



# 연안도시 방재성능목표 설정을 위한 해수위-강우 관계분석

## Relationship Analysis of Sea Level-Rainfall for Determination of Disaster Prevention Performance in Coastal Cities

박윤경\* · 김상단\*\* · 이정호\*\*\* · 송양호\*\*\*\*

Park, Yoonkyung\*, Kim, Sangdan\*\*, Lee, Jung Ho\*\*\*, and Song, Yang Ho\*\*\*\*

### Abstract

Coastal cities are burdened by complex causes of disasters, including rising sea level and rainfall. In setting the disaster prevention performance for different regions, the existing disaster management guidelines take only rainfall into account. The incorporation of regional characteristics of coastal cities involving complex factors is needed in order to improve the disaster response. It is important to improve the standards of target rainfall for disaster prevention performance that take sea level rise into account to effectively address the limitations of coastal cities. This study conducted a correlation analysis between rainfall and sea level, which is expected to rise due to climate change. Based on the analysis, a sea level-rainfall rating curve was suggested, which takes into account the cause of inundation, namely sea level. We analyzed a total of 126 scenarios considering the sea level-rainfall rise caused by climate change in the Centum City district in Busan, which previously suffered from coastal floods. The analysis identified that flood incidents were largely affected by the sea level rise compared with increased rainfall regardless of the duration of rainfall. Based on the results, it was concluded that the existing guidelines, which only consider varying volumes of rainfall due to climate change, do not properly reflect the disaster prevention performance of coastal cities that are exposed to complex disasters.

**Key words** : Climate Change, Sea Level Rise, Coastal Inundation, Disaster Prevention Performance, Target Rainfall

### 요 지

연안도시 지역은 강우와 더불어 해수면 상승이라는 복합적인 재해발생 요인을 부담하고 있다. 따라서 기존의 지역별 방재성능목표 설정·운영 지침에서 다루고 있는 강우의 크기 변화만을 다루고 있는 면과 달리 복합원인으로 발생하는 연안도시의 지역적 특성을 반영함으로써 개선할 필요가 있다. 이러한 연안도시 지역의 한계점을 보완하기 위해서는 해수면 상승을 고려한 방재성능 목표 강우량 기준의 개선이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기후변화로 인해 상승이 예상되는 해수위와 강우간의 관계 분석을 바탕으로 침수를 유발하는 해수면-강우 관계곡선을 제안하였다. 과거 해안침수가 발생했던 부산 센텀시티 지구를 토대로 기후변화로 인한 해수위-강우 상승을 고려한 총 126개의 시나리오를 검토하였다. 그 결과, 강우 지속시간에 상관없이 강우량 증가보다는 해수면 상승으로 인한 침수발생 규모가 더 클 것으로 확인하였다. 이러한 결과를 통해 기후변화로 인한 강우의 크기 변화만을 고려하는 기존의 지침이 복합 재해로부터 노출된 연안도시의 방재 성능을 적절히 반영하지 못하는 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 기후변화, 해수면 상승, 해안침수, 방재성능, 목표 강우량

\*정회원, 딥클라우드 기업부설연구소 연구소장(E-mail: yoon@deepcloud.co.kr)

Member, Research director, Corporate-affiliated Research Institute, Deepcloud Co., Ltd.

\*\*정회원, 부경대학교 환경공학과 교수(E-mail: skim@pknu.ac.kr)

Member, Professor, Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

\*\*\*정회원, 한밭대학교 건설환경공학과 교수(E-mail: leejh@hanbat.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

\*\*\*\*교신저자, 정회원, 한밭대학교 건설환경공학과 연구교수(Tel: +82-42-821-1612, Fax: +82-42-821-1589, E-mail: syho@hanbat.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Research Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

