비구조적 운영을 고려한 대림3 지역의 한계월류지점 산정기법 제안

Suggestion of Critical Flooding Node Calculation Method Considering Non-structural Operation in Daerim 3 Urban Drainage Area

유도근* · 심규범** · 김응석***

Yoo, Do Guen*, Sim, Kyu Bum**, and Kim, Eung Seok***

Abstract

In order to defend flooding in urban and industrial areas, structural and non-structural flood control measures can be performed through the installation and operation of hydraulic structures. In this study, operation of urban drainage pumping station and detention storage were utilized to protect the flooding as non-structural measures. To quantify flooding characteristics of non-structural operations, the new terminology, critical flooding node is introduced using EPA-SWMM model. The critical flooding nodes can be defined as locations that cannot defend inland flood by operation of non-structural measures. For the analysis, three scenarios were considered as rainwater pump station operation, detention storage operation, combine operation of rainwater pump station and detention storage. As a result of analysis, rainwater pump station operated at low operating water level and detention storage showed the least amount of flooding occurred when operated at high operating water level. And, non-structural operations can not be defended area of Minimum 4.12% to Maximum 36.77%. The determined locations can be selected as the priority inland flood defended area.

Key words : Urban Watershed, Non-Structural Measure, Inland Flood, Critical Flooding Node

요 지

도시 및 산업지역의 침수를 방어하기 위해 수공구조물 설치와 운영을 통해 내수침수를 저감하고 있으나 내수침수를 방어하는데 한계적인 지역이 발생하고 있다. 본 연구에서는 도시유역에서 발생하는 내수침수를 방어하기 위한 빗물펌프장 및 빗물저류조의 운영을 변경함에 따라 발생하는 월류의 특성을 SWMM모형을 이용하여 분석하고, 비구조적 대책인 수공구조물의 운영만으로 내수침수를 방어할 수 없는 지역 분석하여 한계월류발생지점을 선정하였다. 분석을 위해 빗물펌프장 운영, 빗물저류조운영, 빗물펌프장 및 빗물저류조의 조합적인 운영으로 총 3가지 시나리오로 구분하였다. 분석결과 빗물펌프장은 낮은 운영수위로 운영하고 빗물저류조는 높은 운영수위로 운영했을 경우가 가장 적은 월류량 및 월류발생지점을 보였으며, 최소 4.12%에서 최대 36.77%의 면적이 비구조적으로 방어할 수 없는 지역으로 나타났다. 내수침수 저감을 위해 선행적으로 한계발생지점 지역을 선정함에 따라 우선적 내수침수 방어 필요지역으로 선정할 수 있으며, 내수침수 저감 분석에 도움을 주리라 판단된다.

핵심용어 : 도시유역, 비구조적 운영, 내수침수, 한계월류발생지점

1. 서 론

지속적인 발전으로 산업단지 및 도시지역이 급증하고

있으며, 이에 따라 불투수면적 비율이 증가함에 따라 직접유출되는 비율이 10%에서 55%까지 증가하였다. 또한, 기후변화로 인한 우수관거의 설제용량을 넘는 국지성호우 및 계림

*정회원, 수원대학교 건설환경에너지공학부 건설환경공학 조교수(E-mail: dgyoo411@suwon.ac.kr)

Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

**정회원, 선문대학교 건축사회환경학부 박사과정

Member, Ph.D. Candidate, Division of Architecture Engineering and Civil Engineering, Sunmoon University

***교신저자, 정회원, 선문대학교 건축사회환경학부 교수(Tel: +82-41-530-2325, Fax: +82-41-530-2926, E-mail: hydrokes@sunmoon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Division of Architecture Engineering and Civil Engineering, Sunmoon University

라성호우 등이 빈번히 발생함에 따라 우수관거 통수능 부족으로 내수침수가 발생되고 있다. 내수침수는 산업시설 및 도시지역에 막대한 경제적 손실과 인명피해 등을 발생시키며, 이러한 피해를 줄이는 방법으로는 구조적 대책 및 비구조적 대책이 있다. 내수침수를 방어하기 위한 구조적 대책으로는 빗물펌프장 및 빗물저류조 설계가 대표적이라 할 수 있으며, 비구조적 대책으로는 설계된 빗물펌프장 및 빗물저류조의 운영적 측면을 고려하여 발생하는 월류의 양을 줄이는 것이 비구조적 대책의 대표적이라 할 수 있다.

