

침수대응 하수도 시뮬레이션 모델비교 연구

2024. 5

목 차

1. 연구 개요	3
1.1 적용 강우사상	3
1.2 모델 검증	4
1.3 적용 모델	4
1.4 하수도 시뮬레이션 입력자료	4
2. 하수도 시뮬레이션 모델 구축	5
2.1 표면유출 모델 구축	5
2.2 관거유출 모델 구축	5
2.3 이중배수체계 모델 구축	5
2.4 하수도 시뮬레이션 모델 검증	6
3. 내수침수 발생 평가	7
3.1 30년 확률년수	7
3.2 50년 확률년수	10
3.3 100년 확률년수	13
3.4 침수지점별 비교	16
3.5 최대 침수심 비교	17
3.6 종합 내수침수 발생 평가 결과	19

1. 연구 개요

대상 지역은 서울시 강남구 테헤란로를 중심으로 하는 도심지로서 총 관거 연장은 10.89km이며, 대부분이 상업지역으로 구성되어 있습니다. 도심부의 상류쪽은 선릉을 중심으로 지형이 다소 높고 완만한 경사가 2 시 방향으로 이어지고 있으며, 이에 따라 상부의 지표유출이 도로 및 지표의 유로를 따라 탄천 방향으로의 흐름을 보여 주고 있습니다.

내수재해는 주로 최근 기상이변에 따른 국지성 집중호우에 의한 저지대 지역에서의 내수배제 불량에 따른 침수 및 하수관거의 통수능력 문제로 기인되며, 상부의 지표유출수가 집중되는 도심부 도로를 따라 침수피해가 발생하는 양상을 띠고 있습니다.

본 연구에서는 30 년, 50 년, 100 년 확률 강우의 침수 대응을 위해 대표적인 이종배수체계 내수침수해석 모델인 XPSWMM, InfoWorks ICM 및 PCSWMM 을 이용하여 침수대응 하수도 시뮬레이션 수행 후 결과 검토를 중심으로 살펴보았습니다. 이를 통하여 얻고자 하는 최종 목표는, 각각의 모델의 결과 차이가 얼마나 그리고 어디에서 나는지를 살피고 국내의 관련 업무 진행에 이들 프로그램을 사용하여도 무리가 없는지를 확인하는 데 있습니다.

업무 개요	▪ 현재 설치되어 있는 하수도 시스템의 내수침수 대응능력을 3 가지 주요 분석 모델을 통해 평가하고, 각 모델의 결과를 다각도로 비교 검토
대상 유역 개요	▪ 배수유역 면적: 112.16ha ▪ 대상 관거 연장: 약 10.89km ▪ 대상 관거의 수: 172 개 ▪ 대상 맨홀의 수: 170 개
사용 강우	▪ 내수침수 발생 평가: 1 시간 지속시간 30, 50, 100 년 확률년수 강우 ▪ 내수침수 대응방안 검토: 1 시간 지속시간 50 년 확률년수 강우
모델 검증	▪ 침수흔적도를 포함하여 침수피해 발생시 조사기록을 통한 검증

[표 1] 대상 모델의 개요

1.1 적용 강우사상

모델에 적용한 강우사상은 대상지역에 대한 정확한 강우량 데이터가 없어, 인근 지역에 대해서 장기간 측정된 강우량을 FARD 모델을 통해 분석한 후, 이를 근거로 편의상 일부 편집하여 사용했습니다. 확률강우량은 Huff 제2분위법 시간분포를 적용하였습니다.

모델의 검증에 사용한 강우는 2010년 9월 21일 측정된 강우사상을 이용하였습니다. 내수침수 발생 평가에는 유역의 도달시간을 고려하여 1시간 지속시간 30, 50, 100년 확률년

수의 확률강우량을 사용하였습니다.

확률년수	30	50	100	2010. 9. 21 측정 강우량
강우량(mm)	94.27	103.7	112.2	72.0

1.2 모델 검증

대상지역의 최근 20여년간 침수피해 발생 현황을 검토한 결과, 2000년 및 2009년 가장 큰 침수피해가 발생하였으나, 침수피해 조사자료가 상대적으로 신뢰성 있게 작성된 년도는 2010년 9월 21일 발생시였습니다. 당일 발생한 강우사상은 일 총 72mm로 기록되었으며, 이때의 강우를 시뮬레이션하여 침수발생 면적을 기준으로 모델을 검증하였습니다.

1.3 적용 모델

적용 모델은 XPSWMM, PCSWMM 및 InfoWorks ICM이며, 이 3가지 모델은 전세계 4대 모델에 속하는 것들로서 표면유출과 관거유출 해석을 통한 내수침수 해석을 위한 기본적인 모델은 동일한 방정식들을 사용하나, 각 방정식의 해석을 위한 입력자료의 구성, 출력자료의 표현 방식 등에서 차이가 있습니다. 내수 침수 발생의 해석에 있어서는 어느 모델이든 사용자의 식견에 따라 실제 결과와 다른 결과를 얻을 수 있습니다. 또한 모델의 정확한 측정자료의 부재시 기본 모델의 설정값을 사용하여 모의를 수행하므로 이를 통한 결과의 차이가 일부 나타날 가능성을 갖고 있습니다.

