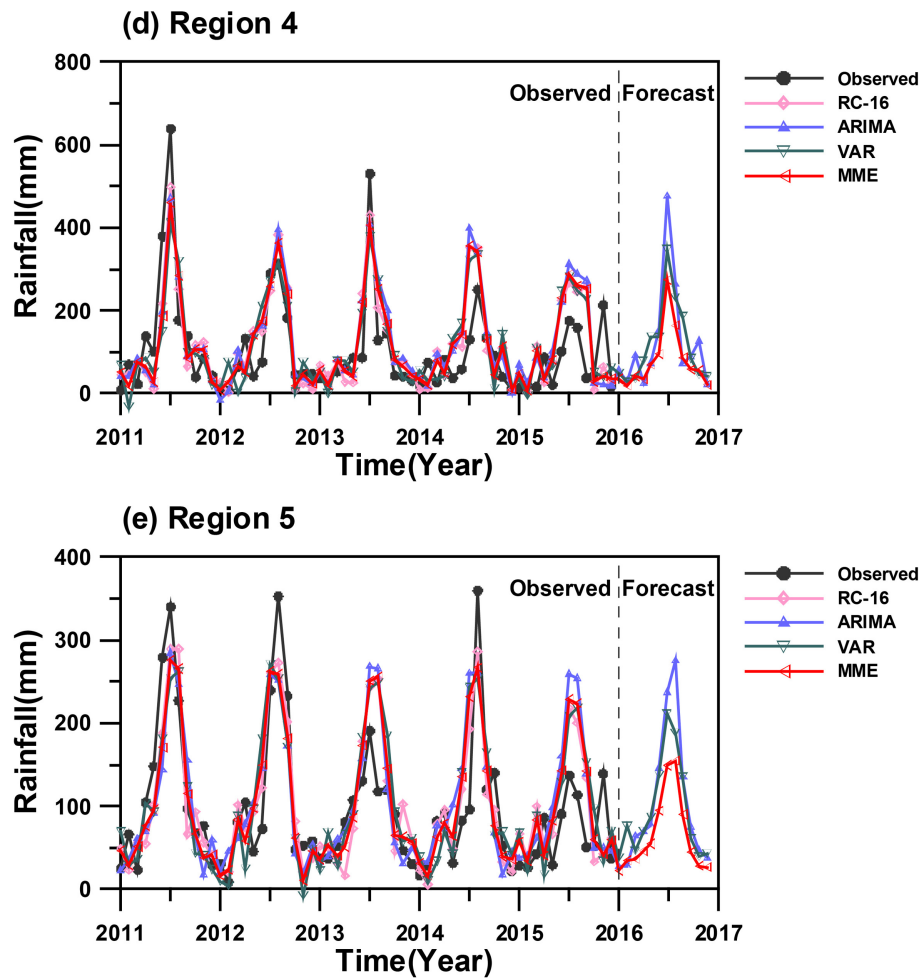


Figure 11 계 속

Table 5 통계 예측모형의 월강수량 예측 성능 평가 결과

| Region | Forecasting Models                 | Statistics |                |         |        |
|--------|------------------------------------|------------|----------------|---------|--------|
|        |                                    | CC         | R <sup>2</sup> | RMSE    | VE (%) |
| R1     | RC-16                              | 0.860      | 0.739          | 55.410  | -2.286 |
|        | ARIMA(2,1,2)×(1,1,2) <sub>12</sub> | 0.828      | 0.686          | 61.020  | 19.864 |
|        | VAR(2)                             | 0.845      | 0.714          | 58.195  | 18.443 |
|        | MME                                | 0.849      | 0.721          | 57.364  | 12.007 |
| R2     | RC-16                              | 0.846      | 0.717          | 55.439  | 3.698  |
|        | ARIMA(2,1,2)×(2,1,2) <sub>12</sub> | 0.818      | 0.670          | 60.678  | 25.104 |
|        | VAR(2)                             | 0.830      | 0.689          | 57.913  | 21.108 |
|        | MME                                | 0.838      | 0.702          | 56.776  | 16.637 |
| R3     | RC-16                              | 0.779      | 0.607          | 97.229  | 16.058 |
|        | ARIMA(2,1,2)×(1,1,2) <sub>12</sub> | 0.729      | 0.531          | 108.655 | 48.914 |
|        | VAR(2)                             | 0.661      | 0.437          | 115.895 | 25.543 |
|        | MME                                | 0.748      | 0.559          | 102.470 | 30.172 |
| R4     | RC-16                              | 0.779      | 0.607          | 79.632  | 15.051 |
|        | ARIMA(2,1,2)×(1,1,2) <sub>12</sub> | 0.740      | 0.548          | 88.236  | 45.013 |
|        | VAR(2)                             | 0.705      | 0.496          | 88.806  | 35.748 |
|        | MME                                | 0.753      | 0.567          | 83.256  | 31.937 |
| R5     | RC-16                              | 0.827      | 0.684          | 47.920  | 5.418  |
|        | ARIMA(2,1,2)×(2,1,2) <sub>12</sub> | 0.741      | 0.549          | 59.131  | 28.899 |
|        | VAR(pa)                            | 0.750      | 0.563          | 57.569  | 25.856 |
|        | MME                                | 0.790      | 0.625          | 52.436  | 20.058 |

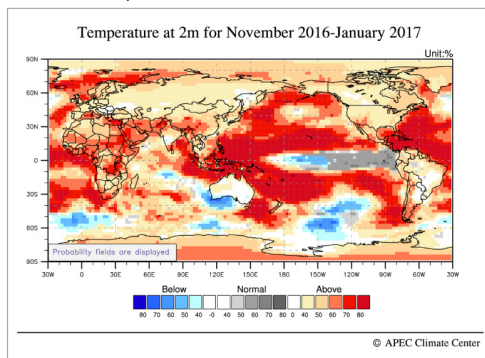
\* MME (Multi Model Ensemble)



### 3.2 역학 모형에 의한 월 강수량 예측

역학 모형을 통한 강수의 계절예측은 전 세계 많은 연구기관에 의해서 수행되고 있다. 또한 예측된 기후정보를 경계조건으로 하여 지역기후모형을 이용한 역학적 다운스케일링을 실시하여 다양한 기후 응용분야 연구에 활용하고 있다. 대표적으로 미국 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)의 NMME(the North American Multi-Model Ensemble) 자료와 유럽연합의 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 자료를 들 수 있으며, 호주 기상청(BOM, Bureau of Meteorology)에서도 POAMA (Prediction Ocean Atmosphere Model for Australia) 모형을 이용하여 9개월까지의 기후예측 앙상블 자료를 매달 제공하고 있다. 상기 나열한 기후모형을 통하여 예측된 역학적 방법의 강수량 예측정보의 향후 활용 가능성을 전제로, 본 연구에서는 APEC 기후센터(APCC, APEC Climate Center)에서 제공하는 다중모델 앙상블(MME, Multi Model Ensemble) 자료를 사용하였다. APCC MME자료는 결정론적 방법과 확률론적 방법에 의하여 매달 3개월에서 6개월까지 Precipitation, T2m Temperature, 850hPa Temperature, 500hPa GPH, SST의 총 5가지 기후변수에 대하여 전 지구 및 8개의 각 지역별로 기후예측 정보를 생산 제공하고 있다. 다음 Fig. 12는 APCC MME에 의한 전 지구 3개월 2m 기온과 강수량 예측 결과이며, Fig. 13은 2016년 여름철(JJAS) 동아시아 지역 월 강수량의 정량 예측 값과 확률 예측 값을 나타낸 것이다.

(a) T2m temperature



(b) Precipitation

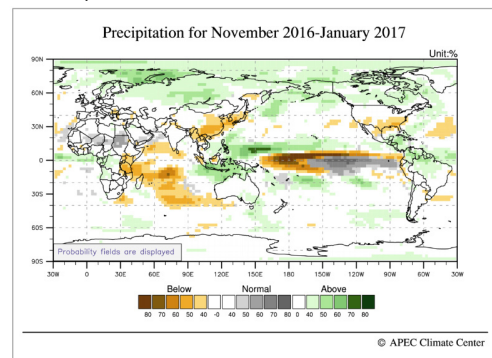


Figure 12 APCC MME 기온 및 강수량 예측 결과(www.apcc21.org)

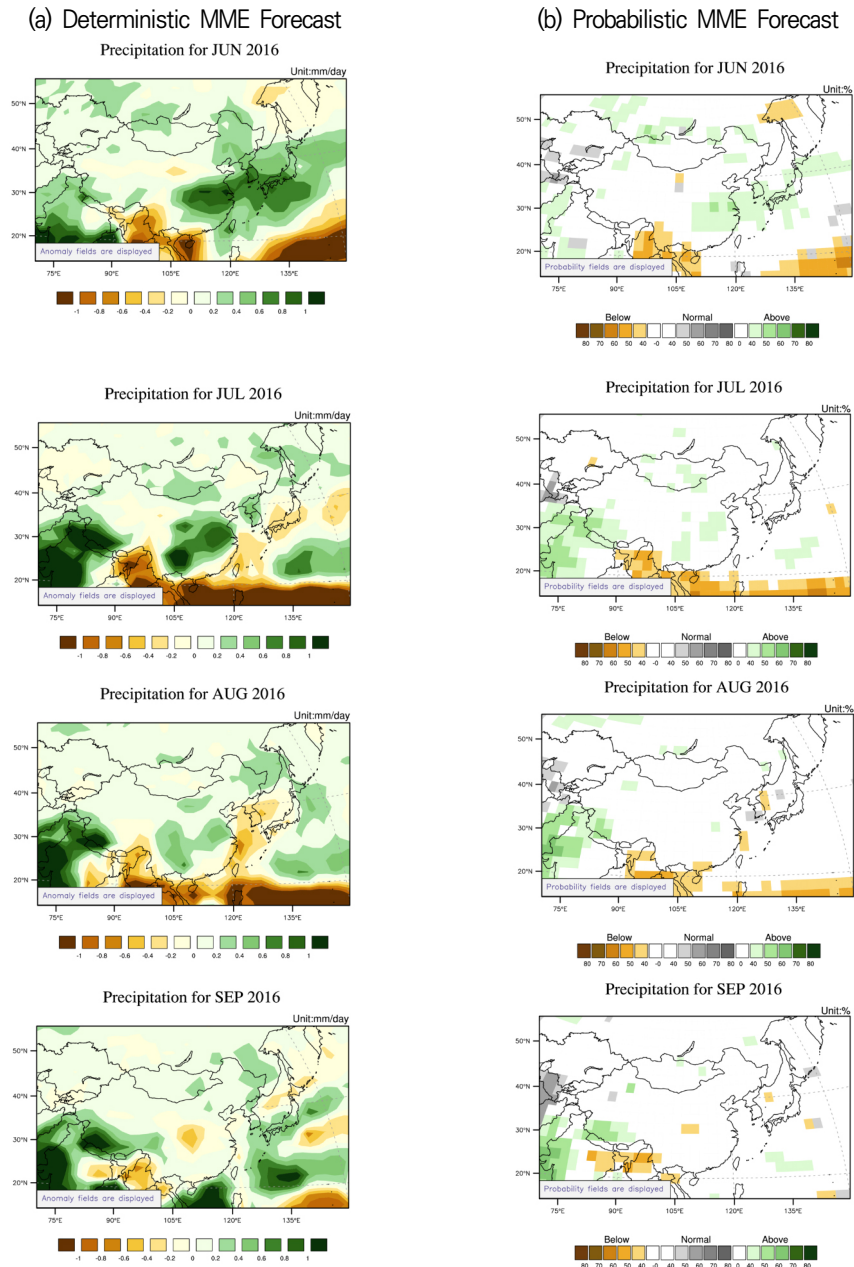


Figure 13 APCC MME에 의한 2016년 여름철(JJAS) 동아시아 지역 월 강수량 예측([www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))

### 3.3 해수면 온도지수 예측

열대태평양지역 해수면 온도 관련 기후지수 예측을 위하여 사용된 지수는 Nino 3, Nion 4, Nino 3.4 지역의 SST anomaly자료와 Nino 3지수와 Nion 4지수의 관계로부터 만들어 낸 전형적인 엘니뇨에 해당하는  $N_{CT}$  index와 중앙태평양 엘니뇨에 해당하는  $N_{WP}$  index이다. 통계예측 모형 구축을 위하여 사용된 해수면 온도 지수는 1950년 1월 ~ 2016년 9월까지의 월별 관측자료 이다.

Fig. 21은 기후지수 예측을 위하여 구축한 AR(p), ARMA(p,q), VARMA(p,q) 통계예측 모형을 통하여 열대태평양 지역의 SST anomaly를 예측한 결과이며,  $Z_{n+12}$ 의 예측 시계열과 원자료 시계열, 그리고 예측모형에 의한 결과의 평균값인 MME 모형 결과를 나타내었다. 기후지수 시계열 예측은 관측 시점부터 2016년 9월까지의 자료를 바탕으로 2020년 9월까지 향후 4년(48개월) 예측을 실시하였다.

열대 태평양 지역의 기후 지수별 예측 결과를 살펴보면(Table 6), Nino 3의 경우, 모형 상관계수는 전반적으로 0.97 정도로 매우 높게 나타났으며, 결정계수 또한 0.95를 기록하였다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 적은 모형은 VARMA(p,q) 모형(RMSE=0.175, VE=-2.392)으로 분석되었다. Nino 4의 경우, 모형 상관계수는 전반적으로 0.98 정도로 매우 높게 나타났으며, 결정계수 또한 0.97을 기록하였다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형은 VARMA(p,q) 모형(RMSE=0.105, VE=0.08)로 분석되었다. Nino 3.4의 경우, 모형 상관계수는 전반적으로 0.98 정도로 매우 높게 나타났으며, 결정계수 또한 0.92를 기록하였다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형은 VARMA(p,q) 모형(RMSE=0.1166, VE=-3.368)로 분석되었다.  $N_{CT}$ 의 경우, 모형 상관계수는 전반적으로 0.96 정도로 매우 높게 나타났으며, 결정계수 또한 0.93을 기록하였다. 평균제곱근오차와 용적오차가 가장 작은 모형은 VARMA(p,q) 모형(RMSE=0.160, VE=-2.739)로 분석되었다. 마지막으로  $N_{WP}$ 의 경우, 모형 상관계수는 전반적으로 0.96 정도로 매우 높게 나타났으며, 결정계수 또한 0.96을 기록하였다. 평균제곱근오차가 가장 작은 모형은 VARMA(p,q) 모형(RMSE=0.109)로 분석되었으며, 용적오차가 가장 작은 모형은 MME(VE=0.1309)로 분석되었다.

해수면 온도 예측결과를 종합해보면, 상관계수는 0.959 ~ 0.987, 결정계수는 0.920 ~ 0.973으로 매우 높게 나타났으며, 평균제곱근오차는 0.105 ~ 0.182의 분포를 보

였고, 용적오차는  $-5.731 \sim 0.643$ 의 분포를 보이는 것으로 분석되었다. 상관계수와 결정계수, 평균제곱근오차 및 용적오차 분석에서 가장 좋은 평가를 받은 모형은 VARMA(p,q)모형이며, 기후지수가 가지고 있는 장기적인 주기 성분 예측에 자기상관 이동평균과정 모형이 잘 적합하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 기후지수에 대한 향후 4년 동안의 예측결과를 살펴보면 관측기간에 관측자료와 피팅이 잘 이루어 졌더라고 실제 예측을 수행하였을 경우 모형별로 다양한 예측 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 하나의 모형 결과를 취사선택하는 것 보다 여러 통계모형의 결과를 취합하여 앙상블 형태로 사용하는 것이 불확실성을 줄이고 예측력을 확보할 수 있는 방안으로 판단된다. 따라서 향후에는 보다 다양한 통계예측 모형의 적용과, 장주기 성분 예측에 활용이 가능한 모형 개발 및 적용이 필요할 것으로 사료된다.

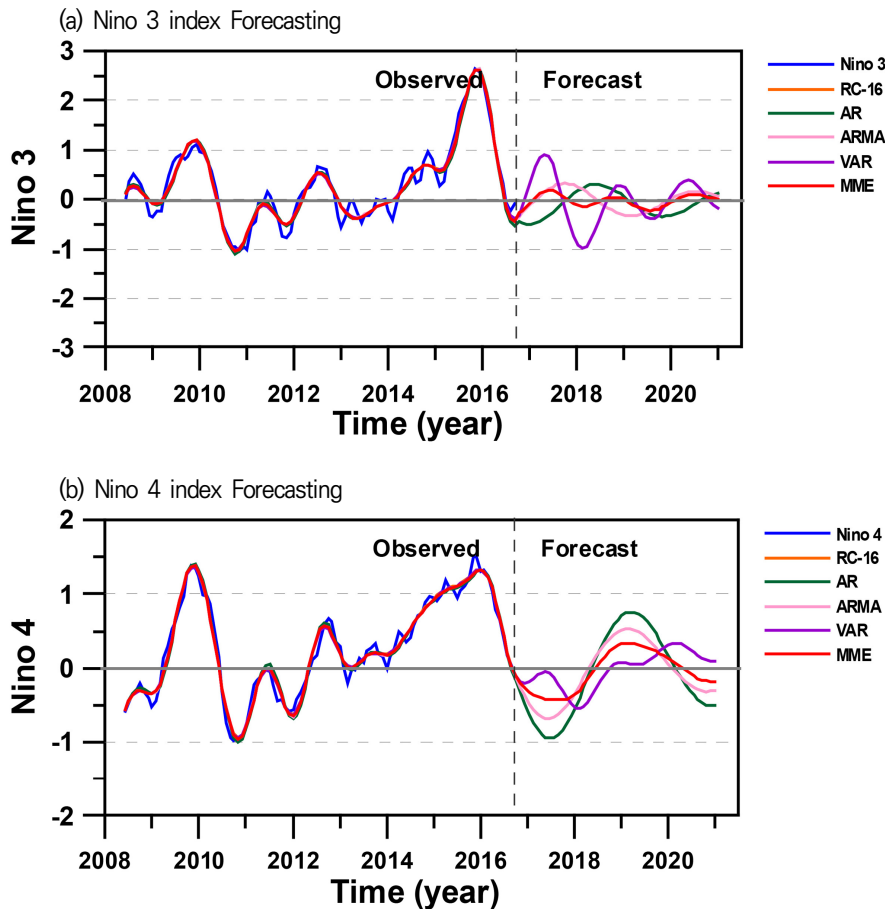


Figure 14 통계 예측모형에 의한 열대태평양 지역 해수면 온도 지수 예측 결과

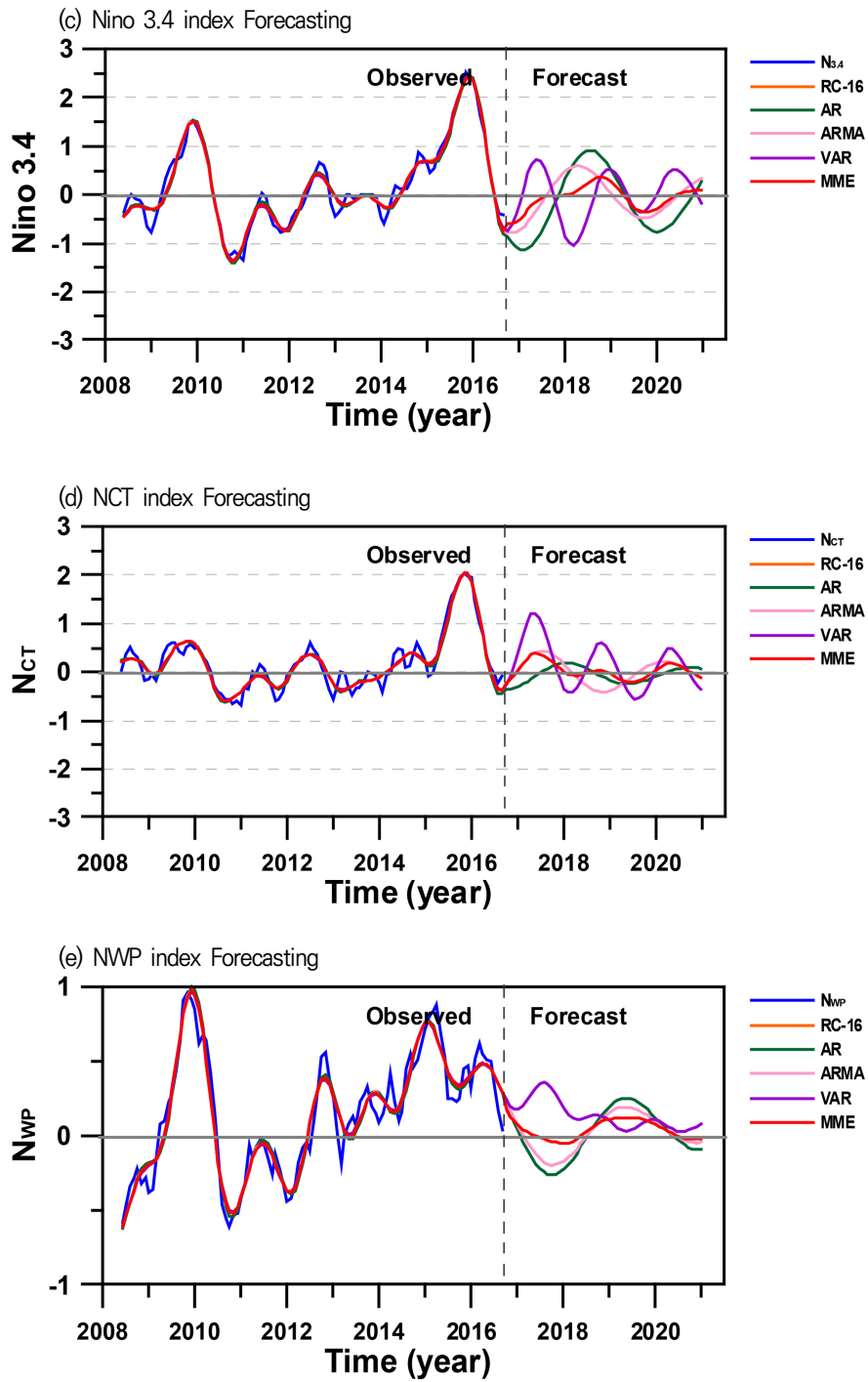


Figure 14 Continued

Table 6 시계열 예측모형에 의한 해양 관련 기후지수 예측 결과

| Indices   | Forecasting Models | Statistics |                |       |        |
|-----------|--------------------|------------|----------------|-------|--------|
|           |                    | CC         | R <sup>2</sup> | RMSE  | VE (%) |
| Nino 3    | RC-16              | 0.976      | 0.952          | 0.176 | -2.090 |
|           | AR(pa)             | 0.974      | 0.949          | 0.182 | -5.731 |
|           | ARMA(2, 2)         | 0.976      | 0.952          | 0.176 | -3.307 |
|           | VAR(2)             | 0.976      | 0.952          | 0.175 | -2.392 |
|           | MME                | 0.976      | 0.952          | 0.176 | -3.380 |
| Nino 4    | RC-16              | 0.986      | 0.973          | 0.105 | 0.261  |
|           | AR(2)              | 0.985      | 0.969          | 0.113 | -1.173 |
|           | ARMA(2, 2)         | 0.986      | 0.973          | 0.106 | -0.244 |
|           | VAR(2)             | 0.987      | 0.973          | 0.105 | 0.080  |
|           | MME                | 0.986      | 0.973          | 0.106 | -0.269 |
| Nino 3.4  | RC-16              | 0.981      | 0.962          | 0.167 | -3.436 |
|           | AR(2)              | 0.979      | 0.959          | 0.175 | -5.588 |
|           | ARMA(2, 2)         | 0.981      | 0.962          | 0.167 | -4.283 |
|           | VAR(2)             | 0.981      | 0.962          | 0.166 | -3.638 |
|           | MME                | 0.981      | 0.962          | 0.167 | -4.236 |
| NCT index | RC-16              | 0.963      | 0.927          | 0.160 | -2.456 |
|           | AR(2)              | 0.959      | 0.920          | 0.168 | -7.369 |
|           | ARMA(2, 1)         | 0.963      | 0.927          | 0.160 | -4.116 |
|           | VAR(pa)            | 0.963      | 0.927          | 0.160 | -2.739 |
|           | MME                | 0.962      | 0.926          | 0.161 | -4.170 |
| NWP index | RC-16              | 0.961      | 0.923          | 0.110 | 0.789  |
|           | AR(2)              | 0.959      | 0.920          | 0.113 | -1.101 |
|           | ARMA(2, 1)         | 0.961      | 0.923          | 0.110 | 0.191  |
|           | VAR(2)             | 0.961      | 0.924          | 0.109 | 0.643  |
|           | MME                | 0.961      | 0.923          | 0.110 | 0.130  |

\* MME (Multi Model Ensemble)

## 4. 통합홍수위험 평가 설문 조사 분석

### 4.1 Delphi-AHP 분석

본 연구에서는 지자체 중·장기 통합홍수위험도 평가를 위하여 정책 의사결정 과정에서 유용하게 사용되고 있는 Delphi 기법과 AHP 분석 방법을 사용하였다. Delphi 기법과 AHP 분석 방법에 대한 자세한 설명은 본문 후반부에 자세히 기록하였다. Fig. 15는 본 연구에서 실시한 Delphi-AHP 분석과정 및 개념도를 나타낸 것이다. 연구를 위하여 전체적으로 상위개념도출 단계와 Delphi 조사 분석단계, AHP조사 분석 단계의 3단계과정으로 구분하였다. 첫 번째, 상위개념 도출 단계에서는 홍수위험 분석 및 평가와 관련한 문헌조사 및 방법론을 고찰하였으며, 홍수위험 평가지표의 상위개념과 인자들을 도출하였다. 두 번째와 세 번째 단계 사이에는 Delphi기법을 통한 결정요인 계층화와 AHP 분석을 통한 주요도 결정 분석내용이 피드백(Feedback)형태로 연계되어 이루어지고 있으며, Delphi 조사 분석단계에서는 전문가 의견 조합을 통한 교차검증 실시, 결정요인 도출 및 계층화 작업이 이루어 진다. 또한 AHP조사 분석단계에서는 설문조사실시 및 평가항목별 중요도 결정, 그리고 가중치 분석이 이루어진다. 또한 가중치 분석을 통한 평가항목별 우선순위가 도출되면 이를 바탕으로 중·장기 통합홍수위험도 평가를 실시할 수 있다.



Figure 15 Delphi-AHP 분석 과정 및 개념도

Fig. 16은 AHP분석 방법의 활용 단계를 나타내고 있으며, Delphi-AHP 분석을 진행하기 위해서 다음의 5단계 과정을 수행하였다. 첫 번째, 계층구조 설정 단계에서는 브레인스토밍(Brainstorming)을 실시하여 평가의 목표 항목들을 찾아내어 나열하고 명확히 하는 단계이다. 평가 목표에 중요 요인으로 작용하게 되는 인자들을 머릿속에 떠올리며 관련된 항목과 대안을 열거한다. 두 번째, 쌍대비교 단계에서는 브레인스토밍을 통해 찾아낸 요소들의 종속관계를 구분하여 그룹화하고 최상위 목표 도출을 위한 인자별 1:1 쌍대 비교를 실시한다. 세 번째, 가중치 추정 단계에서는 상대적 중요도 설정을 위하여 상위요소 및 기준에 얼마나 많은 영향을 미치며 중요성을 갖는지를 분석한다. 네 번째, 가중치종합 단계에서는 도출된 요소별 가중치를 종합하여 평가하고 적정성을 검토하는 과정을 수행한다. 다섯 번째, 피드백 단계에서는 중요도 평가를 위한 계층구조와 가중치 설정이 적정한지 판단하여 필요시 수정 보완하는 과정을 거치게 된다.



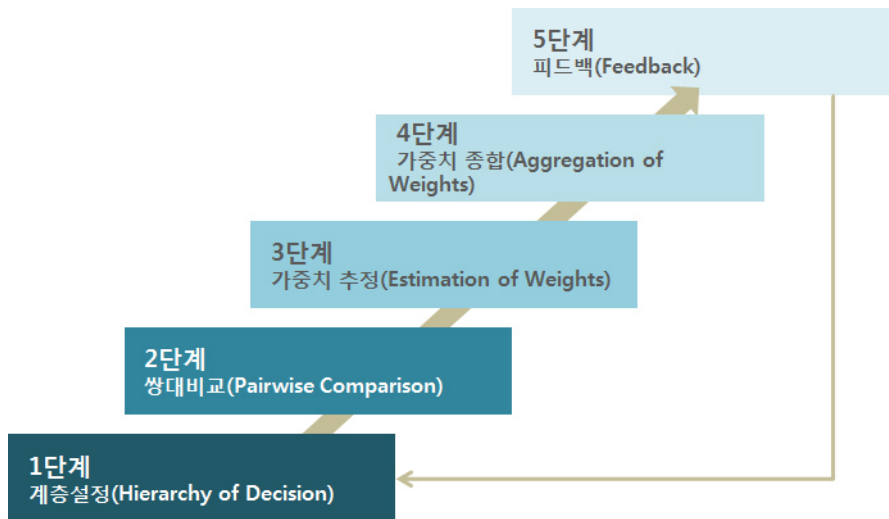


Figure 16 AHP분석 방법의 활용 단계

## 4.2 평가지표의 선정

홍수위험 평가와 관련하여 연구가 수행되었던 국·내외 문헌조사 결과와 관련분야 전문가 의견을 수렴하여 지자체 중·장기 홍수위험 평가를 위한 통합홍수위험지수(IFRI, Integrated Flood Risk Index)를 산정하였다. 통합홍수위험지수는 총 3개의 대표지표와 6개의 중간지표, 그리고 24개의 세부지표로 구성되어 있다. 총 24개의 지표에 대해 9점 척도(좌측 평가지표가 더 중요: 5점-매우중요, 4점-매우중요와 중요 사이, 3점-중요, 2점-중요와 동등 사이, 1점-동등, 1/2점-동등과 중요 사이, 1/3점-중요, 1/4점-중요와 매우중요 사이, 1/5점-매우중요: 우측평가지표가 더 중요)를 사용하여 중요도를 구하도록 하였다.

Table 7은 지표별 가중치 결정을 위하여 본 연구에서 작성한 5점 척도 비교방식에 대한 대표평가지표의 예를 나타낸 것이다. 통합홍수위험평가를 목표로 대표지표에 해당하는 위해성, 노출성, 취약성 지표에 대한 1:1쌍대 비교를 실시하여 이를 점수화하여 고유치를 계산하게 되면, 각 지표에 대한 가중치를 결정할 수 있다.

Table 7 지표별 가중치 결정을 위한 5점 척도 비교방식(대표평가지표의 예)

| 평가<br>지표 | 좌측 평가지표가 더 중요 ← — — — — — → 우측 평가지표가 더 중요 |    |    |    |    |      |      |      |          | 평가<br>지표 |
|----------|-------------------------------------------|----|----|----|----|------|------|------|----------|----------|
|          | 매우<br>중요                                  |    | 중요 |    | 동등 |      | 중요   |      | 매우<br>중요 |          |
|          | 5점                                        | 4점 | 3점 | 2점 | 1점 | 1/2점 | 1/3점 | 1/4점 | 1/5점     |          |
| 위해성      |                                           |    |    |    |    |      |      |      |          | 노출성      |
|          |                                           |    |    |    |    |      |      |      |          | 취약성      |
| 노출성      |                                           |    |    |    |    |      |      |      |          | 취약성      |

#### 4.3 평가지표 개발

국내·외 홍수위험도 분석관련 여러 문헌조사, 국가 및 지자체 연구자료 조사, 적용 사례분석과 관련한 내용은 「윤선권 (2015) 통계적 원격상관 기반 기후-수문 장기예측 모형 구축 및 적용성 평가: 경남 지자체를 중심으로, APEC기후센터 연구보고서 2015-14, pp. 1-126.」의 연구결과를 참고할 수 있다. 본 연구에서는 홍수관련다양한 선행 연구 결과와 전문가 의견수렴을 바탕으로 중·장기 홍수위험평가를 위한 통합 홍수위험지수를 개발하였다, 이는 기존 홍수위험도 분석 지표를 기반으로 개발되어 중장기 지자체 홍수위험 평가를 위하여 최적화된 지수이다.

본 연구에서 개발한 통합홍수 위험 지수는 총 3개의 대표지표와 6개의 중간지표, 그리고 24개의 세부지표로 구성되어 있다. 이 중 위해성 요인으로는 수문·기상학적 위해성과 기후예측정보 위해성으로 구분하였으며, 노출성 요인으로 상습침수지역 노출성과 홍수피해 노출성으로 구분하였고, 취약성 요인으로는 사회-경제적 취약성과 홍수방어 취약성으로 구분하였다. 각각의 세부지표를 살펴보면 수문·기상학적 위해성 요인으로 일 최대강수량, 일 강수량 80mm/day 이상인 날의 횟수, 시간당 강수량 30mm/h 이상인 날의 횟수, 그리고 100년빈도 시간당 강수량을 포함시켰으며, 기후예측정보 위해성 요인 분석을 위해서는 통계모형 예측 값, APCC MME 예측 값, 그리고 ENSO 예측 값이 사용된다. 또한 상습침수지역 노출성에는 10m 이하 저지대 면적, 10m 이하 저지대 가구수, 그리고 지역 평균 경사도가 포함되며, 홍수피해 노출성 요인에는 홍수피해 인구수, 홍수로 인한 침수 면적, 홍수로 인한 인명피해, 그리고 호우로 인한 홍수 피해액이 포함된다. 사회-경제 취약성 요인에는 인구밀도, 13세 이하 인구수, 65세 이상 인구수, 지역내 총생산(GRDP), 그리고 재정자립도가 포함되며, 홍수

방어 취약성 요인에는 제방면적 비율, 하수도 보급률, 배수펌프장 용량, 인구당 공무원 수, 인구당 의료기관수가 포함된다. Table 8은 본 연구에서 개발·적용한 통합홍수위험지수(IFRI) 평가 지표이다.

