

# 해수면 상승을 고려한 연안 도시 방재성능목표 강우량 평가

## Assessment of Prevention Performance Target Rainfall in Coastal Cities with Sea Level Rise

김동준\* · 최경민\*\* · 송양호\*\*\* · 이정호\*\*\*\*

Kim, Dong Jun\*, Choi, Kyung Min\*\*, Song, Yang Ho\*\*\*, and Lee, Jung Ho\*\*\*\*

### Abstract

The rise in average sea level due to climate change aggravates the vulnerability of coastal areas, increasing the likelihood of flooding due to erosion of outfall to the coast and rivers. Therefore, the design standards of defense facilities should be strengthened to address such increased risk of flooding. Accordingly, in this study, a plan to adjust the disaster prevention performance target rainfall for two research areas was selected in consideration of the regional characteristics of the coastal area and the average sea level rise predicted for 2050, and the disaster prevention performance target rainfall increased from at least 89% to up to 169%. Based on these results, it is believed that this study can serve as a basis for improving data on rainfall targets for disaster prevention performance with consideration of future sea level rise in coastal cities.

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

### 요 지

기후변화에 따른 평균 해수면의 상승은 해안지역의 취약성에 대한 문제를 강화시킨다. 해수면의 상승은 해안 및 하천으로 방류되는 토구의 잠식으로 인한 내수침수 발생 가능성을 증가시킨다. 그러므로 해수면 상승으로 인해 증가되는 내수침수 위험도에 대응하여 방어시설의 설계 기준 또한 상향 조정 되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 해안지역의 지역적 특성과 2050년 평균 해수면 상승고를 고려하여 2개의 연구지역에 대한 방재성능목표 강우량 조정안을 선정하였으며 시나리오에 따라 최소 89%에서 최대 169%의 방재성능목표 강우량의 증가를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 향후 연안 도시들의 해수면 상승을 고려한 방재성능목표 강우량 자료 개선을 위한 수치적인 근거로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 방재성능목표 강우량, 해수면 상승, 기후변화, 내수침수

## 1. 서론

지구온난화로 인한 기후변화의 영향은 다양한 자연·사회적 재난을 야기한다. 기후변화에 따른 평균 해수면의 상승은 해안지역의 취약성에 대한 문제를 강화시킨다. 우수관거는 강우 발생 시 우수를 원활히 배제하여 도심지에서의

침수 발생을 방지하는 것을 주된 목적으로 한다. 하지만 기후변화에 따른 평균 해수면의 상승이 방류토구를 잠식시킬 경우 우수관거의 제 기능을 발휘하지 못하게 한다. 또한 해수면의 상승은 그 영향 범위 내의 하천 수위의 상승으로 이어지며, 이는 해안 및 하천으로 방류되는 토구의 잠식에 따른 내수침수 발생 가능성을 증대시키는 원인이 된다. 따라

\*정회원, 국립한밭대학교 건설환경공학과 석사과정(E-mail: junhydro@gmail.com)

Member, Master Course Student, Dept. of Civil and Environmental Eng., Hanbat National University

\*\*정회원, 국립한밭대학교 건설환경공학과 박사과정(E-mail: withckm@gmail.com)

Member, Ph.D. Student, Dept. of Civil and Environmental Eng., Hanbat National University

\*\*\*정회원, 대전세종연구원 미래기획실 연구위원(Tel: +82-44-550-3551, E-mail: ysong@dsi.re.kr)

Member, Research Fellow, Future Planning Division, Daejeon Sejong Research Institute

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

Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Civil and Environmental Eng., Hanbat National University

서 해수면 상승을 고려한 해안 방류 도시의 내수침수 피해 저감 및 홍수방어대책 수립이 필요하다.

기후변화로 인한 강우 특성의 변화를 초점을 둔 방재성능 목표의 재산정에 대한 연구들은 다수 진행되어 왔다. Jung et al. (2017)은 충남지역 및 대전지역의 특성을 반영한 목표 강우량 산정 및 기존 목표 강우량과 비교검토를 수행하였다. Ko et al. (2018)은 제주도 산악지역 및 섬에 의한 강우특성을 반영한 방재성능목표 강우량을 제시하였다. 이에 최근에는 기후변화로 인한 해수면 상승을 고려한 방재성능목표 강우량과 관련된 국내 연구들이 다양하게 수행되고 있다. Lee et al. (2016)은 해수면 상승과 확률강우량간의 변화 곡선을 작성하여 재현기간 별 확률강우량을 산정하였다. Park et al. (2018)은 방재성능목표 강우량 기준의 개선을 위하여 기후변화에 따른 해수면 상승과 강우간의 관계를 분석하여 침수를 유발하는 해수면-강우 관계곡선을 제안하였다. Choi et al. (2019)는 XP-SWMM 모형을 이용한 연안도시 지역의 해수면 상승에 따른 방재성능목표의 적정성을 검토하였다. Park et al. (2020)은 연안도시의 침수피해를 발생시키는 해수면 상승률을 고려한 방재성능목표 설정방안을 제시하였다. 해수면 상승을 고려한 방재성능목표 강우량 연구이지만 방재성능목표 강우량의 수치적인 상승 방안은 부족하다.

