

기후변화에 따른 에너지 저장시설 침수 위험성 평가에 관한 연구

A Study on the Flooding Risk Assessment of Energy Storage Facilities According to Climate Change

류성렬*

Seong-Reul Ryu*

Ph. D. Candidate, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea

*Corresponding author: Seong-Reul Ryu, r9110507@gmail.com

ABSTRACT

Purpose: For smooth performance of flood analysis due to heavy rain disasters at energy storage facilities in the Incheon area, field surveys, observational surveys, and pre-established reports and drawings were analyzed. Through the field survey, the characteristics of pipelines and rivers that have not been identified so far were investigated, and based on this, the input data of the SWMM model selected for inundation analysis was constructed. **Method:** In order to determine the critical duration through the probability flood analysis according to the calculation of the probability rainfall intensity by recurrence period and duration, it is necessary to calculate the probability rainfall intensity for an arbitrary duration by frequency, so the research results of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs were utilized. **Result:** Based on this, the probability of rainfall by frequency and duration was extracted, the critical duration was determined through flood analysis, and the rainfall amount suggested in the disaster prevention performance target was applied to enable site safety review. **Conclusion:** The critical duration of the base was found to be a relatively short duration of 30 minutes due to the very gentle slope of the watershed. In general, if the critical duration is less than 30 minutes, even if flooding occurs, the scale of inundation is not large.

Keywords: Energy storage facility, Flooding, Probability Rainfall, Frequency, Flood

요약

연구목적: 인천지역 에너지 저장시설 폭우재해로 인한 침수분석의 원활한 수행을 위해 현장조사를 통한 탐문조사 및 목측 조사, 기 수립 보고서 및 도면 분석을 실시하였다. 현장조사를 통해 지금까지 파악되지 않은 관로 및 하천의 특성을 조사하였으며, 이를 토대로 침수분석을 위해 선정된 SWMM 모형의 입력자료를 구축하였다. **연구방법:** 재현기간 및 지속기간별 확률강우강도 산출에 따른 확률홍수량 분석을 통해 임계지속기간의 결정을 위해 빈도별 임의 지속기간에 대한 확률강우강도 산정이 필요하므로 국토해양부 연구 성과를 활용하였다. **연구결과:** 이를 토대로 빈도 및 지속기간별 확률강우량을 추출하여 침수분석을 통해서 임계지속기간을 결정하고, 방재성능목표에서 제시한 강우량을 적용하여 부지의 안전측 검토가 가능하도록 하였다. **결론:** 해당 기지의 임계지속기간은 유역 경사가 매우 완만하여 30분으로 비교적 짧은 지속기간으로 나타났으며, 일반적으로 임계지속기간이 30분 이내의 경우 침수가 발생하더라도 침수규모는 크지 않는 특성이 있다.

핵심용어: 에너지저장시설, 침수, 확률강우량, 빈도, 홍수

Received | 2 November, 2021

Revised | 21 February, 2022

Accepted | 4 March, 2022

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

인천은 우리나라 북서측 해안에 위치하여 겨울철에는 서고동저형 대륙성 고기압의 영향으로 한냉 건조하고, 여름철에는 남고북저형 고기압의 영향으로 고온다습한 기후를 나타내고 있다.

인천기상대의 기상요소별 관측 자료를 조사·분석하여 인천기지의 기상자료로 이용하였으며, 최근 10년(2007~2017년)간의 기상관측 자료를 분석하였다.

인천지역은 우리나라 서해안에 위치하고 있어 지형적 영향으로 기온은 비교적 온화한 편이며, 연평균 강수량은 1,234.4mm이고 인천기지가 위치한 송도동은 연강수량이 1,204.8mm로 가장 적는데, 송도동이 연수구내의 다른 지역들보다 연강수량이 적은 이유는 매립지역으로서 강수량에 많은 영향을 주는 산지가 없고 대체로 평지이기 때문인 것으로 분석된다. 연수구의 강수강도는 17.1mm/일 이고, 호우일수는 2.6일로 분석되었다. 기온 기후 값으로는 연평균기온이 12.5°C이고 일 최고기온은 16.8°C, 연평균 일 최저기온은 8.9°C로 나타났다. 인천 기지가 위치한 연수구는 인천시보다 평균적으로 기온이 높고 해양성 기후의 영향을 받아서 일교차도 7.3°C로 가장 적은 것으로 분석된다. ○○기지에 인접한 인천기상대의 2007년부터 2017년까지의 기상통계자료를 조사, 분석한 인천시 연수구의 읍면동별 연평균기온(°C) 및 연강수량(mm) 분포도는 Fig. 1와 Fig. 2과 같다.