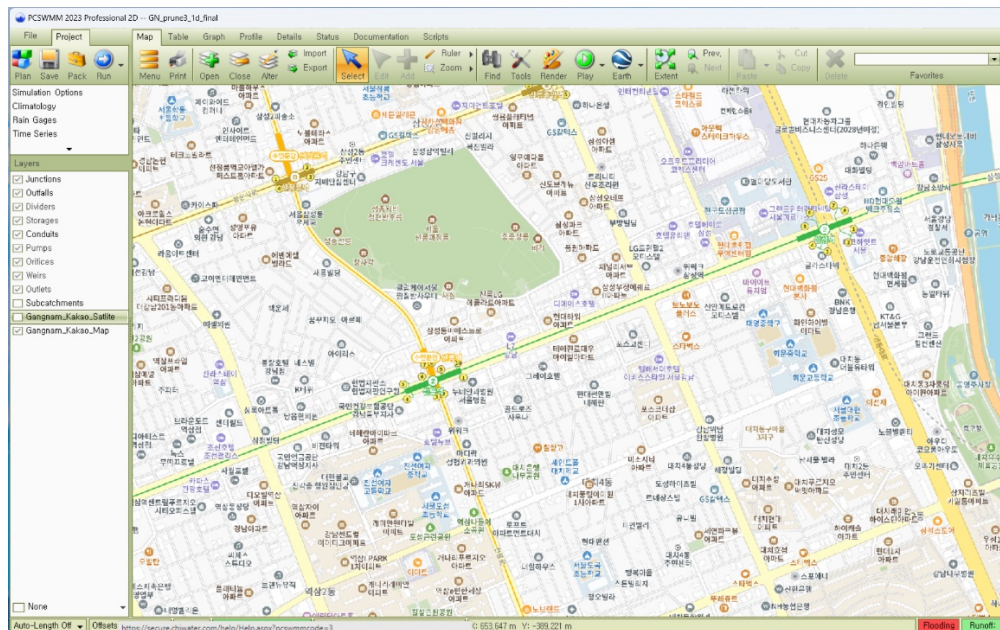
1.4 하수도 시뮬레이션 입력자료

표면유출 모델, 관거유출 모델의 입력자료는 CAD 하수관망도, GIS의 각종 레이어 형태로 확보하였으며, 대상지역의 수리 구조물이나 주변 하천의 수위 자료들은 실제 설계나 이와 관련된 후속 작업에 적용하지 않아 생략하였습니다.

2. 하수도 시뮬레이션 모델 구축

2.1 표면유출 모델 구축

표면유출 모델은 주요도로, 등고선, 건물의 고도 등을 이용하여 수치표고모델을 작성하여 입력자료로 활용하였습니다.



[그림 1] 대상 모델의 지리적 범위 (서울시 강남구 테헤란로 주변)

2.2 관거유출 모델 구축

관거유출 모델의 구축을 위해 대상지역의 하수관망도, 하수도 시설현황, 지형도 등을 바탕으로 시뮬레이션에 사용할 하수도 시스템을 구성합니다. 대상지역의 하수관거, 맨홀, 차집 시설 등의 각종 자료를 모델에 입력하고 EPA-SWMM 공통 모델로 변환한 다음 각 모델에 동일한 인자 값을 적용하였습니다.

2.3 이중배수체계 모델 구축

완성한 표면유출 모델과 관거유출 모델을 맨홀을 통해 결합하여 이중배수체계 모델을 완성하였습니다. XPSWMM, PCSWMM, InfoWorks ICM 모델의 해석에 사용한 방법은 다음과 같습니다.

모델	해석 방법
강우손실 모델	지표면저류: 일정량으로 가정, 침투: Horton 방정식
지표유출 모델	Kinematic Wave
관내수리 모델	Full Dynamic Wave

2.4 하수도 시뮬레이션 모델 검증

2010년 9월 21일 발생한 강우량과 추정된 침수피해흔적도를 이용하여 구축된 모델을 검증하였습니다.

내수침수 발생 특성을 나타내는 인자로는 침수심, 침수면적, 홍수량을 사용하였습니다.

침수심은 일반적으로 시뮬레이션 기간 동안 표면유출 모델 격자별 발생하는 최대 침수심을 나타내며, 물리적인 침수흔적조사의 결과와 비교할 수 있는 인자입니다.

침수면적은 일반적으로 시뮬레이션 기간 동안 대상구역에서 침수가 발생하는 최대 면적을 나타냅니다. 이 경우 침수발생을 정의하는 심도를 먼저 결정하여야 합니다. 대상지역의 침수발생은 침수심 0.05m를 기준으로 침수가 발생한다고 가정하여, 해당 침수심 이상의 발생이 기록된 모델 격자들의 면적을 침수면적으로 평가하였습니다.

홍수량은 시뮬레이션 기간 동안 대상구역에서 발생가능한 홍수량의 최대량을 나타내며, 본 사례에서 홍수량은 시뮬레이션 기간 동안 각 셀에서 기록된 최대 침수심 값과 침수면적을 곱하여 산정하였습니다.

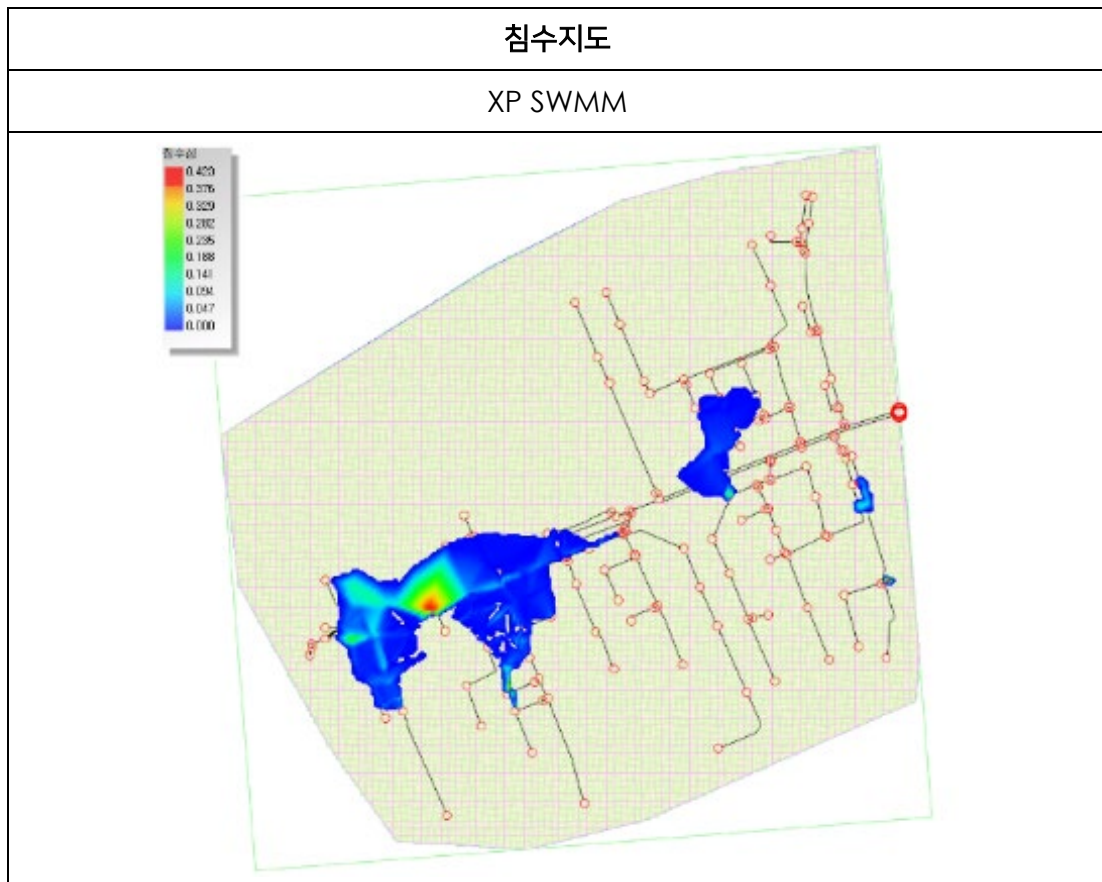
인근 지역에서 발생했던 강우사상에 대한 침수피해 조사결과, 침수발생시 조사된 실 강우량은 72mm로 기상청에서 측정된 일 강우자료와 유사합니다. 2시간 최대 발생 강우량은 18:15에서 20:10 동안 발생한 72mm로 강우분석을 통해 산정된 확률 강우량과의 비교결과 확률년수 5년 정도에 해당하는 강우량(78.1mm)이 발생한 것으로 나타났습니다.