Table 8 통합홍수위험지수 평가를 위한 지표개발

| 목표지표                   | 대표지표                   | 중간지표           | 세부지표                        |
|------------------------|------------------------|----------------|-----------------------------|
| 통합홍수<br>위험지수<br>(IFRI) | 위해성<br>(Hazard)        | 수문/기상학적<br>위해성 | 일 최대 강수량                    |
|                        |                        |                | 일 강수량 80mm이상인 날의 횟수         |
|                        |                        |                | 시간당 강수량 30mm이상인 횟수          |
|                        |                        |                | 100년 빈도 시간당 강수량             |
|                        |                        | 기후예측정보<br>위해성  | 통계모형 예측 값                   |
|                        |                        |                | APCC MME <sup>3)</sup> 예측 값 |
|                        |                        |                | ENSO <sup>4)</sup> 예측 값     |
|                        | 노출성<br>(Exposure)      | 상습침수지역<br>노출성  | 10m이하 저지대 면적                |
|                        |                        |                | 10m이하 저지대 가구수               |
|                        |                        |                | 지역 평균 경사도                   |
|                        |                        | 홍수피해 노출성       | 홍수피해 인구수                    |
|                        |                        |                | 홍수로 인한 침수 면적                |
|                        |                        |                | 홍수로 인한 인명피해                 |
|                        |                        |                | 호우로 인한 홍수 피해액               |
|                        |                        |                |                             |
|                        | 취약성<br>(Vulnerability) | 사회-경제적 취약성     | 인구밀도                        |
|                        |                        |                | 13세 이하 인구수                  |
|                        |                        |                | 65세 이상 인구수                  |
|                        |                        |                | 지역내 총생산(GRDP)               |
|                        |                        |                | 재정자립도                       |
|                        |                        | 홍수방어 취약성       | 제방면적비율                      |
|                        |                        |                | 하수도보급률                      |
|                        |                        |                | 배수펌프장용량                     |
|                        |                        |                | 인구당 공무원 수                   |
|                        |                        |                | 인구당 의료기관 수                  |

3) APCC MME: APEC기후센터([www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))에서 매월 전 지구 규모로 6개월 까지 생산·제공 하고 있는 다중모델앙상블(MME, Multi Model Ensemble) 기후예측 정보

4) ENSO (El Niño-Southern Oscillation): 열대 태평양 지역(Niño1, 2, 3, 3.4, 4 등)에서 매월 관측되고 있는 해수면온도 관련 지수로서 엘니뇨/라니냐 등 대규모 기후변동현상을 판단할 수 있으며, 전 지구 기후시스템에 영향을 주어 원격상관기반 중·장기 기후예측에 활용되고 있는 주요인자임

#### 4.4 설문지의 구성

통계·역학 모형을 통하여 예측된 수문정보의 지자체 활용을 목적으로 중장기 통합 홍수위험도 평가를 위한 프레임워크(Framework)를 개발하고, 다기준의사결정 기법(MCDA, Multi-Criteria Decision Making Analysis)을 통한 홍수위험 평가의 우선순위를 종합적으로 결정하여 중요도를 수치화하기 위하여 설문조사를 실시하였으며, 설문지의 마지막에 평가항목에 대한 전문가 의견을 기술하도록 하였다. 설문지의 작성 및 배포는 인터넷상에서 무료로 활용할 수 있는 구글설문지(Google Forms: <https://www.google.com/forms/about/>)에서 온라인으로 만들어 배포하였으며, 본 연구에서 작성한 설문지는 다음의 URL을 통하여 확인할 수 있다(URL: <https://docs.google.com/forms/d/1nVohgWCIHH1Scz8cfdNoV7BWeeUosoZGT-mYhIIdOwk/edit>).

#### 4.5 전문가 집단의 구성

중장기 홍수위험 평가를 위하여 관련 분야의 다양한 전문가 그룹을 조사하였으며, 전문가 집단의 대표성, 적정성, 전문적 지식, 설문 참여율 등으로 종합적으로 고려하여 총 50명의 전문가를 선정하였다. 이 중 37명의 전문가가 설문에 응답하였으며, 회수율은 74%이다. 응답한 전문가의 성별은 남자 36명(97.3%), 여자 1명(2.7%)이며, 연령은 20대 5명(13.5%), 30대 20명(54.1%), 40대 12명(32.4%), 50대 1명(2.7%)이다. 또한 최종학력은 박사(과정포함) 64.9%, 석사(과정포함) 29.7%이며, 나머지는 5.4%는 학사이다. 응답자의 근무지는 37.8%는 대학교, 21.6%는 연구기관, 21.6%는 민간기업, 13.5%는 중앙 및 지방정부, 나머지 5.5%는 공기업이며, 주요 담당업무는 43.2%가 홍수(치수), 24.3%가 물관리(이수), 18.9%가 재난관리(물관련), 10.8%가 기타 분야, 나머지 2.8%가 수질/생태(환경) 분야이다. 이 중 근무경력은 37.8%가 5~10년 미만, 21.6%가 3~5년 미만, 21.6%가 3년 미만, 16.2%가 10~20년 미만, 나머지 2.8%가 20년 이상이다. 다음 Fig. 17~19는 설문에 참여한 연령 및 전문가의 소속 기관, 담당 업무를 나타낸 것이다.

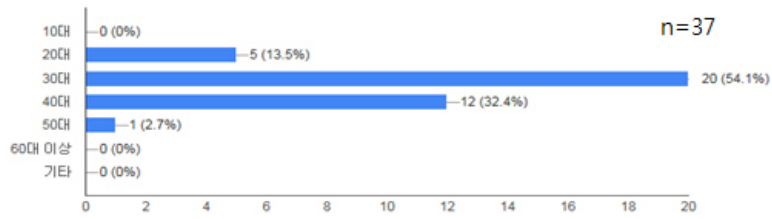


Figure 17 설문에 참여한 연령

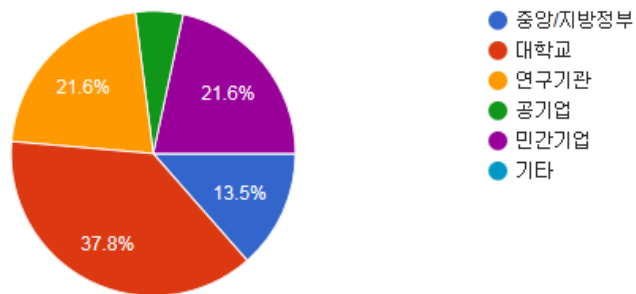


Figure 18 설문에 참여한 담당자 소속 기관(n=37)

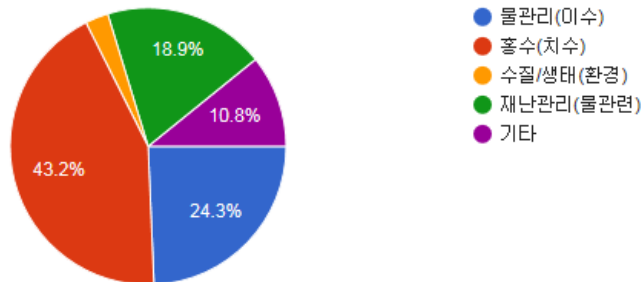


Figure 19 설문에 참여한 전문가 담당업무(n=37)

#### 4.6 중·장기 예측 정보 활용성 조사 결과

설문조사를 통하여 중·장기 예측 정보의 활용성 조사를 실시하였다. 중장기 예측 정보에 대하여 알고 있는 것으로 응답한 응답자는 78.4%였으며, 모르고 있었다고 응답한 응답자도 27%에 해당하였다. 이중 중·장기 예측 정보를 사용한 경험이 있는 응답자는 43.2%이며, 사용하지 않는 응답자는 59.5%로 파악되었다(Fig. 20). 또한 Fig. 21의 설문조사 결과를 살펴보면, 중·장기 예측정보를 사용한 경험이 있는 응답자 중 사용분야는 치수(홍수)분야가 80%로 가장 많았으며, 나머지 20%는 이수(가뭄) 분야로 조사되었다. 중·장기 예측정보의 활용 가능성이 가장 크다고 판단되는 분야는 이수(가뭄) 분야로 45.9%로 조사되었으며, 두 번째로 재난재해(물 관련) 분야가 27%, 치수(홍수) 분야가 16.2%, 그리고 나머지 분야가 환경(수질/생태), 기타 분야로 조사되었다. 다음으로 중장기 예측정보 활용을 위하여 우선 고려되어야 할 사항은 대부분의 응답자 들이 신뢰도(83.8%)를 꼽았으며, 다음으로 의사결정 지원성(8.1%), 그리고 나머지가 접근성으로 조사되었다. 또한 적절한 선행 예측 시간에 대한 조사 결과 3개월(43.2%)로 응답한 경우가 가장 많았으며, 1개월(29.7%)이 두 번째, 그리고 2개월이나 기타로 나타났다. 중장기 예측 정보가 제공된다면, 의사결정에 도움이 될 것인지에 대한 응답에는 매우그렇다(48.6%)로 응답한 사람이 가장 많았으며, 그렇다(37.8%)가 두 번째, 보통이다(13.5%)가 세 번째로 분석되었다. 마지막으로 중장기 기후예측 정보가 제공된다면 활용할 것인지에 대한 질문에 응답자중 45.9%가 그렇다라고 답변하였으며, 40.5%가 매우 그렇다라고 답변하였고, 보통이라로 응답한 사람은 10.8%에 해당하였다.

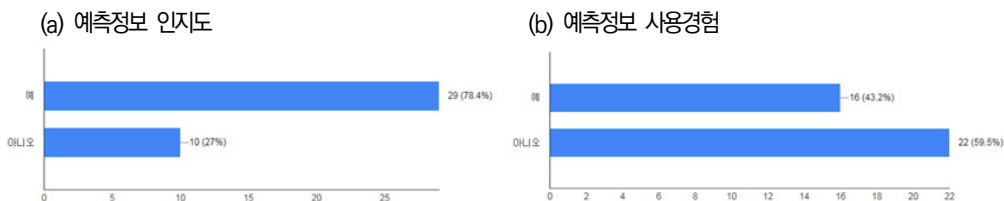


Figure 20 중·장기 예측정보의 인지도 및 사용경험 조사결과

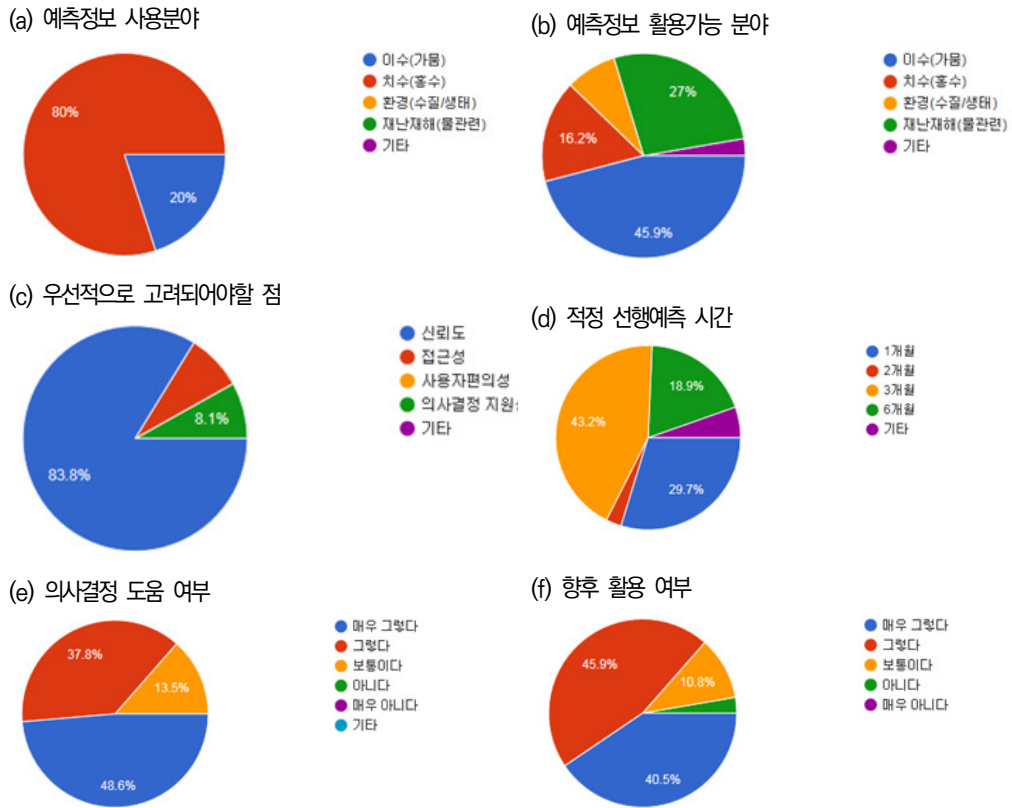


Figure 21 중·장기 예측정보의 활용성 조사

## 4.7 Delphi 기법

Delphi 기법은 1948년 미국의 RAND연구소에서 개발되어 IT, 교육, 군사 및 연구 개발 분야 등에서 폭넓게 활용되고 있으며, 전문가들의 경험적 지식을 통한 문제해결 및 미래예측을 위한 기법을 의미한다(Linstone and Turoff, 1975; Hsu and Sandford, 2007). 전문가 합의 법이라고도 불리는 Delphi기법은 '두 사람의 의견이 한 사람의 의견보다 정확하다'는 계량적 객관의 원리와 '다수의 판단이 소수의 판단보다 정확하다'는 민주적 의사결정 원리에 논리적 근거를 두고 있으며, 전문가들이 직접 모이지 않고 주로 우편이나 전자 메일을 통한 통신수단으로 의견을 수렴하여 도출된 의견을 내놓는다는 것이 주된 특징이라 할 수 있다.

본 연구에서는 Delphi 기법을 중장기 홍수위험 평가를 위한 전문가 견해를 유도하고 종합적인 결론을 유도하기 위한 하향식(top-down) 의견도출 방법으로 사용하였으며, 문제의 정의, 측정대상조건 확인, 전문가 집단 구성 등 초기계획을 수립하고 설문지를 작성하였다. 또한 설문지 배포 및 회수, 문항별 빈도 수 정리, 전문가 각자의 경험적 지식을 기반으로 의견조정 및 반영작업을 통한 합의를 도출하고 결과정리 및 기록의 제반과정을 통하여 수행하였다. 다음 Eq.(6)는 Delphi 기법을 통한 설문조사결과와 산정식이다.

$$T_s = N_P \times S_C \quad (6)$$

여기서,  $T_s$ 는 총 점수이며,  $N_P$ 는 설문조사에 참여한 전문가의 숫자,  $S_C$ 는 전문가들 지식기반으로 주어진 평균 점수이다.

설문지의 신뢰도 검증은 Cronbach's  $\alpha$ 를 이용하여 분석하였다(Tak, 2007; Jung et al., 2012). 사회과학 분야에서는 일반적으로 Cronbach's  $\alpha$ 값이 0.6이상일 경우 설문의 신뢰도가 높은 것으로 판단한다(Chaib, 2004; Park et al., 2008). Delphi 설문조사 내용의 타당성 검증은 다음 Eq. (1)의 Content Validity Ratio (CVR)를 산정함으로써 판단할 수 있다.

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2} \quad (7)$$

여기서,  $n_e$ 는 5점 척도의 '중요'와 '매우중요'로 응답한 수를 의미하며,  $N$ 은 델파이 전문가의 수를 의미한다.

전문가수와 응답 수에 따라 결정되는 CVR 값이 신뢰구간 95%(유의수준 0.05)에서 최소허용 값 보다 높으면 설문 내용의 타당성이 있다고 판단할 수 있다(Lawshe, 1975). 본 연구에서는 설문에 응답한 전문가 37명을 기준으로 CVR 값이 0.36이상이면 내용의 타당성이 있다고 판단하였다.



## 4.8 AHP 분석방법

AHP (Analytic Hierarchy Process)는 다수의 대안에 대한 여러 평가 기준을 적용하여 의사결정을 지원하는 방법의 하나로, 평가항목별 가중치(Weighting)를 산정할 때 주로 사용되는 도구(tool)이며, 1980년 토머스 사티(Thoma L. Saaty)에 의해 고안되었다. 이는 의사결정 전 과정을 여러 개의 계층적 단계로 구분한 후 분석함으로써 최종 의사결정에 이르는 방법으로 요소간 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 전문가집단의 지식, 경험, 직관 등을 포함하는 의사결정 기법이다.

AHP분석은 다음의 5단계 분석과정을 통하여 수행된다. 첫 번째로 의사결정 계층 설정(Hierarchy of decision problem) 단계, 두 번째로 쌍대 비교(Pairwise comparison of decision elements) 단계, 세 번째로 가중치 추정(Estimation of relative weights) 단계, 네 번째로 가중치 종합(Aggregation of relative weights) 단계, 그리고 마지막으로 피드백(Feedback) 단계 이다.

평가하고자 하는 항목의 가중치 적용 시, 항목 전체에 대한 일관적인 가중치 산정보다는 다수의 전문가가 참여하는 다차원적 의사결정으로 항목 간 쌍대비교 결과를 행렬화 하고, 행렬의 곱을 연산하여 상호 중요도를 결정하는 AHP기법의 결과가 더욱 정확한 값을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 AHP를 적용하여 중장기 통합홍수위험분석을 위한 세부지표 항목별 가중치 부여 점수를 산정하였으며 쌍대 비교 행렬에 대한 가중치 산정식은 다음 Eq. (8)과 같다.

$$(AB)_{ij} = \sum_{k=1}^n A_{ik} B_{jk} \quad (8)$$

AHP 산정절차에 대한 구체적인 설명은 Saaty (1990)을 참조할 수 있으며, 항목별 중요도 산정 및 일관성 평가는 설문조사 자료의 쌍대비교 행렬을 검정하는 것으로 시작하여 상대적가중치, 최대고유치( $\lambda_{\max}$ ), 그리고 일관성지수(CI: Consistency Index)를 계산하며, 분석결과의 신뢰성 평가를 위하여 일관성비율(CR: Consistency Ratio)을 추정한다. 일관성지수(CI)와 일관성비율(CR)의 계산은 다음 Eq. (9) ~ (10)와 같다.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (9)$$

$$CR = (CI / RI) \times 100\% \quad (10)$$

여기서,  $\lambda_{\max}$ 는 최대고유치,  $n$ 은 한 계층에서 비교 대상이 되는 개수, 그리고  $RI$ 는 난수지수(Random Index)를 의미한다. 일반적으로 CR 값이 20%이내일 경우에는 해당 쌍대비교 행렬이 용납할 수 있는 수준의 일관성이 있는 것으로 판단할 수 있다 (Saaty, 1990, Choi, 2016).

#### 4.9 AHP 분석 계층 구조(Hierarch Tree)

Fig. 22는 중·장기 통합홍수위험지수 산정을 위한 중요도 평가 항목별 AHP 계층 구조(Hierarch Tree)를 작성한 결과이다. 본 연구에서는 대안의 수가 10개 이상이며, 각 평가항목에 대한 전문가 그룹이 37명으로 구성되어 있다. 설문조사 대상 37인 전문가의 응답결과에 대하여 CI와 CR값을 산정한 후 20%이상의 비일관성을 보인 설문조사 결과는 제외하고 나머지 결과로부터 평가항목의 가중치를 산정하였다. AHP에서 평가대안의 수가 너무 많으면 쌍대비교의 횟수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 상대측정이 불가능하여 실제로 AHP를 적용하기 어려울 수 있다. 보통 10개 이상의 대안이 존재하는 경우 쌍대비교평가가 곤란하여 절대비교를 통한 절대 측정 방법을 취하는 것이 바람직하다는 연구결과(조용근, 2004)도 있으나, 항목별 가중치 산정은 AHP 결과 분석을 위하여 작성한 R Script를 활용하여 복잡한 쌍대비교 분석을 처리하였다.

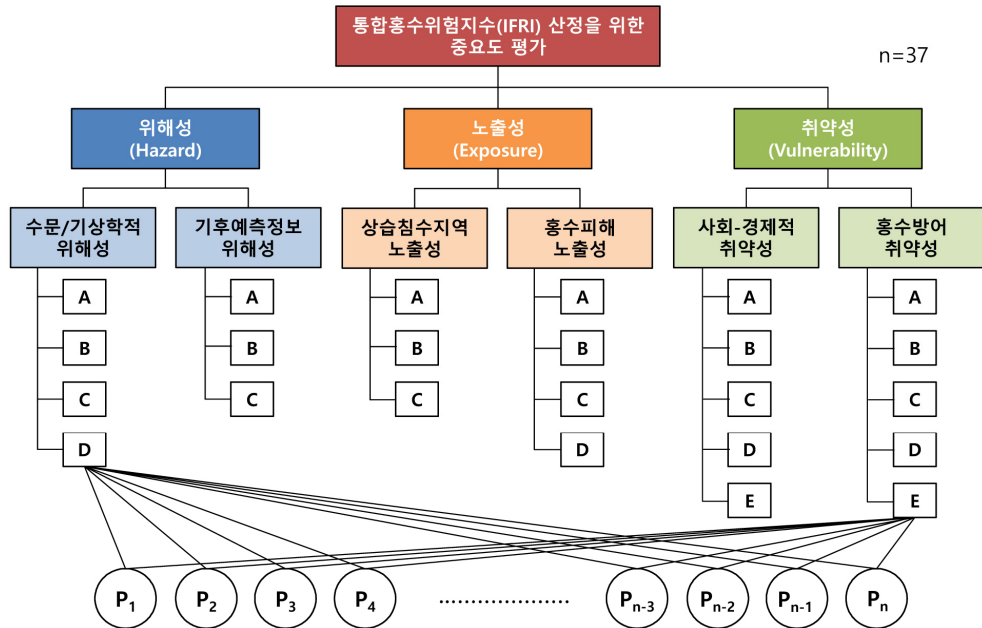


Figure 22 통합홍수위험지수 중요도 평가를 위한 AHP 분석 계층구조

#### 4.10 신뢰도 평가 결과

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 다기준의사결정방법으로 각 평가항목의 쌍대비교를 통하여 설문응답자의 객관적인 검정요인과 주관적인 검정요인을 쉽게 분석할 수 있는 기법이며, 평가자의 의견에 대한 일관성 검증을 통하여 조사결과의 신뢰성을 확보할 수 있다. 일반적으로 CR(Consistency Ratio)이 0.1이하면 응답자가 각 평가항목에 내린 결정이 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하며, 0.2이하의 경우에는 용납할 수 있는 수준이나 0.2를 초과하였을 경우에는 조사결과의 일관성이 부족한 것으로 판단할 수 있다(Song and Lee, 2013). Table 9는 설문응답자 37명에 대한 신뢰도 평가를 위해 CR 통계분석결과를 정리한 결과이며, Fig. 23은 대표지표와 중간지표에 대한 37개 설문조사 결과의 신뢰성평가를 실시하여 Box-Plot형태로 나타낸 결과이다. 여기서 CR값이 0.2를 초과한 설문 결과는 제외하고 항목별 중요도 평가를 실시하였다.

Table 9 평가기준별 CR(Consistency Ratio) 통계분석

| 평가기준             |             | Quartile |       |       |       |       | 평균    | 표준<br>편차 |
|------------------|-------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|                  |             | 10%      | 25%   | 50%   | 75%   | 90%   |       |          |
| 대표지표             |             | 0.000    | 0.009 | 0.054 | 0.109 | 0.226 | 0.076 | 1.219    |
| 세<br>부<br>지<br>표 | 수문/기상학적 위해성 | 0.018    | 0.051 | 0.127 | 0.203 | 0.283 | 0.144 | 0.756    |
|                  | 기후예측정보 위해성  | 0.000    | 0.000 | 0.009 | 0.083 | 0.217 | 0.057 | 1.502    |
|                  | 상습노출지역 노출성  | 0.000    | 0.039 | 0.129 | 0.207 | 0.235 | 0.124 | 0.911    |
|                  | 홍수피해 노출성    | 0.045    | 0.069 | 0.139 | 0.204 | 0.292 | 0.180 | 1.015    |
|                  | 사회-경제학적 취약성 | 0.014    | 0.032 | 0.085 | 0.141 | 0.192 | 0.094 | 0.838    |
|                  | 홍수방어 취약성    | 0.017    | 0.038 | 0.073 | 0.167 | 0.253 | 0.114 | 0.951    |

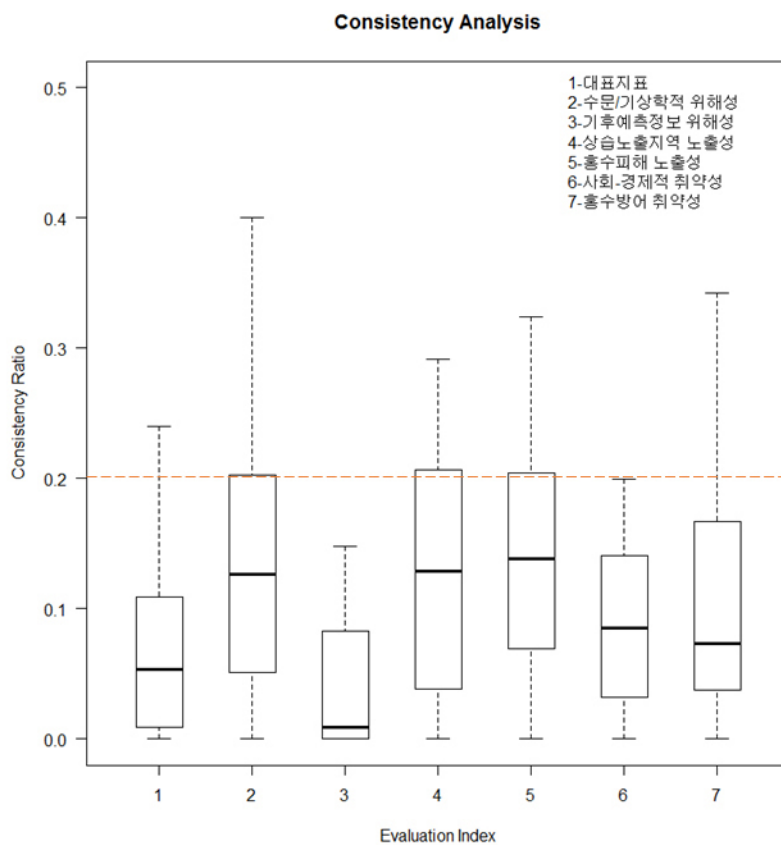


Figure 23 Box-Plot에 의한 설문조사 신뢰성 평가 결과 정리

Table 10은 평가기준별 신뢰도 분석결과를 나타내었으며, 평가기준별 신뢰도를 분석하기 위해 37명의 설문응답자를 대상으로 CR 0.2 이상 및 미만인 응답자수를 분석하였다. 여기서 CR 0.2이상인 응답자 수는 설문조사에 대한 일관성이 떨어져 실제 중요도 분석결과에서 제외한 인원을 의미한다. 평가기준별 CR 0.2이상인 응답자수를 분석한 결과, 대표지표 5명, 세부지표 중 수문/기상학적 위해성 10명, 기후예측정보 위해성 5명, 상습노출지역 노출성 10명, 홍수피해 노출성 11명, 사회-경제학적 취약성 1명, 홍수방어 취약성 6명으로 분석되었다. 여기서, CR0.2이상 응답자수가 가장 적은 평가기준은 사회-경제학적 취약성이며, CR0.2이상 응답자수가 가장 많은 평가기준은 홍수피해 노출성으로 분석되었다. 이는 비교할 평가기준과 용어에 대한 이해가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

Table 10 평가기준별 신뢰도 분석결과

| 평가기준     |             | CR0.2이상<br>응답자 수 | CR0.2미만<br>응답자 수 |
|----------|-------------|------------------|------------------|
| 대표지표     |             | 5                | 32               |
| 세부<br>지표 | 수문/기상학적 위해성 | 10               | 27               |
|          | 기후예측정보 위해성  | 5                | 32               |
|          | 상습노출지역 노출성  | 10               | 27               |
|          | 홍수피해 노출성    | 11               | 26               |
|          | 사회-경제학적 취약성 | 1                | 36               |
|          | 홍수방어 취약성    | 6                | 31               |

#### 4.11 중요도 평가 결과

AHP분석을 통한 전문가 설문결과를 바탕으로 통합홍수위험지수를 구성하고 있는 대표지표, 중간지표, 그리고 세부지표 간의 평가항목별 가중치를 산정한 결과는 다음 Table 11 ~ 12와 같으며, Fig. 24 ~ 26은 각각의 세부 평가항목에 대한 가중치 산정 결과를 Radar Chart로 나타내었다.

통합홍수위험지수 평가항목별 가중치 산정결과 대표지표 항목에서는 취약성 지표가 0.389로 가장 높게 나타났으며, 위해성 지표가 0.312, 노출성 지표가 0.299로 분석되었다. 중간지표 항목에서는 위해성 요인에서 수문기상학적 위해성(0.571) 지표

가 기후예측정보 위해성(0.429) 지표보다 중요도가 높게 나타났으며, 노출성 요인에서 상습침수지역 노출성(0.535) 지표가 홍수피해 노출성(0.465) 지표보다 높게 중요도가 높게 분석되었다. 또한 취약성요인의 홍수방어 취약성(0.635) 지표가 사회-경제적 취약성(0.365) 지표보다 중요도가 높게 산정되었다. 세부평가항목별 가중치 산정결과를 살펴보면, 수문·기상학적 위해성 관련 세부평가항목에서는 일 최대 강수량(0.298)의 중요도가 가장 크게 분석되었으며, 기후예측정보 위해성 관련 세부평가항목에서는 통계모형 예측 값(0.379)이 가장 큰 가중치를 보였다. 다음으로 상습침수지역 노출성관련 세부평가항목에서는 10m이하 저지대 가구수(0.483)의 중요도가 가장 크게 분석되었으며, 홍수피해 노출성관련 세부평가항목에서는 홍수로 인한 인명피해(0.370)의 가중치가 가장 크게 분석되었다. 마지막으로 사회-경제적 취약성 관련 세부평가항목에서는 인구밀도(0.342)가 가장 큰 가중치로 산정되었으며, 홍수방어 취약성 관련 세부평가항목에서는 배수펌프장용량(0.278)이 가장 큰 가중치를 갖는 것으로 분석되었다.