도시지역에서 발생하는 내수를 저감하기 위한 연구 사례로 Song et al.(2016)은 내배수시설 기준의 배수구역 재설정하여 효과적이고 정량적인 내수침수 저감을 위한 관망의 구성에 따른 배수구역 결정에 있어서의 설계 기법을 제안하였다. Lee et al.(2016)은 비구조적 대책중 하나인 내배수시설의 오프라인 빗물저류조를 대상으로 빗물저류조의 추가적인 저류공간을 확보하는 운영을 제안함에 따라 기존 빗물저류조 운영시 보다 2010년 강우적용시 28.52%, 2011년 강우적용시 16.81%의 침수저감효과를 보였다. Lee et al.(2011)은 GA를 이용한 최적우수관망을 설계하였으며 이를 하계 배수분구에 적용함에 따라 내수침수저감을 분석한 결과 지속시간 30분의 설계강우에 대하여 7.1%, 20년빈도 1시간 초과강우는 24.2%의 침수 발생량 저감효과를 보였다.

또한, 발생하는 내수침수를 바탕으로 침수면적 산정에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다. Hsu et al.(2010)은 SWMM 모형과 배수펌프시설의 유무에 따른 관거시스템의 범람을 분석한 바 있다. Schmit et al.(2004)은 침수의 주요 원인을 불충분한 하수관거시스템의 용량부족에 기인한 것으로 분석하고 관거의 통수능 부족으로 인한 침수지역을 모의한 바 있으며, A Pathirana et al.(2008)은 1D/2D 침수모형 결합하여 침수피해 정도 및 내수침수로 인한 피해 비용 등을 분석한 바 있다. Joo et al.(2013)은 도시구역에서의 내수배제 불량으로 인한 침수위험도를 평가하기 위해 회귀식을 제안하였으며 산정된 회귀식을 서울시 구 단위로 적용한 결과 과거 상위 10위 이내의 구 중 7개 지역의 침수면적과 일치하는 결과를 보인바 있다. Choi and Choi(2015)는 시간대별 침수예상지도를 작성하고 모형의 정확도 향상을 위해 연계모듈인 GeoSWMM을 개발하였다. GeoSWMM은 GIS와 SWMM의 데이터 연계모듈이며 실제 침수가 발생하였던 2010년 9월 21일 강우자료를 바탕으로 시간대별 침수예상지도를 작성한 결과 침수흔적도와 약 66% 정도 일치한 결과를 보였다. Lee and Yeon(2008)은 XP-SWMM모형을 이용하여 침수심 및 침수면적을 시간대별로 침수해석을 수행하였으며, 실제 관측된 침수면적과 9.5%의 과다 모의되는 결과를 보였다. Cho et al.(2015)는 100년 및 200년 빈도의 확률강우량을 HEC-HMS 모형과 FLDWAV 모형을 적용한 외수범람 해석 및 SWMM 모형을 적용한 내수침수 해석을 통해 예상 침수심 및 침수면적을 제시하였다. Shin et al.(2014)는 강우시나리오

를 구축하고, XP-SWMM을 활용하여 내수침수시나리오를 구축하였다. 또한, 다차원법으로 내수침수피해액 산정법을 활용하여, 침수심과 침수면적에 따른 침수피해액을 산정한 후, 내수침수시나리오에 따른 침수피해곡선을 작성하였다.