이에 따라 본 연구에서는 우수관망 평가 방식인 신뢰도를 기반으로 서해안과 남해안 해역에서의 해안지역 중·소도시의 우수관망에 시나리오에 따른 다양한 경우의 조위를 적용 및 분석하였다. 산정된 신뢰도 결과를 통하여 연안 지역의 지역적 특성을 고려한 기후변화 시나리오에 따른 해수면 상승이 현재 도시 지역의 설정된 치수 안정성을 얼마만큼 위협하는지를 산술적으로 산출하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 향후 해수면 상승을 고려한 연안 도시들에 대한 내수침수 위험도 평가 및 해수면 상승을 고려한 방재성능목표 조정안에 대하여 제시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 시나리오 설정

IPCC (2014)는 5차 평가 보고서(Fifth Assessment Report, AR5)를 통하여 지구온난화로 인한 지구 평균 해수면(Global Mean sea level)의 상승 비율이 증가하고 있음을 언급하였다. 또한 온실가스(Green House Gases)에 인한 해당 지구 평균 해수면의 변화 예상치를 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)의 시나리오에 따라 표현하였다. 이로 인해

해당 AR5를 기반으로한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 AR5에 기반을 둔 연구 데이터를 사용하였다. KOEM (2012)의 해수면상승 시뮬레이터 데이터를 사용하였다. 해당 데이터에서 우리나라 해역의 RCP 8.5일 때의 2050년 예상 해수면 상승고 값인 0.4 m를 적용하였다. 각 지역에서는 KHOA (2015)의 격자형 해양정보에서 제공하는 기본수준점 데이터를 사용하였다. 해당 데이터의 평균해면 및 약최고고조위를 추출하여 4가지의 시나리오를 선정하여 본 연구에 적용하였다. 해당 지역의 토구에 적용된 조위 값은 Table 1과 같다. Scenario 1일 때 방류토구에 해당 지역의 평균해면을 적용하였다. Scenario 2에서는 평균해면에 RCP 8.5일 때 2050년 예상 해수면 상승고를 더해준 값을 적용하였다. Scenario 3에서는 해당 지역의 약최고고조위를 적용하였다. Scenario 4에서는 약최고고조위에 RCP 8.5일 때 2050년 예상 해수면 상승고를 더해준 값을 적용하였다.

### 2.2 거리척도방법(DMM)

다른 물리량을 갖는 두 인자를 비교하기 위하여 Lee (2012)의 거리척도방법(Distance Measure Method, DMM)을 적용하였다. 현재의 시스템의 상황을 평가하기 위하여 시스템이 제기능을 발휘하고 있는 이상점(utopian point) 1과 제기능을 이행하지 못하는 현재상태에 대한 거리 차를 척도로 하여 현 상태에 대한 정량적인 평가가 가능한 utopian approach 개념을 이용하였다. 본 연구에서는 서로 다른 단위의 인자들에 대한 종합적인 평가를 위하여 이상점 Fig. 1과 같이 X축, Y축 2개의 인자를 비교할 때 파괴가 발생하지 않는 이상점인

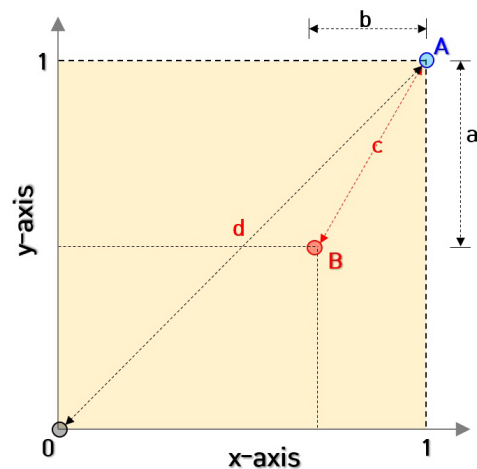


Fig. 1. Concept of Distance Measure Method (Lee, 2012)

Table 1. Sea Level Scenarios According RCP 8.5 on 2050

Research Area	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Gunsan Youngdong Area	0.000	0.400	3.685	4.085
Wando-gun Wando-eup Area	-0.090	0.310	1.910	2.310

unit : [EL.m]

A(1, 1)과 현상태의 B(1-b, 1-a)와의 거리차이  $c$ 를 이용하여 현재의 상태를 종합적으로 평가하게 된다. 거리척도는 다음의 Eq. (1)과 같은 euclidean distance에 의하여 시스템 신뢰도를 평가하였다.

$$\text{Euclidean distance} : c = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (1)$$

### 2.3 우수관망 신뢰도

Lee (2012)에 따르면 신뢰도란 우수관망이 제역할을 수행하지 못하는 파괴 확률을 수치적으로 표현한 값이다. 경우에 의해 발생하는 차원이 다른 월류 발생량과 월류 발생 지점 개수 데이터를 거리척도방법을 이용하여 나타내었다. 기존의 신뢰도에서는 적용 강우에 따른 월류 발생량( $V_o$ )<sub>*i*</sub>과 관망 내 총 유입량( $V_t$ )<sub>*i*</sub>을 통하여 다음 Eq. (2)과 같은 빈도별 월류 발생량 비율 *RVDMM* (Reliability of overflow Volume using DMM)을 도출하였다. 적용 강우에 따른 월류 발생 지점 개수( $N_o$ )<sub>*i*</sub>와 총 지점 개수( $N_t$ )<sub>*i*</sub>를 통하여 다음 Eq. (3)와 같은 빈도별 월류 발생 지점 비율 *RNDMM* (Reliability of number of overflow Nodes using DMM)을 도출하였다. Lee (2012)의 신뢰도에서는 *RVDMM*와 *RNDMM* 인자를 통하여 Eq. (4)와 같은 우수관망신뢰도(Reliability of Sewer system using DMM, *RSDMM*)를 산정하였다.