30년 확률강우의 모의 결과 발생한 침수면적은 7.9ha (XP SWMM), 9.5ha (InfoWorks ICM), 9.4ha (PCSWMM)로 나타났으며, 이는 2010년 실제 강우사상 발생시 기록된 침수면적에 근접하는 것으로 나타났습니다. 세 가지 모델에서 기록된 침수흔적도 또한 추정된 침수흔적도내에 해당하는 것으로 나타났습니다.

3. 내수침수 발생 평가

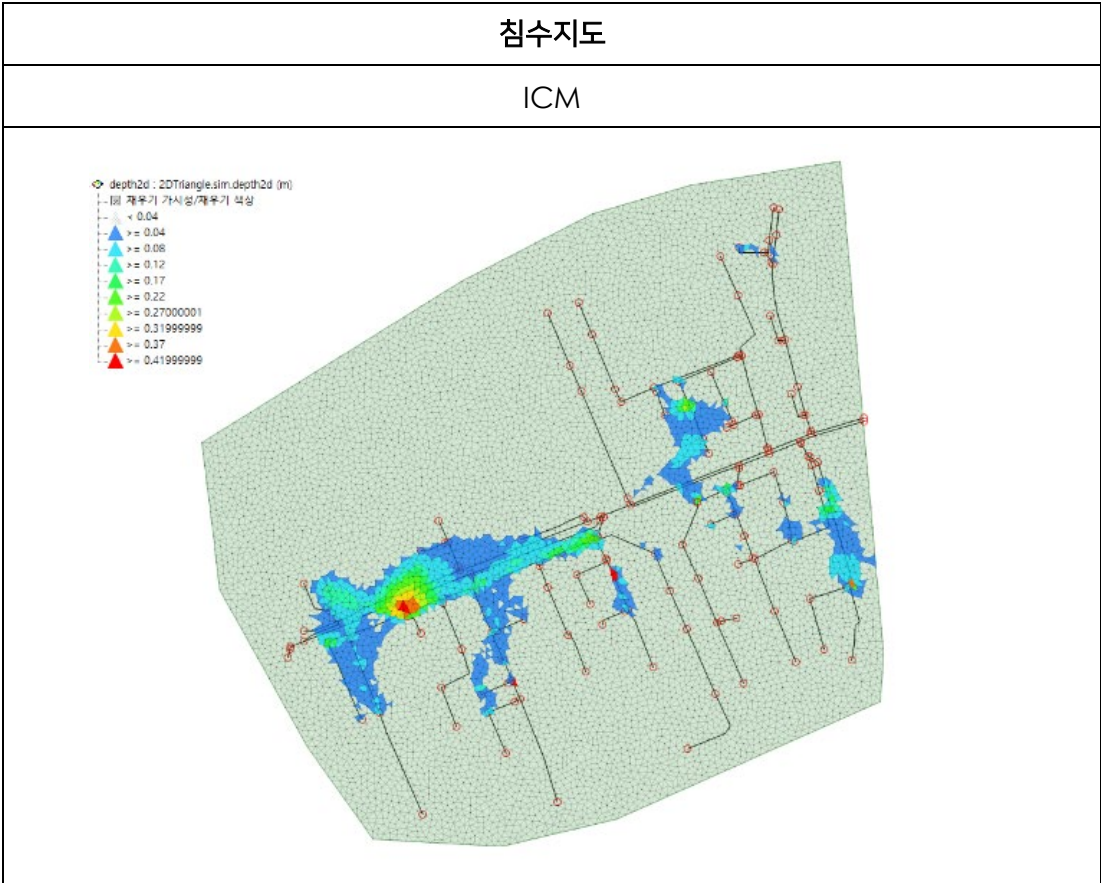
3.1 30년 확률년수

시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	XP SWMM 2D ver. 2023.1
모의대상 강우사상	30년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