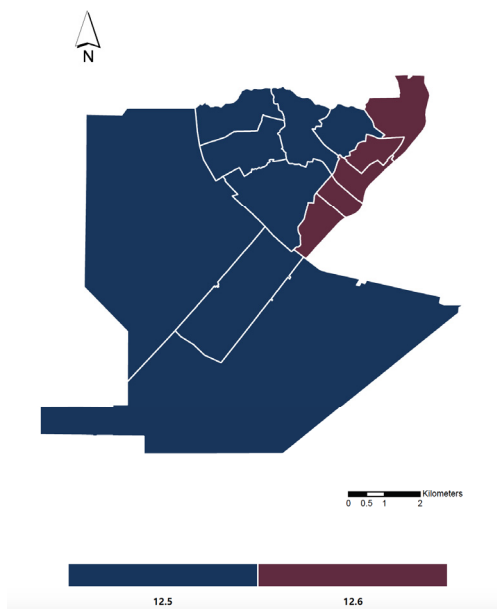


Fig. 1. Distribution of annual average temperature in Yeosu area, Incheon

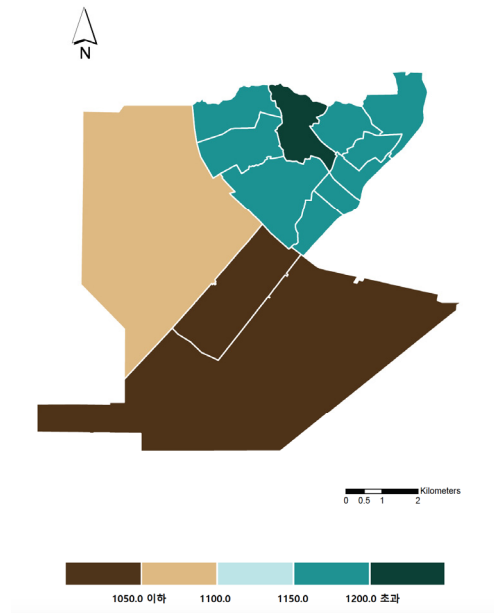


Fig. 2. Distribution of annual precipitation in Yeosu area, Incheon

조위조건

유역으로부터 유출되어 나가는 출구부가 바다에 직접 접하는 유역의 경우 최종 출구부에 해당하는 하류단의 경계조건은 유역 내에 발생한 강우량과 함께 침수 여부를 결정하는 중요한 요소가 된다. 본 과업의 대상지는 위에서 살펴본 바와 같이 대

부분 바다에 접해 있으며 특히 ○○기지는 유역의 출구부가 바로 바다로 연결된 전형적인 해수위에 영향을 받는 조건을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 유역의 하류부 경계조건을 결정하는 해수위 조건을 수집하여 분석하였다.

조석자료의 수집 및 분석

특정한 위치에서의 조석현상을 주기와 진폭이 일정한 규칙적인 파들의 합으로 가정하여 각각의 파를 분리하는 것을 조화 분해라고 한다. 이를 통해 분리된 각각의 조석성분을 분조라고 하며, 각 분조의 진폭과 지각을 조화상수라 한다. 조석을 측정하는 검조소에서는 이러한 분조 중 가장 크게 영향을 미치는 4대분조(주태음반일주조(M2), 주태양반일주조(S2), 일월합성 일주조(K1), 주태음일주조(O1))를 이용하여 결과를 제공하고 있다.

조석 조화분해로 얻어진 주요 4대분조의 조화상수는 개략적인 조석의 특성을 나타내는 비조화상수를 계산하는데 사용된다. 비 조화상수는 일정한 공식에 의해 계산되어 조석의 특성을 파악할 수 있다. Table 1은 평균해면, 평균고조간격, 평균조차 등이 해당되며, 이러한 값들을 표시한 그림을 조위면도라 한다.