본 연구에서는 기존의 Lee (2012)의 우수관망 신뢰도 산정 식에 시간 인자를 추가하여 개선된 우수관망신뢰도 (Improved Reliability of Sewer system using DMM, *IRSDMM*)를 산정하였다. 적용 강우에 따른 최장 월류 시간( $H_o$ )<sub>*i*</sub>과 강우지속시간( $H_t$ )<sub>*i*</sub>을 통하여 다음 Eq. (5)와 같은 빈도별 월류발생 시간 비율 *RHDDMM* (Reliability of flooded Hours using DMM)을 도출하였다. 최종적으로 도출된 월류 발생량 비율 *RVDMM*과 월류 발생 지점 비율 *RNDMM*, 월류 발생 시간 비율 *RHDDMM*을 종합적으로 고려한 개선된 신뢰도는 다음의 Eq. (6)과 같다. 신뢰도는 EPA-SWMM 5.1을 이용하여 산출된 데이터를 기반으로 각각의 인자를 도출하였다.

$$RVDMM = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_o}{V_t}\right)^2}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$RNDMM = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_o}{N_t}\right)^2}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$RSDMM = 1 - \frac{\sqrt{(1 - RVDMM)^2 + (1 - RNDMM)^2}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$RHDDMM = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{H_o}{H_t}\right)^2}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$IRSDMM = 1 - \frac{\sqrt{(1 - RVDMM)^2 + (1 - RNDMM)^2 + (1 - RHDDMM)^2}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

### 2.4 방재성능목표 강우량 및 재조정 기준

방재성능목표는 기존 시설물의 방재성능을 평가하고 이를 개선함으로써 지역별 방재성능목표 달성을 통한 재해저감을 목적으로 한다. 방재성능목표의 용도는 기존의 하수도 등 내배수시스템 전반에 대한 방재성능을 평가한 후 방재성능목표를 달성하기 위한 계획수립 등에 활용된다. 기본적으로 1, 2, 3시간을 기준으로 산정하며 해당 지역의 확률강우량 및 유역특성 등을 고려하여 설정되기 때문에 지역별 산정 방재성능목표 강우량은 다르게 산정된다. 본 연구에서 사용된 평균해면일때의 지역별 방재성능목표 강우량은 Table 2와 같다. 해당 방재성능목표 강우량은 행정안전부에서 제시한 미래 기후변화 영향을 고려한 지역별 방재성능목표 설정·운영 기준(MOIS, 2017)의 데이터를 사용하였다.

본 연구에서는 산출된 신뢰도(*IRSDMM*) 결과값을 통하여 시나리오 별 방재성능목표 강우량 변화를 수치화하였다. 연구 지역의 강우지속시간에서 강우량이 증가됨에 따라 우수관망의 성능을 신뢰도를 통하여 방재성능목표 조정안을 도출하였다. 본 장에서는 산출된 신뢰도표를 기반으로 지속시간 1, 2, 3시간에 대하여 해당 지역의 Scenario 1 (평균해면)일 때의 방재성능목표 강우량의 신뢰도 값과 Scenario 변화에 따른 동일한 지속시간 별 동일한 신뢰도일 때의 강우량 값을 도출함으로써 해수면이 상승함에 따라 변화하는 방재성능목표 강우량 조정안을 산정하였다. Fig. 2는 본 장에서의 시나리오별 방재성능목표 강우량 조정안 산정 개념도이다.

먼저 반시계방향으로 보면 좌측 상단의 그림은 Scenario 4일 때의 해당 지역의 기존에 산정된 방재성능목표 강우량 그래프이다. 두 번째 좌측 하단의 그림은 Scenario 4일 때의 해당 지역의 방재성능목표 강우량의 신뢰도 값 그래프이다. 세 번째의 우측 하단의 그림은 Scenario 4일 때의 신뢰도에 대응하는 Scenario 1에 대한 신뢰도 값을 나타낸다. 마지막

**Table 2.** Disaster Prevention Performance Target Rainfall in Research Area

Research Area	unit : [mm]		
	1 hr	2 hr	3 hr
Gunsan Youngdong Area	75	120	145
Wando-gun Wando-eup Area	90	125	160