전체적인 문헌을 조사한 결과 대부분 비구조적 대책 및 구조적 대책을 이용하여 월류량을 감소하고, 도시지역의 내수침수 방어의 개선적인 내용의 연구를 주로 다루어 왔다. 또한, 발생하는 월류의 침수면적 산정에 관한 연구가 이루어져 왔으나 내수침수를 방어하는데 있어 한계적인 월류발생 지역 선정에 관한 연구는 매우 미비하였다. 따라서, 본 연구에서는 내수침수를 방어하기 위해 설계된 빗물펌프장 및 빗물저류조의 운영만으로 방어할 수 없는 지역을 선정하기 위해 운영조건을 3가지 시나리오로 구분하였다. 구분된 3가지 시나리오를 바탕으로 대립3 구역의 월류특성을 분석하고 산정된 월류발생지점을 바탕으로 한계월류발생지점을 산정하였다. 산정된 한계월류발생지점을 소유역 면적 비율로 산정하여 비구조적 대책으로 방어할 수 없는 지역을 정량적으로 산출하였다.

2. 연구방법

2.1 대상구역

입력특성에 따른 시스템의 위험도 및 신뢰도 평가를 위한 연구구역으로 도립1배수분구에 해당하는 대립3빗물펌프장 배수유역을 선정하였다. 연구구역은 지난 2010년 9월 강우로 인해 침수가 발생한 지역으로 유역면적은 248.5 ha이다. 도립1배수분구는 행정구역상 영등포구와 동작구의 경계에 위치하며, 유역 내에는 대립3, 대립2, 신대방간이 빗물펌프장 등 3개소의 빗물펌프장이 있다. 연구구역은 Fig. 1과 같이 대부분 아파트 및 주거공간이 밀집된 전형적인 도시구역이다. 또한, 대립3 빗물펌프장 배수분구 유역의 경우 빗물펌프장 1개소 및 어린이 빗물저류조가 설치되어 운영되어지고 있다. 빗물펌프장의 경우 총 12대의 펌프가 운영되고 있으며, 빗물저류조의 경우 2대의 소형펌프로 운영되어지고 있다.

2.2 강우 및 시나리오에 따른 운영 Case

본 연구에서는 비구조적 대책인 빗물펌프장 및 빗물저류조의 운영조건을 변경함에 따라 대립3빗물펌프장 배수분구 유역에 발생하는 한계발생지점을 선정하려 한다. 한계발생지점은 본 연구목적에서 언급한 바와 같이 비구조적 대책인 빗물펌프장 및 빗물저류조 운영만으로는 내수침수를 방어할 수 없는 지점을 의미한다. 즉, 비구조적 대책으로는 방어할 수 없는 지역이 기 때문에 구조적 방안 등을 통해 발생하는 월류를 방어해야 한다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 Table 1과 같이 서울시 확률강우량 2년빈도부터 100년빈도 지속시간 60분 설계강우를 사용하였다. 지속시간 60분을 사용한

Fig. 1. Location of Daerim3 Stormwater Pumping Station

Table 1. Rainfall Event Scenarios (Unit: mm)

Duration	Frequency						
	2	5	10	30	50	80	100
60 min	48.3	65.3	76.5	93.5	101.3	106.4	108.3

이유는 대림3구역의 도달시간이 약 30분~40분이기 때문에 지속시간 60분 설계강우를 사용하였으며, 대림3빗물펌프장 보고서(Seoul City, 2010)에 따르면 Huff의 4분위중 Huff 2분위로 채택되어 설계되었기 때문에 Huff 2분위로 강우분포하여 사용하였다.

또한, 본 연구에서는 3가지 시나리오로 구분하여 한계월류발생지점을 선정하였으며, Fig. 2와 같이 시나리오 구성 및 한계월류발생지점 선정과정을 나타내었다. 예를 들어 대상유역에 빗물펌프장만 존재하면, 시나리오①만 작성이 되며, 빗물저류조만 존재한다면, 시나리오②만 작성하게 된다. 또한, 빗물펌프장 및 빗물저류조가 함께 운영되어진다면, 시나리오①에서 시나리오③까지 작성하여야 한다.