우리나라 육상 및 해상 기준면

우리나라의 수직높이에 대한 기준은 크게 육상의 수직 기준면과 해상의 수직 기준면으로 나누어진다. 국토지리정보원에 서 관리하고 있는 육상 수직 기준면은 1914~1916년 동안 인천에서 조석관측을 시행하여 얻은 평균해면 높이(Incheon Mean Sea Level, IMSL)를 절대 기준(E.L. 0m)으로 정하였으며, 이 값을 수준측량으로 전국 각지의 높이에 연결하였다. 육상에 위치하고 있는 본 과업의 대상지와 대상물은 모두 이러한 육상 수직 기준면을 기준으로 각각의 높이가 결정되고 숫자로 표시되어 있다.

반면, 해상의 수직 기준면을 각 지역에서 짧게는 1개월 이상, 길게는 1년 이상 조석을 관측하여 바닷물이 가장 많이 빠진 해수면의 높이를 의미하는 ‘약최저저조면’을 기준으로 설정된다. 해상에서 관측한 자료인 조석 관측 자료 역시 이러한 기준에 의해 측정되고 숫자로 표시되어 있다.

이러한 차이 때문에 바다에 접해 있는 유역의 경우 유역의 최종출구부 경계조건 설정 시 주의가 필요하다. 해상의 기준에 의해 측정된 높이 자료를 육상의 기준으로 변환하는 과정이 필요하다. 해상의 기준면 산정 시에는 육상에 기본수준점표(Tidal Bench Mark, TBM)를 매설하고 설치한 표척과 수준원점을 연결하여 표척상 기본 수준점의 표고를 파악한다. 관측한 조위는 표척상 조위로 환산한 후 산술평균항 표척상 관측평균해면(A0)을 계산하고, 조화분해하여 천문조평균해면(Z0)을 계산한다. 표척상 기준 수준면의 높이는 표척상 A0와 Z0의 차로 구하고, 기본 수준면상 TBM의 높이는 표척상 TBM의 높이와 표척상 기준 수준면의 높이차로 구한다.

○○기지

인천항 조위

인천지역은 대조차가 매우 큰 편이며 조석의 주기성은 반일 주조형으로 일조부등은 적으나 조차가 크게 나타난다. 매일 만조와 간조가 일어나며, 조시의 부등은 저조시에 크고 고조시에 작으며, 고조의 부등은 고조시에 크고, 저조시에 작은 특징을 갖고 있다.

○○기지에 가장 큰 영향을 미치는 인천 조위관측소의 2017년 월별 조위 통계 자료를 수집하고 분석하였다. 아래 표는 국립해양조사원에서 제공하고 있는 2017년 연간백서에 수록된 인천 조위관측소의 2017년 월별 조위 통계 결과이다.

Table 1. Monthly tide statistics results for 2017 at Incheon Tidal Observatory (unit: cm)

Month	Observation tide					Harmonic constant				
	High pole condolence (HHW)	Average high tide (MHW)	Observation mean sea level (A0)	Average low tide (MLW)	low pole condolence (LLW)	Astronomical tide average sea level (Z0)	Amplitude			
							M2	S2	K1	O1
'17.1.	898	756.6	449.8	133.0	-30	459.0	281.9	103.2	47.4	26.5
2	892	749.0	446.6	133.6	-7	473.6	280.2	126.1	37.7	29.6
3	920	772.4	455.6	125.4	-15	473.2	279.5	136.5	28.9	28.3
4	936	773.2	463.3	138.6	-21	467.2	277.1	127.7	32.7	29.7
5	947	767.7	460.8	138.9	-22	455.3	279.4	103.9	43.5	28.5
6	949	775.6	474.2	158.1	1	442.7	280.3	84.3	48.2	29.9
7	952	785.7	482.7	165.3	2	457.9	286.2	89.7	50.9	31.1
8	942	787.5	485.0	170.1	4	474.4	285.4	116.7	40.4	31.9
9	912	786.8	480.1	159.2	20	482.6	284.0	139.6	28.0	31.0
10	930	781.2	470.8	149.8	5	474.3	281.0	134.5	30.0	28.8
11	938	747.0	452.3	143.9	-24	466.3	278.1	116.0	44.3	27.9
12	931	743.8	441.7	127.6	-54	445.7	277.4	93.9	47.8	26.6
평균	928.9	768.9	463.6	145.3	-11.8	464.4	280.9	114.3	40.0	29.2