Table 11 통합홍수위험지수 평가항목별 가중치 산정 결과

| 목표<br>지표               | 대표지표                   | 가중치   | 중간지표               | 가중치   | 세부지표                | 가중치   |
|------------------------|------------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|
| 통합홍수위험<br>지수<br>(IFRI) | 위해성<br>(Hazard)        | 0.312 | 수문/<br>기상학적<br>위해성 | 0.571 | 일 최대 강수량            | 0.298 |
|                        |                        |       |                    |       | 일 강수량 80mm이상인 날의 횟수 | 0.217 |
|                        |                        |       |                    |       | 시간당 강수량 30mm이상인 횟수  | 0.283 |
|                        |                        |       |                    |       | 100년 빈도 시간당 강수량     | 0.202 |
|                        |                        |       | 기후예측<br>정보<br>위해성  | 0.429 | 통계모형 예측 값           | 0.379 |
|                        |                        |       |                    |       | APCC MME 예측 값       | 0.365 |
|                        |                        |       |                    |       | ENSO 예측 값           | 0.256 |
|                        | 노출성<br>(Exposure)      | 0.299 | 상습침수<br>지역<br>노출성  | 0.535 | 10m이하 저지대 면적        | 0.320 |
|                        |                        |       |                    |       | 10m이하 저지대 가구수       | 0.483 |
|                        |                        |       |                    |       | 지역 평균 경사도           | 0.197 |
|                        |                        |       | 홍수피해<br>노출성        | 0.465 | 홍수피해 인구수            | 0.273 |
|                        |                        |       |                    |       | 홍수로 인한 침수 면적        | 0.157 |
|                        |                        |       |                    |       | 홍수로 인한 인명피해         | 0.370 |
|                        |                        |       |                    |       | 호우로 인한 홍수 피해액       | 0.201 |
|                        | 취약성<br>(Vulnerability) | 0.389 | 사회-<br>경제적<br>취약성  | 0.365 | 인구밀도                | 0.342 |
|                        |                        |       |                    |       | 13세 이하 인구수          | 0.186 |
|                        |                        |       |                    |       | 65세 이상 인구수          | 0.182 |
|                        |                        |       |                    |       | 지역내 총생산(GRDP)       | 0.146 |
|                        |                        |       | 홍수방어<br>취약성        | 0.635 | 재정자립도               | 0.144 |
|                        |                        |       |                    |       | 제방면적비율              | 0.227 |
|                        |                        |       |                    |       | 하수도보급률              | 0.237 |
|                        |                        |       |                    |       | 배수펌프장용량             | 0.278 |
|                        |                        |       |                    |       | 인구당 공무원 수           | 0.119 |
|                        |                        |       |                    |       | 인구당 의료기관 수          | 0.139 |
| Σ                      | 1.000                  |       |                    |       |                     |       |

Table 12 중간지표와 세부지표 평가를 위한 항목별 가중치 산정 결과

| 대표지표                   | 중간지표           | 가중치   | 세부지표                | 가중치   |
|------------------------|----------------|-------|---------------------|-------|
| 위해성<br>(Hazard)        | 수문/기상학적<br>위해성 | 0.178 | 일 최대 강수량            | 0.053 |
|                        |                |       | 일 강수량 80mm이상인 날의 횟수 | 0.039 |
|                        |                |       | 시간당 강수량 30mm이상인 횟수  | 0.050 |
|                        |                |       | 100년 빈도 시간당 강수량     | 0.036 |
|                        | 기후예측정보<br>위해성  | 0.134 | 통계모형 예측 값           | 0.051 |
|                        |                |       | APCC MME 예측 값       | 0.049 |
|                        |                |       | ENSO 예측 값           | 0.034 |
| 노출성<br>(Exposure)      | 상습침수지역<br>노출성  | 0.160 | 10m이하 저지대 면적        | 0.051 |
|                        |                |       | 10m이하 저지대 가구수       | 0.077 |
|                        |                |       | 지역 평균 경사도           | 0.032 |
|                        | 홍수피해 노출성       | 0.139 | 홍수피해 인구수            | 0.038 |
|                        |                |       | 홍수로 인한 침수 면적        | 0.022 |
|                        |                |       | 홍수로 인한 인명피해         | 0.051 |
|                        |                |       | 호우로 인한 홍수 피해액       | 0.028 |
| 취약성<br>(Vulnerability) | 사회-경제적 취약성     | 0.142 | 인구밀도                | 0.049 |
|                        |                |       | 13세 이하 인구수          | 0.026 |
|                        |                |       | 65세 이상 인구수          | 0.026 |
|                        |                |       | 지역내 총생산(GRDP)       | 0.021 |
|                        |                |       | 재정자립도               | 0.020 |
|                        | 홍수방어 취약성       | 0.247 | 제방면적비율              | 0.056 |
|                        |                |       | 하수도보급률              | 0.059 |
|                        |                |       | 배수펌프장용량             | 0.069 |
|                        |                |       | 인구당 공무원 수           | 0.029 |
|                        |                |       | 인구당 의료기관 수          | 0.034 |
| Σ                      |                | 1.000 | Σ                   | 1.000 |



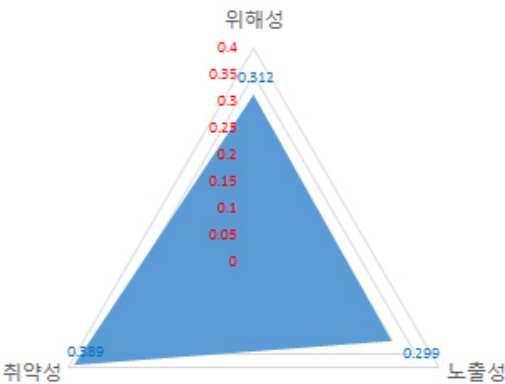


Figure 24 대표지표 평가 항목별 가중치 산정 결과

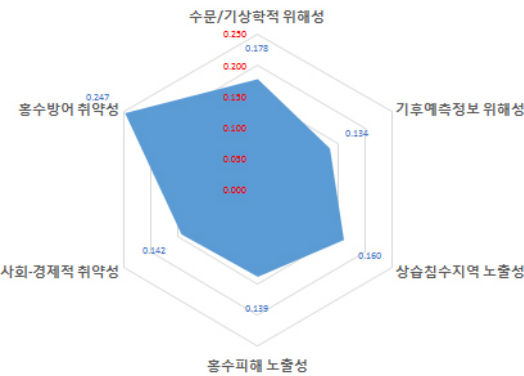


Figure 25 중간지표 평가 항목별 가중치 산정 결과



Figure 26 세부지표 평가 항목별 가중치 산정 결과

## 5. 통합 홍수 위험도 평가

### 5.1 위험도 분석 및 평가 구간

위험도(Risk)는 위해성(Hazard)과 노출성(Exposure), 그리고 취약성(Vulnerability)의 함수로 나타낼 수 있다(WB, 2013). 여기서 위해성은 물리적인 위험요인을 의미하며, 노출성과 취약성은 사회-경제적인 취약성요인을 의미한다. 또한 각 지수에 대한 위험도 평가를 위하여 인덱스(Index)의 구간 범위를 설정할 필요성이 있으며, 본 연구에서는 붉은색: Very High(0.8-1.0), 주황색: High(0.6-0.8), 노란색: Medium(0.4-0.6), 연두색: Low(0.2-0.4), 초록색: Very Low(0.0-0.2)의 5단계로 구분하였다. 이러한 위험도 개념의 적용과 위험도 평가 구간 설정을 통하여 중·장기 기후예측 정보를 활용한 행정구역 단위의 홍수위험평가를 실시할 수 있으며, 분석된 결과는 GIS상에서 가시화하여 위험도에 대한 표출이 가능하다. 다음 Fig. 27은 위험도 개념을 설명하기 위한 벤다이어그램 모식도이며, 본 연구에서 사용한 지수의 평가 범위 구간을 설정한 결과이다.

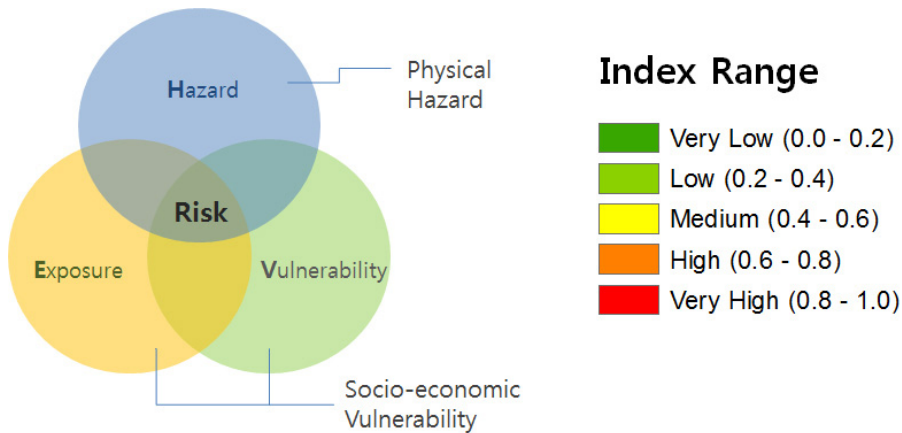


Figure 27 위험도 개념 벤다이어그램 및 지수의 평가 범위 구간 설정

홍수위험도와 관련한 위해성 요인, 노출성 요인, 취약성 요인과 각각의 가중치를 포함하도록 통합홍수위험지수를 일반화 하면 다음 Eq. (11), (12)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$Risk = f(Hazard, Exposure, Vulnerability) \quad (11)$$

$$IFRI = \sum_{i=1}^l (h_i \times H_i) + \sum_{j=1}^m (e_j \times E_j) + \sum_{k=1}^n (v_k \times V_k) \quad (12)$$

여기서, *IFRI*는 통합홍수위험지수이며,  $H_i$ 는 위해성 요인,  $E_j$ 는 노출성 요인,  $V_k$ 는 취약성 요인을 의미하며,  $h_i$ ,  $e_j$ ,  $v_k$ 는 각 인자별 가중치(weighting factor)이다.

## 5.2 지표별 DB구축 결과

본 연구에서 개발한 통합홍수위험지수(Integrated Flood Risk Index, IFRI)를 통하여 우리나라 243개 시군구 지자체를 대상으로 통합 홍수위험 평가를 실시하기 위하여, 24개 각 지표별 자료를 수집하여 시군구별 DB를 구축하는 작업이 선행되어 이루어질 필요성이 있다. 다음은 위해성 관련 지표, 노출성 관련 지표, 그리고 취약성 관련 지표를 수집하여 DB화 한 후 공간분포 형태로 표출한 결과를 정리하였다. 각 지표별 구체적인 자료의 출처는 [부록3]에 기술하였다.

### 5.2.1 위해성 지표 DB구축 결과

위해성과 관련한 지표 DB는 수문·기상학적 위해성과 기후예측 정보 위해성 지표로 구분되며, 이중 기후예측정보 위해성 지표는 매달 업데이트 되어 달라지는 지표이기 때문에, 수문·기상학적 위해성 지표에 대하여 DB를 구축하였다. 수문·기상학적 위해성 지표는 우리나라 ASOS 74개 기상관측 지점별 시간강수량 자료와 일 강수량 관측 자료를 수집하여 전 처리를 실시한 후, 일 최대강수량과 일 강수량이 80mm/d 이상인 날의 횟수, 시간당 강수량이 30mm이상인 날의 횟수, 그리고 100년 빈도 시간당 강수량을 추출하여 정리하였다. 또한 우리나라 243개 시군구 지자체에 대하여 적용하기 위하여 강우관측 지점을 대상으로 티센폴리곤 네트워크를 작성하여 지자체 별로 가중치를 산정한 후 공간분포 값을 추출하여 정리하는 과정을 거쳤다. Fig. 28은 위해성 관련 4개의 지표에 대한 우리나라 시군구 지자체 별로 DB를 구축한 결과이다.

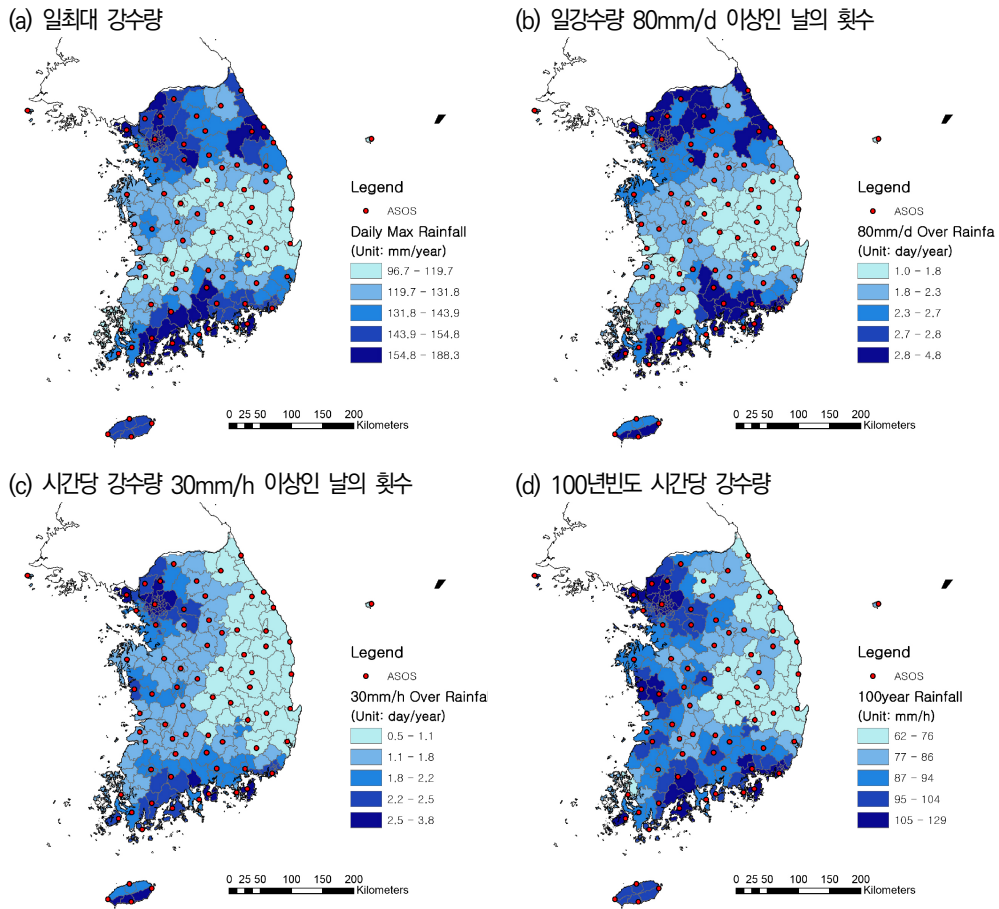
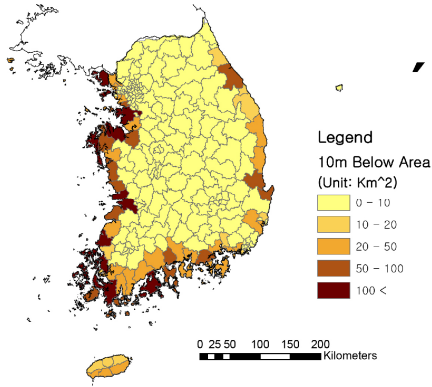


Figure 28 위해성 관련 지표 DB구축 결과

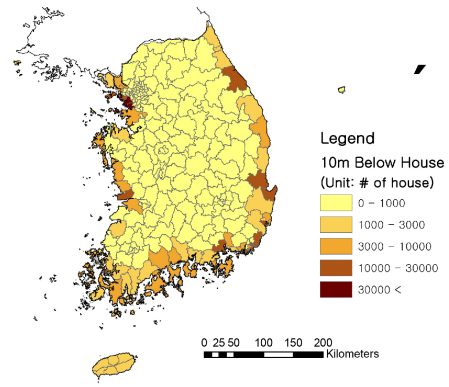
### 5.2.2 노출성 지표 DB구축 결과

노출성과 관련한 지표 DB는 상습침수지역 노출성과 홍수피해 노출성 지표로 구분되며, 상습침수지역 노출성과 관련한 세부지표는 10m이하 저지대 면적, 10m이하 저지대 가구 수, 그리고 지역 평균 경사도의 3가지 지표이다. 또한 홍수피해 노출성관련 지표는 홍수피해 인구수, 홍수로 인한 침수 면적, 홍수로 인한 인명피해, 그리고 호우로 인한 홍수 피해액의 4가지 지표가 해당된다. 다음 Fig. 29는 노출성 관련 7개 지표에 대한 우리나라 시군구 지자체 별로 DB를 구축한 결과이다.

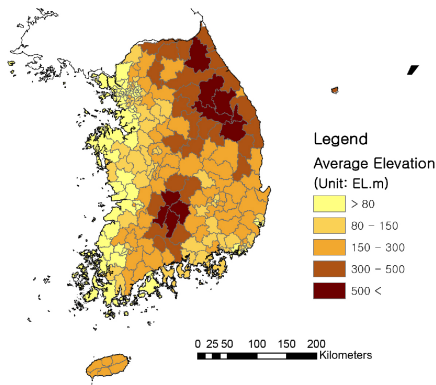
(a) 10m이하 저지대 면적



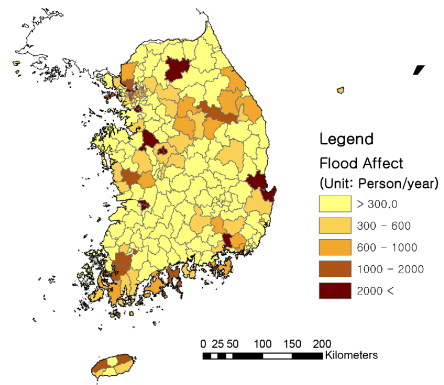
(b) 10m이하 저지대 가구수



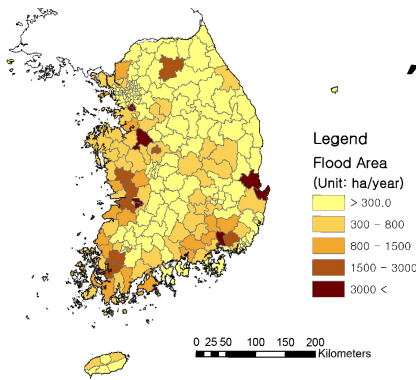
(c) 지역평균 경사도



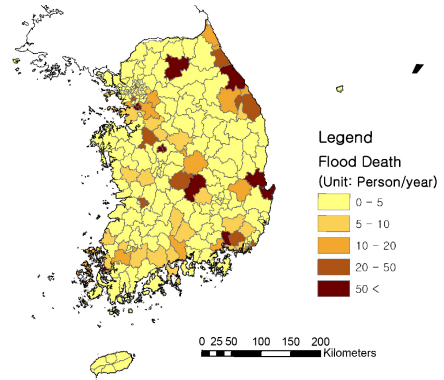
(d) 홍수피해 인구수



(e) 홍수로 인한 침수 면적



(f) 홍수로 인한 인명피해



(g) 호우로 인한 홍수 피해액

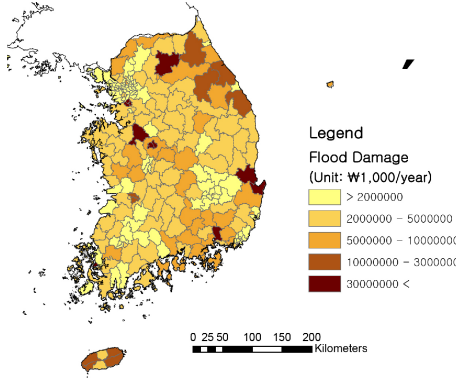
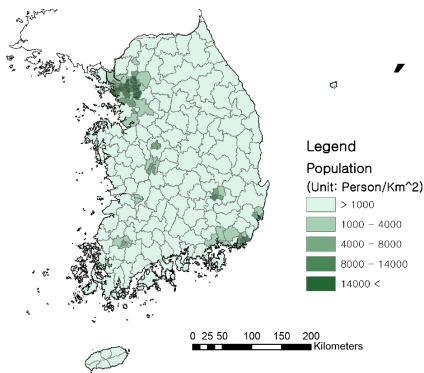


Figure 29 노출성 관련 지표 DB구축 결과

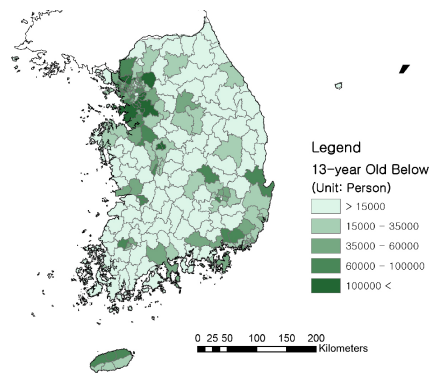
### 5.2.3 취약성 지표 DB구축 결과

취약성과 관련한 지표 DB는 사회-경제적 취약성과 홍수방어 취약성 지표로 구분되며, 사회-경제적 취약성 관련 세부지표는 인구밀도, 13세 이하 인구수, 65세 이상 인구수, 지역내 총생산(GRDP), 그리고 재정자립도의 5가지 지표이다. 또한 홍수방어 취약성관련 지표는 제방면적 비율, 하수도 보급률, 배수펌프장 용량, 인구당 공무원 수, 그리고 인구당 의료기관수의 총 5가지 지표가 해당된다. 다음 Fig. 30은 취약성 관련 10개 지표에 대한 우리나라 시군구 지자체 별로 DB를 구축한 결과이다.

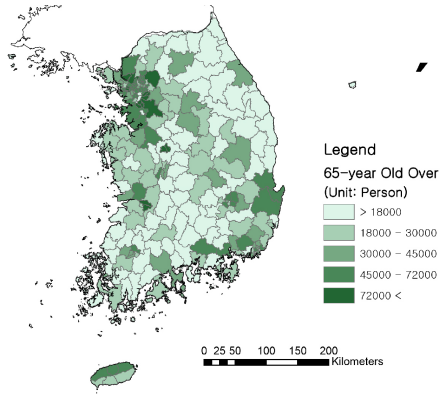
(a) 인구밀도



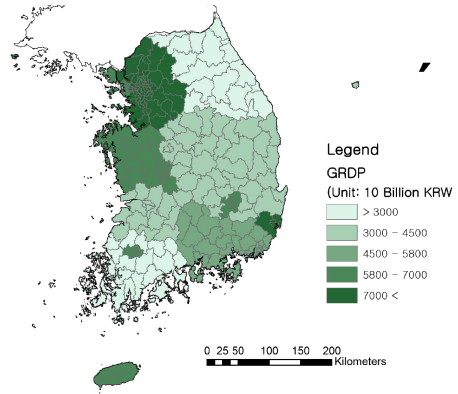
(b) 13세 이하 인구수



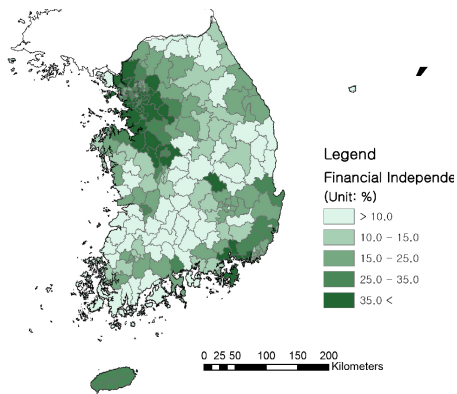
(c) 65세 이상 인구수



(d) 지역내 총생산



(e) 재정자립도



(f) 제방면적비율

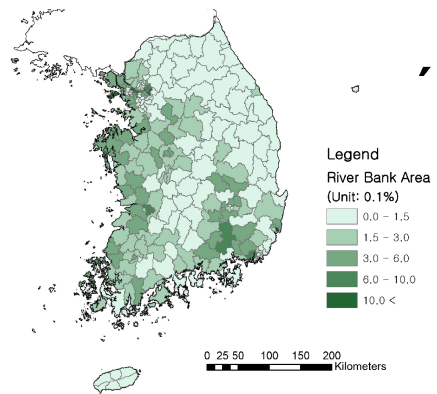
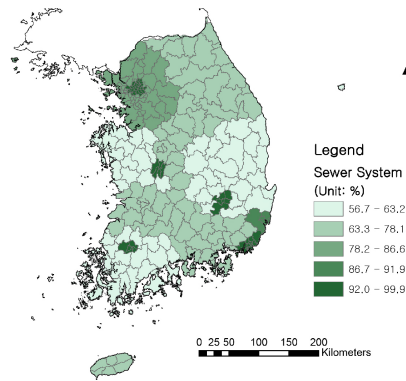
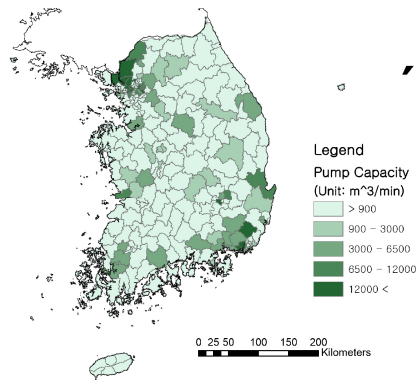


Figure 30 취약성 관련 지표 DB구축 결과

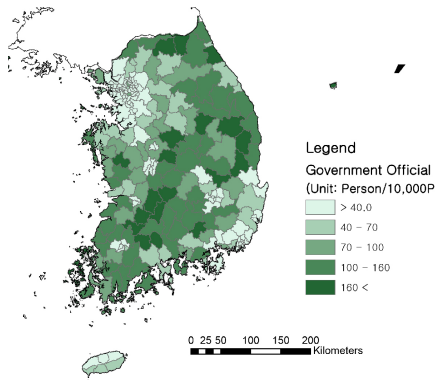
(g) 하수도 보급률



(h) 배수펌프장 용량



(i) 인구당 공무원 수



(j) 인구당 의료기관 수

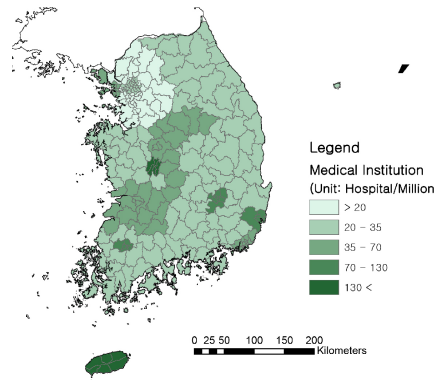


Figure 30 계 속

### 5.3 지표의 표준화

위험도 평가를 실시할 때 각 지표별로 단위와 가중치가 다르기 때문에 단순 합산을 통하여 비교할 수는 없으므로 지표의 표준화는 매우 중요하다. 따라서 각 지표별로 산정된 값의 크기와 단위 문제를 해소하기 위하여 반드시 표준화 과정을 거쳐야 한다. 지표를 표준화하는 방법은 크게 표준치 적용법, 순위 적용법, 기준치 적용법, 상한치내 전이법으로 나눌 수 있다(박태선 외, 2004).

표준치 적용법은 각 인자별 점수를 정규분포로 가정하여 표준치를 계산하여 적용하는 방법이며, 순위 적용법은 모든 대안들을 한 인자의 평점 순으로 나열한 후 순위



에 따라 점수를 부여하는 방법이다. 또한 기준치 적용법은 임의 기준치를 설정한 후 이를 기준으로 각 인자의 비율을 설정하여 비율에 따라 표준화를 실시하는 방법이며, 상한치내 전이법은 부여된 평가점수의 최대치를 100점으로 보고 다른 점수를 같은 비율로 환산하는 방법이다. 이 중, 여러 문헌 조사에 따르면 홍수피해 및 위험도 분석에 많은 연구자들이 사용한 지표의 표준화 방법은 표준점수법(Z-Score)인 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 지표의 표준화를 위하여 표준점수법을 적용하였다.

표준점수법(Z-Score)은 표본의 산술평균과 표준편차를 이용하여 자료가 가지고 있는 분포의 원점수를 표준점수로 바꾸게 된다. 표준점수법의 변환 식은 다음 Eq. (13)과 같다.

$$Z_i(Z-Score) = \frac{x_i - \mu}{\sigma_x} \quad (13)$$

여기서,  $Z_i$ 는 평가항목별 표준화 지수 값이며,  $x_i$ 는 각각의 평가항목별 인자 값(세부지표)이다. 또한  $\mu$ 는 평가항목별 자료의 평균치를 의미하며,  $\sigma_x$ 는 평가항목별 인자에 대한 표준편차를 의미한다.

다음으로 표준점수법을 통하여 환산된 지표 값을 평균이 0, 표준편차가 1인 표준정규분포(standard normal distribution) 함수에 대입하여 확률밀도함수의 누가면적을 계산하면 정규화된 지표 값을 얻을 수 있게 된다. 정규분포의 매개변수는 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 이고 확률밀도함수는 다음과 같으며 기호  $N(\mu, \sigma^2)$ 으로 나타내면 다음 Eq. (14)와 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (14)$$

정규분포의 누가분포함수는 다음과 같이  $f(x)$ 의 적분으로 주어지며, 다음 Eq. (15)와 같다.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du \quad (15)$$

## 5.4 통합 홍수위험도 평가 결과

### 5.4.1 1995년 이전과 이후 홍수위험 평가

앞서 실시한 우리나라 강우자료의 변동성 경향성 분석 결과를 바탕으로 한반도에 기후변동이 일어났을 것이라 판단되는 1995년을 기준으로 그 이전 시기와 이후를 구분하여 시군구 지자체 별로 통합 홍수 위험지수 분석을 수행하였다. 분석결과 1995년 이전 위해성지수는 서울(0.817)지역평균이 가장 크며, 대구(0.057)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 노출성 지수는 강원(0.514)지역 평균이 가장 크며, 서울(0.364)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 취약성지수는 서울(0.709)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 강원(0.320)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 1995년 이전의 통합 홍수위험지수를 분석한 결과 서울(0.640)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.290)지역 평균이 가장 작게 분석되었다.

1995년 이후 위해성지수는 서울(0.872)지역평균이 가장 크며, 대구(0.099)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 노출성지수는 전남(0.513)지역 평균이 가장 크며, 대구(0.366)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 취약성지수는 서울(0.709)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 강원(0.320)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 1995년 이후의 통합홍수위험지수를 분석한 결과 서울(0.662)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.295)지역 평균이 가장 작게 분석되었다.

전국 평균을 살펴보면, 1995년 이전의 위해성 지수는 0.503, 노출성 지수는 0.452, 취약성 지수는 0.464, 그리고 통합홍수위험지수는 0.472로 분석되었고, 1995년 이후의 위해성 지수는 0.496, 노출성 지수는 0.451, 취약성 지수는 0.464, 그리고 통합홍수위험지수는 0.470으로 분석되어, 1995년 이후 한반도 기후변동에 의한 강수량 증가에도 불구하고 전체적인 통합 홍수위험지수는 1995년 이전이 1995년 이후에 비하여 다소 높은 것으로 분석되었다. 다만, 본 연구의 결과는 통합홍수위험평가지수 항목 중 가용한 시계열 자료를 기준으로 평가를 실시한 것임을 밝힌다. Fig. 31은 전국 243개 지자체를 대상으로 1995년 이전과 이후 위해성지수와 노출성지수 그리고 취약성 지수를 Ternary 다이어그램을 통하여 나타낸 결과이며, Fig. 32는 1995년 이전과 이후로 구분하여 통합홍수위험도의 공간 분포를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바

와 같이 서울을 비롯한 중부지방과 남부지역의 홍수위험도가 큰 것으로 분석되며, 경기 지역의 경우 일부 지자체에서 홍수위험성이 감소하였으나 전반적으로 증간 것으로 분석된다. 또한 경북과 충남 일부 지자체 지역은 전국 평균에 비하여 상대적으로 낮은 강수량으로 위해성 지수가 낮아 통합홍수위험이 작은 것으로 분석되었다.

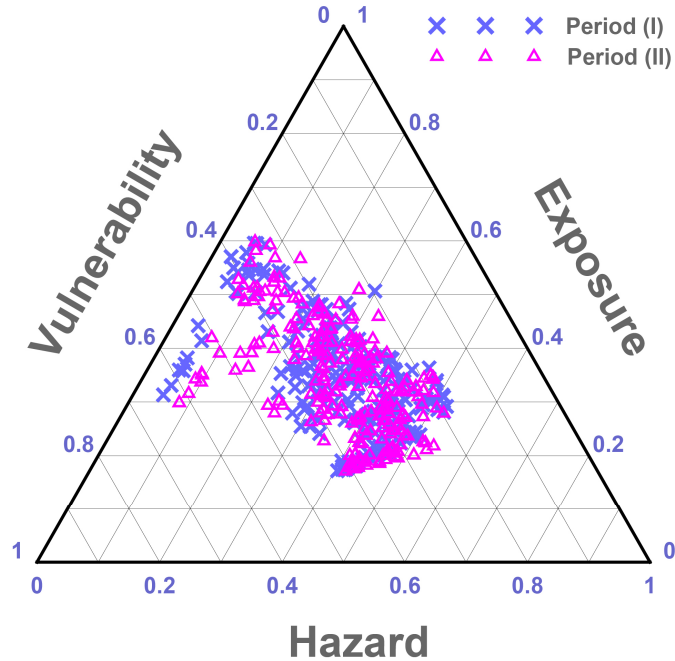


Figure 31 1995년 이전과 이후 Ternary 다이어그램 작성 결과

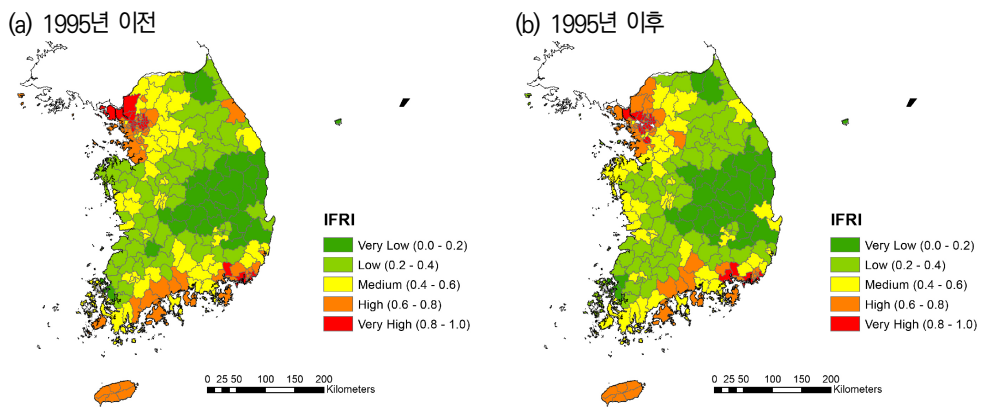


Figure 32 1995년 이전 및 이후 지자체별 홍수위험도 평가 결과

## 5.4.2 ENSO 패턴 변화에 따른 홍수위험 평가

### 5.4.2.1 엘니뇨 시기(CT El Niño)

강한 엘니뇨가 발생하였던 해의 엘니뇨 발달기(Developing)와 엘니뇨 쇠퇴기(Decaying)를 구분하여 각 지표별 합성편차 분석을 통한 통합홍수위험지수를 산정하였다. 본 연구에서 사용한 강한 엘니뇨발생 시기는 1965/66, 1972/73, 1982/83, 1987/88, 1991/92, 1997/98의 6개 해로 선정하였으며, 이와 관련한 구체적인 내용은 「윤선권, 2015. APEC기후센터연구보고서 2015-12」를 참고할 수 있다.