본 연구에서의 첫 번째 시나리오는 빗물펌프장 운영으로 Table 2와 같이 총 16개의 Case로 구분하여 분석하였다. 이때의 빗물저류조 운영은 빗물저류조 운영 수위인 2.2 m로 운영하였다. 또한, 빗물펌프장의 경우 실무적으로 같은 운영 수위에서 동시에 펌프가 가동될 수 없기 때문에, 첫 번째 시나리오 작성은 현재운영수위인 Case 7을 기준으로 ± 0.1 m 간격으로 구분하였다. 따라서 L.W.L(0.2 m) 및 H.W.L(2.2 m)가 운영수위를 높이거나 낮추어 각 펌프별 운영수위가 0.1m 간격이 될 때까지 Case를 작성하였다. 두 번째 시나리오의 경우 빗물저류조 운영으로 Table 3과 같이 총 10개의 Case로 구분하여 분석하였다. 두 번째 시나리오 분석시 빗물펌프장 운영은 현재운영수위인 Case 7로 운영하였다. 마지

막으로 세 번째 시나리오의 경우 빗물펌프장 및 빗물저류조의 운영을 조합적으로 운영하는 것이다. 세 번째 시나리오의 Case 1~16의 구성은 첫 번째 시나리오의 Case 1~16에 두 번째 시나리오의 Case 1로 작성되며, Case 17~32는 첫 번째 시나리오 Case 1~16에 두 번째 시나리오 Case 2로 작성된다. 이와 같이 총 160개의 조합적 운영 Case가 작성되며, 첫 번째부터 세 번째 시나리오까지 강우시나리오 7개를 고려한다면, 총 1,302개의 Case가 작성된다.

Fig. 2. Scenario Composition and Critical Flooding Node Calculation Process

Table 2. Pump Operation Cases for Scenario ①

Pump No.	Case No.															
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16
Pump No. 6	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Pump No. 1	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Pump No. 2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Pump No. 3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
Pump No. 4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6
Pump No. 5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
Pump No. 7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8
Pump No. 8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9
Pump No. 9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
Pump No. 10	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
Pump No. 11	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
Pump No. 12	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3

Table 3. Detention Reservoir Operation Cases for Scenario ②

Case No.	Operation Level (m)	Case No.	Operation Level (m)
Case 1	2.2	Case 6	1.2
Case 2	2.0	Case 7	1.0
Case 3	1.8	Case 8	0.8
Case 4	1.6	Case 9	0.6
Case 5	1.4	Case 10	0.4

Fig. 3. Determination of Critical Flooding Nodes

최종적으로 본 연구에서는 한계월류발생지점을 선정하기 위해 Fig 3과 같이 강우별 첫 번째부터 세 번째 시나리오까지 중복되는 월류발생지점을 한계월류발생지점으로 선정하였다.

3. 적용 및 결과

3.1 시나리오 및 운영 Case에 따른 분석 결과

본 연구에서는 크게 3가지 시나리오를 이용한 비구조적 대책의 한계적 내수침수 지역을 선정하고자 한다. Table 4는

강우별 빗물펌프장 운영조건에 따른 월류특성(월류량, 월류발생지점)을 분석한 시나리오①의 결과를 나타내었다. 분석 결과 Case가 1에서 16으로 갈수록 월류량이 감소하였으며, 이는 초기 운영수위를 낮게 할수록 내수침수를 방어하는데 효과적이라 할 수 있다. 그러나, 저빈도인 2년빈도와 5년 빈도의 경우 초기 운영수위를 높여 운영하는 조건인 Case 1~6이 월류저감에 효과적으로 나타났다. 이는 발생하는 강우를 빠르게 유출하는 것보다 일정량을 저류하였다 토출하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 최소 0.003(10³m³)에서 최대 0.067(10³m³)의 운영에 따른 월류량 차이를 보였다.