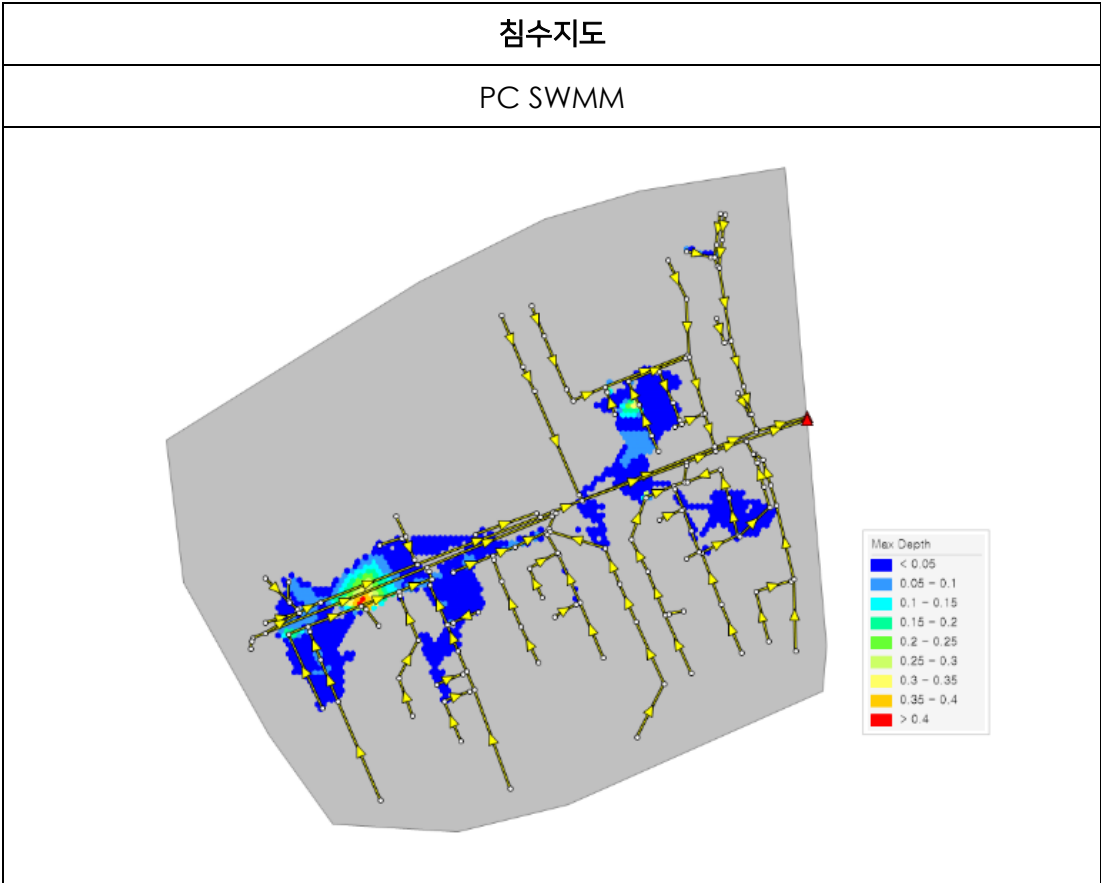
인자	XP SWMM
홍수량 (m^3)	3478.48
침수면적 (m^2)	78975.00
침수면적 비율 (%)	7.04
지점 A02-20 침수심 (m)	7.52
지점 B05-03 침수심 (m)	18.59
지점 B19-04 침수심 (m)	17.99

시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	InfoWorks ICM ver. 2025.0
모의대상 강우사상	30년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



인자	ICM
홍수량 (m^3)	4024.96
침수면적 (m^2)	94965.13
침수면적 비율 (%)	8.50
지점 A02-20 침수심 (m)	7.66
지점 B05-03 침수심 (m)	18.63
지점 B19-04 침수심 (m)	18.13

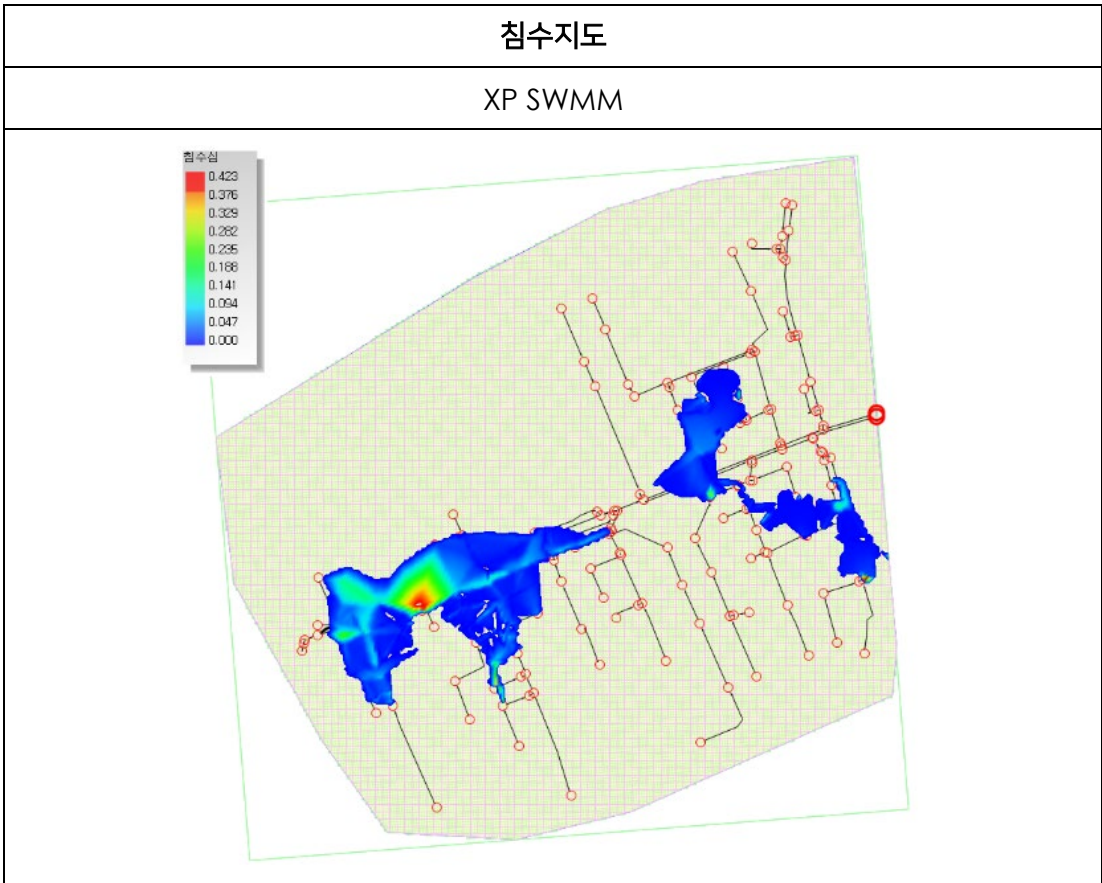
시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	PC SWMM 2D v.2023
모의대상 강우사상	30년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