분석결과, 통합홍수위험지수의 전국 평균을 살펴보면, 엘니뇨 발달기에는 0.471로 분석되었으며, 엘니뇨 쇠퇴기에는 0.488로 다소 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 지역별로는, 엘니뇨 발달기의 통합홍수위험지수는 서울(0.617)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.313)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 또한 엘니뇨 쇠퇴기 역시 통합홍수위험지수는 서울(0.662)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.318)지역 평균이 가장 작게 분석되었다.

Fig. 33은 엘니뇨 시기별 Ternary 다이어그램을 작성한 결과이며, 엘니뇨 쇠퇴기의 홍수위험도가 다소 밀집하여 나타나고 있어 그 경향성이 보다 뚜렷할 것으로 분석된다. 또한 Fig. 34는 엘니뇨 발달기와 쇠퇴기의 우리나라 시군구 지자체별 통합홍수위험도의 공간 분포를 나타낸 결과이며, 서울을 비롯한 중부지방의 통합 홍수위험이 엘니뇨 쇠퇴기에 서울경기 북부지역을 중심으로 증하고 있음을 확인할 수 있으며, 남부해안지역을 따라서 홍수 위험이 다소 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

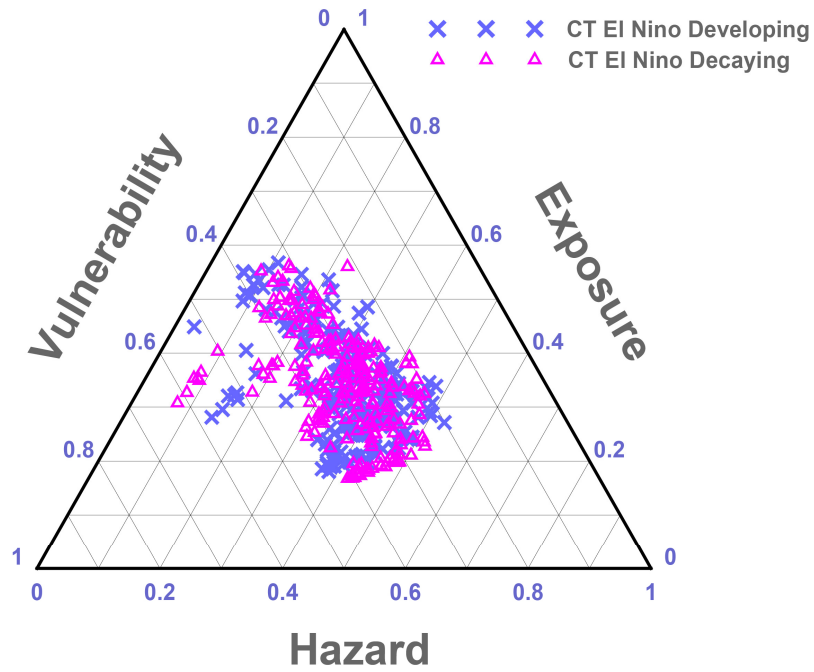


Figure 33 엘니뇨 시기별 Ternary 다이어그램 작성 결과

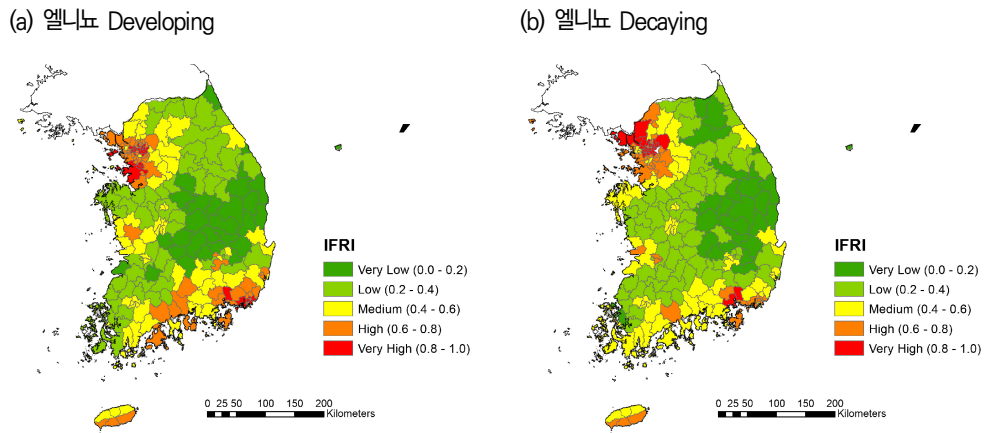


Figure 34 CT 엘니뇨 발달기(Developing) 여름철의 지자체별 홍수위험도 평가 결과

#### 5.4.2.2 중앙태평양 엘니뇨 시기(WP El Niño)

강한 중앙태평양 엘니뇨가 발생하였던 시기는 1968/69, 1990/91, 1994/95, 2002/03, 2004/05, 2009/10의 6개해로 구분하여 선정하였으며, 중앙태평양 엘니뇨 구분과 관련한 구체적인 내용은 「윤선권, 2015. APEC기후센터연구보고서 2015-12」를 참고할 수 있다.

분석결과, 통합홍수위험지수의 전국 평균을 살펴보면, 중앙태평양 엘니뇨 발달기의 통합홍수위험지수는 0.471로 분석되었으며, 중앙태평양 엘니뇨 쇠퇴기에는 0.468로 다소 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 지역별로는, 중앙태평양 엘니뇨 발달기의 통합홍수위험지수는 서울(0.635)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.303)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 또한 중앙태평양 엘니뇨 쇠퇴기 역시 통합홍수위험지수는 서울(0.662)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.318)지역 평균이 가장 작게 분석되었다.

Fig. 35는 중앙태평양 엘니뇨 시기별 Ternary 다이어그램을 작성한 결과이며, 중앙태평양 엘니뇨 발달기와 쇠퇴기의 홍수위험도가 비슷한 수준인 것으로 분석된다. 또한 Fig. 36은 중앙태평양 엘니뇨 발달기와 쇠퇴기의 우리나라 시군구 지자체별 통합홍수위험도의 공간 분포를 나타낸 결과이며, 서울을 비롯한 중부지방의 통합 홍수위험이 중앙태평양 엘니뇨 발달기에 증하고 있음을 확인할 수 있으며, 쇠퇴기에는 다소 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 남부해안지역 중 창원 지역을 중심으로 경남 지자체 일부 지역이 중앙태평양 엘니뇨 쇠퇴기에 통합홍수위험이 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

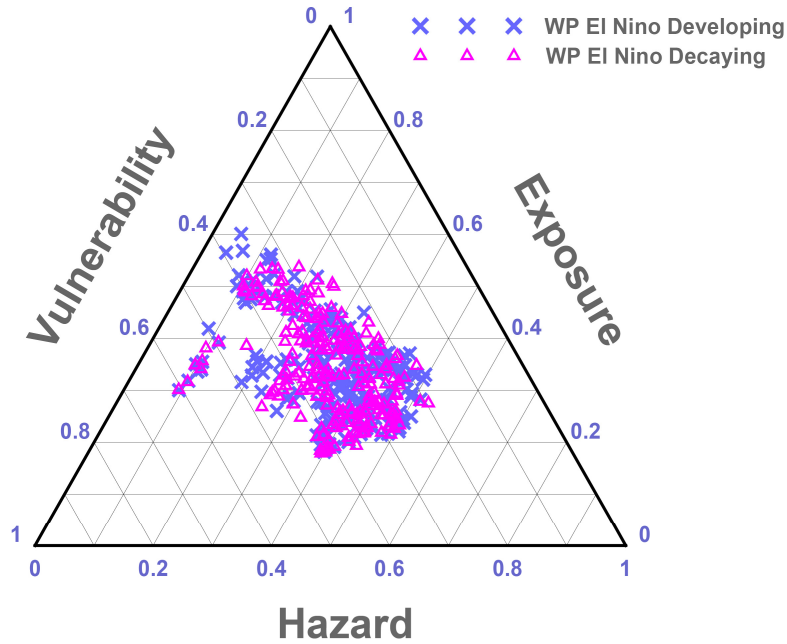
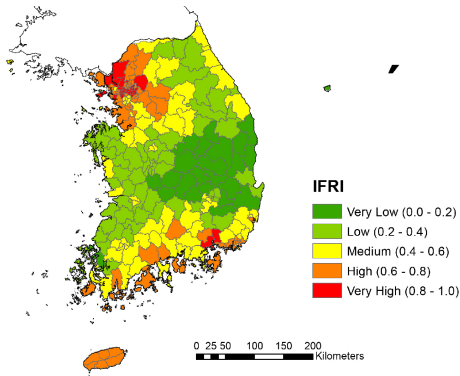


Figure 35 중앙태평양 엘니뇨 시기별 Ternary 다이어그램 작성 결과

(a) 중앙태평양 엘니뇨 Developing



(b) 중앙태평양 엘니뇨 Decaying

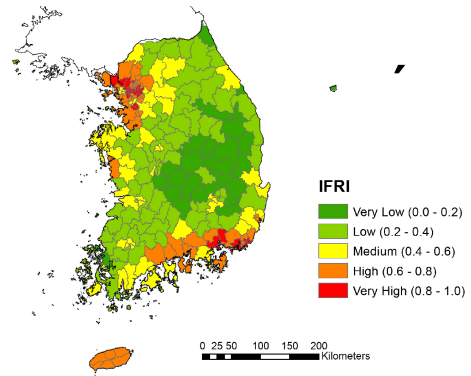


Figure 36 CT 엘니뇨 발달기(Developing) 여름철의 지자체별 홍수위험도 평가 결과

#### 5.4.2.3 라니냐 시기(La Niña)

강한 라니냐가 발생하였던 시기는 1973/74, 1975/76, 1988/89, 1999/00, 2010/11의 5개 해로 구분하여 선정하였으며, 강한 라니냐 해 구분과 관련한 구체적인 내용은

「윤선권, 2015. APEC기후센터연구보고서 2015-12」를 참고할 수 있다.

분석결과, 통합홍수위험지수의 전국 평균을 살펴보면, 라니냐 발달기의 통합홍수위험지수는 0.466으로 분석되었으며, 라니냐 쇠퇴기에는 0.468로 다소 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 지역별로는, 라니냐 발달기에는 통합홍수위험지수는 서울(0.659)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.314)지역 평균이 가장 작게 분석되었다. 또한 라니냐 쇠퇴기 역시 통합홍수위험지수는 서울(0.600)지역 평균이 가장 크게 분석되었으며, 경북(0.305)지역 평균이 가장 작게 분석되었다.

Fig. 37은 라니냐 시기별 Ternary 다이어그램을 작성한 결과이며, 라니냐 쇠퇴기의 홍수위험도의 분포가 보다 밀집하여 나타나는 것으로 분석된다. 또한 Fig. 38은 라니냐 발달기와 쇠퇴기의 우리나라 시군구 지자체별 통합홍수위험도의 공간 분포를 나타낸 결과이며, 서울을 비롯한 중부지방의 통합 홍수위험이 크기는 하나, 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되며, 다만, 남부해안 일부 지자체의 홍수위험이 라니냐 쇠퇴기에 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

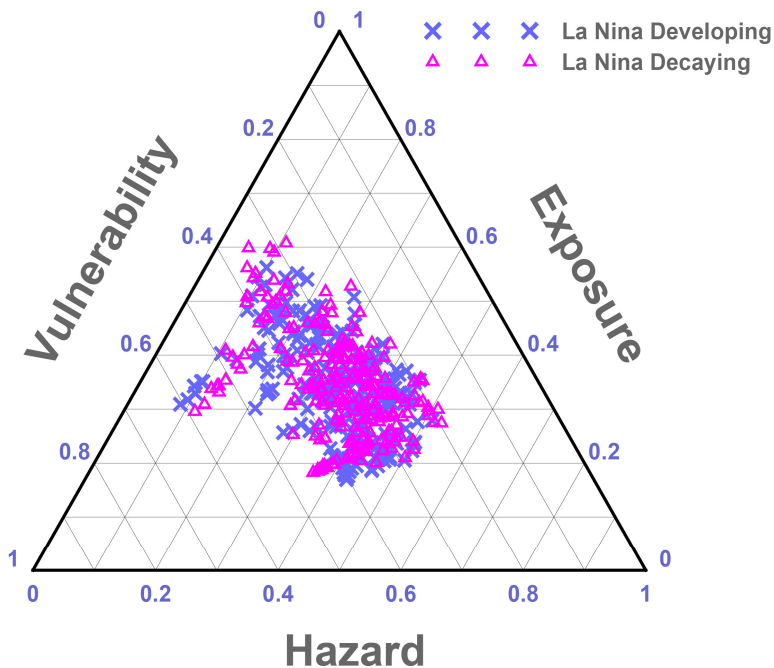


Figure 37 라니냐 시기별 Ternary 다이어그램 작성 결과



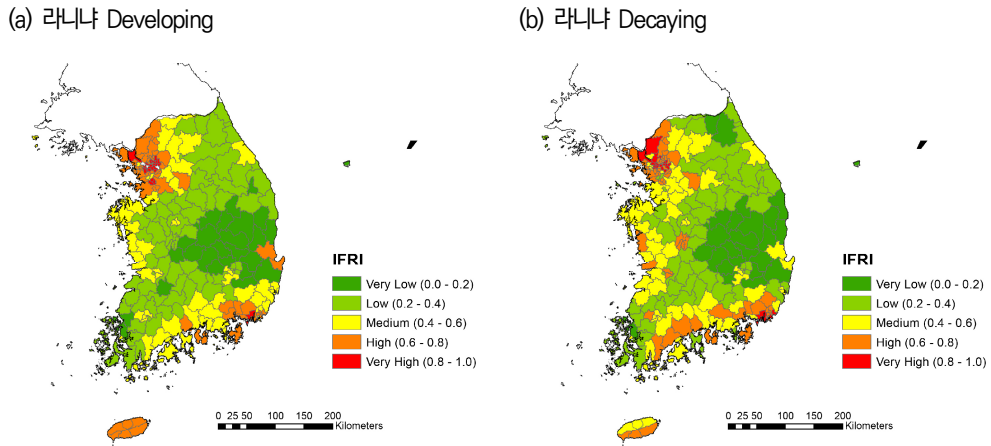


Figure 38 CT 엘니뇨 발달기(Developing) 여름철의 지자체별 홍수위험도 평가 결과

#### 5.4.3 통합홍수위험도 예측 결과

본 연구에서 개발한 통합 홍수위험지수의 예측성을 평가하기 위하여 2016년 여름철(JJAS)을 대상으로 우리나라 243개 지자체에 대하여 통합 홍수위험지수 예측을 실시하였다. 여기에서는 위해성의 중간기표 인 기후예측 정보 위해성 요소에 해당하는 통계모형 예측 값과, APCC MME 예측 값, 그리고 ENSO 예측 값이 월별로 예측되어 계산된 결과이다. Fig. 39는 우리나라 지자체의 2016년 여름철(JJAS) 통합홍수위험을 예측한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 중부지방의 경우, 6월에서 7월로 올수록 통합 홍수위험이 증가하고 있음을 확인할 수 있으며, 8월과 9월에는 홍수위험도가 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 남부지방의 경우 남부해안지역을 중심으로 6월의 홍수위험이 가장 크게 예측 되었으며, 7월에는 경남 창원 일부 지역을 제외하고는 감소하였으며, 8월과 9월에는 다시 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에서 개발한 통합 홍수위험지수를 통하여 중·장기 기후예측 정보의 활용성을 진단한 결과로, 향후 지자체 별로 구체적인 자료가 추가되고, 기후예측 정보의 신뢰도가 향상된다면, 정량적인 수문·기상 위해성 정보와 사회·경제적인 노출 및 취약성 정보가 가미된 중장기 통합 홍수위험예측 결과 제시가 가능할 것으로 사료된다.

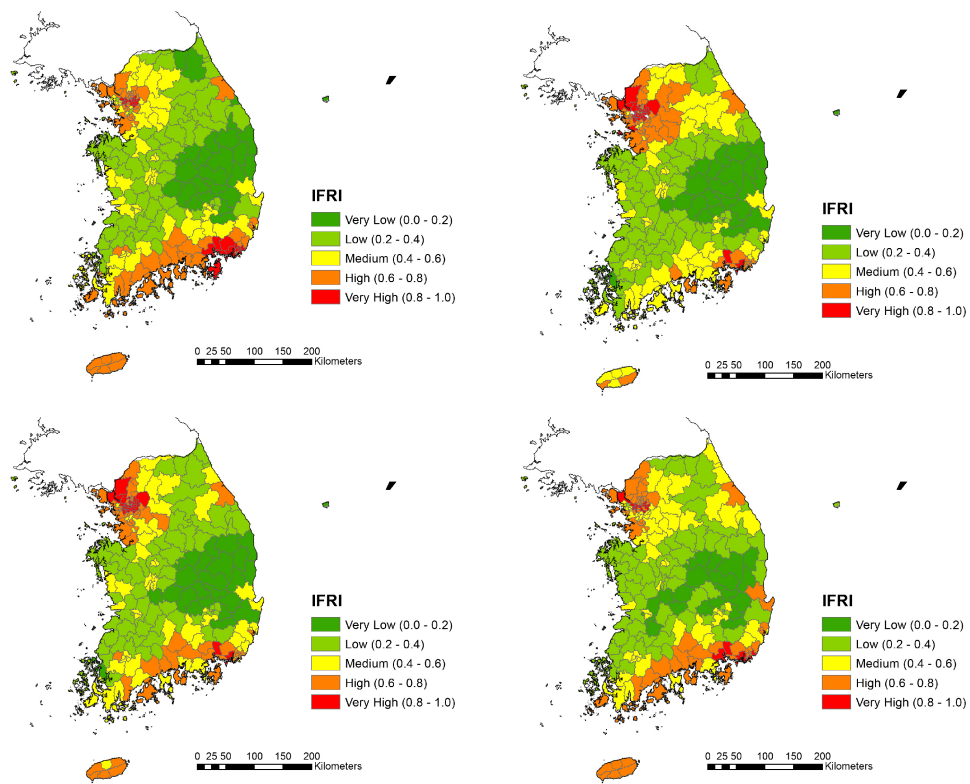


Figure 39 2016년 여름철 지자체별 홍수위험도 예측 결과

## 6. 중장기 홍수 재난 위험도 관리 및 활용방안

### 6.1 이음새 없는 예측의 수자원분야 활용

최근 기후예측 기술의 발달로 인하여 기상관련 자연재난에 대비하는 방법이 다양화·정밀화 되었으며, 기후과학 분야에 이음새 없는 예측(seamless prediction)의 개념이 새롭게 도입되고 있다. 이음새 없는 예측은 초단기(1~2시간)와 단기(1~2일), 그리고 S2S (Sub-seasonal to Seasonal)에서부터, 계절예측(1~6개월)과 기후변화(10~100년)에 이르기까지 일정수준 이상의 기후예측 기술을 확보하자는 개념이다. 다음 Fig. 40은 호주 기상청(Bureau of Meteorology, BoM)<sup>5)</sup>에서 제시하고 있는 수자원 분야 이음새 없는 예측 개념도이다. 여기에서 보면, 하천의 홍수량 및 홍수위 예측을 위한 수일에서 수주에 해당하는 단기예측 정보의 활용뿐만 아니라, 수달에 해당하는 중·장기 관점에서의 댐 유입량 예측 등 수자원 관리를 위한 계절예측전망(Seasonal outlook) 자료의 활용 가능성을 시사하고 있다.

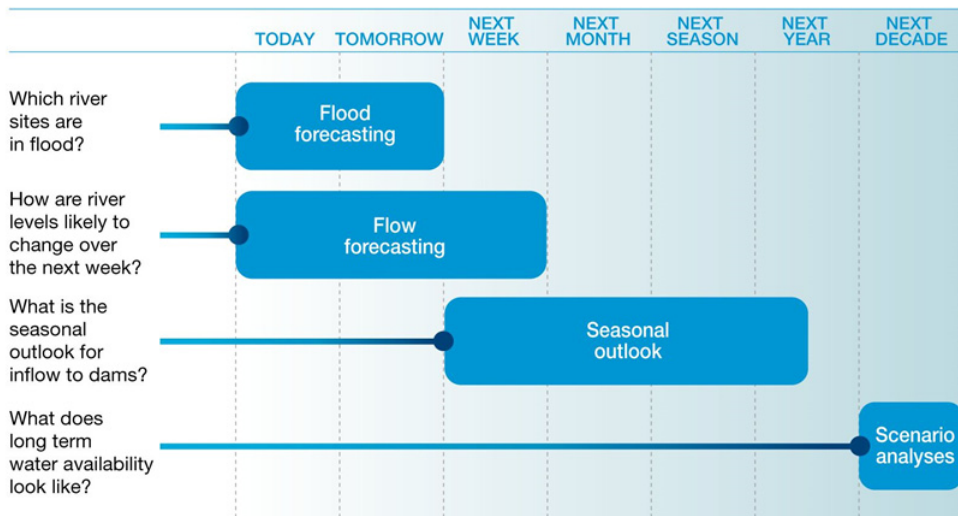


Figure 40 수자원분야 이음새 없는 예측 개념도(BoM, [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))

5) 호주 기상청은 86개(2015년 200개 확장 예정) 주요 하천지점에 대하여 3개월 유량예측 정보를 제공을 생산하여 서비스하고 있다([www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml](http://www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml)).

유명한 기후학자 중 한명인 P. J. Webster는 3가지 시간스케일 개념에서 기후예측 정보의 활용 분야를 나열하고 있다(Table 13). 1일에서 10일 정도 시간스케일의 기후예측 정보는 저수지 수위 관리와 농작물 심기, 수확 등 농업과 수자원, 그리고 재난 관련 계획 수립에 활용이 가능하고, 한 달 이내의 20일에서 25일 정도 시간스케일의 기후예측 정보는 좀 더 확장된 규모의 농작물 심기와 수확, 그리고 병충해 방지를 위한 방제 및 비료 시비 등에 활용할 수 있으며, 수자원 측면에서는 농업용수 공급 및 수력발전계획에 활용이 가능하다. 또한 주요 재난재해 저감을 위한 재원과 자원을 재정비 할 수 있다. 마지막으로 한 달에서 세 달 정도 규모의 계절예측 정보는 농업과 수자원 관리를 위한 중·장기 계획 수립에 활용이 가능하며, 평년에 비하여 확률적으로 많거나 적은 강수량 정보에 따른 홍수와 가뭄 등의 재난저감 위한 유용한 정보로 활용이 될 수 있다.

Table 13 Three-Tier 예측 기술의 활용 분야(by P. J. Webster)

| 예측 시간              | 활용 분야                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SEASONAL OUTLOOK   | Long term planning of agriculture, water resource management & disaster mitigation especially if high probability of anomalous season (e.g., flood/drought)                                                            |
| 20-25 DAY FORECAST | Broad-scale planning schedules for planting, harvesting, pesticide & fertilizer application and water resource management (e.g., irrigation/hydro-power determination). Major disaster mitigation resource allocation. |
| 1-10 DAY FORECAST  | Detailed agriculture, water resource and disaster planning. E.g., fine tuning of reservoir level, planting and harvesting.                                                                                             |

## 6.2 재난관리의 방향

재난은 국민의 생명과 신체, 재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로 자연 재난, 인적재난, 사회적 재난으로 구분한다.

- 자연재난은 태풍, 홍수, 호우, 폭풍, 해일, 폭설, 가뭄, 지진, 황사, 적조 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해를 말한다.
- 인적재난은 화재, 폭발사고, 붕괴 교통사고, 화생방사고, 환경오염사고 그 밖에 이와 유사한 사고로 대통령령이 정하는 규모 이상의 피해를 말한다.

- 사회적 재난은 에너지, 통신, 교통, 금융, 의료, 수도 등 국가기반체계의 마비와 전염병 확산 등으로 인한 피해를 말한다.

이중 인적재난과 사회적 재난은 크게 ‘사회재난’으로 묶이기도 한다.

윌리엄 페탁(William J. Petak)은 재난발생 시점과 재난관리 시기를 기준으로 재난관리를 ① 완화와 예방(Mitigation and Prevention) ② 대비와 계획(Preparedness and Planning) ③ 대응(Response) ④ 복구(Recovery)의 4단계로 구분하였다. 이러한 4단계 모형은 총체적 재난관리모형(Comprehensive Emergency Management Model, CEM)에 기반하고 있으며, 우리나라를 비롯한 많은 국가의 재난관리자와 연구자들이 이모형을 채택하고 있다. 다음 Fig. 41은 예방, 대비, 대응, 복구를 위한 재난관리 생애주기 4단계를 나타내었으며, Fig. 42는 국가 행정관리의 재난예방행정 사전방재와 재난사후행정 수습 단계로 구분하여 재난관리 단계별 조직 구성도를 나타내었다.



Figure 41 재난관리 생애주기 4단계

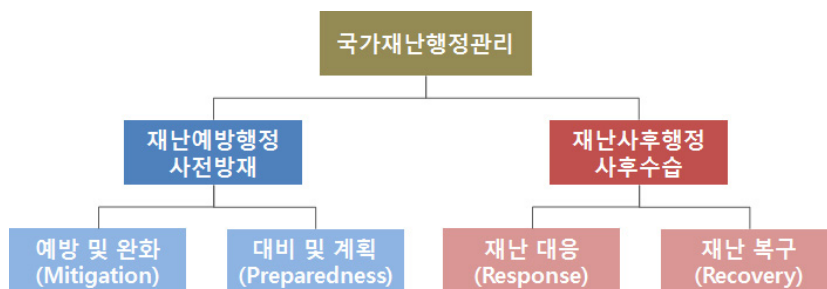


Figure 42 재난관리 단계별 조직도 구성

재난관리의 과정은 재난 생애주기(Life Cycle)에 따라 예방, 대비, 대응, 복구의 4 단계 과정으로 분류되며, 앞의 두 단계는 재난발생 이전이고 뒤의 두 단계는 재난발생 이후이다. 재난관리의 각 단계는 상호 의존적이면서 독립적인 특성을 가지고 있다. 재난발생 이전 단계에서는 사전예방과 대비를 위한 정비와 계획 수립 등의 활동이 주가 되며, 재난발생 이후 계에서는 사후수습을 위한 대응과 복구단계에서의 계획 실행 및 복구 등의 활동이 주가 되며, 가능한 재난 단계별 주요 활용내용을 정리하면 다음 Table 14와 같다.

Table 14 재난관리 단계별 가능한 주요 활동 정리

| 구분                    | 단계                      | 재난 단계별 가능한 주요활동 내용                                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 재난발생<br>이전단계<br>(사 전) | 예방 단계<br>(Mitigation)   | 재난관리 체계 구축, 재난예방대책 수립, 각종 안전점검 및 안전문화 활동, 징후 감지, 재난 위험지구관리 대책 수립, 위험성 분석 및 위험지도 작성, 건축법 제정과 정비, 조세유도 재해보험, 토지이용관리, 재난 취약시설 점검·정비, 정보 시스템 개선, 시설물 비상대처계획 수립 등 |
|                       | 대비 단계<br>(Preparedness) | 재난정보·상황관리체계 확립, 자원 동원계획 및 재난대응 훈련계획 수립·시행, 재난관리 정보시스템 구축, 비상경보체계 구축, 비상통신망 구축, 유관기관과의 긴급지원체계 구축, 비상자원 확보, 재난대비 대국민 홍보 및 교육훈련, 행동매뉴얼 정비 및 국민행동요령 홍보 등         |
| 재난발생<br>이후단계<br>(사 후) | 대응 단계<br>(Response)     | 재난상황보고체계 구축, 초기대응체제 확립, 유관기관 협조 지원 체제 구축, 비상단계 근무, 재난대응계획의 시행, 재난의 긴급대응과 수습, 인명구조 구난활동 전개, 이재민 수용 및 구호물자 공급, 응급의료체계 운영, 환자의 수용과 후송, 의약품 및 생필품 제공 등           |
|                       | 복구 단계<br>(Recovery)     | 재난합동조사단 구성 및 운영, 피해조사, 잔해물 제거, 전염병 예방 및 방역활동, 이재민 지원, 임시거주지 마련, 항구적 복구 및 재발방지대책 수립, 시설복구 및 피해보상, 자원봉사단 활용, 재난복구비용 지원대책 수립 등                                  |

### 6.3 홍수발생에 따른 재난관리 및 활용방향

재난의 발생과 위험은 불확실성 요소를 내포하고 있으며, 이러한 재난발생의 불확실성 요인을 줄이고 사전에 찾아내어 소멸시키는 일이 중요한 사항이 될 수 있다. 또한 그것이 발생했을 때 어떤 식으로 대응할지에 대한 과정이 체계적으로 갖추어져 있

어야 하며, 복구 및 재발방지를 위한 지속적인 노력이 필요할 것이다.

Fig. 43은 재난관리 패러다임 전환을 위하여 작성한 그림이며, 모든 재난에 적용이 가능하다. 이를 홍수재난에 적용해 보면, 홍수재난이 발생(Impact)한 상황을 기준으로 사전과 사후로 구분할 수 있으며, 현재의 시스템은 사후의 프로세스가 복잡하고 다양화 구체화 되어 있으며, 국가 및 지자체 매뉴얼이 자세하고 구체적으로 잘되어 있다. 하지만 사전에 대한 부분은 깊이 있게 다루어지고 있지 않은 실정이다. 따라서 향후에는 홍수재난 발생(Impact) 이후의 프로세스는 줄여나갈 필요성이 있으며, 홍수재난 발생(Impact) 이전의 골든타임 확보를 위한 프로세스를 늘려 나가고 구체화시킬 필요성이 있다.

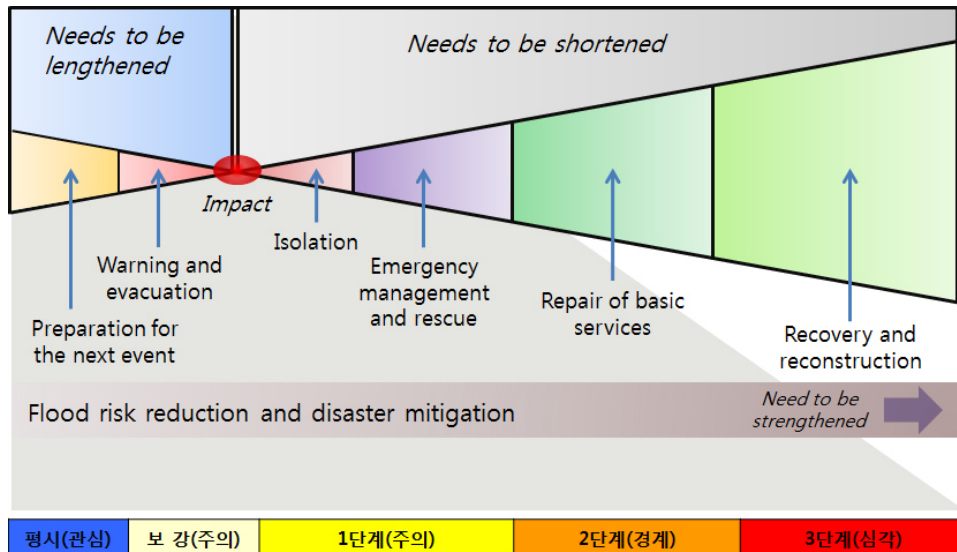


Figure 43 홍수발생에 따른 재난관리 흐름 프로세스

Fig. 44는 이러한 홍수발생에 따른 재난관리 흐름 프로세스를 반영하여 지자체에서 활용하고 있는 매뉴얼을 수정·보완한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 평기(관심)와 보강(주의) 단계에서 이상기상 및 이상기후 감시와 예의 주시, 중·장기 홍수위험 예측과 관련한 사항이 포함될 수 있을 것이다.