2017년에 측정된 조위 관측 결과를 보면 고극조위 평균이 928.9cm, 최대 고극조위는 7월에 측정된 952cm이었다. 2017년 자료를 이용하여 계산한 약 최고 고조면은 928.8cm였다. 약 최고 고조면은 일반적으로 연안도시 배수체계 설계 시 적용하는 하루단 경계조건이다.

입력자료 구축

대상유역 배수체계 분석

○○기지는 동측 10m 도로 주변의 측구로 유입되는 도로의 경사가 기지 방향으로 완만하게 이뤄져 있는 상태이며, 부지 북측 10m 도로 구간은 부지보다 0.2m 낮아 부지로 유출수가 유입되지 않고 부지 경계부분의 측구로 유입되어 서측 및 동측 도로 주변의 측구와 연결된다. 또한 부지 내 남측 도로 경계부분의 측구는 2열 측구로 도로와 나란한 방향으로 설치되어 있으며 남측 진입로 도로의 유출수가 부지로 유입되어 연안으로 방류되는 배수체계를 가지고 있다. 기지의 부지면적은 10ha이나, 부지 동측 10m 도로 외 일부 구간이 포함되지 않아 실제 부지면적은 약 9ha 정도이다.

부지 서측 ○○공사 사이 도로 주변 부지 유량은 인근 측구를 통해서 바다로 직접 유출될 수 있도록 구축되어 있다. 기지의 배수체계는 Fig. 3과 같다.



Fig. 3. ○○ Base Drainage System Analysis

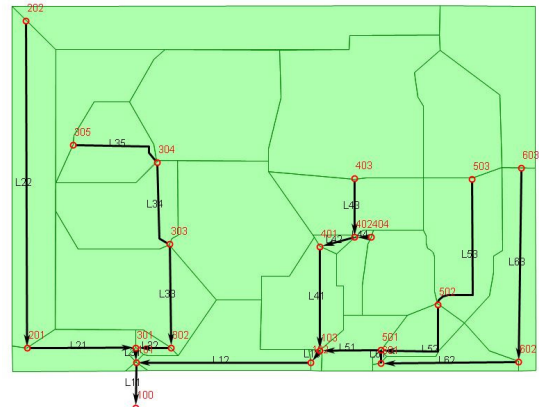


Fig. 4. Composition of ○○ Base Model

모형의 구성

○○기지의 배수체계를 분석하여 이를 토대로 SWMM 모형을 Fig. 4와 같이 구성하였다. 부지 동측 10m 도로 밖 일부 구간은 부지 관로와 연결되지 않으므로 모형의 구성에서 제외하였다.

동측 10m 도로 주변의 측구로 도로 경사가 인천기지 방향으로 완만하게 이뤄져 있는 상태이며, 부지 북측의 10m 도로 구간은 부지보다 0.2m 낮아 부지로 유출수가 유입되지 않고 부지 경계부분의 측구로 유입되어 서측 및 동측 도로 주변의 측구와 연결되므로 node 202와 연결되어 L22 관로를 통해서 기지로 유입되는 것으로 구성하였다.

기지 서측 ○○공사 사이 도로 주변 부지 유량은 주변의 측구를 통해서 바다로 직접 유출되므로 모형에는 포함하지 않았다. 해당 기지 부지의 전체 주요 관로를 node 305~100, node 403~100, 603~100으로 연결되는 관로로 3개의 라인으로 선정하여 향후 침수분석 결과인 동사경사선을 비교하였다.