인자	PC SWMM
홍수량 (m^3)	4032.10
침수면적 (m^2)	94320.90
침수면적 비율 (%)	8.41
지점 A02-20 침수심 (m)	7.69
지점 B05-03 침수심 (m)	18.59
지점 B19-04 침수심 (m)	18.02

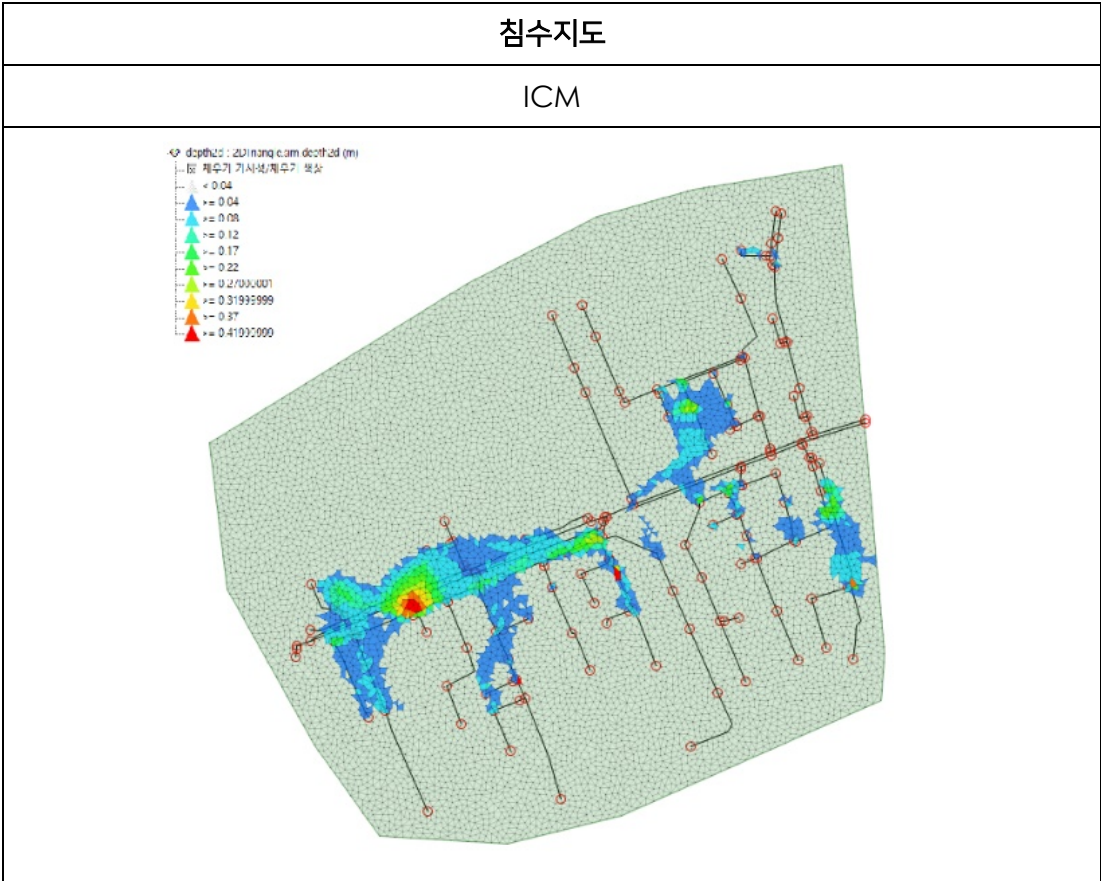
3.2 50년 확률년수

시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	XP SWMM 2D ver. 2023.1
모의대상 강우사상	50년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



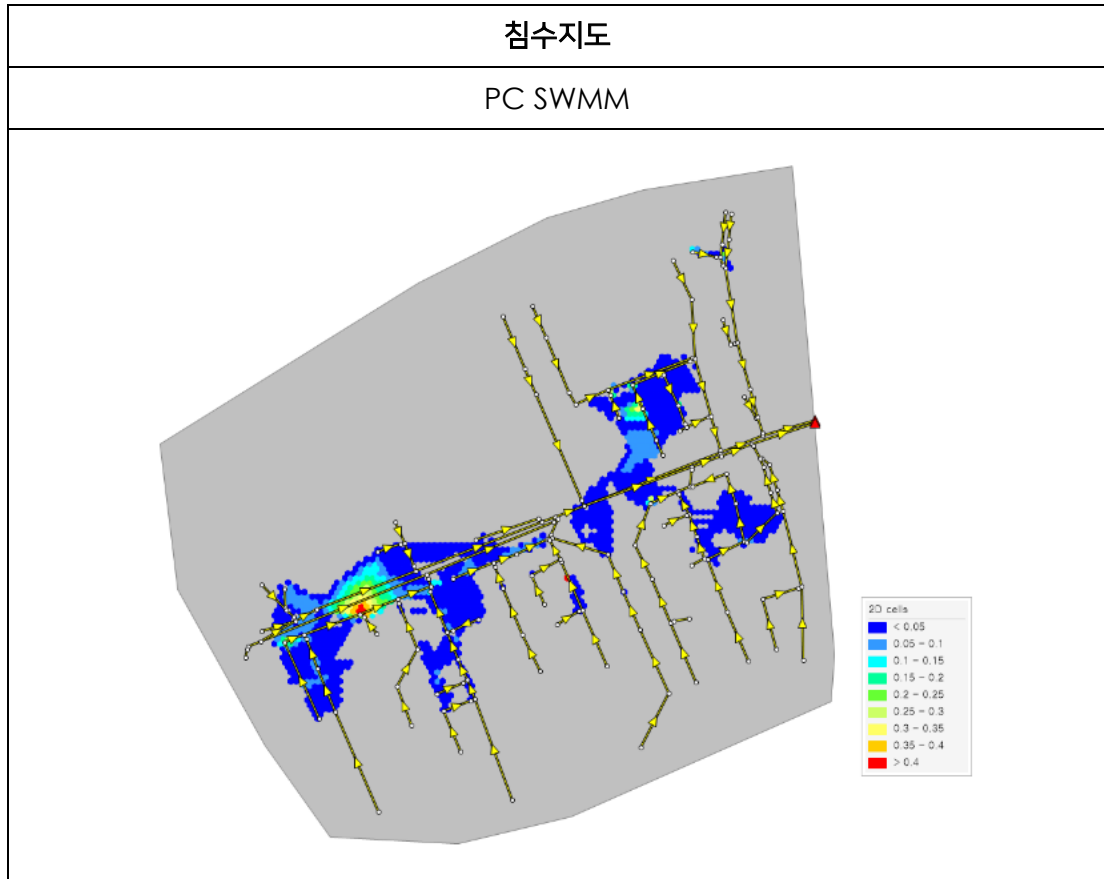
인자	XP SWMM
홍수량 (m^3)	4755.22
침수면적 (m^2)	104050
침수면적 비율 (%)	9.27
지점 A02-20 침수심 (m)	7.56
지점 B05-03 침수심 (m)	18.61
지점 B19-04 침수심 (m)	18.02