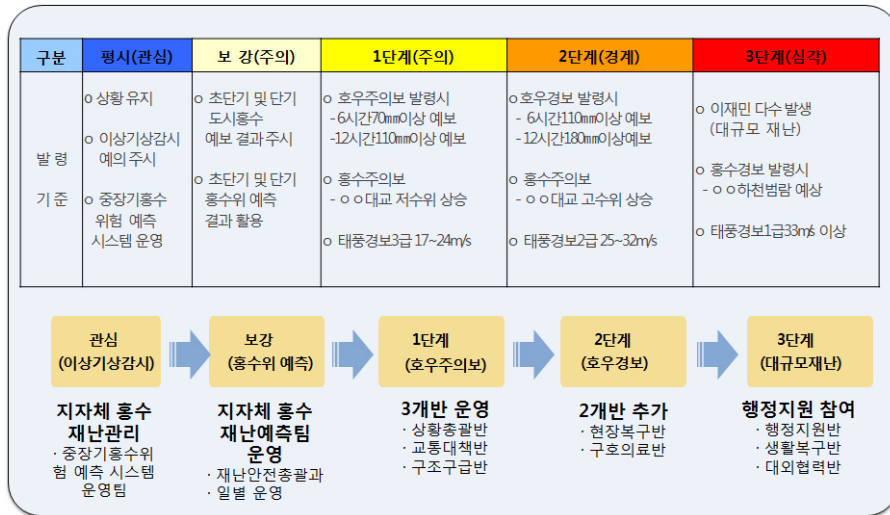


Figure 44 홍수재난 단계별 비상대처 계획(안)

Fig. 45는 본 연구에서 개발된 방법론을 적용하여 부산광역시를 대상으로 중장기 통합홍수위험예측을 실시한 결과이다. 6월에서 7월로 향할 때, 7월의 홍수위험기 High로 가장 크게 나타났으며, 다시 8월과 9월에는 Medium에서 Very Low로 홍수 위험이 변하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 부산광역시 사례에서처럼 중장기 통합 홍수위험예측 Outlook 매트릭스를 통한 지자체 활용 방안을 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

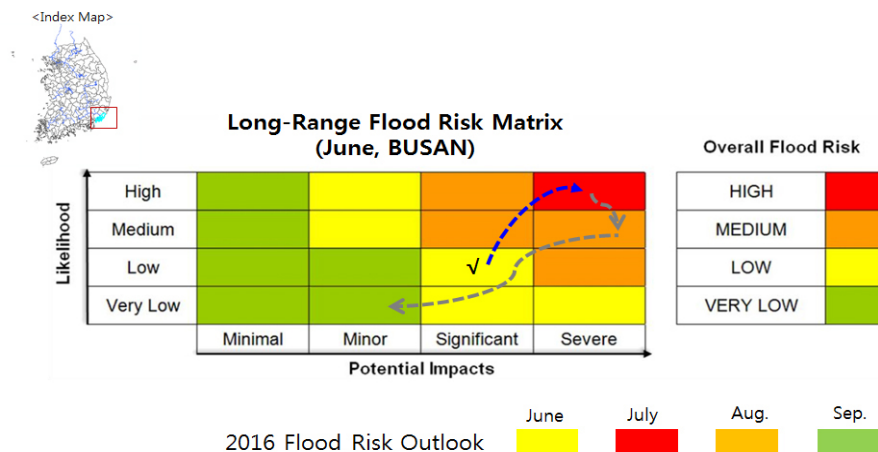


Figure 45 중장기 홍수위험예측 Outlook(부산광역시 예)



## 7. 결론 및 토의

본 연구에서는 통계·역학 모형을 이용한 기후지수와 수문변량의 월별 예측, 그리고 통합홍수위험지수 개발 및 전문가 Delphi-AHP 설문조사, 지표별 가중치 산정을 홍수위험지수 산정, 그리고 이를 우리나라 243개 지자체를 대상으로 홍수관련 위해성, 노출성, 취약성 자료를 수집하여 통합홍수위험도 분석·예측·평가를 실시하였다. 추후 통계 모형 및 역학 모형의 중·장기 예측 정보의 신뢰도가 향상 된다면 보다 다양한 예측 정보 서비스 및 활용이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 중장기 통합홍수 위험 예측 정보는 한 달 또는 수개월 전에 사전 예방적 차원의 지자체 홍수위험 재난 관리의 관심과 보강계획 수립이 가능하여 사전에 행정력을 집중 시키고 분산시킬 수 있어 재난관리자에게 중요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

통계예측모형을 통하여 우리나라 지역별 월강수량 예측을 실시한 결과, 관측기간과 상관계수가 0.748 ~ 0.849의 비교적 높은 예측력을 보이고 있음을 확인하였으며, Region 1에서 예측력이 가장 높은 것으로 분석되었다. Region 1은 제주도를 포함한 남부 해안지역으로, 2014년 여름의 강수량 피크를 예측하지 못했으나, 2015년에 감소되는 강수량을 비교적 잘 모의하고 있어 전반적으로 가장 좋은 예측력을 보였다. 또한 서울과 경기 지역에 해당하는 Region 2의 경우 가장 낮은 예측력을 보였으며, 2011년의 여름철 집중호우 피크를 잘 예측하지 못했으며, 2014년과 2015년 두 해에 걸친 중부지방 가뭄에 따른 강수량 감소 현상을 제대로 모의하지 못함으로 인한 결과로 사료된다. 또한 상관계수와 결정계수, 평균제곱근오차 및 용적오차 평가를 종합해 볼 때, 여러 통계모형의 결과를 취합하여 사용하는 MME예측의 경우가 월강수량 예측에 있어 가장 좋은 결과를 나타냄을 확인하였으며, 추후 보다 다양한 통계예측 모형의 활용 및 극치 수문사상을 제대로 모의할 수 있는 통계예측 모형의 활용이 필요할 것으로 판단된다.

해수면 온도 예측결과를 종합해보면, 상관계수는 0.959 ~ 0.987, 결정계수는 0.920 ~ 0.973으로 매우 높게 나타났으며, 평균제곱근오차는 0.105 ~ 0.182의 분포를 보였고, 용적오차는 -5.731 ~ 0.643의 분포를 보이는 것으로 분석되었다. 상관계수와 결정계수, 평균제곱근오차 및 용적오차 분석에서 가장 좋은 평가를 받은 모형은

VARMA(p,q)모형이며, 기후지수가 가지고 있는 장기적인 주기 성분 예측에 자기상관 이동평균과정 모형이 잘 적합하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 기후지수에 대한 향후 4년 동안의 예측결과를 살펴보면 관측기간에 관측자료와 피팅이 잘 이루어 졌더라고 실제 예측을 수행하였을 경우 모형별로 다양한 예측 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 하나의 모형 결과를 취사 선택하는 것 보다 여러 통계모형의 결과를 취합하여 앙상블 형태로 사용하는 것이 불확실성을 줄이고 예측력을 확보할 수 있는 방안으로 판단된다. 따라서 향후에는 보다 다양한 통계예측 모형의 적용과, 장주기 성분 예측에 활용이 가능한 모형 개발 및 적용이 필요할 것으로 사료된다.

국내·외 홍수위험도 분석관련 여러 문헌조사, 국가 및 지자체 연구자료 조사, 적용 사례분석, 그리고 전문가 의견수렴을 바탕으로 중·장기 홍수위험평가를 위한 통합홍수위험지수를 개발하였다. 국내 50여명의 홍수관련 전문가 집단을 구성하여 총 37명의 Delphi-AHP설문 조사를 실시하였으며, 각 지표의 계층화 및 중요도 평가, 그리고 우선순위 도출을 통한 가중치 적용을 실시하여 통합 홍수위험도 평가에 활용 하였다. 통합홍수위험지수 평가항목별 가중치 산정결과 대표지표 항목에서는 취약성 지표가 0.389로 가장 높게 나타났으며, 위해성 지표가 0.312, 노출성 지표가 0.299로 분석되었다.

위험도(Risk)를 위해성(Hazard)과 노출성(Exposure), 그리고 취약성(Vulnerability)의 함수로 구분하여, 붉은색: Very High(0.8-1.0), 주황색: High(0.6-0.8), 노란색: Medium(0.6-0.4), 연두색: Low(0.2-0.4), 초록색: Very Low(0.2-0.0)의 5단계로 나눈 후 위험도 평가를 실시하였다. 또한 우리나라 243개 시군구 지자체를 대상으로 통합 홍수위험 평가를 실시하기 위하여, 24개 각 지표별 자료를 수집하여 시군구별 DB를 구축하였으며, 강우관측 지점을 대상으로 티센폴리곤 네트워크를 작성하여 지자체 별로 가중치를 산정한 후 공간분포 값을 추출하여 정리하는 과정을 거쳐 지자체 해당 자료를 생성하였다.

우리나라 지자체의 2016년 여름철(JJAS) 통합홍수위험을 예측한 결과, 중부지방의 경우, 6월에서 7월로 올수록 통합 홍수위험이 증가하고 있음을 확인할 수 있으며, 8월과 9월에는 홍수위험도가 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 남부지방의 경우 남부해안지역을 중심으로 6월의 홍수위험이 가장 크게 예측 되었으며, 7월에는 경

남 창원 일부 지역을 제외하고는 감소하였으며, 8월과 9월에는 다시 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에서 개발한 통합 홍수위험지수를 통하여 중·장기 기후예측 정보의 활용성을 진단한 결과로, 향후 지자체 별로 구체적인 자료가 추가되고, 기후예측 정보의 신뢰도가 향상된다면, 정량적인 수문·기상 위해성 정보와 사회·경제적인 노출 및 취약성 정보가 가미된 중장기 통합 홍수위험예측 결과를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

재난관리 재난 생애주기(Life Cycle)별 예방, 대비, 대응, 복구의 4단계에 따라 사전과 사후로 구분하여 가능한 주요 활동들을 제시하였으며, 재난관리 패러다임 전환을 위한 홍수재난 발생(Impact) 상황을 기준으로 사전과 사후로 구분하여 홍수재난 발생 이전의 골든타임 확보를 위한 프로세스를 늘려 나가고 구체화 시킬 필요성이 있으며, 홍수발생 이후의 프로세스는 축소해 나가야 함을 시사하였다.

## REFERENCE

- 김형수, 안재현, 윤용남, 박무중 (1999). “엘니뇨/남방진동지수의 비선형성 검출.” 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제19권, 제II-2호, pp. 149-157.
- 문영일 (1997). “시계열 수문자료의 비선형 상관관계.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제6호, pp. 641-648.
- 미국 기상청 국가수문평가 시스템 (National Hydrologic Assessment, <http://www.nws.noaa.gov/hic/nho/>).
- 미국 기후탄력 툴킷(U.S. Climate Resilience Toolkit, <https://toolkit.climate.gov/taking-action/seasonal-climate-forecast-serves-call-action>).
- 박태선·김광목·윤양수·이승복 (2005) 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구, 국토연구원, 국토연/2005-6, pp. 1-166.
- 서준표, 이창우, 우충식, 이현호, 2014: 델파이 기법과 AHP를 이용한 중력식 사방댐 준설 평가 지표 및 조사야장 개발, 한국환경복원기술학회지, 17(6), 1-15.
- 신문기사 검색, ETNEWS (<http://www.etnews.com/20160717000040>).
- 오태석, 문영일, 오근택, (2008). 군집분석과 변동핵밀도함수를 이용한 지역빈도해석의 확률강우량 산정, 대한토목학회논문집, 28(2B), 225-236.
- 영국 기상청 (Met Office, <http://www.metoffice.gov.uk/>).
- 윤선권, 안재현, 김종석, 문영일 (2009) 장기유출모의를 위한 수문시계열 예측모형의 적용성 평가, 한국수자원학회논문집, 42(10), 807-822.
- 윤선권 (2015) 원격상관 기반 극한기후패턴 변화에 따른 한반도 지역수문변동 영향분석, APEC기후센터 연구보고서 2015-12, pp. 1-181.
- 윤선권 (2015) 통계적 원격상관 기반 기후-수문 장기예측 모형 구축 및 적용성 평가: 경남지자체를 중심으로, APEC기후센터 연구보고서 2015-14, pp. 1-126.
- 조용곤, 조근태, 2004: Delphi와 AHP를 이용한 생명공학분야 미래유망기술의 R&D 전략 수립, 대한산업공학회, 한국경영과학회 학술대회, FA11-9-12.
- 최지혁, 김종석, 권지혜, 문영일, 2016: AHP분석을 통한 댐 재개발 평가항목 중요도 평가, 한국수자원학회논문집, 49(5), 381-389.
- 호주 기상청 계절유량 예측 시스템([www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml](http://www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml)).

- Alexander, D.E. (2011). Emergency response guidelines and regulations. In Penuel, K.B. (Ed.), *Encyclopedia of Disaster Relief*. pp. 163–165.
- Anselmo V, Galeati G, Palmieri S, Rossi U, Todini E. (1996) "Flood risk assessment using integrated hydrological and hydraulic modeling approach: a case study." *Journal of Hydrology*, 175:553–554.
- BOM (<http://www.bom.gov.au/water/ssf/forecasts.shtml>).
- Chaib SI., 2004: Social research method and analysis. 3rd ed. Seoul: Hak hyun sa. (in Korean)
- Connor, R. F., and Hiroki, K. (2005) "Development of a method for assessing flood vulnerability." *Water Science & Technology*, Vol. 51, No. 5, pp. 61–67.
- Hsu, C. C and Sandford, B. A., 2007: The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12(10), 1–8.
- IRI-IFRC (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/IFRC/>), Climate Information for Disaster Management and Decision Making: The IRI-IFRC Partnership.
- Jung YG·Lee JH and Lee HH., 2012: The Effect of the Dredge of Debris barrier on Forest Recreation. *Journal of the Korea Institute of Forest Recreation*, 16(4): 1–8. (in Korean with English summary)
- Kasperson J, Kasperson R, Turner BL, Hsieh W, Schiller A. (2005) "Vulnerability to global environmental change. In Kasperson eds, *The social contours of risk. Volume II: Risk analysis.*" corporations & the globalization of risk. London: Earthscan. pp.245–285.
- Kember, G., Flower, A.C., and Holubeshen, J. (1993). "Forecasting river flow using nonlinear dynamics." *Stoch. Hydrol. Hydraul.*, Vol. 7, pp. 205–212.
- Kuczera, G., D. Kavetski, S. Franks, M Thyer. (2006) Towards a Bayesian total error analysis of conceptual rainfall-runoff models: Characterising model error using storm-dependent parameters, *Journal of Hydrology*, 331:1–2,161–177
- Lawshe, C. H., 1975: A QUANTITATIVE APPROACH TO CONTENT VALIDITY. *Personnel Psychology*, 28(4): 563–575.
- Lee, G., K. S. Jun, and E. S. Chung, (2013). Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1293–1312.
- Lee, M. H., I. W. Jung and D. H. Bae. (2011) "Korean flood vulnerability assessment on climate change." *Journal of Korea Water Resources Associate*, Korea Water

- Resources Associate, Vol. 44, No. 8, pp. 653–666.
- Linstone, H. A and Turoff, M., 1975: The Delphi Method: Techniques and Applications. Addison Wesley.
- Maskrey A. (1989) "Disaster mitigation: a community based approach." Oxford, London.
- Montanari, A., and A. Brath. (2004). "A stochastic approach for assessing the uncertainty of rainfall-runoff simulations." *Water Resour. Res.*, 40, W01106, doi:10.1029/2003WR002540.
- NOAA (<http://www.erh.noaa.gov/mmefs/Help/EnsembleOverview/img20.html>)
- Park YK·Song JE·Kwon SD·Kim EH and Chung JS., 2008: Evaluation of Permission Standards for Forest Land-use Conversion using Delphi Technique. *Journal of Korean Forest Society*, 97(6): 617–626. (in Korean with English summary)
- Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 279(1–4), pp. 275–289.
- Rygel, L., O'Sullivan, D., and Yamal, B. (2006) "A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country, mitigation and adaptation strategies for global change." *Earth and Environmental Science*, Vol. 11, pp. 741–764.
- Saaty, T. L., 1980: The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
- \_\_\_\_\_, 1990: The Analytic Hierarchy Process: Planing, Priority Setting, Resource Allocation. RWS Publications.
- Schepen, A., and Q. J. Wang (2015) Model averaging methods to merge operational statistical and dynamic seasonal streamflow forecasts in Australia, *Water Resources Research*, 51, 1979–1912, doi:10.1002/2104WR016163.
- Song, K.W., Lee, Y., 2013: "Re-Scaling for Improving the Consistency of the AHP Method." *Social Science Research Review*, 29(2), 271–288.
- Tak JK., 2007: Psychological Testing. Seoul: Hak ji sa. (in Korean)
- Wang Y, Li Z, Tang Z, Zeng G. 2011. A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China, *Water Resource Management*. DOI10.1007/s11269-011-9866-2.
- Watson, R. T., Zinyowera, M. C., and Moss, R. H. (1996) "Climate change 1995 in impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analysis." Cambridge University Press, Cambridge.
- World Bank, 2013: A global urban risk index, p. 1–44.
- Yakowiz, S., and Karlsson, M. (1987). "Nearest neighbor methods with application to

- rainfall/runoff prediction.” Stochastic hydrology, Edited by Macneil, J.B., and Humphres, G.J., D. Reidel, Hingham, MA, pp. 149–160.
- Yoon, J. H., and S. W., Yeh. (2009). “Study of the Relationship between the East Asian Marginal SST and the Two Different Types of El Niño”, *Ocean and Polar Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 51–61 (in Korean).
- Yoon, S. K., J. S. Kim, J. H. Lee, and Y. I. Moon, 2013: Hydrometeorological variability in the Korean Han River Basin and its sub-watersheds during different El Niño phases. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 27, 1465–1477.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, and H. H. Kwon. (2013). “Different Impacts of the Two Phases of El Niño on Variability of Warm Season Rainfall and Frequency of Extreme Events over the Han River Basin.” *J. Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 46, No. 2, pp. 123–137 (in Korean).
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, and Y. I. Moon. (2014). Integrated flood risk analysis in a changing climate: A case study from the Korean Han River Basin, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 1563–1571.

## 부 록

### 1. 설문조사서



# 『중장기 통합홍수위험 예측 및 평가 기술개발』 항목별 중요도 결정 설문조사

2016. 9.





### (1) 설문지의 목적

본 설문은 “증장기 통합홍수위험 예측 기술개발 및 평가”를 위하여 도출한 통합홍수위험도(IFRI, Integrated Flood Risk Index) 항목별 우선순위의 중요도(Weighting Factor)를 결정하기 위한 것입니다.

### (2) 연구의 목적

본 연구는 통계·역학 모형을 통하여 예측된 수문정보의 지자체 활용을 목적으로 증장기 통합 홍수위험도 평가를 위한 프레임워크(Framework)를 개발하고, 다기준의 사결정기법(MCDA, Multi-Criteria Decision Making Analysis)을 통한 홍수위험 평가의 우선순위를 종합적으로 결정하여 중요도를 수치화하기 위함입니다.

### (3) 설문자 이력사항

|     |  |        |  |
|-----|--|--------|--|
| 성 명 |  | 소 속    |  |
| 직 위 |  | E-mail |  |

### (4) 설문 시 유의사항

- 설문대상자께서는 두 평가항목의 상대적인 중요도를 판단하여 점수(⑤~1/⑤점)을 체크해주시기 바랍니다.
- 두 평가항목을 비교하여 중요도가 동등하다고 생각하실 경우에는 평가점수를 ①점으로 체크하여 주시기 바랍니다.
- 본 연구에서 선정한 증장기 통합홍수위험 평가 지표는 Page.2 <별첨1>을 참고하시기 바랍니다.

- 본 설문지의 작성시간은 **약 10분 정도 소요** 될 것이며, 귀하의 적극적인 협조를 부탁드립니다.
- 설문에 응해 주신 분께는 소정의 문화상품권(1만원권)을 선물로 증정해 드리도록 하겠습니다.
- 설문지는 2016년 **9월 9일(금)까지** 제출해 주시기 바랍니다.

\* 설문자 이력사항 및 설문조사에 따른 결과는 통계법 제8·9조에 의거하여 연구 이외의 목적으로는 사용하지 않습니다.

|      |                                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 연구기관 | APEC기후센터( <a href="http://www.apcc21.org">www.apcc21.org</a> )                                        |
| 담당자  | 윤선권 선임연구원                                                                                             |
| 연락처  | T.051-745-3990, Fax: 051-745-3999<br>E-mail: <a href="mailto:skyoon@apcc21.org">skyoon@apcc21.org</a> |
| 주소   | 부산광역시 해운대구 센텀7로 12, 우)48058                                                                           |

## 별첨 1. 중장기 통합홍수위험 평가지표

- 위험도(Risk)=위해성(Hazard)+노출성(Exposure)+취약성(Vulnerability)  
(출처: The World Bank, 2013, A global urban risk index, p. 8)
- IFRI (Integrated Flood Risk Index)=f(Hazard, Exposure, Vulnerability)

$$IFRI = \sum_{i=1}^l (h_i \times H_i) + \sum_{j=1}^m (e_j \times E_j) + \sum_{k=1}^n (v_k \times V_k)$$

- 통합홍수위험지수(IFRI) 평가지표 산정

| 목표지표                   | 대표지표                   | 중간지표           | 세부지표                        |
|------------------------|------------------------|----------------|-----------------------------|
| 통합홍수<br>위험지수<br>(IFRI) | 위해성<br>(Hazard)        | 수문/기상학적<br>위해성 | 일 최대 강수량                    |
|                        |                        |                | 일 강수량 80mm이상인 날의 횟수         |
|                        |                        |                | 시간당 강수량 30mm이상인 횟수          |
|                        |                        |                | 100년 빈도 시간당 강수량             |
|                        |                        | 기후예측정보<br>위해성  | 통계모형 예측 값                   |
|                        |                        |                | APCC MME <sup>6)</sup> 예측 값 |
|                        |                        |                | ENSO <sup>7)</sup> 예측 값     |
|                        | 노출성<br>(Exposure)      | 상습침수지역<br>노출성  | 10m이하 저지대 면적                |
|                        |                        |                | 10m이하 저지대 가구수               |
|                        |                        |                | 지역 평균 경사도                   |
|                        |                        | 홍수피해 노출성       | 홍수피해 인구수                    |
|                        |                        |                | 홍수로 인한 침수 면적                |
|                        |                        |                | 홍수로 인한 인명피해                 |
|                        | 취약성<br>(Vulnerability) | 사회-경제적 취약성     | 호우로 인한 홍수 피해액               |
|                        |                        |                | 인구밀도                        |
|                        |                        |                | 13세 이하 인구수                  |
|                        |                        |                | 65세 이상 인구수                  |
|                        |                        |                | 지역내 총생산(GRDP)               |
|                        |                        |                | 재정자립도                       |
|                        |                        | 홍수방어 취약성       | 저방면적비율                      |
|                        |                        |                | 하수도보급률                      |
|                        |                        |                | 배수펌프장용량                     |
|                        |                        |                | 인구당 공무원 수                   |
|                        |                        |                | 인구당 의료기관 수                  |

6) APCC MME: APEC기후센터([www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))에서 매월 전 지구 규모로 6개월 까지 생산·제공 하고 있는 다중모델앙상블(MME, Multi Model Ensemble) 기후예측 정보

7) ENSO (El Niño-Southern Oscillation): 열대 태평양 지역(Niño1, 2, 3, 3.4, 4 등)에서 매월 관측되고 있는 해수면온도 관련 지수로서 엘니뇨/라니냐 등 대규모 기후변동현상을 판단할 수 있으며, 전 지구 기후시스템에 영향을 주어 원격상관기반 중·장기 기후예측에 활용되고 있는 주요인자임

## 설문자 인적사항

1. 귀하의 성별은 어떻게 되십니까?

- ① 남                      ② 여

2. 귀하의 연령대는 어떻게 되십니까?

- ① 20대                  ② 30대                  ③ 40대                  ④ 50대                  ⑤ 60대 이상

3. 귀하의 최종학력은 어떻게 되십니까?

- ① 학사                  ② 석사(과정포함)                  ③ 박사(과정포함)                  ④ 기타(        )

4. 귀하가 근무하고 계신 기관은 어떻게 되십니까?

- ① 중앙/지방정부                  ② 대학교                  ③ 연구기관                  ④ 공기업                  ⑤ 민간기업  
⑥ 기타(        )

5. 귀하의 주요 담당 업무는 어떻게 되십니까? (한 가지만 선택)

- ① 물관리(이수)                  ② 홍수(차수)                  ③ 수질/생태(환경)                  ④ 재난관리(물관련)                  ⑤ 기타(        )

6. 귀하의 근무/경력 기간은 어떻게 되십니까?

- ① 3년 미만                  ② 3년~5년 미만                  ③ 5년~10년 미만                  ④ 10년~20년 미만                  ⑤ 20년 이상

## 중·장기(1~6개월) 기후예측 정보<sup>8)</sup> 활용성

1. 귀하는 중·장기 기후예측 정보에 대해 알고 계십니까?

- ① 예                      ② 아니오

2. 귀하는 중·장기 기후예측 정보를 사용한 경험이 있으십니까?

- ① 예                      ② 아니오

3. (2번 항목에서 “예”를 선택한 경우) 기후예측 정보를 사용하신 경험이 있다면, 어떤 분야입니까?

- ① 이수(가뭄)              ② 차수(홍수)              ③ 환경(수질/생태)              ④ 재난재해(물관련)              ⑤ 기타(        )

4. 기후예측 정보의 활용 가능성이 높은 분야는 어디라고 생각하십니까?

- ① 이수(가뭄)              ② 차수(홍수)              ③ 환경(수질/생태)              ④ 재난재해(물관련)              ⑤ 기타(        )

5. 귀하는 기후예측 정보 제공시 가장 우선적으로 고려되어야 할 점은 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 신뢰도                      ② 접근성                      ③ 사용자편의성                      ④ 의사결정 지원성                      ⑤ 기타(        )

6. 귀하는 중·장기 홍수위험예측 정보 활용을 위한 선행예측시간(Lead Time)은 언제가 적합하다고 생각하십니까?

- ① 1개월                      ② 2개월                      ③ 3개월                      ④ 6개월                      ⑤ 기타(        )

8) 중·장기 기후예측 정보: 전 세계 기후예측 기관 및 기상청([www.kma.kr](http://www.kma.kr)), APEC기후센터([www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))에서 다양한 기후예측모형을 통하여 예측한 기후정보를 최장 6개월까지 서비스하고 하고 있으며, 이를 활용한 기후응용분야(수문, 농업 등)의 다양한 접근이 가능함

7. 신뢰성 있는 중·장기 홍수위험예측 정보가 제공된다면 귀하의 연구 및 의사결정 분야에 도움이 될 것이라고 생각하십니까?

- ① 매우 그렇다      ② 그렇다      ③ 보통이다      ④ 아니다      ⑤ 매우 아니다

8. 지자체 단위로 홍수위험예측 정보가 매월 Outlook 형태로 제공된다면, 활용하실 의사가 있습니까?

- ① 매우 그렇다      ② 그렇다      ③ 보통이다      ④ 아니다      ⑤ 매우 아니다

## 우선순위 중요도 평가

### (예시)

다음은 본인이 인생을 살아가는데 있어 '돈'과 '명예'와 '사랑'중 어떠한 것이 더 중요한지 평가하시오.

| 평가<br>지표 | 좌측 평가지표가 더 중요 ← ————— → 우측 평가지표가 더 중요 |    |    |    |    |      |      |      |          | 평가<br>지표 |
|----------|---------------------------------------|----|----|----|----|------|------|------|----------|----------|
|          | 매우<br>중요                              |    | 중요 |    | 동등 |      | 중요   |      | 매우<br>중요 |          |
|          | 5점                                    | 4점 | 3점 | 2점 | 1점 | 1/2점 | 1/3점 | 1/4점 | 1/5점     |          |
| 돈        |                                       | ✓  |    |    |    |      |      |      |          | 명예       |
|          |                                       |    |    |    | ✓  |      |      |      |          | 사랑       |
| 명예       |                                       |    |    |    |    |      | ✓    |      |          | 사랑       |

### (평가 시작)

#### 1. 대표지표

다음은 중장기 통합홍수위험도 평가기준 중 대표지표간의 중요도 평가 내용입니다.  
2개 평가지표의 상대적인 중요도를 평가하여 점수박스에 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

| 대표지표 | 의 미                                                                                            |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 위해성  | ○ <b>홍수를 유발할 수 있는 물리적 위험요소</b> 를 의미함. 위해성을 반영할 수 있는 대표지표는 수문/기상학적 위해성 요소와 기후예측정보 위해성 요소로 구분하였음 |
| 노출성  | ○ <b>홍수위험에 노출된 정도</b> 를 의미함. 노출성을 반영할 수 있는 대표지표는 상습침수지역 노출성 요소와 홍수피해 노출성 요소로 구분하였음             |
| 취약성  | ○ <b>사회-경제적으로 홍수방어에 취약한 정도</b> 를 의미함. 취약성을 반영할 수 있는 대표지표는 사회-경제적 취약성 요소와 홍수방어 취약성 요소로 구분하였음    |









## 2. 기후예측정보 위해성

다음은 위해성 항목 중 기후예측정보 위해성 세부지표간의 중요도 평가 내용입니다.  
2개 평가지표의 상대적인 중요도를 평가하여 점수박스에 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

| 중간지표             | 의 미                                                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 통계모형<br>예측 값     | ○ <u>추계예측 모형을 통하여 예측되는 월별 강수량/유출량 정보</u> 를 의미하며, 값이 클수록 홍수발생 위해성이 큼                                                                        |
| APCC MME<br>예측 값 | ○ <u>APEC기후센터(www.apcc21.org)의 다중모델앙상블(MME, Multi Model Ensemble) 기후 예측 정보</u> 를 의미하며, 매월 전 지구 규모로 6개월 까지 생산·제공 하고 있음. 값이 클수록 홍수발생 위해성이 큼  |
| ENSO<br>예측 값     | ○ <u>열대 태평양 지역</u> 에서 매월 관측되고 있는 <u>해수면온도 관련 지수</u> 로서 엘니뇨/라니냐 등 대규모 기후변동현상을 판단할 수 있으며, 전 지구 기후시스템에 영향을 주어 원격상관기반 중·장기 기후예측에 활용되고 있는 주요인자임 |

| 평가<br>지표         | 좌측 평가지표가 더 중요 ← ————— → 우측 평가지표가 더 중요 |    |    |    |    |      |      |      |          | 평가<br>지표         |
|------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|------|------|------|----------|------------------|
|                  | 매우<br>중요                              |    | 중요 |    | 동등 |      | 중요   |      | 매우<br>중요 |                  |
|                  | 5점                                    | 4점 | 3점 | 2점 | 1점 | 1/2점 | 1/3점 | 1/4점 | 1/5점     |                  |
| 통계모형<br>예측 값     |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | APCC MME<br>예측 값 |
|                  |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | ENSO 예측 값        |
| APCC MME<br>예측 값 |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | ENSO 예측 값        |

## 3. 상습침수지역 노출성

다음은 노출성 항목 중 상습침수지역 노출성 세부지표간의 중요도 평가 내용입니다.  
2개 평가지표의 상대적인 중요도를 평가하여 점수박스에 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

| 중간지표             | 의 미                                                                                                  |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10m이하<br>저지대 면적  | ○ 하천 제방이 넘치는 홍수가 오거나 짧은 시간에 많은 비가 내릴 경우 내수배제가 어려워져, 10m이하 저지대는 물에 잠길 가능성이 높아, 홍수발생위험 노출성이 큼          |
| 10m이하<br>저지대 가구수 | ○ 하천 제방이 넘치는 홍수가 오거나 짧은 시간에 많은 비가 내릴 경우 내수배제가 어려워져, 10m이하 저지대에 분포하는 가구는 물에 잠길 가능성이 높아, 홍수발생위험 노출성이 큼 |
| 지역 평균<br>경사도     | ○ 지역 평균 경사가 클수록 강우로 인한 유출의 속도가 증가하므로 홍수발생위험 노출성이 큼                                                   |

| 평가<br>지표         | 좌측 평가지표가 더 중요 ← ————— → 우측 평가지표가 더 중요 |    |    |    |    |      |      |      |          | 평가<br>지표         |
|------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|------|------|------|----------|------------------|
|                  | 매우<br>중요                              |    | 중요 |    | 동등 |      | 중요   |      | 매우<br>중요 |                  |
|                  | 5점                                    | 4점 | 3점 | 2점 | 1점 | 1/2점 | 1/3점 | 1/4점 | 1/5점     |                  |
| 10m이하<br>저지대 면적  |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 10m이하<br>저지대 가구수 |
|                  |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 지역 평균<br>경사도     |
| 10m이하<br>저지대 가구수 |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 지역 평균<br>경사도     |

#### 4. 홍수피해 노출성

다음은 노출성 항목 중 홍수피해 노출성 세부지표간의 중요도 평가 내용입니다. 2개 평가지표의 상대적인 중요도를 평가하여 점수박스에 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

| 중간지표             | 의 미                                                   |
|------------------|-------------------------------------------------------|
| 홍수피해<br>인구수      | ○ 과거 홍수피해 인구수가 큰 지역은 홍수피해 노출성이 크다고 판단할 수 있음           |
| 홍수로 인한<br>침수 면적  | ○ 과거 홍수로 인한 침수피해 면적이 큰 지역은 홍수피해 노출성이 크다고 판단할 수 있음     |
| 홍수로 인한<br>인명피해   | ○ 과거 홍수로 인한 인명피해(사망자 수)가 큰 지역은 홍수피해 노출성이 크다고 판단할 수 있음 |
| 호우로 인한<br>홍수 피해액 | ○ 과거 홍수 피해액이 큰 지역일수록 홍수피해 노출성이 크다고 판단할 수 있음           |

| 평가<br>지표       | 좌측 평가지표가 더 중요 ← ————— → 우측 평가지표가 더 중요 |    |    |    |    |      |      |      |          | 평가<br>지표        |
|----------------|---------------------------------------|----|----|----|----|------|------|------|----------|-----------------|
|                | 매우<br>중요                              |    | 중요 |    | 동등 |      | 중요   |      | 매우<br>중요 |                 |
|                | 5점                                    | 4점 | 3점 | 2점 | 1점 | 1/2점 | 1/3점 | 1/4점 | 1/5점     |                 |
| 홍수피해<br>인구수    |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 홍수로 인한<br>침수면적  |
|                |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 홍수로 인한<br>인명피해  |
|                |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 호우로 인한<br>홍수피해액 |
| 홍수로 인한<br>침수면적 |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 홍수로 인한<br>인명피해  |
|                |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 호우로 인한<br>홍수피해액 |
| 홍수로 인한<br>인명피해 |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 호우로 인한<br>홍수피해액 |

## 5. 사회-경제적 취약성

다음은 취약성 항목 중 사회-경제적 취약성 세부지표간의 중요도 평가 내용입니다.  
2개 평가지표의 상대적인 중요도를 평가하여 점수박스에 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

| 중간지표             | 의 미                                                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 인구밀도             | ○ <u>1평방킬로미터당 인구수</u> 를 의미하며, 값이 클수록 상대적으로 홍수에 의한 피해가 커질 수 있음                            |
| 13세 이하<br>인구수    | ○ <u>인구분포 중 13세 이하 인구를 의미</u> 하며, 값이 클수록 상대적으로 홍수에 의한 피해가 커질 수 있음                        |
| 65세 이상<br>인구수    | ○ <u>인구분포 65세 이상 인구를 의미</u> 하며, 중 거동이 불편할 수 있는 고령의 나이 인구수가 많을수록 상대적으로 홍수에 의한 피해가 커질 수 있음 |
| 지역내<br>총생산(GRDP) | ○ 지역내 총생산이 높을수록 홍수 대비 및 그로 인한 피해가 발생했을 때 대처할 수 있는 능력이 클 것으로 판단됨                          |
| 재정자립도            | ○ 재정자립도가 높을수록 홍수 대비 및 그로 인한 피해가 발생했을 때 빠르게 대처할 수 있는 능력이 클 것으로 판단됨                        |

| 평가<br>지표          | 좌측 평가지표가 더 중요 ◀ ————— ▶ 우측 평가지표가 더 중요 |    |    |    |    |      |      |      |          | 평가<br>지표          |
|-------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|------|------|------|----------|-------------------|
|                   | 매우<br>중요                              |    | 중요 |    | 동등 |      | 중요   |      | 매우<br>중요 |                   |
|                   | 5점                                    | 4점 | 3점 | 2점 | 1점 | 1/2점 | 1/3점 | 1/4점 | 1/5점     |                   |
| 인구밀도              |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 13세 이하<br>인구수     |
|                   |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 65세 이상<br>인구수     |
|                   |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 지역내 총생산<br>(GRDP) |
|                   |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 재정자립도             |
| 13세 이하<br>인구수     |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 65세 이상<br>인구수     |
|                   |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 지역내 총생산<br>(GRDP) |
|                   |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 재정자립도             |
| 65세 이상<br>인구수     |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 지역내 총생산<br>(GRDP) |
|                   |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 재정자립도             |
| 지역내 총생산<br>(GRDP) |                                       |    |    |    |    |      |      |      |          | 재정자립도             |

## 6. 홍수방어 취약성

다음은 취약성 항목 중 **홍수방어 취약성 세부지표간의 중요도 평가** 내용입니다. 2개 평가지표의 상대적인 중요도를 평가하여 점수박스에 체크(✓) 해주시기 바랍니다.

| 중간지표            | 의 미                                                                                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 제방면적비율          | ○ <b>지역별 하천의 제방 개수율(%)</b> 을 의미하며, 제방면적비율이 높을수록 홍수방어 취약성이 낮아질 것으로 예상됨                                |
| 하수도보급률          | ○ 하수도보급률에 따라 우수배제를 위해 관리할 수 있는 수량이 달라지므로, 보급률이 클수록 홍수위험 취약성이 낮아질 것으로 예상됨                             |
| 배수펌프장<br>용량     | ○ 내수배제시설에 해당하는 <b>배수펌프장의 배수능력</b> 을 의미하며, 용량이 클수록 홍수위험 취약성이 낮아질 것으로 예상됨                              |
| 인구당 공무원 수       | ○ <b>인구 일만명당 공무원 수</b> 를 의미하며, 인구당 공무원 수가 높을수록 홍수 피해에 대비하고 빠르게 대처할 수 있는 능력이 커서 홍수방어 취약성이 낮아질 것으로 예상됨 |
| 인구당<br>응급의료기관 수 | ○ 홍수 발생시 인명피해 저감과 수인성질환 피해 저감 등 2차 피해 예방을 위하여 의료 인프라가 중요한 역할을 할것으로 예상됨                               |



- 중장기 통합홍수위험지수(IFRI) 및 가중치(Weighting Factor) 산정에 대한 의견  
이 있으시다면 작성해주시기 바랍니다.