## 1. 서론

기후변화와 도시화 문제는 전 지구적인 화두에서 국지적으로 인류와 사회에 현실적으로 다가오고 있다. 2014년 IPCC에서는 기후변화의 영향은 명백히 일어나고 증가하고 있으며 이는 인류의 활동과 산업발달에 기인하고 있음을 보고하였다(IPCC, 2014). 대표적인 현상은 극한 강우사상의 빈도와 횡수의 증가이다. 극단적인 강우사상의 잦은 발생으로 인해 홍수, 산사태 등 대규모 자연재해 유발에 따른 인적 피해와 경제적 손실을 초래하고 있다. 즉 그 영향정도가 매우 심화되고 있으며 기후변화에 대응을 하고자 이에 대한 많은 연구가 전 세계적으로 많은 진행되어 오고 있다. 기후변화로 인한 위험성은 비단 국내에 국한되지 않고 전 지구적으로 발생하고 있음을 다수의 선행연구를 통해 인지할 수 있다(Trenberth et al., 2007; Hirabayashi et al., 2013; IPCC, 2013; IPCC, 2014). 우리나라의 기후변화 추세는 전 지구적 변화경향과 비슷하거나 다소 높게 나타나고 있다. 과거 1910년대 평균 연 강우량은 1,156.6 mm에서 2000년대 1,357.4 mm까지 약 19%가 증가하였으며, 20세기말(1971~2000)에 대비하여 21세기말(2071~2100)에는 약 17%가 증가할 것이라 전망되었다(Kim, 2011). 기후변화로 인한 강우패턴의 변화 뿐 만 아니라 증가하는 해수면으로 인하여 연안에 위치한 도시에 심각한 피해를 야기할 것으로 예측되고 있다. Song and Lee (2015)는 해수면이 1 m 상승함에 따라 부산의 7개 해수욕장 전체가 침수되고, 소규모 어항 대부분과 다대항, 남항, 부산신항 남측이 침수되는 것으로 예측하였다. 또한 기후변화로 인해 경제적인 분석을 수행한 결과, 여러 가지 분야 중에 연안에서 발생하는 피해금액이 가장 클 것으로 분석하였다(KEI, 2012). 이러한 예측 및 분석결과는 불확실한 미래 기후에 적응해야 한다는 의미로 국민들의 인식과 더불어 사회 시스템의 전반적인 변화의 필요성과 직결된다.

선행 연구들은 주로 강우량 증가로 인한 홍수량 증가와 같은 수문학적 영향변화에 주목하였다. Kim et al. (2011), Seo et al. (2012) 그리고 Sung et al. (2012)은 기후변화 시나리오에 의한 강우자료를 활용하여 강우량 변화가 예상되는 국내 주요지점들의 확률강우량을 예측하였다. 결과를 토대로 확률분포의 매개변수와 강우량 산정안을 제안함으로써 향후 수공구조물의 설계에 활용이 필요함을 제안하였다. Im et al. (2017)은 1960년부터 2016년 9월까지의 기상청 강우자료를 활용하여 기후변화의 추세성을 고려하고 주요 지형학적 인자의 변화를 고려하였다. 실 유역의 유출곡선지수와 비교함으로써 유역에서 발생하는 홍수량의 변화에 주목하였다. 향후 수공구조물을 포함한 치수대책의 수립에 있어 미래 기후변화의 변동성을 고려를 제안하였다. 뿐만 아니라 기후변화로 인해 발생 가능한 하천재해의 위험성에 주목한 연구가 진행되었다. Kim et al. (2012)은 대규모 하천 정비사업 영향에 의한 홍수취약성 평가를 진행하였다. 더불어

어 홍수취약성을 평가하기 위한 지표의 선정의 필요성과 국내 환경에 적용 가능성을 검토하였으며 취약성-탄력성 지표를 제안하였다. 실제 낙동강 유역에 대한 취약성 평가를 통해 지역별 우선순위를 검토함으로써 기후변화 적응 정책의 활용을 제안하였다. Kim et al. (2013)은 기후변화를 고려한 하천재해 요인 변화를 검토하고 낙동강 유역에 대한 홍수위험도 영향평가를 검토하였다. 침수위험지구의 선정 및 재해영향평가를 통해 장래 기후변화 적응대책 수립의 필요성을 제안하였다.

이외에도 수문학적 순환현상이나 적설량의 변화에 초점을 둔 연구들도 진행되고 있다. Kim et al. (2014)은 기후변화 시나리오를 토대로 미래 적설량 예측에 관한 연구를 제안하였다. 기상청 주요 기상관측소에 대해 KMA-RegCM3 모형을 활용하여 빈도별 확률적설량을 산정하였으며, 다양한 기상인자들에 대한 영향관계를 신경망 모형을 구축, 반영하였다. 해당 연구는 기후변화를 고려한 방재기준 개선 및 재설정을 제안하고 있다.