Table 4. Flooding Characteristics for Scenario ①

Case No.	2yr Frequency		5yr Frequency		10yr Frequency		30yr Frequency		50yr Frequency		80yr Frequency		100yr Frequency	
	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.
1	3.337	52	9.445	173	18.341	271	35.491	400	44.765	464	51.329	498	53.948	517
2	3.336	52	9.444	173	18.342	271	35.492	398	44.766	464	51.327	497	53.945	516
3	3.336	52	9.444	173	18.341	271	35.488	398	44.764	463	51.329	498	53.943	517
4	3.337	52	9.444	174	18.340	271	35.487	401	44.760	463	51.319	497	53.941	516
5	3.335	52	9.444	174	18.340	271	35.484	401	44.755	463	51.316	499	53.935	516
6	3.335	52	9.443	173	18.340	271	35.484	399	44.755	463	51.315	498	53.932	515
7	3.337	52	9.451	174	18.336	271	35.481	399	44.747	463	51.299	497	53.916	515
8	3.337	52	9.443	173	18.337	271	35.477	399	44.734	463	51.284	497	53.900	516
9	3.337	52	9.461	170	18.339	276	35.471	400	44.728	461	51.272	494	53.886	508
10	3.337	52	9.445	172	18.324	273	35.471	402	44.726	462	51.270	496	53.883	510
11	3.337	52	9.445	172	18.322	274	35.468	402	44.722	462	51.267	497	53.882	509
12	3.337	52	9.446	172	18.322	273	35.468	402	44.722	463	51.266	495	53.881	509
13	3.337	52	9.446	172	18.323	273	35.469	403	44.722	462	51.268	497	53.882	509
14	3.338	52	9.446	172	18.320	273	35.470	403	44.722	462	51.268	497	53.882	509
15	3.337	52	9.446	172	18.320	273	35.470	403	44.721	462	51.270	497	53.881	509
16	3.337	52	9.446	172	18.320	273	35.470	403	44.721	462	51.270	497	53.881	509
Diff.	0.003	0	0.018	4	0.0220	5	0.024	5	0.045	3	0.063	5	0.067	9

Table 5. Flooding Characteristics for Scenario ②

Case No.	2yr Frequency		5yr Frequency		10yr Frequency		30yr Frequency		50yr Frequency		80yr Frequency		100yr Frequency	
	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.	Flooding (10 ³ m ³)	No.
1	3.337	52	9.451	174	18.336	271	35.481	399	44.746	463	51.299	497	53.917	515
2	3.337	52	9.451	174	18.336	271	35.481	399	44.746	463	51.300	497	53.917	515
3	3.337	52	9.451	174	18.336	271	35.481	399	44.747	463	51.299	497	53.916	515
4	3.337	52	9.451	174	18.337	271	35.482	399	44.746	463	51.299	497	53.917	515
5	3.338	52	9.452	174	18.338	271	35.483	400	44.749	465	51.313	500	53.932	515
6	3.337	52	9.443	173	18.338	272	35.530	400	44.823	465	51.391	499	54.012	516
7	3.336	52	9.450	175	18.401	273	35.611	399	44.900	464	51.469	499	54.093	517
8	3.337	52	9.527	176	18.482	273	35.689	399	44.977	463	51.548	500	54.171	516
9	3.336	52	9.602	176	18.562	274	35.768	400	45.060	465	51.630	499	54.253	516
10	3.334	52	9.642	175	18.634	277	35.851	404	45.140	463	51.709	497	54.332	517
Diff.	0.004	0	0.199	3	0.298	6	0.37	5	0.394	2	0.41	3	0.416	2