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

바쁘신 중에도 귀한 시간을 내어 설문조사에 응해주셔서 정말 감사드립니다. 귀하의 소중한 의견은 향후 지자체 별 중장기 통합흡수위험지수 예측의 기준치 산정과 우선순위 평가에 활용하도록 하겠습니다. 설문에 응해 주셔서 대단히 감사합니다.

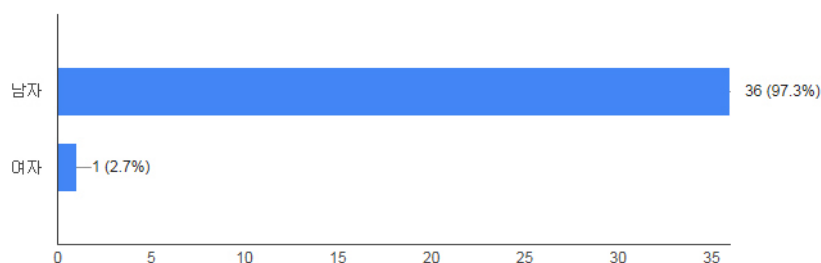




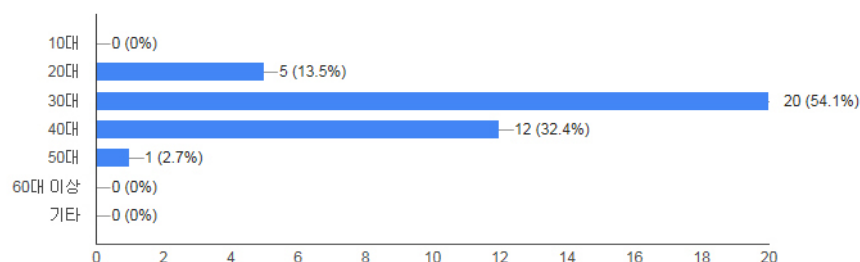
## 2. 설문조사 결과 통계분석

### 〈 설문자 인적사항 〉

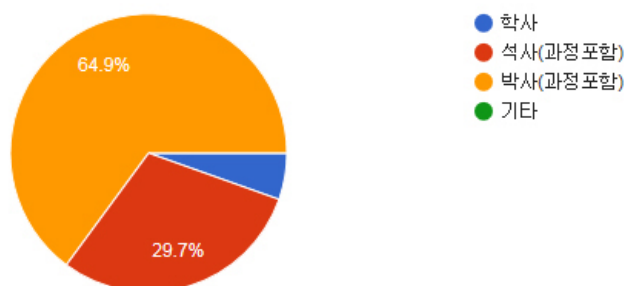
#### 1. 귀하의 성별은 무엇입니까?



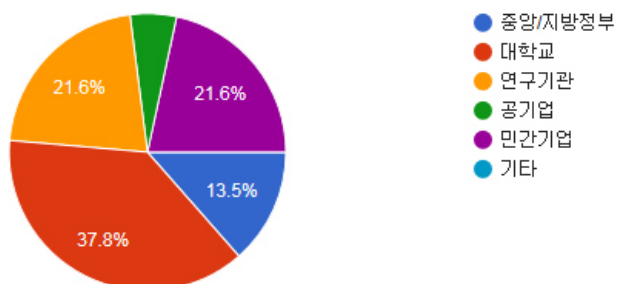
#### 2. 귀하의 연령은 어떻게 되십니까?



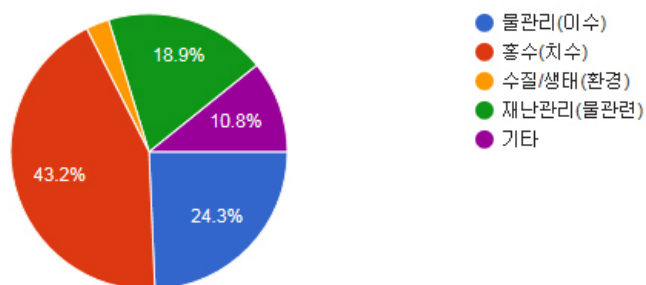
#### 3. 귀하의 최종학력은 어떻게 되십니까?



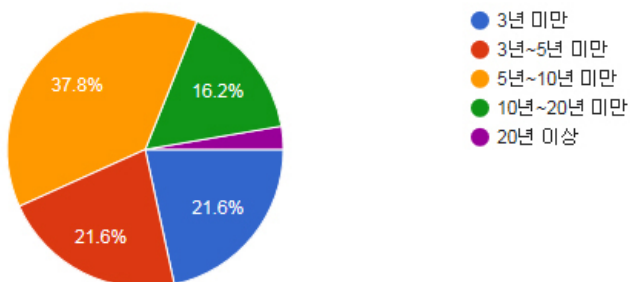
#### 4. 귀하가 근무하고 계신 기관은 어떻게 되십니까?



#### 5. 귀하의 주요 담당 업무는 어떻게 되십니까(한 가지만 선택)?

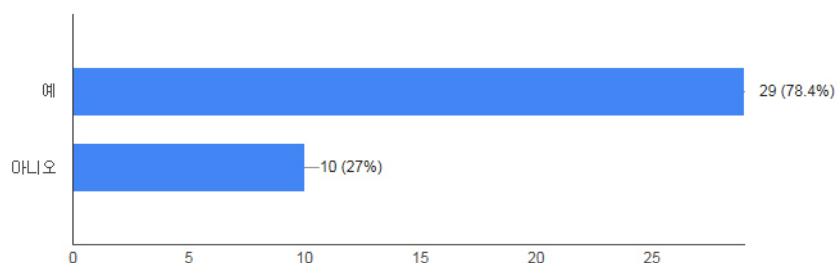


#### 6. 귀하의 근무/경력 기간은 어떻게 되십니까?

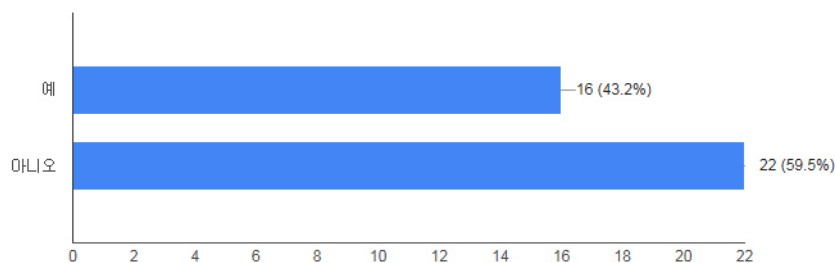


## 〈중장기 기후예측정보 활용성 설문조사 결과〉

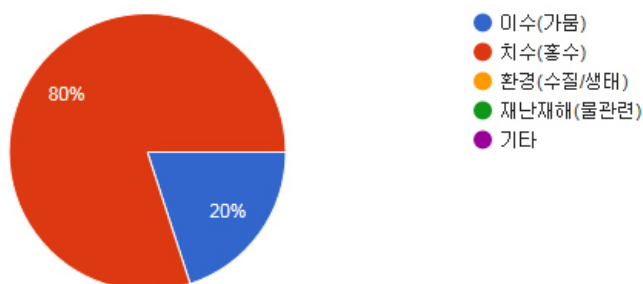
1. 귀하는 중·장기 기후예측 정보에 대해 알고 계십니까?



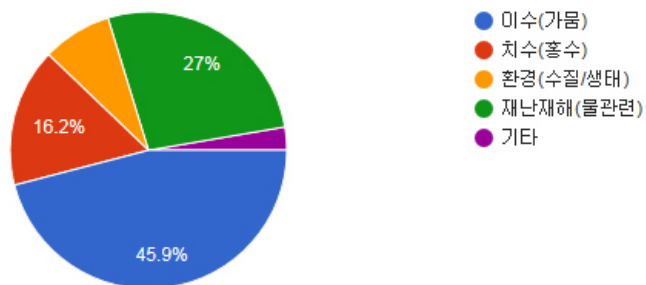
2. 귀하는 중·장기 기후예측 정보를 사용한 경험이 있으십니까?



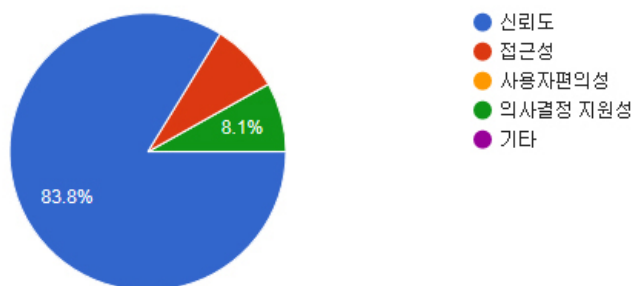
3. (2번 항목에서 “예”를 선택한 경우) 중·장기 기후예측 정보를 사용하신 경험이 있다면, 어떤 분야입니까?



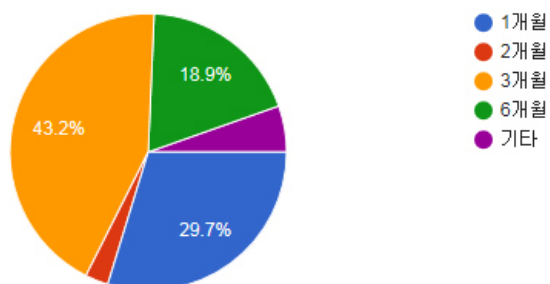
4. 다음 중 중·장기 기후예측 정보의 활용 가능성이 높은 분야는 어디라고 생각하십니까?



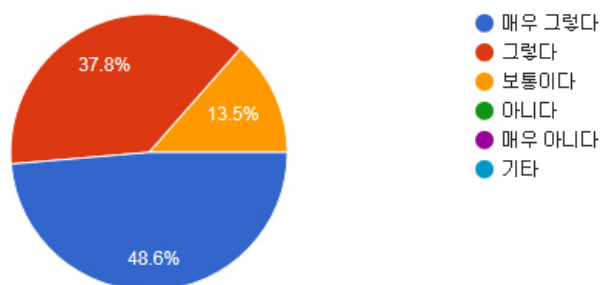
5. 귀하는 중·장기 기후예측 정보 제공시 가장 우선적으로 고려되어야할 점은 무엇이라고 생각하십니까?



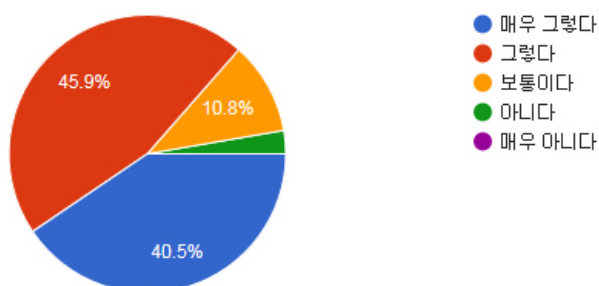
6. 귀하는 중·장기 홍수위험예측 정보 활용을 위한 선행예측시간(Lead Time)은 언제가 적합하다고 생각하십니까?



7. 신뢰성 있는 중·장기 홍수위험예측 정보가 제공된다면 귀하의 연구 및 의사결정 분야에 도움이 될 것이라고 생각하십니까?

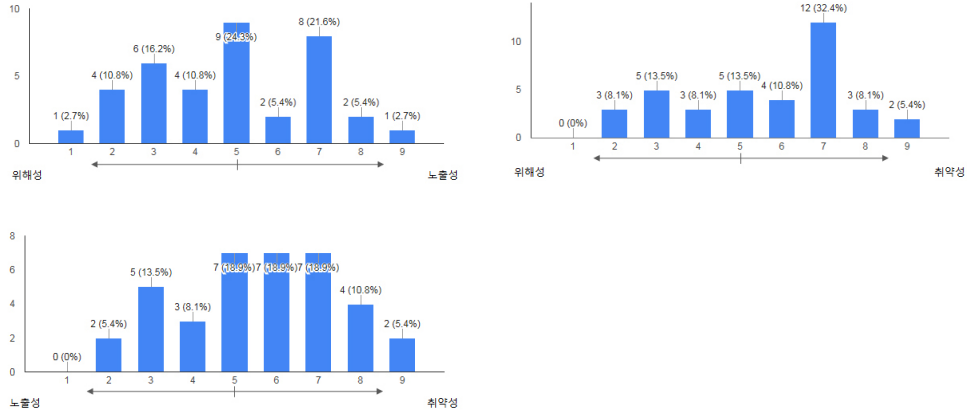


8. 지자체 단위로 홍수위험예측 정보가 매월 Outlook 형태로 제공된다면, 활용하실 의사가 있습니까?

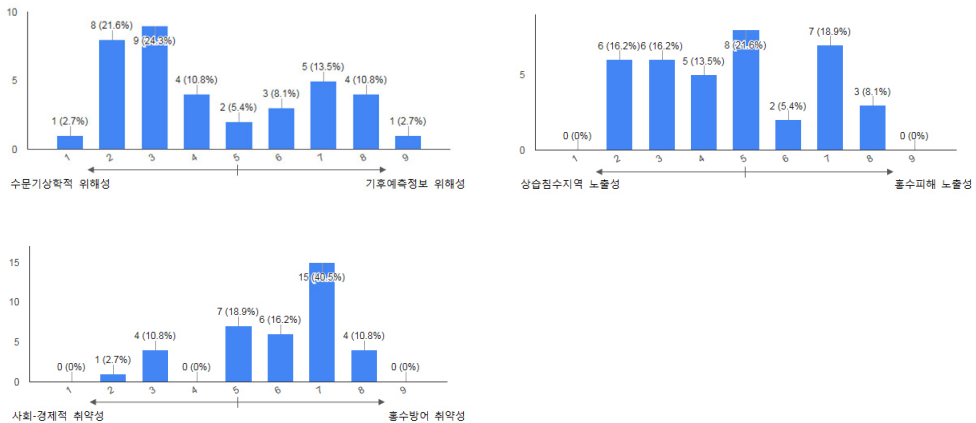


## 〈 평가지표 항목별 중요도 결정 설문조사 결과〉

### 1. 대표지표 간 중요도 평가결과

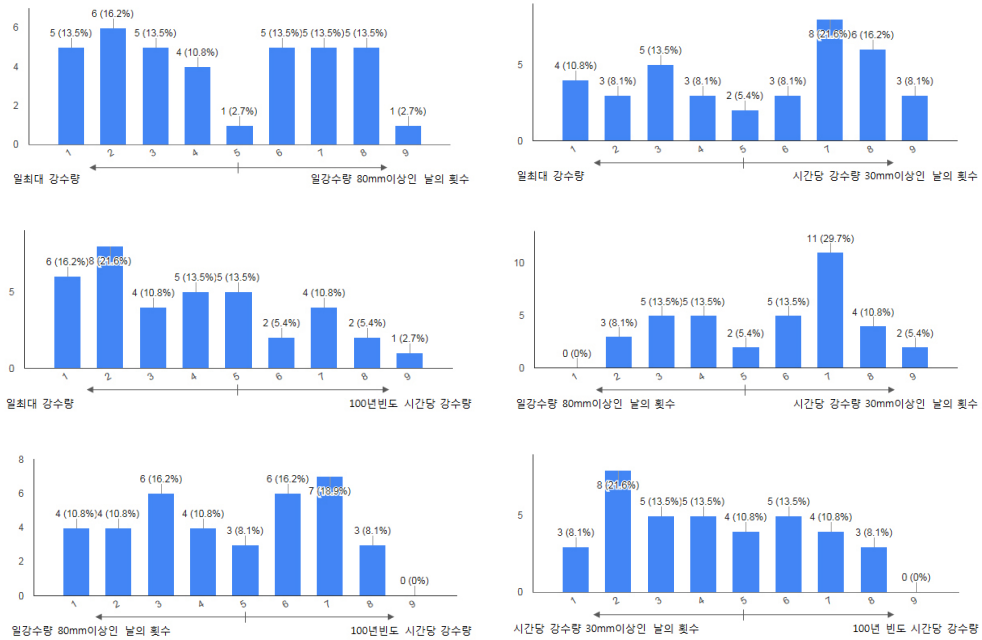


### 2. 중간지표 간 중요도 평가결과

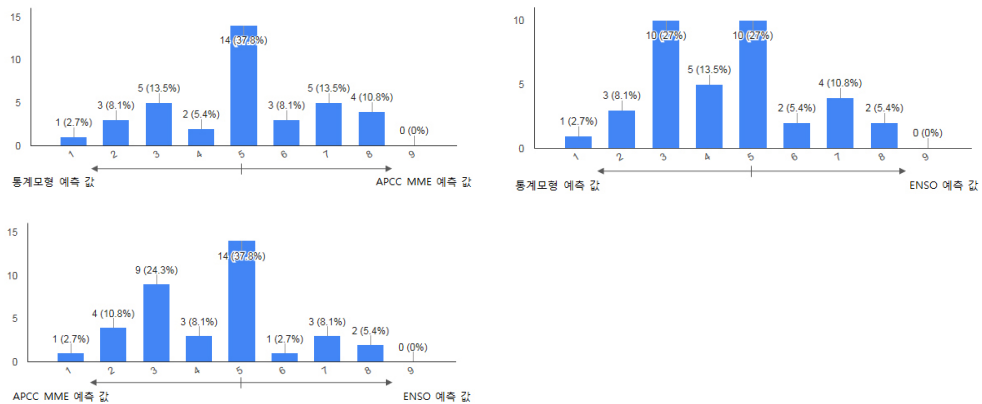


### 3. 세부지표 간 중요도 평가결과

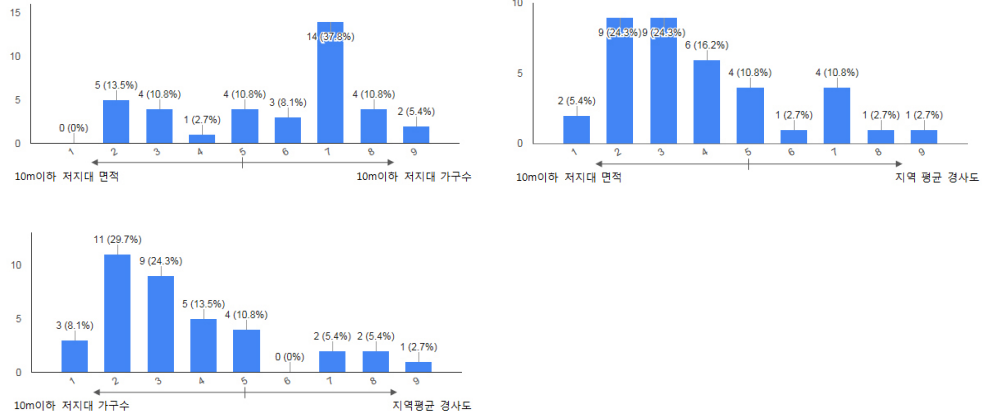
#### 3.1 수문기상학적 위해성



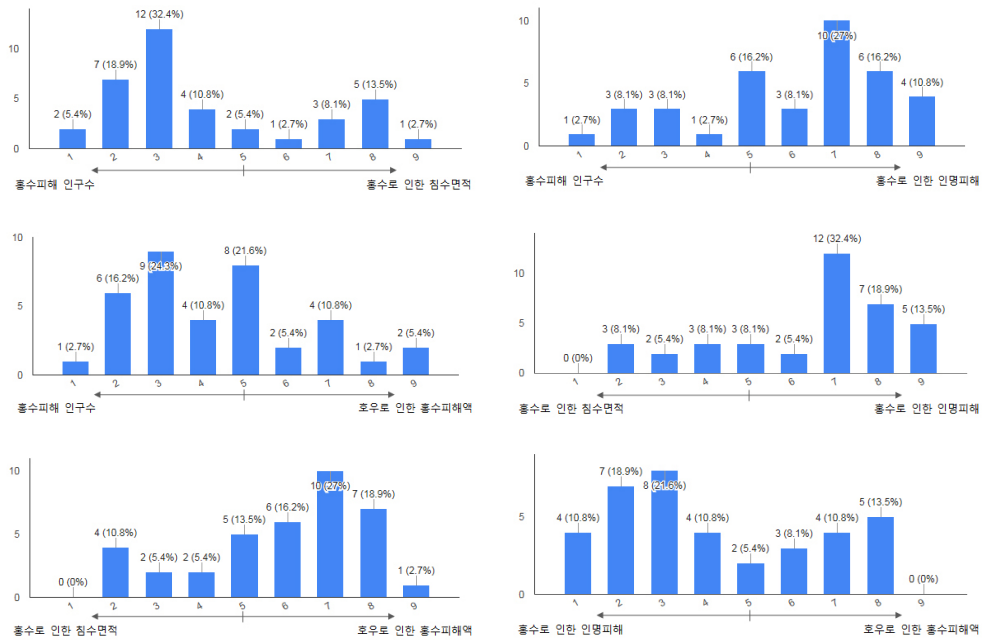
#### 3.2 기후예측정보 위해성



### 3.3 상습침수지역 노출성

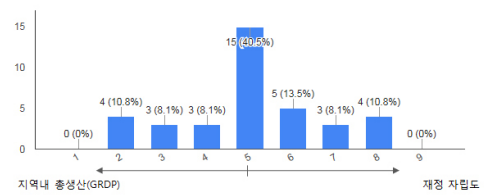
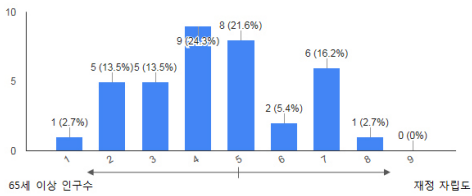
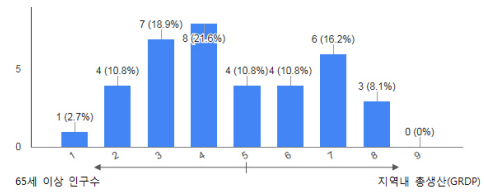
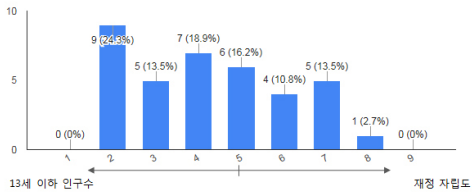
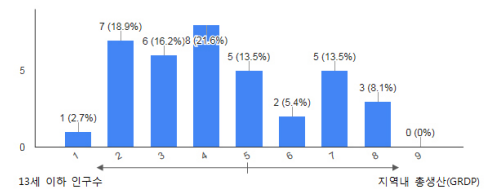
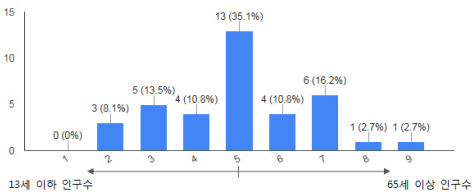
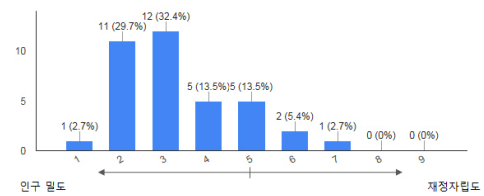
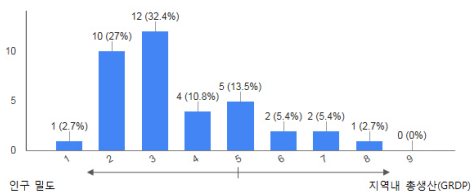
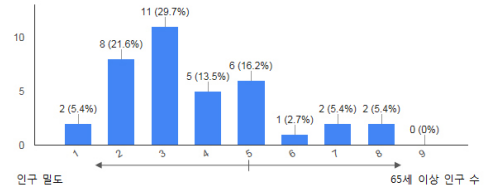
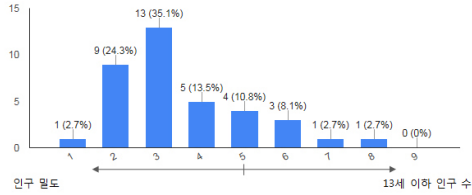


### 3.4 홍수피해 노출성

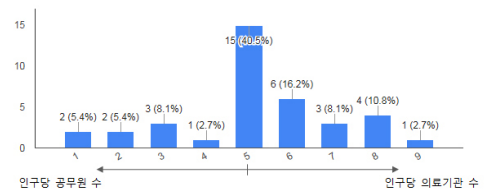
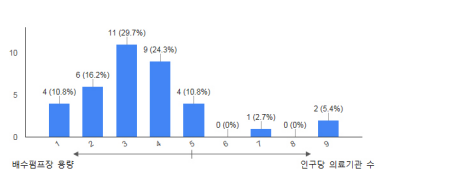
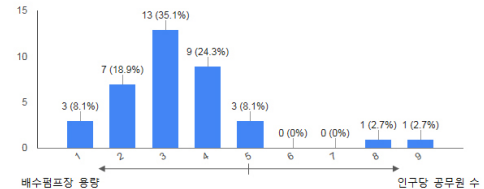
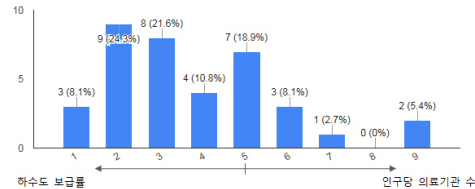
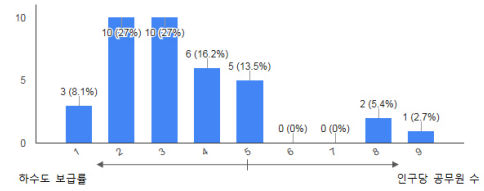
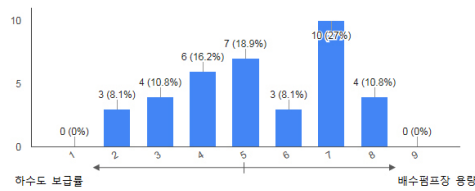
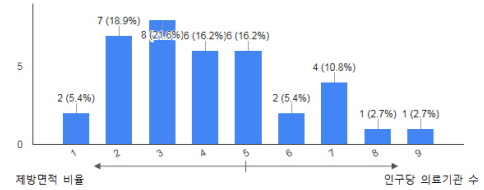
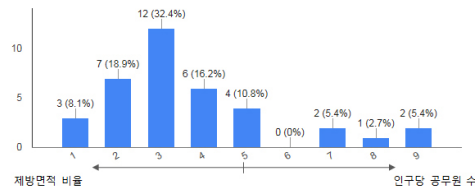
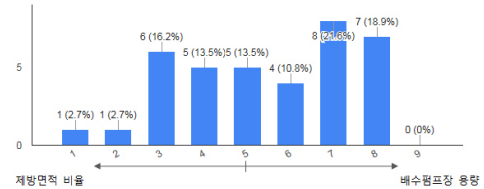
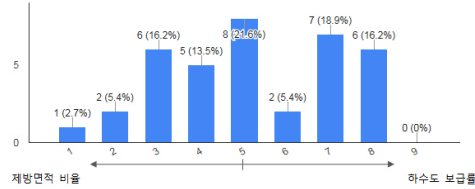




### 3.5 사회-경제적 취약성



### 3.6 홍수방어 취약성



### 3. 지표관련 자료출처

#### 〈위해성(HAZARD)관련 지표〉

##### □ 수문/기상학적 위해성 지표

##### ○ 일 최대 강수량(단위: mm/d)

기상청(<http://www.kma.go.kr/>)의 전국 74개 종관기상관측장비(ASOS; Automated Surface Observation System)에서 관측된 일단위 강수량 자료로부터 매년 일최대 강수량을 추출하여 평균한 값을 사용하였다.

\* 자료출처: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosList.do?pgmNo=34>

##### ○ 일 강수량 80mm이상인 날의 횟수(단위: 회)

기상청의 전국 74개 종관기상관측장비(ASOS; Automated Surface Observation System)에서 관측된 일단위 강수량 자료로부터 매년 일 강수량이 80mm이상인 날을 추출하여 관측기간으로 평균한 값을 사용하였다.

\* 자료출처: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosList.do?pgmNo=34>

##### ○ 시간당 강수량 30mm이상인 횟수(단위: 회)

기상청의 전국 74개 종관기상관측장비(ASOS; Automated Surface Observation System)에서 관측된 시간 강수량 자료로부터 매년 30mm/h이상 강수량이 발생한 횟수를 추출하여 관측기간으로 평균한 값을 사용하였다.

\* 자료출처: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosList.do?pgmNo=34>

### ○ 100년 빈도 시간당 강수량(단위: mm/h)

기상청의 전국 74개 종관기상관측장비(ASOS: Automated Surface Observation System)에서 관측된 시간당 강수량 자료를 수집하여 연최대치 강수량 계열을 추출한 후 빈도해석을 수행하여 시간당 100년빈도에 해당하는 강수량 값을 산정하였다. 여기서 사용된 분포형은 Gumbel이며, 매개변수 추정방법은 PWM(Probability Weighted Moments)을 사용하였다.

\* 자료출처: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosList.do?pgmNo=34>

## □ 기후예측정보 위해성 지표

### ○ 통계모형 예측 값

본 연구에서 개발한  $AR(p)$ ,  $ARMA(p,q)$ ,  $ARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q)$ ,  $VAR(p)$ 모형을 통하여 시계열 예측을 실시한 월별 강우예측 정보를 사용하였다.

### ○ APCC MME 예측 값

APEC기후센터([www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))의 Seasonal Forecast 6개월 전망 한반도 강우 예측자료를 활용하였다.

\* 자료출처: <http://www.apcc21.net/ser/outlook.do?lang=en>

### ○ ENSO 예측 값

해수면온도 관측자료는 미국 NOAA(National Oceanic & Atmospheric Administration)에서 제공하는 Nino1+2, Nino3, Nino3.4, Nino4 지역의 매월 관측 자료를 사용하였다.