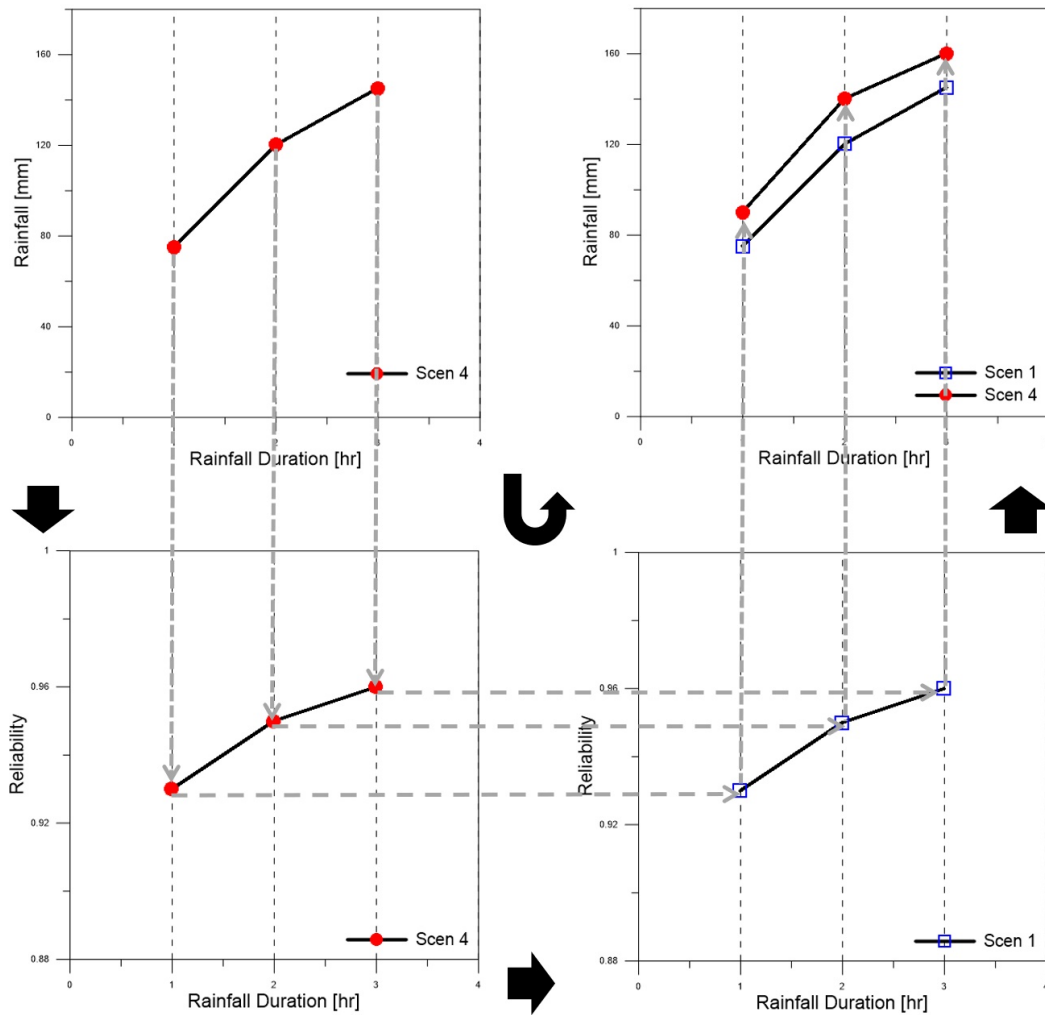


Fig. 2. Calculation Process of Improved Disaster Prevention Performance Target Rainfall

우측 상단 그래프는 결국 Scenario 4에서의 방재성능목표 강우량에 따른 신뢰도를 유지하기 위한 Scenario 1에서 대응하는 방재성능목표 강우량을 나타낸다. 이는 기후변화로 인한 해수면 상승으로 우수관망 내수침수 위험도의 증가를 수치적으로 보여주는 반면 동일한 신뢰도 유지를 위해서는 해당 지역에서의 방재성능목표 강우량 기준의 상향 조정이 필요함을 나타낸다.

## 2.5 연구 과정

본 연구의 과정은 Fig. 3과 같다. EPA-SWMM 5.1 프로그램을 사용하기 때문에 EPA-SWMM에 적용 가능한 해당 지역의 우수관망과 해당 지역의 강우 자료를 구축하였다. 해당 지역의 관망에서 각각의 유출구에는 배수위 방지를 위한 조수갑문이 설치하였으며, 각각의 적용 조위는 앞서 언급한 시나리오에서의 조위를 대입하였다. 추가적으로 강우량을 변경하여 실행하는 반복적인 작업이기 때문에 Visual Basic 코드를 이용하여 본 연구를 진행하였다. 결과물을

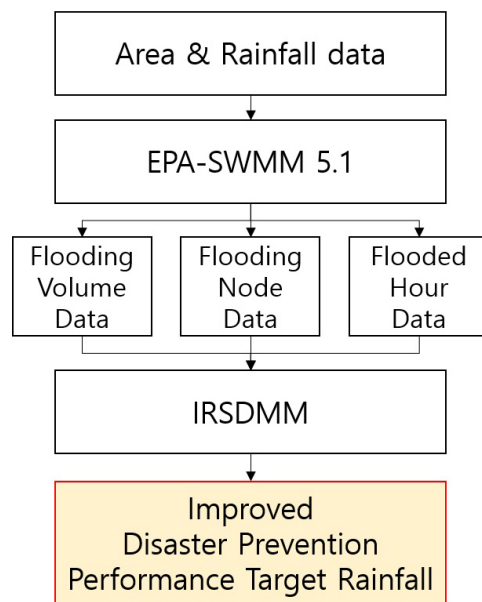


Fig. 3. Flow Chart on this Research

통하여 *RVDMM*, *RNDMM*, *RHDMM*의 세 인자 결과를 산출하였으며 세 인자를 통한 신뢰도를 산출하였다. 산출된 신뢰도를 바탕으로 해수면 상승에 따른 시나리오 별 방재성능목표 강우량 조정안을 산정하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 적용 강우 및 적용 지역

본 연구에서는 해당 지역에  $1/100$ 분위를 기준으로 강우지속시간 별 강우 분포 자료를 제작 및 적용하였다. 강우의 지속시간은 10분, 30분, 60분, 120분, 180분, 360분, 720분, 1,440분으로 총 8개의 강우를 적용하였으며, 초기 강우량 5 mm이며 이후 5 mm 단위로 증가시켜가며 신뢰도 결과를 도출하였다. 본 연구에서는 전라북도 군산시 영동지구(월명동)와 전라남도 완도군 완도읍을 대상으로 진행하였다. 해당 지역들의 토구는 각각 해안으로 연결되어있다. 해당 지역들의 면적은 Table 3과 같으며, 해당 지역의 모습은 Fig. 4와 같다. 기본수준점(Tidal Bench Mark, T.B.M.)은 T.B.M.의 글씨와 함께 지역의 그림에 표시하였다.

**Table 3.** Extent of Research Area

Research Area	Extent
Gunsan Youngdong Area	80.767
Wando-gun Wando-eup Area	124.858

unit : [ha]

#### 3.2 지역 별 IRSDMM 결과

본 장에서는 앞서 언급한 지역들을 분석하였다. 초기 강우량 5 mm에서 5 mm씩 점증시키며 도출된 인자들을 통하여 해당 지역에 대한 지속시간별·시나리오별·강우량 별 *IRSDMM*을 도출하였다. Table 4는 해수면 상승 시나리오를 적용한 군산시 영동지구 강우지속시간 1시간, 2시간, 3시간 일때의 75~150 mm 강우량과 225~390 mm 강우량에 대한 *IRSDMM* 결과값이다. Table 5는 해수면 상승 시나리오를 적용한 완도군 완도읍 강우지속시간 1시간, 2시간, 3시간일 때의 90~130 mm 강우량과 160~360 mm 강우량에 대한 *IRSDMM* 결과값이다. 결과들의 표를 보면 시나리오가 증가할수록 해수면이 상승함에 따라 관망의 성능이라 할 수 있는 신뢰도 값이 감소하는 것을 수치적으로 확인할 수 있다. 해수면이 상승하여 유출구를 막기 때문에 기존에 발생하지 않던 홍수가 더 이른 강우량에서 발생하게 되며 동일 강우량일 때의 더 높은 해수면은 관망의 통수능을 저하시킨다. Scenario 4에서의 방재성능목표 강우량에 준하는 신뢰도를 Scenario 1에서 일치시켰으며 해당 부분을 지역별 Tables 4, 5에서 음영처리 하였고 해당 데이터를 3.3장에서 정리하였다.