시나리오②는 빗물저류조 운영조건에 따른 월류특성을 분석하였으며, Table 5와 같이 나타내었다. 시나리오② 분석 결과 시나리오①과 마찬가지로 강우의 빈도가 커질수록 월류량의 차이가 커졌으며, 2년빈도 강우만 제외하곤 Case1에서 Case10으로 갈수록 발생하는 월류량은 증가하였다. 빗물저류조의 경우 강우발생시 빗물을 저류한 이후 우수관으로 토출하는 것이 효과적인 운영이라 판단된다. 시나리오②의 경우 운영에 따라 최소 0.004(10³m³)에서 최대 0.416(10³m³)의 차이를 보였다. 이는 빗물펌프장 운영보다는 빗물저류조

운영시 월류량 저감에 효과적인 것으로 판단된다.

시나리오③의 경우 시나리오① 및 시나리오②의 조합운영으로 대림3빗물펌프장 유역의 월류특성을 분석하였다. 분석결과와 Fig. 4와 같이 나타내었다. 또한, 강우별 최소의 월류량을 보인 Case 및 월류특성을 Table 6과 같이 나타내었다. 분석결과 2년빈도를 제외하곤 Case 160으로 갈수록 월류량이 증가하는 경향을 보였다. 조합적인 분석결과 빗물펌프장의 운영수위는 낮고 빗물저류조 운영수위는 높게 운영하는 것이 월류량을 저감하는데 효과적인 것으로 판단

Fig. 4. Flooding Variation for Scenario ③

Table 6. Flooding Characteristics for Scenario ③

Rainfall Event	Case No.	Minimum Flooding(10^3m^3)	No. (Min. No.)	Rainfall Event	Case No.	Minimum Flooding(10^3m^3)	No. (Min. No.)
2year frequency	151	3.334	52(52)	50year frequency	62~64	44.720	461(461)
5year frequency	70	9.442	173(170)	80year frequency	12, 28	51.266	495(494)
10year frequency	14~16, 30~32, 46~48	18.320	273(269)	100year frequency	29	53.880	508(508)
30year frequency	27	35.467	402(398)				

된다. 그러나, Table 6의 결과에서 보는 바와 같이 최소 월류량이 산정된 Case에서 최소의 월류발생지점을 가지는 것은 아니다. 즉, 적정한 운영을 통한 월류량 저감 및 월류발생지역을 감소해야 한다고 판단된다.

3.2 한계월류발생지점 선정

본 연구에서는 앞서 설명한 바와 같이 비구조적 대책으로는 방어할 수 없는 지역인 한계월류지점을 선정하였다. 대림 3 빗물펌프장 배수분구 유역의 경우 총 1,865개의 절점(node)로 구성되어 있으며(Fig. 5(a)), 강우별 한계발생지점을 Fig. 5와 같이 나타내었다. 강우별 한계월류발생지점 선정은 다

음과 같이 선정하였다. 예를 들어 강우별 첫 번째 시나리오의 Case 1~16까지의 월류특성을 분석하고 Case 1~16까지 중복된 월류발생지점을 한계 월류발생지점이라 선정하였다. 시나리오 ①~③까지 한계월류발생지점 개수를 산정하고 이에 따른 소유역 면적비율 Table 7과 같이 산정하여 나타내었다. 소유역 면적비율의 경우 각 절점과 연결된 소유역의 면적을 산출하고, 총 소유역 면적을 유역의 전체면적으로 나눈 값을 의미한다. 본 연구에서 산정된 소유역 면적은 비구조적 대책으로 내수침수를 방어할 수 없는 지역으로 가정하였다. 강우별 시나리오에 따른 한계월류발생지점을 산정한 결과 시나리오①은 총 유역면적 대비 한계월류발생지점이 가지는