역학모델결과: APEC기후센터([www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))에서 제공하는 APCC MME 계절 예측 결과를 사용하였다.

통계모형결과: 본 연구에서 개발한 AR(p), ARMA(p,q), VAR(p)모형을 통하여 시계열 예측을 실시한 정보를 사용하였다.

\* 자료출처: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/#Nina3>

## 〈 노출성(EXPOSURE)관련 지표〉

### □ 상습침수지역 노출성 지표

#### ○ 10m이하 저지대 면적(단위: km<sup>2</sup>)

환경부(<http://www.me.go.kr/>)에서 기후변화 적응 및 취약성평가를 위하여 만든 GIS기반 기후변화 적응도구(CCGIS: Climate Change Adaptation Toolkit Based on GIS)의 지자체별 10m이하 저지대 면적 자료를 이용하였다.

#### ○ 10m이하 저지대 가구(단위: 세대)

환경부에서 기후변화 적응 및 취약성평가를 위하여 만든 GIS기반 기후변화 적응도구(CCGIS)의 지자체별 10m이하 저지대 면적 자료를 이용하였다.

#### ○ 지역평균 지형고도(단위: m)

환경부에서 기후변화 적응 및 취약성평가를 위하여 만든 GIS기반 기후변화 적응도구(CCGIS)의 지자체별 10m이하 저지대 면적 자료를 이용하였다.

### □ 홍수피해 노출성 지표

국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS, Water Resources Management Information System)에서 1971년부터 2010년까지 제공하고 있는 자연재해 항목 중 전국 행정구역별 홍수피해 현황 기록 자료를 활용하였다.

\* 자료출처: [http://www.wamis.go.kr/wkf/wkf\\_fddamaa\\_lst.aspx](http://www.wamis.go.kr/wkf/wkf_fddamaa_lst.aspx)

○ **홍수피해 인구수(단위: 명)**

WAMIS에서 조사된 전국 행정구역별 홍수피해 현황 중 이재민 수의 합계 자료를 활용하였다.

○ **홍수로 인한 침수면적(단위: ha)**

WAMIS에서 조사된 전국 행정구역별 홍수피해 현황 중 침수면적의 합계 자료를 활용하였다.

○ **홍수로 인한 인명피해(단위: 명)**

WAMIS에서 조사된 전국 행정구역별 홍수피해 현황 중 인명피해의 합계 자료를 활용하였다.

○ **호우에 의한 총 피해액(단위: 천원)**

WAMIS에서 조사된 전국 행정구역별 홍수피해 현황 중 피해 총액의 합계 자료를 활용하였다.

### 〈 취약성(VULNERABILITY)관련 지표 〉

□ **사회-경제적 취약성 지표**

○ **인구밀도(단위: 명/Km<sup>2</sup>)**

우리나라 행정구역별 국토면적은 국토교통부 「지적통계연보」자료를 활용하였으며, 통계정의 국가지표체계의 2015년 자료를 사용하였다.

\* 자료출처: [http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=2728](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2728)

○ **13세 이하 인구(단위: 명)**

우리나라 시·군·구 행정구역상 인구는 행정자치부 인구통계 자료를 활용하였다. 총 인구 수는 2016년 9월 현재 자료를 사용하였으며, 13세 이하인구는 2015년

까지 인구통계자료를 바탕으로 지자체 별로 산정하였다.

\* 자료출처: [http://rcps.egov.go.kr:8081/jsp/stat/ppl\\_stat\\_jf.jsp](http://rcps.egov.go.kr:8081/jsp/stat/ppl_stat_jf.jsp)

#### ○ 65세 이상 인구(단위: 명)

우리나라 시·군·구 행정구역상 인구는 행정자치부 인구통계 자료를 활용하였다. 총 인구 수는 2016년 9월 현재 자료를 사용하였으며, 65세 이상인구는 2015년 까지 인구통계자료를 바탕으로 지자체 별로 산정하였다.

\* 자료출처: [http://rcps.egov.go.kr:8081/jsp/stat/ppl\\_stat\\_jf.jsp](http://rcps.egov.go.kr:8081/jsp/stat/ppl_stat_jf.jsp)

#### ○ 지역내 총생산(GRDP)(단위: 백만원)

지역내 총생산(Gross Regional Domestic Product : GRDP)은 시·도 단위별 생산, 소비, 물가 등 기초통계를 바탕으로 추계한 해당지역의 부가가치로서 시·도 단위의 종합경제지표를 의미한다. 지역내총생산(GRDP)은 사업장 단위로 추계하며, 생산측면의 부가가치로서 각 시·도내에서 경제활동별로 얼마만큼의 부가가치가 발생되었는가를 나타내는 지표이다.

2014년 기준으로 작성된 시도별 지역내 총생산 자료를 기준으로 시·군 구분 없이 균등하게 적용하였으며(현재 제공되는 자료가 시도별 자료까지임), 통계청 국가통계포털 사이트에서 제공되는 자료를 활용하였다.

\* 자료출처: [http://kostat.go.kr/portal/korea/kor\\_nw/2/12/2/index.board?bmode=read&bSeq=&aSeq=350562&pageNo=1&rowNum=10&navCount=10&currPg=&sTarget=title&sTxt=](http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/2/12/2/index.board?bmode=read&bSeq=&aSeq=350562&pageNo=1&rowNum=10&navCount=10&currPg=&sTarget=title&sTxt=)

#### ○ 재정자립도(단위: %)

재정자립도(financial independence rate)는 지방자치단체의 전체 재원에 대한 자주재원의 비율을 말한다. 지방자치단체의 자주재원으로는 지방세와 세외수입이 있으나, 우리나라의 경우 일부 대도시를 제외하고는 대부분의 기초자치단체의 재정자립도가 낮은 실정이다([네이버 지식백과] 재정자립도 [財政自立度, financial independence rate] (행정학사전, 2009. 1. 15., 대영문화사)). 산정공식은 다음과 같다.

$$\text{재정자립도}(\%) = \frac{\text{지방세} + \text{세외수입} - \text{지방채}}{\text{일반회계세입}} \times 100$$

행정자치부(www.mogaha.go.kr)발간 「2015년도 지방자치단체 통합재정 개요 (상, 하) -예산개요 및 기금운용 개요-, 발간등록번호: 11-1740000-000064-10」

\* 자료출처: [http://www.moi.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?jsessionId=nbHGZJkvEnQzwakYzja06VtaHZi11gHen66YR1xWmZSFcZCOzK0IDbEa4nO1SNj.mopwas52\\_servlet\\_engine1?bbsId=BBSMSTR\\_000000000012&nttlId=48075](http://www.moi.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?jsessionId=nbHGZJkvEnQzwakYzja06VtaHZi11gHen66YR1xWmZSFcZCOzK0IDbEa4nO1SNj.mopwas52_servlet_engine1?bbsId=BBSMSTR_000000000012&nttlId=48075)

## □ 홍수방어 취약성 지표

### ○ 제방면적비율(단위: ‰)

\* 환경부(<http://www.me.go.kr/>)에서 기후변화 적응 및 취약성평가를 위하여 만든 GIS기반 기후변화 적응도 구(CCGIS)의 지자체별 제방면적비율 산정 자료를 이용하였다.

### ○ 하수도 보급률(단위: ‰)

환경부에서 기후변화 적응 및 취약성평가를 위하여 만든 GIS기반 기후변화 적응 도구(CCGIS)의 지자체별 하수도보급률 자료를 이용하였다.

### ○ 배수펌프장 용량(단위: $m^3/\text{분}$ )

우리나라 지자체 별 배수펌프장 용량 자료는 환경부 하수도 통계자료를 이용하였다. 2014년 발행 자료가 가장 최신이며, 환경부디지털도서관에서 자료를 다운로드 받을 수 있다.

\* 자료출처: <http://library.me.go.kr/search/DetailView.ax?sid=11&cid=5609045>

### ○ 인구당 공무원 수(단위: 명/만명)

행정자치부(www.moi.go.kr) 「지방자치단체 공무원 인사통계 발간등록번호: 11-1312000-000016-10」자료의 시군구별 와 지자체별 인구 일만명당 공무원 수를 산정하였으며, 시군구별 지방자치단체 공무원 수는 2015.12.31. 현재자료를 기준으로 하였다.

\* 자료출처: [http://www.moi.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR\\_000000000014&nttlId=55240](http://www.moi.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000014&nttlId=55240)



○ 인구당 의료기관 수(단위: 개/백만명)

보건복지부 한국보건산업진흥원의 보건산업 통계자료를 통하여 산정하였다. 시도별 의료기관수(2013년 조사자료)

\* 자료출처: [https://www.khiss.go.kr/khidi/themestat/sublistThemeSubjectstat.jsp?htxt\\_code=12599056317038554276471450314736&uplist\\_id=358\\_E&list\\_id=358\\_EB](https://www.khiss.go.kr/khidi/themestat/sublistThemeSubjectstat.jsp?htxt_code=12599056317038554276471450314736&uplist_id=358_E&list_id=358_EB)

#### 4. 지자체 시군구별 티센 가중치 작성 결과

□ 우리나라 74개 ASOS기상관측소 지점을 기반으로 티센 폴리곤 네트워크를 구축한 후, 243개 시군구 지자체 폴리곤에 해당하는 기상관측소별 지배면적을 산정하여 가중치를 산정함

〈지자체 시군구별 티센 가중치 산정 결과〉

| 순번 | 행정구역       | 티센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     | 순번 | 행정구역       | 티센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     |
|----|------------|-----------|---------|-----|----|------------|-----------|---------|-----|
|    |            |           | ID      | 지점명 |    |            |           | ID      | 지점명 |
| 1  | 서울특별시 종로구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 34 | 부산광역시 해운대구 | 1.000     | 159     | 부 산 |
| 2  | 서울특별시 중구   | 1.000     | 108     | 서 울 | 35 | 부산광역시 금정구  | 1.000     | 159     | 부 산 |
| 3  | 서울특별시 용산구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 36 | 부산광역시 강서구  | 0.003     | 155     | 창 원 |
| 4  | 서울특별시 성동구  | 1.000     | 108     | 서 울 |    |            | 0.997     | 159     | 부 산 |
| 5  | 서울특별시 광진구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 37 | 부산광역시 연제구  | 1.000     | 159     | 부 산 |
| 6  | 서울특별시 동대문구 | 1.000     | 108     | 서 울 | 38 | 부산광역시 수영구  | 1.000     | 159     | 부 산 |
| 7  | 서울특별시 중랑구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 39 | 부산광역시 사상구  | 1.000     | 159     | 부 산 |
| 8  | 서울특별시 성북구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 40 | 부산광역시 기장군  | 0.616     | 159     | 부 산 |
| 9  | 서울특별시 강북구  | 1.000     | 108     | 서 울 |    |            | 0.384     | 152     | 울 산 |
| 10 | 서울특별시 도봉구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 41 | 대구광역시 중구   | 1.000     | 143     | 대 구 |
| 11 | 서울특별시 노원구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 42 | 대구광역시 동구   | 1.000     | 143     | 대 구 |
| 12 | 서울특별시 은평구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 43 | 대구광역시 서구   | 1.000     | 143     | 대 구 |
| 13 | 서울특별시 서대문구 | 1.000     | 108     | 서 울 | 44 | 대구광역시 남구   | 1.000     | 143     | 대 구 |
| 14 | 서울특별시 마포구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 45 | 대구광역시 북구   | 1.000     | 143     | 대 구 |
| 15 | 서울특별시 양천구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 46 | 대구광역시 수성구  | 1.000     | 143     | 대 구 |
| 16 | 서울특별시 강서구  | 0.028     | 112     | 인 천 | 47 | 대구광역시 달서구  | 1.000     | 143     | 대 구 |
|    |            | 0.972     | 108     | 서 울 | 48 | 대구광역시 달성군  | 0.137     | 285     | 합 천 |
| 17 | 서울특별시 구로구  | 1.000     | 108     | 서 울 |    |            | 0.863     | 143     | 대 구 |
| 18 | 서울특별시 금천구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 49 | 인천광역시 중구   | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 19 | 서울특별시 영등포구 | 1.000     | 108     | 서 울 | 50 | 인천광역시 동구   | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 20 | 서울특별시 동작구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 51 | 인천광역시 남구   | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 21 | 서울특별시 관악구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 52 | 인천광역시 연수구  | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 22 | 서울특별시 서초구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 53 | 인천광역시 남동구  | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 23 | 서울특별시 강남구  | 1.000     | 108     | 서 울 |    |            | 0.206     | 119     | 수 원 |
| 24 | 서울특별시 송파구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 54 | 인천광역시 부평구  | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 25 | 서울특별시 강동구  | 1.000     | 108     | 서 울 | 55 | 인천광역시 계양구  | 0.930     | 112     | 인 천 |
| 26 | 부산광역시 중구   | 1.000     | 159     | 부 산 |    |            | 0.070     | 108     | 서 울 |
| 27 | 부산광역시 서구   | 1.000     | 159     | 부 산 | 56 | 인천광역시 서구   | 1.000     | 112     | 인 천 |
| 28 | 부산광역시 동구   | 1.000     | 159     | 부 산 | 57 | 인천광역시 강화군  | 1.000     | 201     | 강 화 |
| 29 | 부산광역시 영도구  | 1.000     | 159     | 부 산 | 58 | 인천광역시 옹진군  | 0.388     | 102     | 백령도 |
| 30 | 부산광역시 부산진구 | 1.000     | 159     | 부 산 |    |            | 0.040     | 129     | 서 산 |
| 31 | 부산광역시 동래구  | 1.000     | 159     | 부 산 |    |            | 0.103     | 201     | 강 화 |
| 32 | 부산광역시 남구   | 1.000     | 159     | 부 산 |    |            | 0.468     | 112     | 인 천 |

| 순번 | 행정구역      | 타센<br>가중치 | 가상관측 지점 |     | 순번  | 행정구역    | 타센<br>가중치 | 가상관측 지점 |     |
|----|-----------|-----------|---------|-----|-----|---------|-----------|---------|-----|
|    |           |           | ID      | 지점명 |     |         |           | ID      | 지점명 |
| 59 | 광주광역시 동구  | 1.000     | 156     | 광 주 |     |         | 0.034     | 108     | 서 울 |
| 60 | 광주광역시 서구  | 1.000     | 156     | 광 주 |     |         | 0.206     | 119     | 수 원 |
| 61 | 광주광역시 남구  | 1.000     | 156     | 광 주 | 89  | 경기도 군포시 | 1.000     | 119     | 수 원 |
| 62 | 광주광역시 북구  | 1.000     | 156     | 광 주 | 90  | 경기도 의왕시 | 1.000     | 119     | 수 원 |
| 63 | 광주광역시 광산구 | 1.000     | 156     | 광 주 | 91  | 경기도 하남시 | 0.727     | 108     | 서 울 |
| 64 | 대전광역시 동구  | 0.145     | 238     | 금 산 |     |         | 0.273     | 202     | 양 평 |
|    |           | 0.855     | 133     | 대 전 | 92  | 경기도 용인시 | 0.406     | 203     | 이 천 |
| 65 | 대전광역시 중구  | 0.093     | 238     | 금 산 |     |         | 0.594     | 119     | 수 원 |
|    |           | 0.907     | 133     | 대 전 | 93  | 경기도 파주시 | 0.105     | 98      | 동두천 |
| 66 | 대전광역시 서구  | 0.061     | 238     | 금 산 |     |         | 0.895     | 99      | 문 산 |
|    |           | 0.939     | 133     | 대 전 |     |         | 0.000     | 201     | 강 화 |
| 67 | 대전광역시 유성구 | 1.000     | 133     | 대 전 |     |         | 0.000     | 108     | 서 울 |
| 68 | 대전광역시 대덕구 | 1.000     | 133     | 대 전 | 94  | 경기도 이천시 | 1.000     | 203     | 이 천 |
| 69 | 울산광역시 중구  | 1.000     | 152     | 울 산 | 95  | 경기도 안성시 | 0.419     | 232     | 천 안 |
| 70 | 울산광역시 남구  | 1.000     | 152     | 울 산 |     |         | 0.468     | 203     | 이 천 |
| 71 | 울산광역시 동구  | 1.000     | 152     | 울 산 |     |         | 0.112     | 119     | 수 원 |
| 72 | 울산광역시 북구  | 1.000     | 152     | 울 산 | 96  | 경기도 김포시 | 0.066     | 99      | 문 산 |
| 73 | 울산광역시 울주군 | 0.969     | 152     | 울 산 |     |         | 0.681     | 201     | 강 화 |
|    |           | 0.031     | 288     | 밀 양 |     |         | 0.196     | 112     | 인 천 |
| 74 | 경기도 수원시   | 1.000     | 119     | 수 원 |     |         | 0.056     | 108     | 서 울 |
| 75 | 경기도 성남시   | 0.362     | 108     | 서 울 | 97  | 경기도 화성시 | 0.012     | 112     | 인 천 |
|    |           | 0.638     | 119     | 수 원 |     |         | 0.988     | 119     | 수 원 |
| 76 | 경기도 의정부시  | 0.682     | 98      | 동두천 | 98  | 경기도 광주시 | 0.031     | 108     | 서 울 |
|    |           | 0.318     | 108     | 서 울 |     |         | 0.532     | 202     | 양 평 |
| 77 | 경기도 안양시   | 0.290     | 108     | 서 울 |     |         | 0.311     | 203     | 이 천 |
|    |           | 0.710     | 119     | 수 원 |     |         | 0.125     | 119     | 수 원 |
| 78 | 경기도 부천시   | 0.680     | 112     | 인 천 | 99  | 경기도 양주시 | 0.762     | 98      | 동두천 |
|    |           | 0.320     | 108     | 서 울 |     |         | 0.069     | 99      | 문 산 |
| 79 | 경기도 광명시   | 0.936     | 108     | 서 울 |     |         | 0.169     | 108     | 서 울 |
|    |           | 0.064     | 119     | 수 원 | 100 | 경기도 포천시 | 0.085     | 114     | 원 주 |
| 80 | 경기도 평택시   | 0.467     | 232     | 천 안 |     |         | 0.189     | 202     | 양 평 |
|    |           | 0.533     | 119     | 수 원 |     |         | 0.727     | 203     | 이 천 |
| 81 | 경기도 동두천시  | 1.000     | 98      | 동두천 | 101 | 경기도 여주군 | 0.490     | 98      | 동두천 |
| 82 | 경기도 안산시   | 0.333     | 112     | 인 천 |     |         | 0.100     | 99      | 문 산 |
|    |           | 0.667     | 119     | 수 원 |     |         | 0.410     | 95      | 철 월 |
| 83 | 경기도 고양시   | 0.226     | 99      | 문 산 | 102 | 경기도 연천군 | 0.523     | 98      | 동두천 |
|    |           | 0.726     | 108     | 서 울 |     |         | 0.477     | 95      | 철 원 |
|    |           | 0.025     | 201     | 강 화 | 103 | 경기도 가평군 | 0.189     | 98      | 동두천 |
|    |           | 0.022     | 112     | 인 천 |     |         | 0.415     | 101     | 춘 천 |
| 84 | 경기도 과천시   | 0.846     | 108     | 서 울 |     |         | 0.103     | 95      | 철 원 |
|    |           | 0.154     | 119     | 수 원 |     |         | 0.293     | 202     | 양 평 |
| 85 | 경기도 구리시   | 1.000     | 108     | 서 울 | 104 | 경기도 양평군 | 0.080     | 114     | 원 주 |
| 86 | 경기도 남양주시  | 0.267     | 98      | 동두천 |     |         | 0.090     | 212     | 홍 천 |
|    |           | 0.336     | 108     | 서 울 |     |         | 0.830     | 202     | 양 평 |
|    |           | 0.397     | 202     | 양 평 |     |         | 0.000     | 203     | 이 천 |
| 87 | 경기도 오산시   | 1.000     | 119     | 수 원 | 105 | 강원도 춘천시 | 0.042     | 211     | 인 체 |
| 88 | 경기도 시흥시   | 0.760     | 112     | 인 천 |     |         | 0.870     | 101     | 춘 천 |

# 120 | 통계·역학 모형 기반 지자체 통합 홍수위험도 예측 및 평가

| 순번  | 행정구역    | 타센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     | 순번  | 행정구역     | 타센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     |
|-----|---------|-----------|---------|-----|-----|----------|-----------|---------|-----|
|     |         |           | ID      | 지점명 |     |          |           | ID      | 지점명 |
|     |         | 0.001     | 95      | 철 원 |     |          | 0.005     | 101     | 춘 천 |
|     |         | 0.083     | 212     | 홍 천 | 120 | 강원도 인제군  | 0.847     | 211     | 인 제 |
|     |         | 0.003     | 202     | 양 평 |     |          | 0.153     | 90      | 속 초 |
| 106 | 강원도 원주시 | 0.007     | 127     | 충 주 | 121 | 강원도 고성군  | 0.041     | 90      | 속 초 |
|     |         | 0.110     | 221     | 제 천 |     |          | 0.959     | 90      | 속 초 |
|     |         | 0.883     | 114     | 원 주 | 122 | 강원도 양양군  | 0.256     | 100     | 대관령 |
| 107 | 강원도 강릉시 | 0.500     | 100     | 대관령 |     |          | 0.089     | 211     | 인 제 |
|     |         | 0.432     | 105     | 강 릉 |     |          | 0.590     | 90      | 속 초 |
|     |         | 0.068     | 106     | 동 해 |     |          | 0.066     | 105     | 강 릉 |
| 108 | 강원도 동해시 | 1.000     | 106     | 동 해 | 123 | 충청북도 청주시 | 1.000     | 131     | 청 주 |
| 109 | 강원도 태백시 | 1.000     | 216     | 태 백 |     |          | 1.000     | 131     | 청 주 |
|     |         | 0.000     | 106     | 동 해 | 124 | 충청북도 충주시 | 0.917     | 127     | 충 주 |
| 110 | 강원도 속초시 | 1.000     | 90      | 속 초 |     |          | 0.007     | 273     | 문 경 |
| 111 | 강원도 삼척시 | 0.133     | 130     | 울 진 |     |          | 0.038     | 221     | 제 천 |
|     |         | 0.493     | 216     | 태 백 |     |          | 0.013     | 114     | 원 주 |
|     |         | 0.374     | 106     | 동 해 |     |          | 0.025     | 203     | 이 천 |
| 112 | 강원도 홍천군 | 0.157     | 100     | 대관령 | 125 | 충청북도 제천시 | 0.000     | 272     | 영 주 |
|     |         | 0.189     | 211     | 인 제 |     |          | 0.208     | 127     | 충 주 |
|     |         | 0.017     | 101     | 춘 천 |     |          | 0.039     | 273     | 문 경 |
|     |         | 0.609     | 212     | 홍 천 |     |          | 0.670     | 221     | 제 천 |
|     |         | 0.028     | 202     | 양 평 |     |          | 0.006     | 121     | 영 월 |
| 113 | 강원도 횡성군 | 0.001     | 221     | 제 천 |     |          | 0.077     | 114     | 원 주 |
|     |         | 0.531     | 114     | 원 주 | 126 | 충청북도 청원군 | 0.774     | 131     | 청 주 |
|     |         | 0.468     | 212     | 홍 천 |     |          | 0.069     | 133     | 대 전 |
|     |         | 0.000     | 202     | 양 평 |     |          | 0.157     | 226     | 보 은 |
| 114 | 강원도 영월군 | 0.012     | 271     | 봉 화 | 127 | 충청북도 보은군 | 0.012     | 133     | 대 전 |
|     |         | 0.158     | 221     | 제 천 |     |          | 0.988     | 226     | 보 은 |
|     |         | 0.618     | 121     | 영 월 | 128 | 충청북도 옥천군 | 0.178     | 238     | 금 산 |
|     |         | 0.185     | 216     | 태 백 |     |          | 0.200     | 133     | 대 전 |
|     |         | 0.026     | 114     | 원 주 |     |          | 0.594     | 226     | 보 은 |
| 115 | 강원도 평창군 | 0.651     | 100     | 대관령 |     |          | 0.029     | 135     | 추풍령 |
|     |         | 0.000     | 221     | 제 천 | 129 | 충청북도 영동군 | 0.256     | 238     | 금 산 |
|     |         | 0.298     | 121     | 영 월 |     |          | 0.006     | 226     | 보 은 |
|     |         | 0.028     | 114     | 원 주 |     |          | 0.738     | 135     | 추풍령 |
|     |         | 0.023     | 212     | 홍 천 | 130 | 충청북도 진천군 | 0.338     | 232     | 천 안 |
| 116 | 강원도 정선군 | 0.342     | 100     | 대관령 |     |          | 0.615     | 131     | 청 주 |
|     |         | 0.282     | 121     | 영 월 |     |          | 0.278     | 133     | 이 천 |
|     |         | 0.259     | 216     | 태 백 | 142 | 충청남도 금산군 | 0.155     | 131     | 청 주 |
|     |         | 0.000     | 105     | 강 릉 |     |          | 0.200     | 226     | 보 은 |
|     |         | 0.118     | 106     | 동 해 |     |          | 0.527     | 127     | 충 주 |
| 117 | 강원도 철원군 | 0.051     | 211     | 인 제 |     |          | 0.118     | 273     | 문 경 |
|     |         | 0.000     | 101     | 춘 천 | 132 | 충청북도 음성군 | 0.002     | 232     | 천 안 |
|     |         | 0.948     | 95      | 철 원 |     |          | 0.046     | 131     | 청 주 |
| 118 | 강원도 화천군 | 0.071     | 211     | 인 제 |     |          | 0.601     | 127     | 충 주 |
|     |         | 0.541     | 101     | 춘 천 |     |          | 0.351     | 203     | 이 천 |
|     |         | 0.387     | 95      | 철 원 | 133 | 충청북도 단양군 | 0.358     | 272     | 영 주 |
| 119 | 강원도 양구군 | 0.995     | 211     | 인 제 |     |          | 0.001     | 273     | 문 경 |

| 순번  | 행정구역     | 타센<br>가중치 | 가상관측 지점 |     | 순번  | 행정구역     | 타센<br>가중치 | 가상관측 지점 |     |
|-----|----------|-----------|---------|-----|-----|----------|-----------|---------|-----|
|     |          |           | ID      | 지점명 |     |          |           | ID      | 지점명 |
|     |          | 0.234     | 221     | 제 천 | 155 | 전라북도 남원시 | 0.068     | 289     | 산 청 |
|     |          | 0.408     | 121     | 영 월 |     |          | 0.071     | 248     | 장 수 |
| 135 | 충청남도 천안시 | 0.920     | 232     | 천 안 |     |          | 0.820     | 247     | 남 원 |
|     |          | 0.080     | 131     | 청 주 |     |          | 0.041     | 244     | 임 실 |
| 136 | 충청남도 공주시 | 0.331     | 236     | 부 여 | 156 | 전라북도 김제시 | 0.491     | 146     | 전 주 |
|     |          | 0.313     | 232     | 천 안 |     |          | 0.004     | 245     | 정 읍 |
|     |          | 0.023     | 131     | 청 주 |     |          | 0.352     | 243     | 부 안 |
|     |          | 0.333     | 133     | 대 전 |     |          | 0.153     | 140     | 군 산 |
| 137 | 충청남도 보령시 | 1.000     | 235     | 보 령 | 157 | 전라북도 완주군 | 0.000     | 236     | 부 여 |
| 138 | 충청남도 아산시 | 1.000     | 232     | 천 안 |     |          | 0.699     | 146     | 전 주 |
| 139 | 충청남도 서산시 | 1.000     | 129     | 서 산 |     |          | 0.041     | 244     | 임 실 |
| 140 | 충청남도 논산시 | 0.487     | 236     | 부 여 |     |          | 0.260     | 238     | 금 산 |
|     |          | 0.004     | 146     | 전 주 | 158 | 전라북도 진안군 | 0.508     | 248     | 장 수 |
|     |          | 0.230     | 238     | 금 산 |     |          | 0.130     | 146     | 전 주 |
|     |          | 0.022     | 133     | 대 전 |     |          | 0.098     | 244     | 임 실 |
| 143 | 충청남도 연기군 | 0.295     | 232     | 천 안 |     |          | 0.264     | 238     | 금 산 |
|     |          | 0.442     | 131     | 청 주 | 159 | 전라북도 무주군 | 0.211     | 284     | 거 창 |
|     |          | 0.263     | 133     | 대 전 |     |          | 0.191     | 248     | 장 수 |
| 144 | 충청남도 부여군 | 0.853     | 236     | 부 여 |     |          | 0.476     | 238     | 금 산 |
|     |          | 0.014     | 140     | 군 산 |     |          | 0.123     | 135     | 추풍령 |
|     |          | 0.133     | 235     | 보 령 | 160 | 전라북도 장수군 | 0.920     | 248     | 장 수 |
| 145 | 충청남도 서천군 | 0.082     | 236     | 부 여 |     |          | 0.014     | 247     | 남 원 |
|     |          | 0.788     | 140     | 군 산 |     |          | 0.066     | 244     | 임 실 |
|     |          | 0.129     | 235     | 보 령 | 161 | 전라북도 임실군 | 0.012     | 248     | 장 수 |
| 146 | 충청남도 청양군 | 0.692     | 236     | 부 여 |     |          | 0.041     | 146     | 전 주 |
|     |          | 0.003     | 232     | 천 안 |     |          | 0.069     | 247     | 남 원 |
|     |          | 0.305     | 235     | 보 령 |     |          | 0.878     | 244     | 임 실 |
| 147 | 충청남도 홍성군 | 0.543     | 129     | 서 산 | 162 | 전라북도 순창군 | 0.020     | 156     | 광 주 |
|     |          | 0.457     | 235     | 보 령 |     |          | 0.323     | 245     | 정 읍 |
| 148 | 충청남도 예산군 | 0.000     | 236     | 부 여 |     |          | 0.608     | 247     | 남 원 |
|     |          | 0.464     | 129     | 서 산 |     |          | 0.050     | 244     | 임 실 |
|     |          | 0.433     | 232     | 천 안 | 163 | 전라북도 고창군 | 0.027     | 156     | 광 주 |
|     |          | 0.103     | 235     | 보 령 |     |          | 0.973     | 245     | 정 읍 |
| 149 | 충청남도 태안군 | 0.854     | 129     | 서 산 |     |          | 0.000     | 243     | 부 안 |
|     |          | 0.146     | 235     | 보 령 | 164 | 전라북도 부안군 | 0.059     | 245     | 정 읍 |
| 150 | 충청남도 당진군 | 0.902     | 129     | 서 산 |     |          | 0.941     | 243     | 부 안 |
|     |          | 0.098     | 232     | 천 안 | 165 | 전라남도 목포시 | 1.000     | 165     | 목 포 |
| 151 | 전라북도 전주시 | 1.000     | 146     | 전 주 | 166 | 전라남도 여수시 | 0.001     | 295     | 남 해 |
|     |          | 1.000     | 146     | 전 주 |     |          | 0.993     | 168     | 여 수 |
| 152 | 전라북도 군산시 | 0.040     | 243     | 부 안 |     |          | 0.006     | 262     | 고 흥 |
|     |          | 0.960     | 140     | 군 산 | 167 | 전라남도 순천시 | 0.914     | 174     | 순 천 |
| 153 | 전라북도 익산시 | 0.338     | 236     | 부 여 |     |          | 0.082     | 168     | 여 수 |
|     |          | 0.425     | 146     | 전 주 |     |          | 0.004     | 262     | 고 흥 |
|     |          | 0.237     | 140     | 군 산 | 168 | 전라남도 나주시 | 0.685     | 156     | 광 주 |
| 154 | 전라북도 정읍시 | 0.027     | 146     | 전 주 |     |          | 0.104     | 260     | 장 흥 |
|     |          | 0.806     | 245     | 정 읍 |     |          | 0.211     | 165     | 목 포 |
|     |          | 0.107     | 244     | 임 실 | 169 | 전라남도 광양시 | 0.019     | 289     | 산 청 |
|     |          | 0.060     | 243     | 부 안 |     |          | 0.074     | 192     | 진 주 |