#### 3.3 지역별 방재성능목표 강우량 조정안

위의 지역들의 산출된 신뢰도를 기반으로 시나리오 별 방재성능목표 강우량 조정안을 도출하였다. Table 6은 군산시 영동지구의 시나리오별 방재성능목표 강우량 조정안 결과이다. Fig. 5는 Table 6을 그래프로 표현한 그림이다. Table 7은 완도군 완도읍의 시나리오별 방재성능목표 강우량 조정안 결과이다. Fig. 6은 Table 7을 그래프로 표현한



(a) Gunsan Youngdong Area



(b) Wando-gun Wando-eup Area

**Fig. 4.** Image of Research Area

**Table 4.** IRSDMM Result of Gunsan

Rainfall (mm)	Rainfall Duration											
	1 hr				2 hr				3 hr			
	Scenario											
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
75	0.701	0.701	0.567	0.567	0.929	0.929	0.716	0.645	0.994	0.994	0.794	0.668
80	0.685	0.685	0.556	0.545	0.909	0.909	0.689	0.628	0.994	0.994	0.791	0.673
85	0.664	0.664	0.540	0.529	0.887	0.887	0.676	0.619	0.994	0.994	0.795	0.655
90	0.661	0.661	0.532	0.518	0.879	0.879	0.664	0.607	0.994	0.994	0.784	0.638
95	0.634	0.634	0.500	0.497	0.865	0.865	0.654	0.596	0.975	0.975	0.778	0.632
100	0.633	0.633	0.510	0.504	0.858	0.858	0.642	0.578	0.953	0.953	0.759	0.620
105	0.625	0.625	0.512	0.504	0.832	0.832	0.613	0.572	0.927	0.927	0.754	0.618
110	0.606	0.606	0.495	0.490	0.814	0.814	0.621	0.566	0.914	0.914	0.746	0.610
115	0.585	0.585	0.487	0.479	0.807	0.807	0.606	0.556	0.904	0.904	0.726	0.601
120	0.582	0.582	0.486	0.486	0.791	0.791	0.606	0.538	0.888	0.888	0.709	0.577
125	0.580	0.580	0.488	0.478	0.782	0.782	0.592	0.537	0.881	0.881	0.704	0.579
130	0.592	0.592	0.484	0.474	0.778	0.778	0.574	0.524	0.873	0.873	0.696	0.570
135	0.595	0.595	0.471	0.466	0.774	0.774	0.562	0.516	0.868	0.868	0.686	0.560
140	0.583	0.583	0.487	0.477	0.774	0.774	0.549	0.503	0.858	0.858	0.678	0.558
145	0.580	0.580	0.474	0.464	0.757	0.757	0.531	0.492	0.853	0.853	0.658	0.546
150	0.555	0.555	0.475	0.461	0.736	0.736	0.511	0.479	0.842	0.842	0.640	0.545
225	0.439	0.439	0.378	0.373	0.627	0.627	0.438	0.430	0.748	0.748	0.509	0.471
230	0.443	0.443	0.382	0.378	0.611	0.611	0.447	0.428	0.733	0.733	0.496	0.465
235	0.439	0.439	0.379	0.374	0.602	0.602	0.443	0.424	0.728	0.728	0.482	0.456
240	0.447	0.447	0.374	0.374	0.594	0.594	0.441	0.426	0.721	0.721	0.477	0.450
245	0.439	0.439	0.366	0.361	0.585	0.585	0.439	0.424	0.722	0.722	0.474	0.453
250	0.435	0.435	0.361	0.357	0.576	0.576	0.430	0.420	0.707	0.707	0.477	0.455
255	0.426	0.426	0.357	0.353	0.565	0.565	0.424	0.409	0.706	0.706	0.479	0.450
260	0.422	0.422	0.353	0.348	0.562	0.562	0.420	0.407	0.699	0.699	0.466	0.448
265	0.426	0.426	0.353	0.348	0.558	0.558	0.418	0.411	0.704	0.704	0.464	0.443
270	0.418	0.418	0.344	0.344	0.557	0.557	0.416	0.400	0.701	0.701	0.463	0.438
275	0.414	0.414	0.340	0.340	0.549	0.549	0.418	0.396	0.700	0.700	0.457	0.438
280	0.414	0.414	0.340	0.340	0.535	0.535	0.414	0.394	0.697	0.697	0.456	0.432
285	0.414	0.414	0.336	0.336	0.542	0.542	0.416	0.392	0.686	0.686	0.454	0.431
290	0.414	0.414	0.341	0.341	0.532	0.532	0.412	0.392	0.679	0.679	0.452	0.425
295	0.414	0.414	0.336	0.336	0.531	0.531	0.414	0.390	0.676	0.676	0.452	0.429
300	0.409	0.409	0.341	0.341	0.539	0.539	0.405	0.386	0.664	0.664	0.458	0.432
305	0.397	0.397	0.337	0.337	0.518	0.518	0.408	0.386	0.673	0.673	0.455	0.426
310	0.405	0.405	0.337	0.337	0.510	0.510	0.408	0.384	0.664	0.664	0.442	0.418
315	0.405	0.405	0.337	0.337	0.513	0.513	0.405	0.392	0.651	0.651	0.435	0.417
320	0.401	0.401	0.333	0.333	0.511	0.511	0.410	0.390	0.637	0.637	0.442	0.415
325	0.397	0.397	0.328	0.328	0.509	0.509	0.408	0.386	0.637	0.637	0.444	0.415
330	0.385	0.385	0.315	0.315	0.499	0.499	0.403	0.380	0.621	0.621	0.424	0.410
335	0.380	0.380	0.315	0.315	0.513	0.513	0.388	0.384	0.596	0.596	0.431	0.410
340	0.376	0.376	0.315	0.315	0.491	0.491	0.388	0.384	0.593	0.593	0.429	0.412
345	0.364	0.364	0.311	0.311	0.494	0.494	0.408	0.382	0.585	0.585	0.429	0.408
350	0.376	0.376	0.311	0.311	0.492	0.492	0.399	0.378	0.579	0.579	0.424	0.407
355	0.372	0.372	0.311	0.311	0.490	0.490	0.404	0.382	0.574	0.574	0.430	0.406
360	0.372	0.372	0.311	0.311	0.486	0.486	0.389	0.380	0.557	0.557	0.418	0.401
365	0.376	0.376	0.320	0.320	0.480	0.480	0.384	0.371	0.563	0.563	0.421	0.400
370	0.372	0.372	0.316	0.316	0.474	0.474	0.384	0.380	0.558	0.558	0.429	0.400
375	0.360	0.360	0.312	0.312	0.474	0.474	0.382	0.378	0.548	0.548	0.423	0.399
380	0.351	0.351	0.302	0.302	0.479	0.479	0.374	0.369	0.551	0.551	0.418	0.386
385	0.355	0.355	0.307	0.302	0.468	0.468	0.378	0.374	0.550	0.550	0.417	0.389
390	0.364	0.364	0.307	0.307	0.470	0.470	0.372	0.367	0.550	0.550	0.415	0.393