침수위험 분석 조건

하류단 경계조건

도시구역의 침수 정도는 구역 내에 내리는 강우량과 함께 하류단의 수위가 큰 영향을 미친다. 도시구역의 우수배제는 대부분 지하에 매설된 관로를 통해 이루어지는데 일반적으로 우수 유출관로는 지정된 설계 강우강도에 의해 발생하는 최대 침투 유출량을 충분히 소통시킬 수 있는 관로의 단면을 결정하는 방식으로 계획한다. 이렇게 설계된 우수배제 시스템은 하류부의 수위를 간과하는 경우가 있어 특히 바다에 접해 바다의 조위에 영향을 받을 것으로 예상되는 구역의 경우에는 면밀한 검토가 필요하다.

○○ 기지의 우수 유출 최종 출구부 지점의 조위자료와 각 기지의 우수배제 시스템 상 최종 출구부에 해당하는 관로의 최하부 표고를 비교하여 각 기지의 우수배제 시스템이 조위의 영향을 받는지 검토하고, 받는다면 수치모형 상에 경계조건으로 설정해야하는 수위를 결정한다.

Table 2는 일반적인 설계조건에 해당하는 약최고고조면과 극한의 설계조건에 해당하는 고극조위를 해당기지의 우수배제 시스템 상 최하류부 관로의 최하부 표고와 비교하였으며 각 기지별로 결정된 수치모형 상 하류단 경계조건도 Table 2 나타내었다.

Table 2. Base boundary condition setting

(unit : E.L. m)

base name	About the highest elevation	high tide	The lowest elevation of the lowest downstream conduit	boundary condition
○○	9.2852	9.2862	10.08	free release

해당기지의 조위 조건은 약최고고조면의 경우 E.L. 약 9.29m이며, 고극조위의 경우 E.L. 약 9.29m 이다. 우수배제 시스템 상 최하류부 관로의 최하부 표고가 E.L. 10.08m 이므로 인천기지는 바다의 조위에 전혀 영향을 받지 않는다. 따라서 수치모형 상 하류부 경계조건은 자유방류 형식으로 설정하였다.

침수 모의

재현기간·지속기간별 확률강우량 입력 조건

기지의 침수분석을 위해서 재현기간 5~100년 및 강우지속기간 10~60분을 대상으로 확률강우량과 방재성능목표의 지속기간 30분과 60분의 강우량을 도출하였다. 강우의 시간분포는 최근 홍수량 분석 추세를 반영하여 HUFF 3분위법을 적용하였다. 각 재현기간과 강우지속시간에 따른 강우량과 강우강도는 Table 3와 같다.

Table 3. Probability rainfall input conditions for each reproduction period and duration

Retrun Period (year)	Rain duration (min)	Fall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Rainfall time distribution	Scenario number
5	10분	17.21	103.27	Huff 3rd Quarter	IC1
	20분	26.86	80.58		IC2
	30분	34.44	68.88		IC3
	60분	51.00	51.00		IC4
10	10분	19.24	115.44		IC5
	20분	30.66	91.98		IC6
	30분	39.68	79.35		IC7
	60분	59.20	59.20		IC8
30	10분	22.33	134.00		IC9
	20분	36.40	109.19		IC10
	30분	47.58	95.16		IC11
	60분	71.59	71.59		IC12
50	10분	23.73	142.36		IC13
	20분	38.98	116.93		IC14
	30분	51.14	102.28		IC15
	60분	77.19	77.19		IC16
100	10분	25.66	153.97		IC17
	20분	42.51	127.53		IC18
	30분	55.96	111.92		IC19
	60분	84.79	84.79		IC20
Disaster Prevention	30분	61.38	122.76	IC21	
Performance Target	60분	90.00	90.00	IC22	

침수위험 분석결과

실강우사상으로 검증된 SWMM 모형에 재현기간 및 지속기간별 확률강우량을 적용하여 침수분석을 실시하였다. 침수분석 결과를 맨홀에서의 침수가능성 분석 결과 기지 말단부에서의 유출수문곡선, 이를 활용한 주요 관로에 대한 임계지속시간 선정 및 임계지속시간에 대한 동수경사선을 작성하였다.

임계지속시간 결정

임계지속시간을 결정하기 위해 IC 1~IC 20 까지 빈도별 지속기간별 시나리오 20개를 활용한 기지의 분석 결과는 Table 4 와 같다.