122 | 통계·역학 모형 기반 지자체 통합 홍수위험도 예측 및 평가

| 순번  | 행정구역     | 타센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     | 순번  | 행정구역     | 타센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     |
|-----|----------|-----------|---------|-----|-----|----------|-----------|---------|-----|
|     |          |           | ID      | 지점명 |     |          |           | ID      | 지점명 |
|     |          | 0.323     | 295     | 남 해 | 186 | 전라남도 신안군 | 0.175     | 175     | 진 도 |
|     |          | 0.305     | 174     | 순 천 |     |          | 0.825     | 165     | 목 포 |
|     |          | 0.279     | 168     | 여 수 | 187 | 경상북도 포항시 | 0.847     | 138     | 포 항 |
| 170 | 전라남도 담양군 | 0.894     | 156     | 광 주 |     |          | 0.132     | 281     | 영 천 |
|     |          | 0.079     | 245     | 정 읍 |     |          | 0.022     | 277     | 영 덕 |
|     |          | 0.023     | 247     | 남 원 | 188 | 경상북도 경주시 | 0.331     | 152     | 울 산 |
|     |          | 0.005     | 174     | 순 천 |     |          | 0.310     | 281     | 영 천 |
| 171 | 전라남도 곡성군 | 0.051     | 156     | 광 주 |     |          | 0.359     | 138     | 포 항 |
|     |          | 0.385     | 247     | 남 원 | 189 | 경상북도 김천시 | 0.151     | 284     | 거 창 |
|     |          | 0.564     | 174     | 순 천 |     |          | 0.320     | 279     | 구 미 |
| 172 | 전라남도 구례군 | 0.008     | 289     | 산 청 |     |          | 0.783     | 271     | 봉 화 |
|     |          | 0.699     | 247     | 남 원 |     |          | 0.002     | 130     | 울 진 |
|     |          | 0.293     | 174     | 순 천 |     |          | 0.087     | 216     | 태 백 |
| 173 | 전라남도 고흥군 | 1.000     | 262     | 고 흥 |     |          | 0.529     | 135     | 추풍령 |
| 174 | 전라남도 보성군 | 0.360     | 174     | 순 천 | 190 | 경상북도 안동시 | 0.782     | 136     | 안 동 |
|     |          | 0.002     | 168     | 여 수 |     |          | 0.045     | 272     | 영 주 |
|     |          | 0.308     | 262     | 고 흥 |     |          | 0.064     | 271     | 봉 화 |
|     |          | 0.331     | 260     | 장 흥 |     |          | 0.109     | 278     | 의 성 |
| 175 | 전라남도 화순군 | 0.330     | 156     | 광 주 | 191 | 경상북도 구미시 | 0.954     | 279     | 구 미 |
|     |          | 0.475     | 174     | 순 천 |     |          | 0.046     | 135     | 추풍령 |
|     |          | 0.194     | 260     | 장 흥 |     |          | 0.000     | 278     | 의 성 |
| 176 | 전라남도 장흥군 | 0.037     | 170     | 완 도 | 192 | 경상북도 영주시 | 0.331     | 152     | 울 산 |
|     |          | 0.963     | 260     | 장 흥 |     |          | 0.310     | 281     | 영 천 |
| 177 | 전라남도 강진군 | 0.049     | 170     | 완 도 |     |          | 0.359     | 138     | 포 항 |
|     |          | 0.677     | 260     | 장 흥 | 193 | 경상북도 영천시 | 0.035     | 143     | 대 구 |
|     |          | 0.274     | 261     | 해 남 |     |          | 0.965     | 281     | 영 천 |
| 178 | 전라남도 해남군 | 0.106     | 175     | 진 도 | 194 | 경상북도 상주시 | 0.174     | 226     | 보 은 |
|     |          | 0.080     | 170     | 완 도 |     |          | 0.021     | 279     | 구 미 |
|     |          | 0.000     | 260     | 장 흥 |     |          | 0.385     | 135     | 추풍령 |
|     |          | 0.120     | 165     | 목 포 |     |          | 0.419     | 273     | 문 경 |
|     |          | 0.694     | 261     | 해 남 | 195 | 경상북도 문경시 | 0.005     | 226     | 보 은 |
| 179 | 전라남도 영암군 | 0.004     | 156     | 광 주 |     |          | 0.046     | 272     | 영 주 |
|     |          | 0.337     | 260     | 장 흥 |     |          | 0.002     | 127     | 충 주 |
|     |          | 0.508     | 165     | 목 포 |     |          | 0.948     | 273     | 문 경 |
|     |          | 0.151     | 261     | 해 남 | 196 | 경상북도 경산시 | 0.573     | 143     | 대 구 |
| 180 | 전라남도 무안군 | 1.000     | 165     | 목 포 |     |          | 0.427     | 281     | 영 천 |
| 181 | 전라남도 함평군 | 0.538     | 156     | 광 주 | 197 | 경상북도 군위군 | 0.126     | 279     | 구 미 |
|     |          | 0.462     | 165     | 목 포 |     |          | 0.171     | 143     | 대 구 |
| 182 | 전라남도 영광군 | 0.587     | 156     | 광 주 |     |          | 0.143     | 281     | 영 천 |
|     |          | 0.271     | 245     | 정 읍 |     |          | 0.560     | 278     | 의 성 |
|     |          | 0.141     | 165     | 목 포 | 198 | 경상북도 의성군 | 0.046     | 136     | 안 동 |
| 183 | 전라남도 장성군 | 0.666     | 156     | 광 주 |     |          | 0.042     | 279     | 구 미 |
|     |          | 0.334     | 245     | 정 읍 |     |          | 0.061     | 273     | 문 경 |
| 184 | 전라남도 완도군 | 0.957     | 170     | 완 도 |     |          | 0.852     | 278     | 의 성 |
|     |          | 0.041     | 262     | 고 흥 | 199 | 경상북도 청송군 | 0.146     | 136     | 안 동 |
|     |          | 0.002     | 260     | 장 흥 |     |          | 0.142     | 281     | 영 천 |
| 185 | 전라남도 진도군 | 1.000     | 175     | 진 도 |     |          | 0.057     | 138     | 포 항 |

| 순번  | 행정구역     | 타센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     | 순번  | 행정구역         | 타센<br>가중치 | 기상관측 지점 |     |
|-----|----------|-----------|---------|-----|-----|--------------|-----------|---------|-----|
|     |          |           | ID      | 지점명 |     |              |           | ID      | 지점명 |
|     |          | 0.375     | 277     | 영 덕 |     |              | 0.998     | 288     | 밀 양 |
|     |          | 0.280     | 278     | 의 성 | 218 | 경상남도 거제시     | 0.001     | 155     | 창 원 |
| 200 | 경상북도 영양군 | 0.073     | 136     | 안 동 |     |              | 0.970     | 294     | 거 제 |
|     |          | 0.399     | 271     | 봉 화 |     |              | 0.029     | 162     | 통 영 |
|     |          | 0.442     | 277     | 영 덕 | 219 | 경상남도 양산시     | 0.179     | 159     | 부 산 |
|     |          | 0.087     | 130     | 울 진 |     |              | 0.334     | 152     | 울 산 |
| 201 | 경상북도 영덕군 | 0.016     | 138     | 포 향 |     |              | 0.486     | 288     | 밀 양 |
|     |          | 0.984     | 277     | 영 덕 | 220 | 경상남도 의령군     | 0.068     | 155     | 창 원 |
| 202 | 경상북도 청도군 | 0.030     | 152     | 울 산 |     |              | 0.658     | 285     | 합 천 |
|     |          | 0.583     | 288     | 밀 양 |     |              | 0.003     | 289     | 산 청 |
|     |          | 0.246     | 143     | 대 구 |     |              | 0.271     | 192     | 진 주 |
|     |          | 0.141     | 281     | 영 천 | 221 | 경상남도 함안군     | 0.937     | 155     | 창 원 |
| 203 | 경상북도 고령군 | 0.779     | 285     | 합 천 |     |              | 0.011     | 285     | 합 천 |
|     |          | 0.221     | 143     | 대 구 |     |              | 0.038     | 192     | 진 주 |
| 204 | 경상북도 성주군 | 0.097     | 285     | 합 천 |     |              | 0.014     | 288     | 밀 양 |
|     |          | 0.137     | 284     | 저 창 | 222 | 경상남도 창녕군     | 0.036     | 155     | 창 원 |
|     |          | 0.601     | 279     | 구 미 |     |              | 0.351     | 285     | 합 천 |
|     |          | 0.163     | 143     | 대 구 |     |              | 0.590     | 288     | 밀 양 |
|     |          | 0.002     | 135     | 추풍령 |     |              | 0.023     | 143     | 대 구 |
| 205 | 경상북도 칠곡군 | 0.559     | 279     | 구 미 | 223 | 경상남도 고성군     | 0.213     | 155     | 창 원 |
|     |          | 0.441     | 143     | 대 구 |     |              | 0.265     | 192     | 진 주 |
| 206 | 경상북도 예천군 | 0.135     | 136     | 안 동 |     |              | 0.036     | 295     | 남 해 |
|     |          | 0.456     | 272     | 영 주 |     |              | 0.022     | 294     | 거 제 |
|     |          | 0.409     | 273     | 문 경 |     |              | 0.464     | 162     | 통 영 |
| 207 | 경상북도 봉화군 | 0.128     | 272     | 영 주 | 224 | 경상남도 남해군     | 0.999     | 295     | 남 해 |
|     |          | 0.783     | 271     | 봉 화 |     |              | 0.001     | 168     | 여 수 |
|     |          | 0.002     | 130     | 울 진 | 225 | 경상남도 하동군     | 0.280     | 289     | 산 청 |
|     |          | 0.087     | 216     | 태 백 |     |              | 0.521     | 192     | 진 주 |
| 208 | 경상북도 울진군 | 0.118     | 271     | 봉 화 |     |              | 0.180     | 295     | 남 해 |
|     |          | 0.192     | 277     | 영 덕 |     |              | 0.019     | 247     | 남 원 |
|     |          | 0.690     | 130     | 울 진 | 226 | 경상남도 산청군     | 0.907     | 289     | 산 청 |
| 209 | 경상북도 울릉군 | 1.000     | 115     | 울릉도 |     |              | 0.084     | 192     | 진 주 |
| 210 | 경상남도 창원시 | 0.730     | 155     | 창 원 |     |              | 0.009     | 284     | 거 창 |
|     |          | 0.270     | 288     | 밀 양 | 227 | 경상남도 함양군     | 0.427     | 289     | 산 청 |
| 211 | 경상남도 마산시 | 1.000     | 155     | 창 원 |     |              | 0.305     | 284     | 거 창 |
| 212 | 경상남도 진주시 | 0.065     | 155     | 창 원 |     |              | 0.268     | 248     | 장 수 |
|     |          | 0.935     | 192     | 진 주 | 228 | 경상남도 거창군     | 0.002     | 285     | 합 천 |
| 213 | 경상남도 진해시 | 0.825     | 155     | 창 원 |     |              | 0.016     | 289     | 산 청 |
|     |          | 0.175     | 159     | 부 산 |     |              | 0.965     | 284     | 거 창 |
| 214 | 경상남도 통영시 | 0.007     | 295     | 남 해 |     |              | 0.018     | 248     | 장 수 |
|     |          | 0.022     | 294     | 거 제 | 229 | 경상남도 합천군     | 0.787     | 285     | 합 천 |
|     |          | 0.972     | 162     | 통 영 |     |              | 0.079     | 289     | 산 청 |
| 215 | 경상남도 사천시 | 0.861     | 192     | 진 주 |     |              | 0.134     | 284     | 거 창 |
|     |          | 0.139     | 295     | 남 해 | 230 | 제주특별자치도 제주시  | 0.031     | 189     | 서귀포 |
| 216 | 경상남도 김해시 | 0.210     | 155     | 창 원 |     |              | 0.969     | 184     | 제 주 |
|     |          | 0.350     | 159     | 부 산 | 231 | 제주특별자치도 서귀포시 | 1.000     | 189     | 서귀포 |
|     |          | 0.440     | 288     | 밀 양 | 232 | 부산광역시 사하구    | 1.000     | 159     | 부 산 |
| 217 | 경상남도 밀양시 | 0.002     | 152     | 울 산 |     |              |           |         |     |

## 5. 지자체 홍수위험 지수 표출 결과

### 1. 1995년 이전과 이후 통합 홍수위험 평가 결과

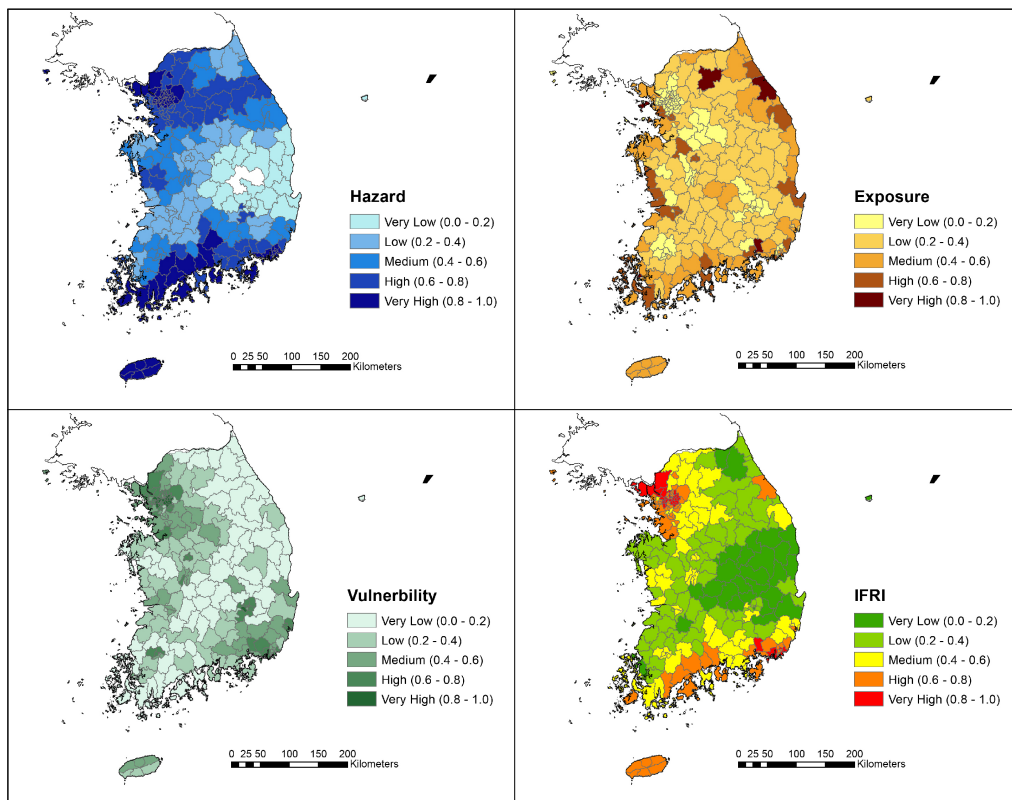


Table 5-1 1995년 이전 지자체 홍수위험도 평가 결과



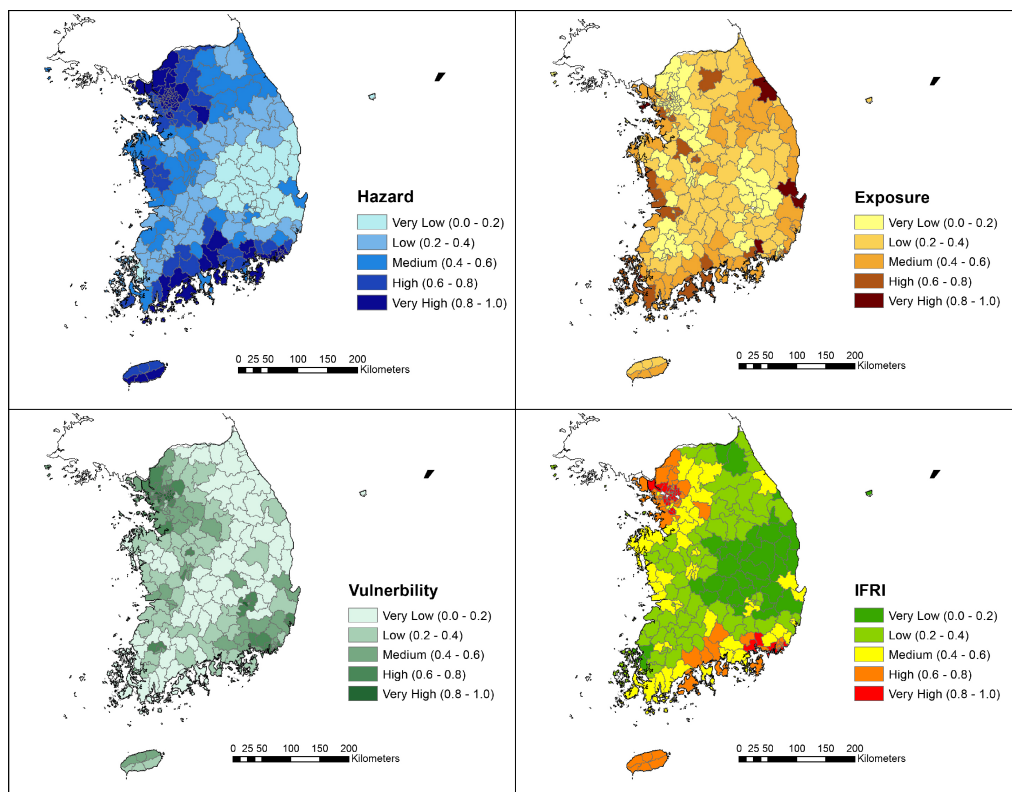


Table 5-2 1995년 이후 지자체 홍수위험도 평가 결과

2. CT 엘니뇨 시기의 통합홍수위험 평가 결과

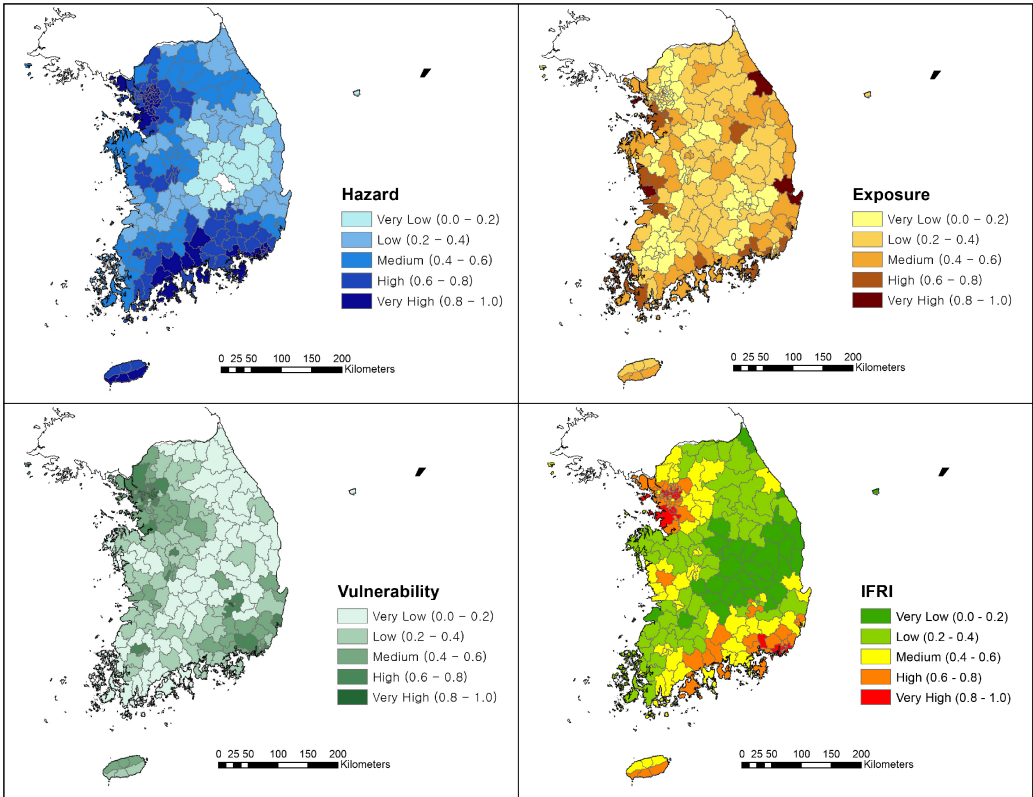


Table 5-3 CT 엘니뇨 발달기(Developing) 지자체 홍수위험도 평가 결과

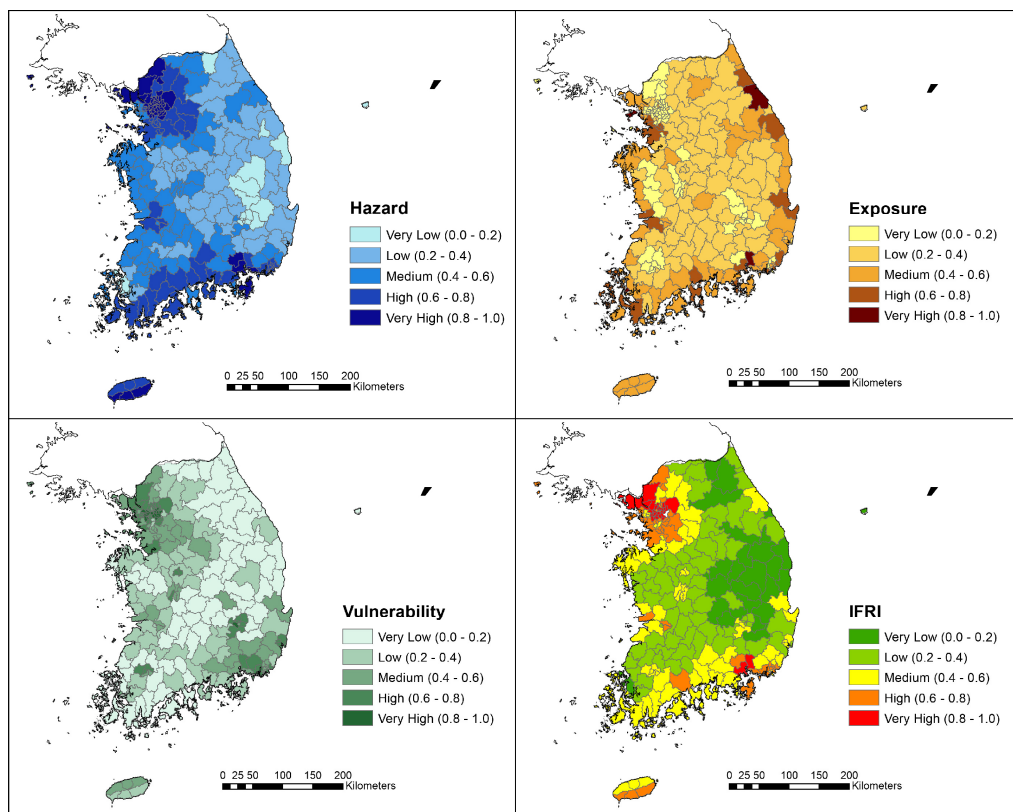


Table 5-4 CT 엘니뇨 쇠퇴기(Decaying) 지자체 홍수위험도 평가 결과

3. WP 엘니뇨 시기의 통합홍수위험 평가 결과

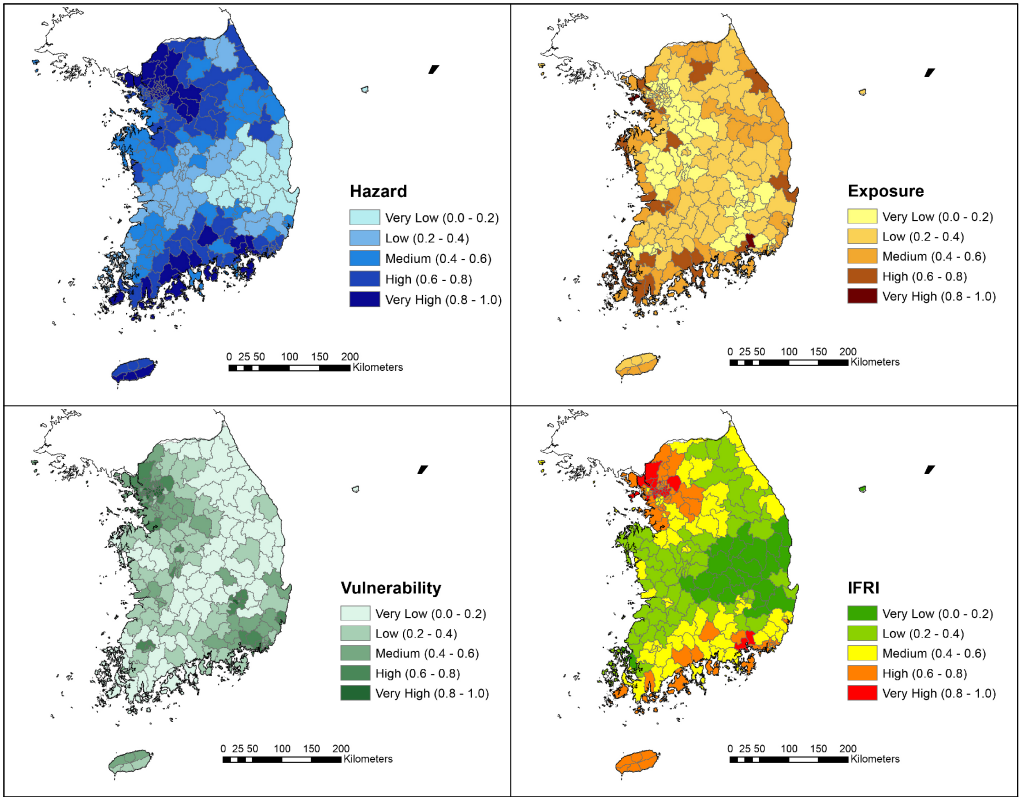


Table 5-5 WP 엘니뇨 발달기(Developing) 지자체 홍수위험도 평가 결과

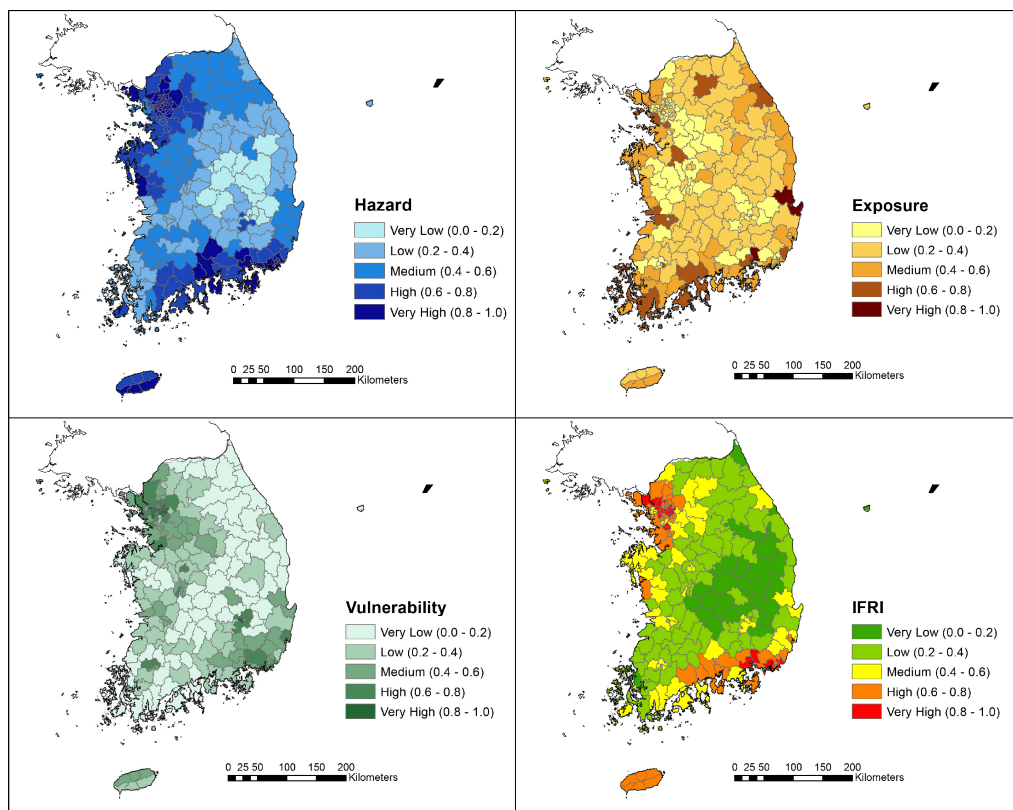


Table 5-6 WP 엘니뇨 쇠퇴기(Decaying) 지자체 홍수위험도 평가 결과

4. 라니냐 시기의 통합홍수위험 평가 결과

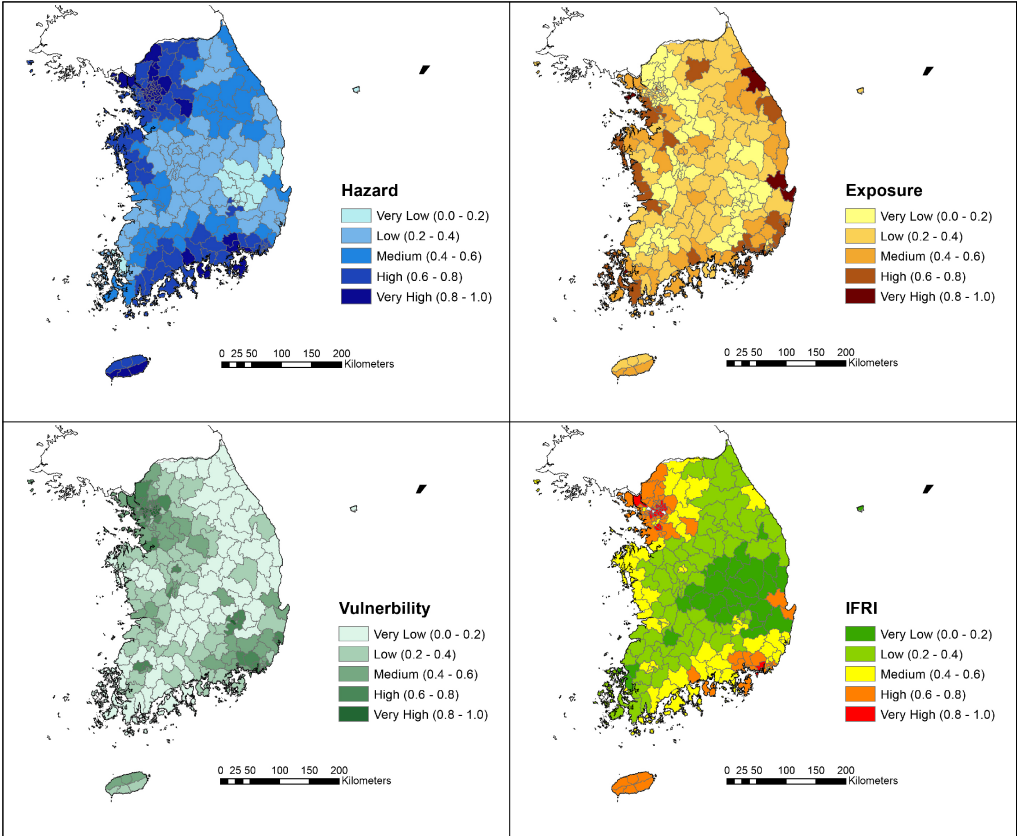


Table 5-7 라니냐 발달기(Developing) 지자체 홍수위험도 평가 결과

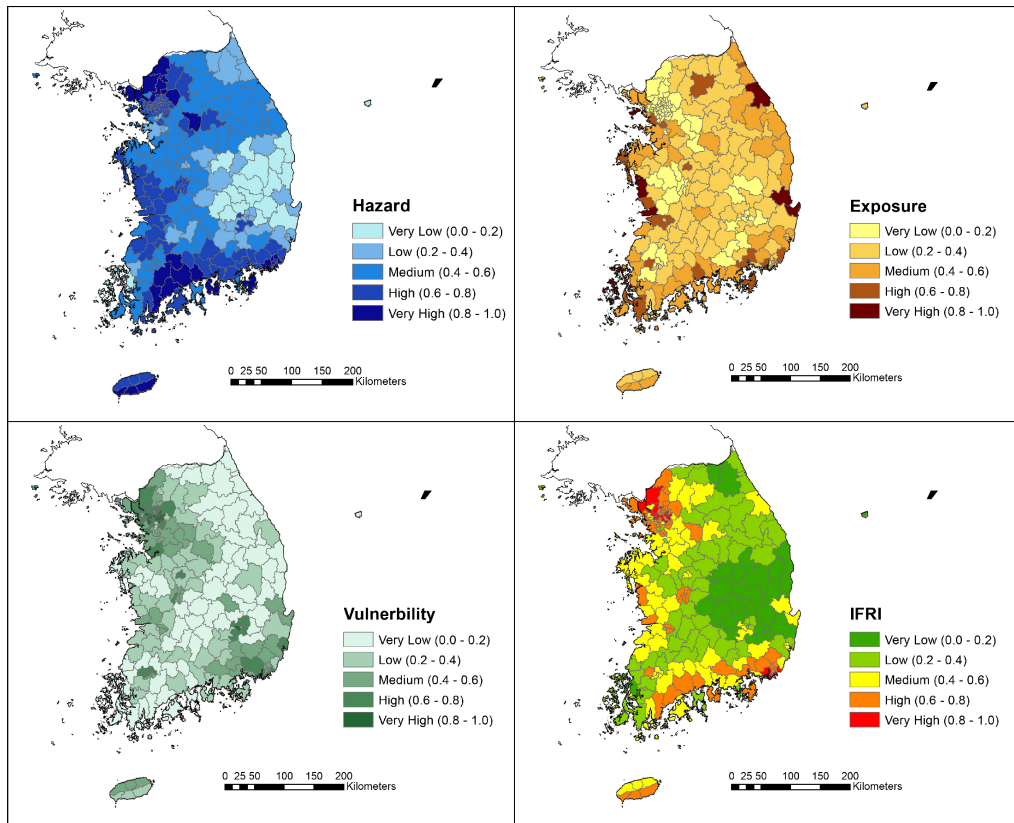


Table 5-8 라니나 쇠퇴기(Decaying) 지자체 홍수위험도 평가 결과







연구보고서 2016-25

---

통계·역학 모형 기반 지자체 통합  
홍수위험도 예측 및 평가

Integrated flood risk assessment using statistical-dynamical models in the  
Korean local governments

윤선권



APEC 기후센터

48058 부산광역시 해운대구 센텀7로12

Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949

[www.apcc21.org](http://www.apcc21.org)



9 791156 981763

ISBN 979-11-5698-176-3