선행 연구들의 공통적인 특징은 기후변화로 인해 강우사상의 형상과 특성 변화를 분석하고 그 결과를 바탕으로 방재기준을 개선하고 재설정하는 연구를 진행하고 있다. 이러한 연구는 기후변화에 의해 변화하는 강우사상에 초점을 둔 연구로 해수면 상승의 위험을 부담하는 연안도시에 적용하기에는 한계가 있다. 전술한 바와 같이 연안도시는 강우사상의 변화와 더불어 해수면 상승까지 예측되고 있기 때문에 연안도시의 방재성능목표를 설정하기 위해서는 해수면 상승을 고려한 강우-유출 분석이 수행되어야 한다.

우리나라 정부는 자연재해 피해를 최소화하고자 지자체별 방재성능목표 강우량(Disaster Prevention Performance Target Rainfall)을 설정하여 홍수와 호우 등에 의한 재해를 예방하기 위해 정책을 적용하고 있다. 실제로 2018년에는 기후변화로 인해 변화하는 강우패턴을 고려한 지자체별 방재성능목표 강우량을 개선하여 공표한 바 있다. 공표된 방재성능목표 기준은 강우의 변화만을 고려하고 있기 때문에 연안도시의 지역적 특성을 반영하지 못하는 단점을 내포하고 있다. 연안도시는 강우와 더불어 해수면 상승이라는 복합적인 재해발생 요인을 부담하고 있어, 기존의 방재성능목표를 설정하기에는 다소 한계점이 존재한다. 이러한 한계점을 개선하기 위해서는 연안도시의 해수면 상승에 따른 방재성능목표 기준의 개선방안이 적용되어야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 연안도시에 침수피해를 유발하는 해수위와 강우의 관계 분석이 선행되어야 한다. 이에 본 연구는 다음의 연구과정이 수행된다. 첫째, 연안도시 지역을 선정하여 EPA-SWMM을 구축한다. 둘째, 다양한 경계조건에 대하여 유출분석을 수행한다. 셋째, 침수를 유발하는 해수면-강우 관계곡선을 작성한다. 이를 바탕으로 연안도시의 방재성능목표를 개선할 수 있는 방안을 검토하고자 한다. 연구 진행의 순서는 Fig. 1과 같다.

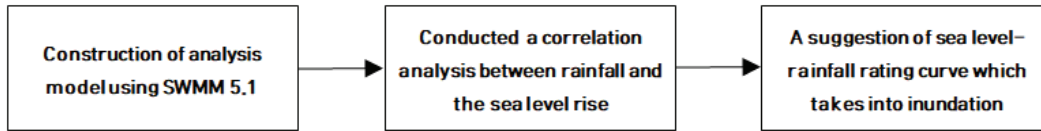


Fig. 1. Flow Chart

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상지역 및 SWMM구축

본 연구는 해수면 영향을 받으며 하천과 인접하거나 항구 주변에 위치한 연안도시를 우선적으로 선정하여 연구를 수행하였다. 남해권에 위치한 부산, 창원 목포 및 제주 등 4개시 8개 지역을 검토하였으며 본 연구에서는 부산광역시 해운대구 우동 일원에 위치한 센텀시티 지구를 선정하였다. 해당 지구는 대규모 주거단지와 지역을 대표하는 문화 및 위락시설이 위치해 인구밀집도와 유동인구가 많은 지역이다. 지구 우측에는 주거지역과 낮은 산지로 구성되어 있으며, 서측은 수영강과 바다(남해)의 경계와 맞닿아 있어 직접적인 조위영향 구간내에 속한다. 대상 지구에 위치한 총 13개의 방류구는 수영만 일대의 조위 영향구간 내에 있어 항상 잠겨 있다. 이로 인해 집중호우 발생시 내수배제 불량으로 인한 침수피해가 자주 발생하여 2012년에는 일대의 하수관로 설치 기준 강화 및 대규모 지하저류조를 완공하였다. 그럼에도 불구하고 최근 2017년 9월 11일 부산에 내린 264.1 mm의 집중호우로 인한 침수와 같이 피해가 반복되고 있다. 따라서 발생 가능한 해수위 상승을 고려한 강우량 추정을 바탕으로 홍수, 호우 등 재해를 예방하기 위한 노력이 필요하다. 따라서 센텀지구에 대하여 해수면 상승에 따라 침수를 유발하는 강우량 분석을 위한 SWMM 모델을 구축하였으며 Fig. 2와 같다. 정확한 분석을 위해서는 현재 연구대상지역의 현황을 SWMM 모델 내에 정확하게 구현하는 것이 적절하나, 본 연구에서는 해수면 상승에 따라 침수를 유발하는 강우량 분석을 수행하기 때문에 대상지역의 출구주변의 노드를 보다 상세하게 구축하였다. 자세한 속성정보는 Table 1과 나열하였다.