시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	InfoWorks ICM ver. 2025.0
모의대상 강우사상	50년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



인자	ICM
홍수량 (m^3)	4893.43
침수면적 (m^2)	107267.3
침수면적 비율 (%)	9.56
지점 A02-20 침수심 (m)	7.70
지점 B05-03 침수심 (m)	18.67
지점 B19-04 침수심 (m)	18.16

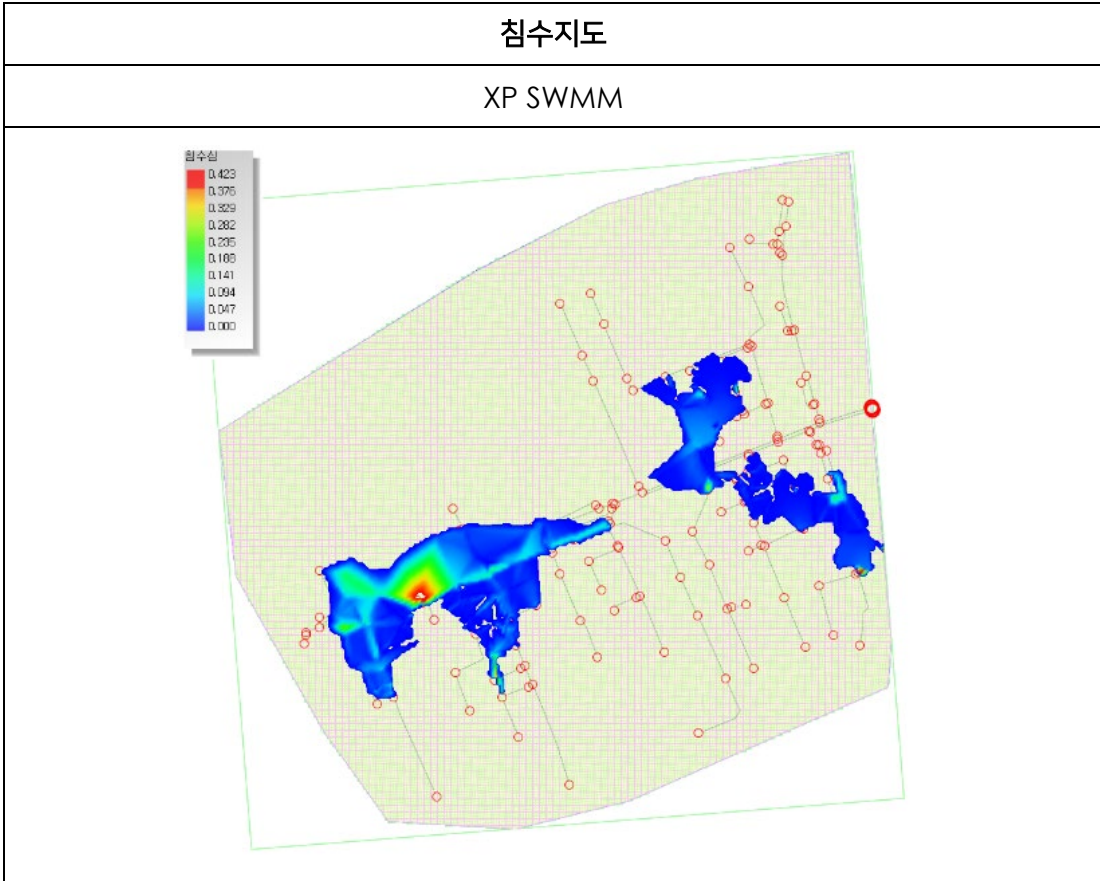
시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	PC SWMM 2D v.2023
모의대상 강우사상	50년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



인자	PC SWMM
홍수량 (m^3)	4646.76
침수면적 (m^2)	108451.7
침수면적 비율 (%)	9.67
지점 A02-20 침수심 (m)	7.72
지점 B05-03 침수심 (m)	18.59
지점 B19-04 침수심 (m)	18.02