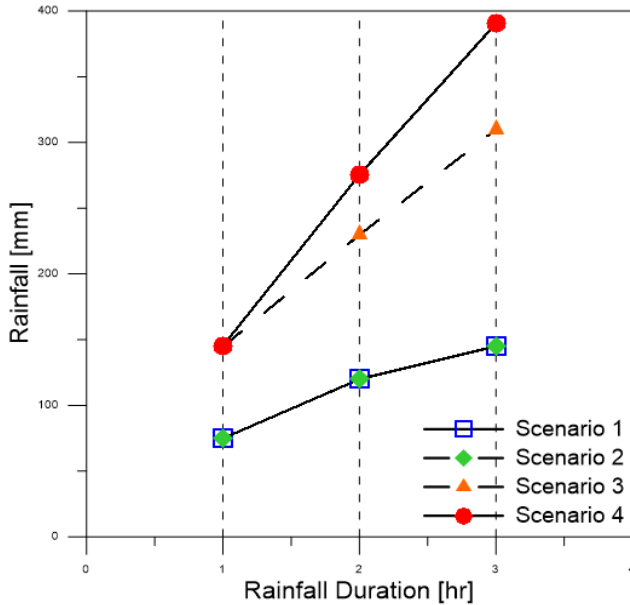
Table 5. IRSDMM Result of Wando

Rainfall (mm)	Rainfall Duration											
	1 hr				2 hr				3 hr			
	Scenario											
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
90	0.732	0.734	0.603	0.519	0.817	0.821	0.741	0.613	0.871	0.874	0.774	0.617
95	0.715	0.715	0.582	0.525	0.809	0.809	0.727	0.596	0.860	0.864	0.763	0.608
100	0.705	0.703	0.559	0.494	0.802	0.805	0.711	0.576	0.849	0.852	0.751	0.604
105	0.689	0.684	0.561	0.496	0.797	0.798	0.694	0.576	0.840	0.843	0.739	0.594
110	0.672	0.672	0.550	0.494	0.790	0.790	0.671	0.559	0.831	0.834	0.728	0.587
115	0.656	0.660	0.547	0.486	0.780	0.783	0.659	0.551	0.822	0.822	0.710	0.586
120	0.648	0.644	0.541	0.474	0.772	0.773	0.649	0.546	0.813	0.815	0.707	0.579
125	0.631	0.629	0.536	0.483	0.766	0.767	0.637	0.539	0.805	0.805	0.697	0.578
130	0.617	0.619	0.507	0.460	0.757	0.759	0.633	0.532	0.798	0.800	0.688	0.574
160	0.544	0.472	0.472	0.429	0.704	0.558	0.558	0.489	0.768	0.625	0.625	0.543
165	0.532	0.487	0.487	0.425	0.691	0.553	0.553	0.489	0.763	0.615	0.615	0.537
170	0.529	0.471	0.471	0.415	0.680	0.546	0.546	0.486	0.756	0.608	0.608	0.523
175	0.516	0.469	0.469	0.411	0.669	0.538	0.538	0.477	0.750	0.600	0.600	0.525
180	0.513	0.462	0.462	0.413	0.657	0.534	0.534	0.473	0.745	0.593	0.593	0.518
185	0.510	0.450	0.450	0.409	0.643	0.524	0.524	0.471	0.739	0.587	0.587	0.518
190	0.503	0.445	0.445	0.405	0.633	0.520	0.520	0.468	0.732	0.583	0.583	0.510
195	0.503	0.440	0.440	0.408	0.624	0.515	0.515	0.457	0.725	0.578	0.578	0.508
200	0.494	0.436	0.436	0.409	0.617	0.511	0.511	0.457	0.718	0.576	0.576	0.501
205	0.498	0.431	0.431	0.411	0.610	0.510	0.510	0.450	0.710	0.570	0.570	0.496
210	0.489	0.427	0.427	0.399	0.603	0.508	0.508	0.445	0.703	0.569	0.569	0.499
215	0.491	0.422	0.422	0.394	0.596	0.508	0.508	0.450	0.694	0.562	0.562	0.493
220	0.489	0.417	0.417	0.391	0.590	0.500	0.500	0.448	0.684	0.560	0.560	0.485
225	0.484	0.412	0.412	0.384	0.583	0.495	0.495	0.443	0.669	0.550	0.550	0.478
230	0.478	0.410	0.410	0.384	0.577	0.493	0.493	0.445	0.658	0.547	0.547	0.470
235	0.473	0.390	0.390	0.367	0.572	0.493	0.493	0.441	0.648	0.546	0.546	0.471
240	0.473	0.400	0.400	0.370	0.568	0.488	0.488	0.438	0.637	0.545	0.545	0.471
245	0.475	0.400	0.400	0.375	0.563	0.484	0.484	0.427	0.630	0.545	0.545	0.467
250	0.470	0.388	0.388	0.363	0.558	0.484	0.484	0.429	0.623	0.537	0.537	0.465
255	0.464	0.396	0.396	0.360	0.555	0.488	0.488	0.420	0.615	0.529	0.529	0.460