구축된 SWMM 모델에 고려해야 할 입력조건은 강우자료, 경계조건으로는 방류구 외수위이다. 먼저 강우량은 부산 기상관측소의 30년빈도 지속시간(1시간, 2시간, 3시간)별 확률강우량을 입력자료로 활용하였다(Table 2). 본 연구는 연안도시지역에 적용 가능한 방재성능목표 설정 개선방안을 탐색하는 것이기 때문에 현행 방재성능목표에서 활용하는 확률강우량을 사용하는 것이 적절하다 판단하였다. 지속 시간 별 강우주상도는 MLTMA (2011)에서 실무적 안전측으로 제시하고 있는 Huff 3분위를 적용하여 획득하였다.

방류구 외수위는 2014년도에 수행된 수영강 하천기본계획 보고서에 수록된 부산 검조소의 약최고고조위(EL. 0.735 m)를 적용하였다. 해당 조위는 실제 2014년에 수행된 수영강 하천기본계획에서 계획홍수위로 적용된 조위이기도 하다.

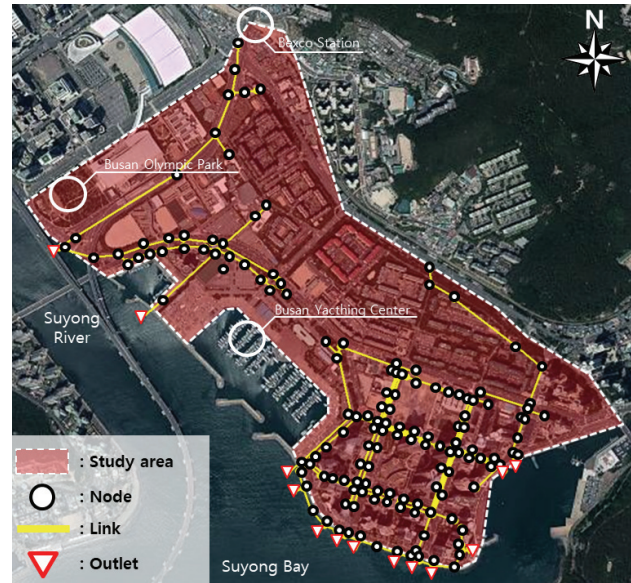


Fig. 2. Study Area

Table 1. Properties of Centum City

Category	Specification
Address	Dongbaek-ro, Haeundae-gu, Busan
Area	299.7 ha
Impervious ratio	77.5 %
Node	182 EA
Link	188 EA
Outlet	13 EA

Table 2. Probable Rainfall of 30-year Frequency in Busan

Duration	Probable rainfall (mm)
1-hr	98.7
2-hr	136.4
3-hr	162.7

### 2.2 연안도시에 적용 가능한 방재성능목표 제시를 위한 해수면-강우량 관계 분석

현행 방재성능목표는 강우량만을 고려하고 있기 때문에 해수면과 강우량이 함께 고려된 방재성능목표를 설정하기 위해서는 해수면과 강우량 간의 관계분석이 수행되어야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 다양한 해수면 조건과

**Table 3.** Configurations of Scenarios

Sea level (EL. m)	Increasing of Sea level (m)	Rainfall Scenario						
		R×1.0	R×1.5	R×2.0	R×2.5	R×3.0	R×3.5	R×4.0
0.735	-	S00	S01	S02	S03	S04	S05	S06
0.935	+ 0.2	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
1.135	+ 0.4	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26
1.335	+ 0.6	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36
1.535	+ 0.8	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46
1.735	+ 1.0	S50	S42	S52	S53	S54	S55	S56

다양한 강우량 조건에서의 유출분석을 수행하여 침수가 발생하는 노드개수를 확인하여 해수면-강우량 관계를 분석하였다. 이를 통해 연안도시에 침수피해를 발생시키는 강우량과 해수면의 영향을 확인할 수 있다. 적용 되는 시나리오는 Table 3과 같이 구성하였다. 해수면은 0.2 m 간격으로 1 m 까지 상승하는 것으로 시나리오를 구성하였으며, 강우량의 경우 지속시간 별로 확률강우량을 R×1.0으로 하여 최대 4배(R×4.0)까지 강우량이 증가하는 것으로 시나리오로 구성하였다. 지속시간 별로 42개의 시나리오가 구성되며, 총 126개의 시나리오를 통해 해수면-강우량 관계가 분석된다.