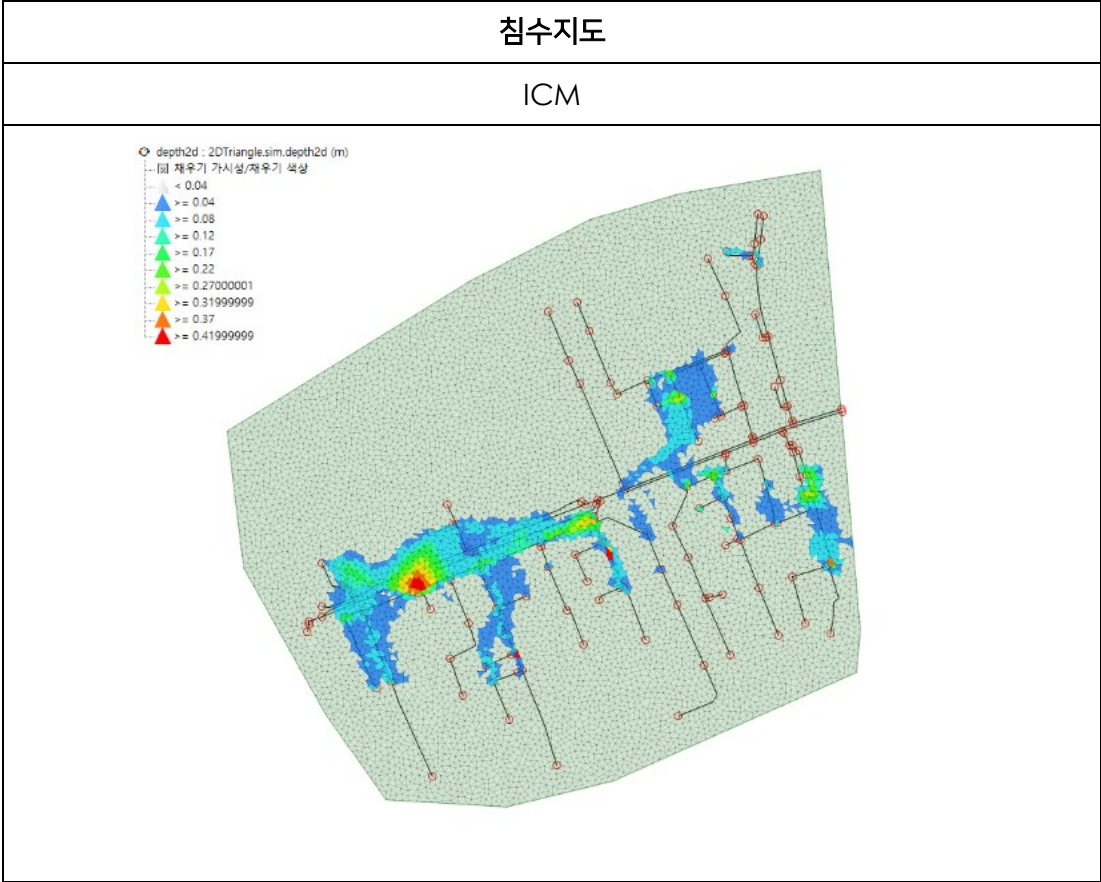
3.3 100년 확률년수

시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	XP SWMM 2D ver. 2023.1
모의대상 강우사상	100년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



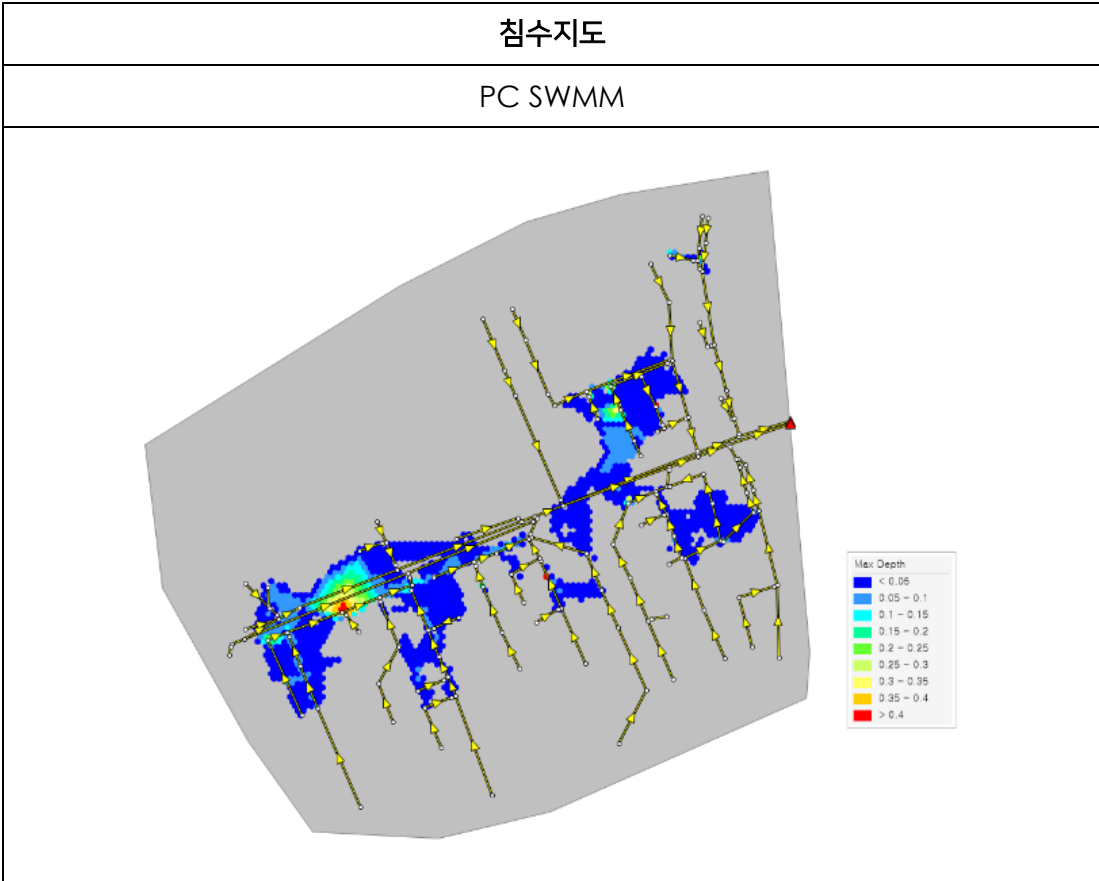
인자	XP SWMM
홍수량 (m^3)	5791.83
침수면적 (m^2)	117500
침수면적 비율 (%)	10.47
지점 A02-20 침수심 (m)	7.59
지점 B05-03 침수심 (m)	18.63
지점 B19-04 침수심 (m)	19.35

시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	InfoWorks ICM ver. 2025.0
모의대상 강우사상	100년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