260	0.460	0.388	0.388	0.361	0.549	0.477	0.477	0.422	0.609	0.526	0.526	0.460
265	0.454	0.384	0.384	0.361	0.544	0.477	0.477	0.420	0.602	0.520	0.520	0.458
270	0.455	0.382	0.382	0.356	0.541	0.473	0.473	0.417	0.600	0.521	0.521	0.448
275	0.450	0.382	0.382	0.349	0.540	0.473	0.473	0.417	0.594	0.515	0.515	0.444
280	0.450	0.372	0.372	0.344	0.533	0.468	0.468	0.415	0.590	0.511	0.511	0.445
285	0.436	0.377	0.377	0.352	0.529	0.468	0.468	0.415	0.585	0.513	0.513	0.445
290	0.441	0.372	0.372	0.342	0.527	0.464	0.464	0.413	0.582	0.508	0.508	0.439
295	0.441	0.378	0.378	0.347	0.525	0.462	0.462	0.415	0.578	0.499	0.499	0.437
300	0.432	0.370	0.370	0.339	0.522	0.457	0.457	0.415	0.577	0.499	0.499	0.439
305	0.430	0.358	0.358	0.338	0.516	0.453	0.453	0.406	0.573	0.496	0.496	0.435
310	0.427	0.361	0.361	0.338	0.513	0.457	0.457	0.403	0.570	0.498	0.498	0.438
315	0.423	0.363	0.363	0.332	0.511	0.451	0.451	0.399	0.566	0.498	0.498	0.436
320	0.418	0.361	0.361	0.332	0.512	0.444	0.444	0.403	0.563	0.498	0.498	0.438
325	0.421	0.361	0.361	0.330	0.510	0.455	0.455	0.399	0.560	0.491	0.491	0.434
330	0.421	0.359	0.359	0.331	0.507	0.452	0.452	0.406	0.557	0.489	0.489	0.432
335	0.414	0.349	0.349	0.331	0.501	0.450	0.450	0.406	0.554	0.486	0.486	0.432
340	0.409	0.344	0.344	0.320	0.493	0.450	0.450	0.399	0.552	0.486	0.486	0.430
345	0.411	0.346	0.346	0.326	0.492	0.448	0.448	0.399	0.548	0.487	0.487	0.431
350	0.407	0.351	0.351	0.323	0.492	0.446	0.446	0.392	0.546	0.484	0.484	0.427
355	0.409	0.356	0.356	0.328	0.489	0.448	0.448	0.396	0.543	0.482	0.482	0.424
360	0.409	0.351	0.351	0.331	0.491	0.444	0.444	0.399	0.542	0.482	0.482	0.421

**Table 6.** Improved Disaster Prevention Performance Target Rainfall in Gunsan Area

Scenario	Rainfall Duration		
	1 hr	2 hr	3 hr
Scenario 1	75.0	120.0	145.0
Scenario 2	75.0	120.0	145.0
Scenario 3	145.0	230.0	310.0
Scenario 4	145.0	275.0	390.0

unit : [mm]



**Fig. 5.** Improved Disaster Prevention Performance Target Rainfall in Gunsan Area

그림이다.

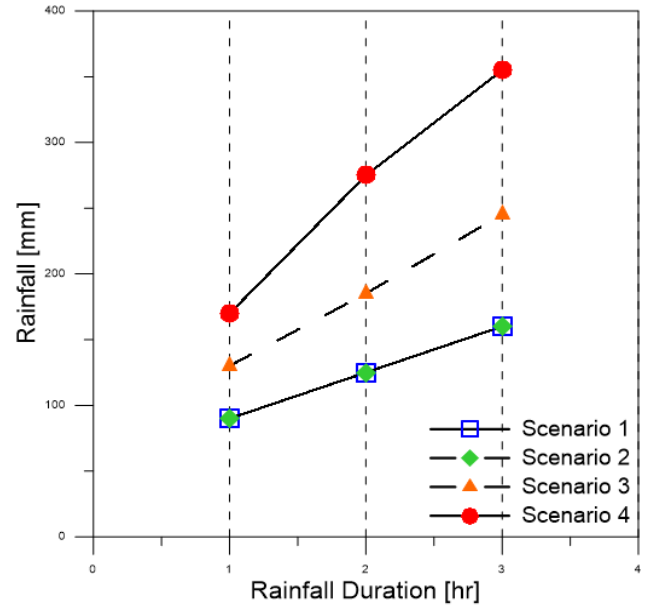
Table 6은 앞서 언급한 방재성능목표 강우량 조정안 산정 방식을 통하여 도출한 군산의 방재성능목표 강우량 조정안이다. 해수면이 상승함에 따라 해당 관망에서 필요한 통수능이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 Scenario 1 (평균해면)일 때 1시간의 지속강우에서 75 mm의 강우가 기준이라면 해수면이 상승한 Scenario 4일 때에는 1시간의 지속강우일 때 145 mm의 강우를 수용할 수 있는 관망으로 개량이 필요하다는 의미이다. Scenario 1과 Scenario 4를 비교하였을 때 3시간 강우에서 169%의 방재성능목표 강우량이 증가하였으며 2시간 강우에서는 129%, 1시간 강우에서는 93%의 강우량이 증가함을 보였다. 이는 동일한 신뢰도를 유지하기 위해서는 지역에서의 방재성능목표 강우량 기준의 상향조정이 필요함을 의미한다.