### 3. 연구 결과

현재시점의 센텀지구의 방재상태는 현재시점의 외수위 조건인 EL. 0.735 m에 대하여 지속시간 1시간, 2시간, 3시간의 확률강우량을 이용하여 유출분석을 수행하였다. 그 결과 해당지역은 배수위의 영향을 받아 현재시점에서도 침수우려가 있는 지역으로 확인된다(Table. 4 참고). 따라서 현재보다 해수면이 상승하고 강우량이 증가하게 된다면 더 큰 침수피해가 발생할 것으로 판단된다.

**Table 4.** Result of Flooding Analysis in the Present

Duration	Number of flooding node	Overflow(x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
1-hr	18	2
2-hr	19	2
3-hr	18	2

침수피해를 유발하는 해수면-강우량 곡선은 다양한 해수면, 강우조건을 통해 작성된다. 이를 통해 침수에 영향을 미치는 요인인 강우량과 해수면이 함께 고려된 침수피해정도를 간접적으로 살펴볼 수 있는 장점을 가진다. 분석결과, 강우지속시간에 상관없이 강우량이 증가하는 것보다 해수

면이 상승하는 경우에 침수노드 개수 증가가 민감하게 반응하였다. 지속시간 별 결과를 Fig. 3에서 Fig. 5까지 도시하였다.

Fig. 3은 강우 지속시간이 1시간인 경우의 해수면-강우량 관계 분석결과이다. 강우량의 변화없이 해수면만 상승하는 경우(S00, S10, S20, S30, S40, S50)의 침수노드 개수는 18개에서 49개로 증가하는 반면에, 해수면 상승 없이 강우량만 변화시키는 경우(S00, S01, S02, S03, S04, S05, S06)에는 18개에서 39개로 증가하였다. 해수면이 20 cm 상승에 따라 발생하는 침수 피해와 유사한 규모의 피해를 발생하는 강우량은 기존 지속시간 1시간 확률강우량의 3배인 296.1 mm가 동일한 지속시간에 발생해야하는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구적용지역에 침수피해에는 강우량의 증가보다 해수면 증가가 더 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있다. 발생 강우량이 기존의 확률강우량의 2.5배이고 해수면이 40 cm 증가한 경우를 기점(S23)으로 그 이상으로 강우량이 발생하고, 해수면이 증가하게 되면 침수노드가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 강우 지속시간이 2시간인 경우의 해수면-강우량 관계이며, 지속시간 1시간인 경우와 유사한 결과를 획득하였다. 강우량의 변화 없이 해수면만 상승하는 경우(S00, S10, S20, S30, S40, S50)에는 19개에서 50개로 침수노드가 증가하였다. 해수면의 상승없이 강우량만 변화시킨 경우(S00, S01, S02, S03, S04, S05, S06)에는 19개에서 39개로 침수노드가 증가하였다. 강우량 변화없이 해수면이 40 cm 상승함에 따라 발생하는 침수피해와 유사한 규모의 피해를 발생하는 강우량은 기존 지속시간 2시간 확률강우량의 2.5배인 341.0 mm 강우가 발생해야하는 것을 확인하였다.

강우 지속시간 3시간에서의 해수면-강우관계 곡선은 Fig. 5에 나타내었다. 해당 결과 역시 다른 지속시간과 유사한 결과를 보이고 있으나 강우량이 증가하고 해수면이 상승할 수록 침수노드의 개수가 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 해수면만 상승하는 경우(S00, S10, S20, S30, S40, S50)에는 침수노드가 18개에서 50개(S00, S01, S02, S03, S04, S05,

S06)로 증가하였고, 강우량만 증가하는 경우 침수노드가 18개에서 47개로 증가하여 지속시간 중 가장 큰 침수피해가 발생할 것으로 모의되었다.