Fig. 5. Critical Flooding Nodes According to Rainfall Events

Table 7. Critical Flooding Nodes and Sub-catchment Area

Scenario	Flooding Characteristic	2yr Frequency	5yr Frequency	10yr Frequency	30yr Frequency	50yr Frequency	80yr Frequency	100yr Frequency
①	Critical Flooding Nodes	52	165	262	394	454	490	502
	Subcatchments Area of Critical Flooding Nodes	10.247	27.807	47.404	70.811	85.510	89.362	91.396
	Subcatchments Area Rate (%)	(4.12)	(11.19)	(19.07)	(28.49)	(34.41)	(35.96)	(36.77)
②	Critical Flooding Nodes	52	170	269	397	460	464	513
	Subcatchments Area of Critical Flooding Nodes	10.247	28.139	48.141	71.122	86.064	89.697	92.382
	Subcatchments Area Rate (%)	(4.12)	(11.32)	(19.37)	(28.62)	(34.63)	(36.09)	(37.17)
③	Critical Flooding Nodes	52	163	261	392	453	490	500
	Subcatchments Area of Critical Flooding Nodes	10.247	27.731	47.278	70.710	85.397	89.362	91.168
	Subcatchments Area Rate (%)	(4.12)	(11.16)	(19.02)	(28.45)	(34.36)	(35.96)	(36.68)

소유역의 면적비율은 4.12%~36.77%, 시나리오②는 4.12%~37.17%, 시나리오③은 4.12%~36.68%로 산정되었다. 즉, 빗물펌프장 및 빗물저류조를 함께 운영하는 것이 월류발생에 따른 침수피해면적을 줄일 수 있으며, 대립3 빗물펌프장 배수분구 유역의 경우 100년빈도 강우 발생시 비구조적 대책의 운영방법으로는 36.68%의 소유역면적을 침수를 방어하는데 한계적 어려움이 있다고 판단된다. 단, 36.68%의 면적은 소유역의 면적을 의미하며, 침수면적과는 다소 차이가 있을 수 있다. 그러나, 한계월류발생지점을 선정함에 따라 내수침수 방어시 우선적 대처가 필요한 지점으로 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

기후변화 및 도시의 발전으로 인해 불투지역의 증가하였으며, 이로 인하여 발생된 강우는 대부분 우수관거를 통해 하천으로 방류되고 있다. 그러나 우수관거 설계기준을 초과하는 강우 발생시에는 우수관거의 통수능 부족으로 인한 월류가 발생되어 도시지역의 피해를 주고 있다. 이러한 피해를 줄이기 위한 방법으로는 크게 구조적 대책 및 비구조적 대책으로 구분되며, 본 연구에서는 비구조적 대책 방법인 빗물펌프장 및 빗물저류조 운영을 통한 월류특성을 분석하고 비구조적 대책의 운영을 통한 한계최소월류발생지역을

선정하였다. 또한, 빗물펌프장 및 빗물저류조 운영을 크게 3가지 시나리오로 구분하여 분석하였다. 시나리오①의 경우는 빗물펌프장만을 고려한 운영으로 Case 16개로 작성하였으며, 시나리오②의 경우는 빗물저류조만을 고려한 운영으로 Case 10개로 작성하였다. 시나리오③은 시나리오① 및 ②의 조합적인 운영으로 총 160개의 Case로 작성된다.

분석 결과 시나리오①의 경우 Case1에서 Case16으로 운영 할수록 월류량이 감소하는 것을 알 수 있으며 최소 $0.003(10^3\text{m}^3)$ 에서 최대 $0.067(10^3\text{m}^3)$ 운영조건에 따른 월류량 차이를 보였다. 빗물펌프장 운영의 경우 초기운영수위를 낮게 하여 운영하는 것이 월류저감에 효과적이라 판단된다. 시나리오②의 경우 2년빈도를 제외하곤 빗물저류조의 운영수위를 높게하여 운영하는 것이 월류량을 저감시키고 효과적인 운영이라 판단된다. 운영에 따라 최소 $0.004(10^3\text{m}^3)$ 에서 최대 $0.416(10^3\text{m}^3)$ 의 월류량 차이를 보였다. 시나리오③의 분석 결과 가장 효율적인 월류저감을 보였으며, 빗물펌프장은 낮은 운영수위로 운영하고 빗물저류조는 높은 운영수위로 운영했을 경우가 가장 적은 월류량 및 월류발생지점을 보였다.