Table 7은 앞서 언급한 방재성능목표 강우량 조정안 방식을 통하여 도출한 완도의 방재성능목표 강우량이다. 이는 해수면이 상승함에 따라 해당 관망에서 필요한 통수능이

**Table 7.** Improved Disaster Prevention Performance Target Rainfall in Wando Area

Scenario	Rainfall Duration		
	1 hr	2 hr	3 hr
Scenario 1	90.0	125.0	160.0
Scenario 2	90.0	125.0	160.0
Scenario 3	130.0	185.0	245.0
Scenario 4	170.0	275.0	355.0

unit : [mm]



**Fig. 6.** Improved Disaster Prevention Performance Target Rainfall in Wando Area

증가함을 확인할 수 있다. 이는 Scenario 1 (평균해면)일 때 1시간의 지속강우에서 90 mm의 강우가 기준이라면 해수면이 상승한 Scenario 4일 때에는 1시간의 지속강우일 때 170 mm의 강우를 수용할 수 있는 관망으로 개량이 필요하다는 의미이다. Scenario 1과 Scenario 4를 비교하였을 때 3시간 강우에서 122%의 방재성능목표 강우량이 증가하였으며 2시간 강우에서는 120%, 1시간 강우에서는 89%의 강우량이 증가함을 보였다.

#### 4. 결론

지구온난화로 인한 기후변화의 영향은 다양한 자연·사회적 재난을 야기한다. 기후변화에 따른 평균 해수면의 상승은 연안 지역의 취약성에 대한 문제를 강화시킨다. 우수관거는 강우 발생 시 우수를 원활히 배제하여 도심지에서의 침수 발생을 방지하는 것이 주된 목적이다. 하지만 기후변화에 따른 평균 해수면의 상승이 방류토구를 잠식시킬 경우



배수위의 역류현상으로 인하여 해당 우수관거의 통수능에 영향을 미친다. 또한 해수면의 상승은 그 영향 범위 내의 하천 수위의 상승으로 이어지며, 이는 해안 및 하천으로 방류되는 토구의 잠식에 따른 내수침수 발생 가능성을 증대시키는 원인이 된다. 따라서 내수침수 위험도에 대응하여 방어시설의 설계기준 또한 상향조정 되어야 한다. 본 연구에서는 연안의 중·소도시에서 해수면 상승을 시나리오를 적용하였으며 Lee (2012)의 우수관망 신뢰도 방식을 개선하여 사용하였다. 신뢰도 결과를 산출 후 시나리오 별 방재성능 목표 강우량 조정안을 산정하였다. 산정 결과 해수면 상승에 따라 지속시간 별 방재성능 목표 강우량이 급격히 상승하였다. 이는 방류토구가 서서히 잠식됨에 따라 해당 우수관망 통수능 감소에 영향을 주었기 때문이다. 이는 방재성능 목표 강우량 기준의 상향 조정 필요성을 나타낸다. 본 연구를 통하여 방재성능 목표 강우량 상향 조정의 필요성을 수치적으로 확인하였다. 해수면 상승에 의한 배수위 역류 현상은 우수관망의 성능 저하를 야기시키므로 해당 지역들의 취약성을 개선해야 한다. 따라서 방재성능 목표 강우량 상향을 위한 개량 및 추가적인 저류 및 배수시설물의 설치가 필요하다. 본 연구를 바탕으로 향후 연안 도시들의 해수면 상승을 고려한 방재성능 목표 강우량 자료 개선을 위한 수치적인 필요 근거로 활용이 가능할 것으로 사료된다. 다만, 본 연구에서 제시하고 있는 방재성능 목표 조정안은 기후변화에 따른 강우의 변화보다 해수면의 상승에 초점을 두고 있기 때문에 추후 기후변화에 따라 변화하는 강우와 해수면을 함께 고려한 분석이 필요하다.

### 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시 수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002950004).

### References

- Choi, K.M., Lee, J.H., Ham, D.H., Park, Y.K., and Song, Y.H. (2019). An analytical study of the problems and a plan for improving of disaster prevention performance in coastal cities. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 19, No. 7, pp. 463-470.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press.
- Jung, M.S., Oak, S.Y., Lee, Y.K., Park, M.R., and Lee, C.H. (2017). Estimation of disaster prevention target rainfall according to urban disaster prevention performance. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 101-110.
- Ko, J.S., Ryu, G.H., and Jang, J.K. (2018). A study on improvement of target setting criteria for disaster prevention performance in jeju island. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 3, pp. 373-380.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA). (2015). *Ocean data in grid framework*. Retrieved October 1, 2021, from <http://www.khoa.go.kr/oceangrid/gis/category/observe/observeSearch.do?type=EYS>
- Korea Marine Environment Management Corporation (KOEM). (2012). *Simulator for sea level rise*. Retrieved October 1, 2021, from <https://www.koem.or.kr/simulation/gmsl/rcp45.do>
- Lee, J.H. (2012). Development of a reliability estimation method for the storm sewer network. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 2, pp. 225-230.
- Lee, N.E., Heo, J.R., Kal, B.S., and Park, J.B. (2016). A study on establishment method of prevention capacity target against disasters considering sea level rise. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 2, pp. 523-527.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Establishment of disaster prevention performance targets by region considering future climate change set and operating standards*.
- Park, Y.K., Kim, S.D., Lee, J.H., and Song, Y.H. (2018). Relationship analysis of sea level-rainfall for determination of disaster prevention performance in coastal cities. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 7, pp. 469-474.
- Park, Y.K., Jung, B.S., and Kim, R.H. (2020). Flood risk assessment for coastal cities considering sea level rise due to climate change. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 20, No. 6, pp. 323-332.

Received	November 18, 2021
Revised	November 22, 2021
Accepted	November 26, 2021