본 연구에서 강우량 증가를 현재 확률강우량에서 크게 4배까지 증가시켰다. 그러나 확률강우량이 현재보다 2배 이상으로 증가하는 것은 비현실적인 수치로서, 본 연구를 통해 획득한 결과인 해수면 상승으로 인하여 발생한 피해규모와 유사한 피해를 발생시키는 강우량이 비현실적인 결과라고 할 수 있다. 본 연구결과를 통해 연안도시의 침수피해를 유발하는데 강우량보다는 해수면이 더 유효하게 적용하고 있는 것을 확인하였으며, 따라서 연안도시의 방재성능목표를 산정하기 위해서는 해수면 상승에 대비할 수 있는 목표 및 기준 설정이 시급하다는 것을 확인하였다.

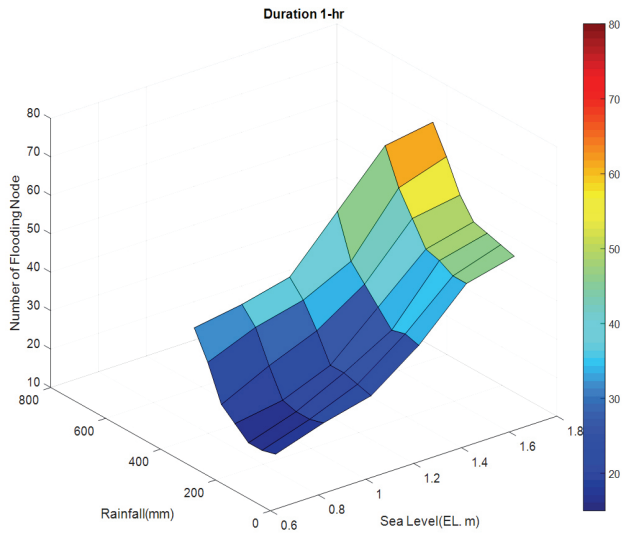


Fig. 3. Sea Level-rainfall Relationship Curve in Duration 1-hr

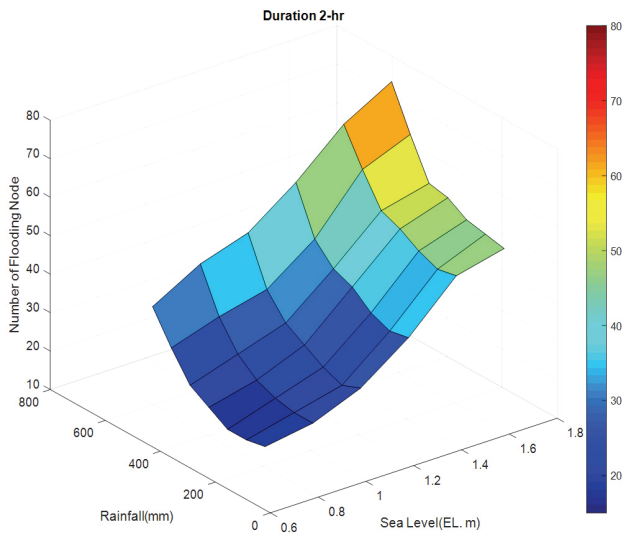


Fig. 4. Sea Level-rainfall Relationship Curve in Duration 2-hr

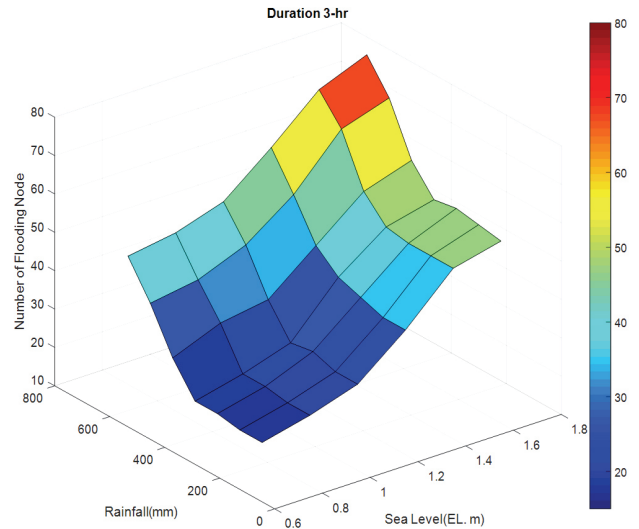


Fig. 5. Sea Level-rainfall Relationship Curve in Duration 3-hr

#### 4. 결론

우리나라 정부는 자연재해 피해를 최소화하고자 지자체별 방재성능목표를 설정함에 있어 강우량만을 고려하고 있어 바다와 인접한 연안도시에 방재성능목표를 설정하는데 한계를 가진다. 본 연구는 바다와 인접한 연안도시의 특성을 고려한 방재성능목표 선정 기준을 제시하고자 해수면과 강우량의 관계를 분석하였다. 이를 위하여 부산광역시 해운대구 우동 일원에 위치한 센텀시티 지구를 우선 연구지역으로 선정하였다. 해당지역은 현재 시점에서의 외수위 조건(약최고고조위) EL. 0.735 m에서도 배수위 영향으로 인해 침수위험이 있으며, 현재보다 해수면이 상승하고 강우량이 증가하게 된다면 더 큰 침수 피해가 발생할 것으로 판단되는 지역이다.

연안도시에 적용할 수 있는 방재성능목표 선정 기준을 마련을 위해서 우선적으로 연안도시의 침수피해를 유발하는 강우와 해수면에 사이의 관계분석이 수행되어야 한다. 이를 위해 강우 지속시간 별로 최대 4배까지 증가하고 해수면은 0.2 m 단위씩 1 m 증가하는 시나리오를 구성하였다. 총 126개의 시나리오를 통해 대상지역의 침수를 유발하는 해수면-강우 관계가 분석된다. 분석 결과, 강우 지속시간에 상관없이 강우량의 증가보다 해수면 상승으로 인한 침수피해가 더 큰 것으로 확인되었다. 강우 지속시간 1시간에 대해서 해수면만 20 cm 상승할 경우와 유사한 규모의 피해를 발생시키는 강우량은 지속시간 1시간 강우량인 98.7 mm의 3배인 296.1 mm로 강우량이 증가해야 하는 것으로 분석되었다. 실제 기후변화로 인하여 확률강우량이 증가하더라도 현재의 확률강우량 보다 2배 이상 증가하는 것은 비현실적인 결과라고 할 수 있다. 따라서 해수면 상승과 강우량을 함께 고려하여 방재성능목표를 설정하는 것으로는 현실적인 목

표설정이 불가능하다고 판단된다. 따라서 해수면 상승만을 고려한 방재성능목표 설정기준 마련을 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발 사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2015-03].

## References

- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., et al. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, Vol. 3, No. 9, pp. 816-821.
- Im, J., Lee, D., Park, M., Park, J., and Park, S. (2017). Analysis of the change in design flood due to climate variation. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 6, pp. 81-85.
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Kim, E.S., Yoo, J.Y., Chung, G., Park, M.J., and Choi, H.I. (2013). Analysis of the disaster environmental change considering climate change: 2. Flood risk area assessment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 4, pp. 219-226.