또한, 총 유역면적 대비 한계월류발생지점이 가지는 소유역면적을 산정한 결과 시나리오①은 4.12%~36.77%, 시나리오②는 4.12%~37.17%, 시나리오③은 4.12%~36.68%의 소유역 비율을 보였다. 즉, 대립3 빗물펌프장 유역의 경우 비구조적 대책으로 방어할 수 없는 유역의 면적비율은 최소 4.12%에서 최대 36.77%로 나타났다. 소유역의 면적 비율은 침수면적과의 다소차이는 있을 수 있으나 한계월류발생지점 및 한계월류 발생지점에 유입되는 소유역을 선정함에 따라 우선적 내수침수 방어가 필요한 지역으로 나타낼 수 있이라 판단된다. 또한, 비구조적 대책으로 내수침수를 방어할 수 없는 지역의 경우 신설 저류조 설치 및 우수관거 개량사업 수행시 우선적인 지역으로 선정할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 상세한 강우-유출해석 모형의 검보정을 통하여 절점별 월류량을 EPA-SWMM 모형의 Ponded Area 기능 등을 이용하여 보다 정확히 계산할 수 있다면, 각 대상지역별 한계월류발생지점의 선정 신뢰성을 높이는데 도움이 되리라 판단되며, 절점 및 기초구역단위의 상세한 대책이 수립가능 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원 (13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Cho, W.H., Han, K.Y., Kim, H.S., and Kim, J.S. (2015) A Study on Inundation Analysis Considering Inland and River Flood. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 18, No. 1,

pp. 74-89.

Choi, D.G., and Choi, J. (2015) Mapping Inundation Areas Using SWMM. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 5, pp. 335-342.

Hsu, M.H., Chen, A.S., Chen, L.C., Lee, C.S., Lin, F.T., and Huang, C.J. (2010) A GIS-based Decision Support System for Typhoon Emergency Response in Taiwan. *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 29, No. 1, pp. 7-12.

Joo, J.G., Yang, J.M., and Kim, J.H. (2013) Assessment of Inundation Risk Degree for Urban Areas. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 1, pp.129-136.

Lee, E.H., Lee, Y.S., Joo, J.G., and Kim, J.H. (2016) Development of Operation in Urban Offline Detention Reservoirs. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 1, pp. 227-236.

Lee, J.H., Kim, J.H., and Jun, H.D. (2011) An Optimal Sewer Layout Model to Reduce Urban Inundation. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 10, pp. 777-786.

Lee, J.H., and Yeon, K.S. (2008) Flood Inundation Analysis using XP-SWMM Model in Urban Area. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 5, pp. 155-161.

Pathirana, A., Tsegaye, S., Gersonius, B., and Vairavamoorthy, K. (2008) A simple 2-D Inundation Model for Incorporating Flood Damage in Urban Drainage Planning. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 5, pp. 3061-3097.

Schmit, T.G., Thomas, M., and Ettrich, N. (2004) Analysis and Modelling of Flooding in Urban Drainage System. *Journal of Hydrology*, Vol. 299, Issue 3-4, pp. 300-311.

Seoul City (2010) *Report of Basic and Detailed Design for Improved Pump Station Facilities Capacity(Area 3): Daelim 3 Pump Station*.

Shin, J.Y., Lim, S.M., Kim, J.H., and Kim, T.W. (2014) Analysis of Urban Flood Damage Characteristics Using Inland Flood Scenarios and Flood Damage Curve. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 1, pp. 291-301.

Song, Y.H., Park, M.J., and Lee, J.H. (2016) Analysis on the Effects of Inundation Mitigation according to Revise the Border for Urban Drainage System. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 1, pp. 213-220.

Received	November 24, 2017
Revised	November 28, 2017
Accepted	December 12, 2017