Table 4. Peak Outflow of Outfalls by Scenario of Base

Return Period (Year)	Rain duration (min)	Scenario number	Frequency fall (mm)	Peak flow (m ³ /s)
5	10	IC1	17.21	2.007
	20	IC2	26.86	2.414
	30	IC3	34.44	2.443
	60	IC4	51.00	2.210
10	10	IC5	19.24	2.287
	20	IC6	30.66	2.584
	30	IC7	39.68	2.608
	60	IC8	59.20	2.479
30	10	IC9	22.33	2.528
	20	IC10	36.40	2.752
	30	IC11	47.58	2.759
	60	IC12	71.59	2.679
50	10	IC13	23.73	2.594
	20	IC14	38.98	2.810
	30	IC15	51.14	2.812
	60	IC16	77.19	2.725
100	10	IC17	25.66	2.667
	20	IC18	42.51	2.881
	30	IC19	55.96	2.875
	60	IC20	84.79	2.786

임계지속시간은 앞서 제시한 국토해양부(2011) 확률강우량의 재현기간 및 지속기간별 홍수량을 분석하여 유역 출구점에 서의 홍수량이 최대가 되는 시간이며, 임계지속시간에서 하천과 같은 비저류구조물은 첨두홍수량이 최대이고, 유역 내 저류 시설의 홍수위도 최대가 되는 조건이다.

홍수량 산정 시 임계지속시간의 개념을 적용하기 위하여 강우강도식의 산정이 필요하며, 최근 연구결과인 「확률강우량도

개선 및 보완 연구(2011, 국토해양부)에서 제시된 6차 전대수 다항식이 비교적 상관계수가 높으므로 이를 채택하는 방안을 권장하므로, 본 연구에서도 이를 근거로 지속기간 10분 단위 간격으로 홍수량을 산정하여 임계지속기간을 채택하였다.

기지의 채택된 임계지속기간 자료를 활용하여 3개의 메인 관로를 대상으로 임계지속기간에 해당하는 동수경사선을 검토하고, 이 때 유역 내 침수발생 여부를 분석하여 부지의 폭우재해 안전성을 검토하게 된다.

기지의 임계지속기간을 분석한 결과 Fig. 5와 같이 제시한 5~100년 빈도 최대 홍수량은 지속기간 30분에서 발생하는 것으로 나타났다. 인천기지의 경우 지표면 경사가 0.4% 미만으로 매우 완만하고 우수 관거의 경사도 0.1% 미만으로 완경사가 대부분이기 때문인 것으로 판단된다.

해당 기지의 경우 Fig. 6와 같이 짧은 지속기간의 홍수량이 매우 커서 침수가 발생할 가능성은 있지만 침수 발생 시간은 매우 짧게 발생할 것이다. 그러므로 실제 침수가 발생한다 하더라도 침수면적 및 침수심은 매우 작게 발생할 가능성이 크다.