- Kim, H.S., Park, G.J., Kim, S.D., Choi, M.H., Park, M.J., and Yoon, J.Y. (2012). Assessment of flood vulnerability considering climate change and large-scale river restoration project. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 107-113.
- Kim, Y. (2011). *Estimation of probable rainfall for main cities of Korea considering climate change*. Ph.D. dissertation, Hongik University.
- Kim, Y.H., Yeo, C.G., Seo, G.S., and Song, J.W. (2011). Estimation of regional probable rainfall based on climate change scenarios. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 11, No. 3, pp. 29-35.
- Kim, Y., Kim, S., Kang, N., Kim, T., and Kim, H. (2014). Estimation of frequency based snowfall depth considering climate change using neural network. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 1, pp. 93-107.
- KEI (Korea Environment Institute). (2012). *Economic analysis of climate change in Korea*
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). (2011). Improving and supplementing analysis the probable rainfall.
- Seo, L., Jeon, M., Kim, T.W., and Kim, S. (2012). Ensemble prediction of future design rainfalls considering climate change. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 159-171.
- Song, G., and Lee, C. (2015). *Climate Change Adaptation Measures in Busan Coastal Areas*. Policy Research 2015-08-616, Busan Development Institute.
- Sung, J.H., Kim, B., Kang, H.S., and Cho, C. (2012). Non-stationary frequency analysis for extreme precipitation based on representative concentration pathways (RCP) climate change scenarios. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 231-244.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., et al. (2007). Observations: surface and atmospheric climate change. In *Climate change 2007: The physical science basis* (pp. 235-336). Contribution of Working Group 1 to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, UK: Cambridge University Press.

---

<b>Received</b>	November 7, 2018
<b>Revised</b>	November 9, 2018
<b>Accepted</b>	November 15, 2018