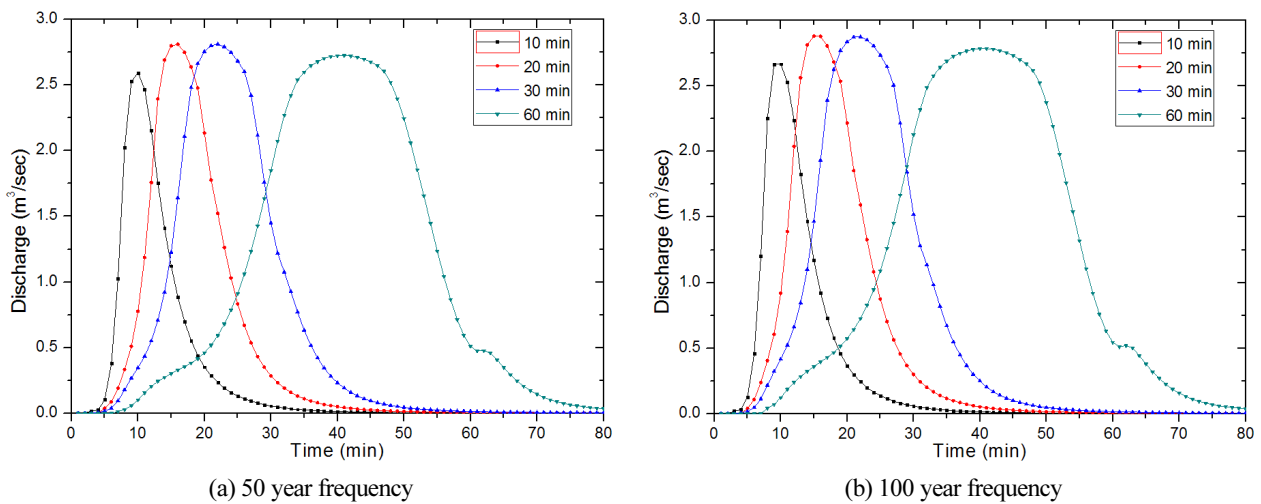


Fig. 5. Probability hydrologic curve for each period and duration of the Incheon Base

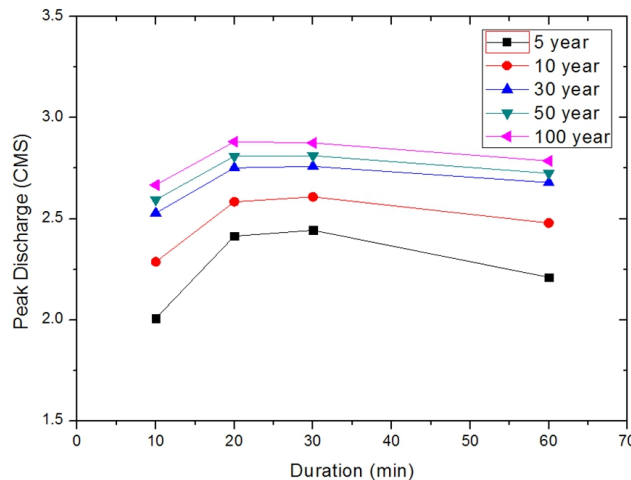


Fig. 6. Determination of critical duration of OO base

결론

2016년과 2017년에 발생한 최대강우(지속기간60분)를 취득하여 SWMM모형을 검증한 후, 방재성능목표 강우량을 적용하여 유출분석을 수행하였다. 일부 기지의 관망자료가 불확실한 경우엔 현장조사와 설계 도면을 바탕으로 모형을 수립하였다.

해당기지는 30분으로 채택된 임계지속기간을 적용하여 기지별 주요 관로에 해당하는 동수경사선을 검토하고, 이 때 유역 내 침수발생 여부를 분석하여 부지의 폭우재해 안전성을 검토하였다. 해당기지 유역(10ha) 유출량의 대부분은 메인 관로를 통한 부지의 홍수량만 유출되며, 기지 부지 외의 동측 및 서측 10m 도로(1ha)에서 발생하는 홍수량은 기지 정문에서 합류되는 800mm 흠관을 통해 외해로 방류된다. 유역 내에서 발생하는 홍수량 분석 결과 설계 빈도인 5년 빈도에서는 침투홍수량인 약 2.443m³/s(강우지속기간 30분의 시나리오 IC3), 100년 빈도에서는 약 2.881m³/s(강우지속기간 30분의 시나리오 IC19)로 나타났다.

해당기지의 임계지속기간은 유역 경사가 매우 완만하여 30분으로 비교적 짧은 지속기간으로 나타났으며, 일반적으로 임계지속기간이 30분 이내의 경우 침수가 발생하더라도 침수규모는 크지 않는 특성이 있다.

References

- [1] Ham, E.-G. (2016). Safety Assessment Against Climate Change. Korea Gas Safety Corporation. Seoul, Korea.
- [2] Ham, E.-G. (2017). Reduction of Damage from Flood Damage to Facilities. Disaster Prevention and Safety Specialist Training Program, Seoul, Korea.
- [3] Ham, E.-G. (2020). "A Study on the Response Plan Natural Disaster Risk by Climate Change." Proceedings of the 25th The Society of Disaster Information, Seoul, Korea, pp. 1102-1125.
- [4] WAMDI group (1988). "The WAM model - a third generation ocean wave prediction model." Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1775-1810.