인자	ICM
홍수량 (m^3)	5514.54
침수면적 (m^2)	119386
침수면적 비율 (%)	10.64
지점 A02-20 침수심 (m)	7.75
지점 B05-03 침수심 (m)	18.70
지점 B19-04 침수심 (m)	18.19

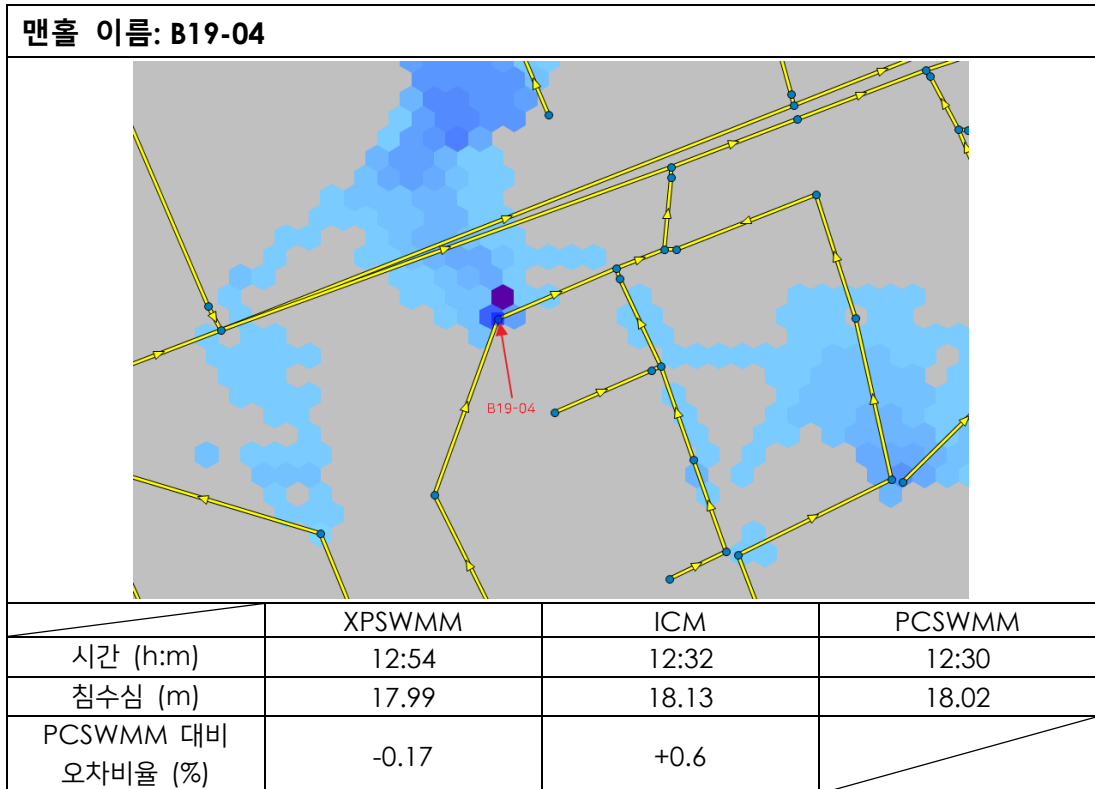
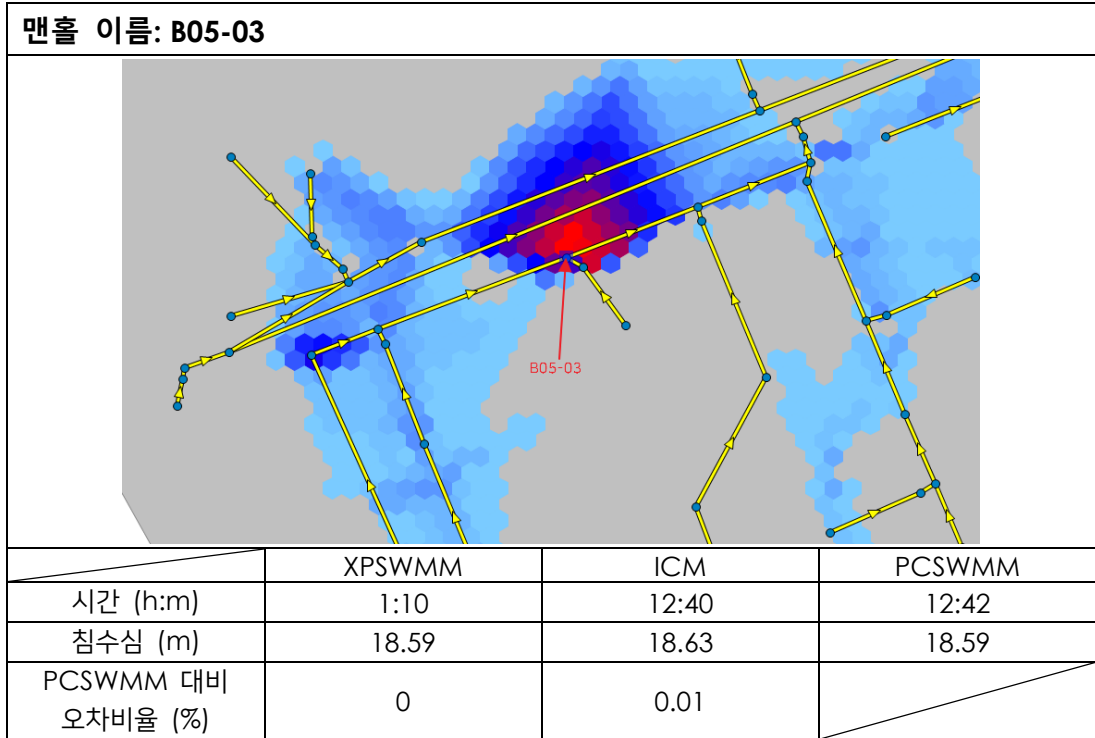
시뮬레이션 개요	
시뮬레이션 모델	PC SWMM 2D v.2023
모의대상 강우사상	100년 확률년수 (1시간)
모의 적용 시간	1시간 30분



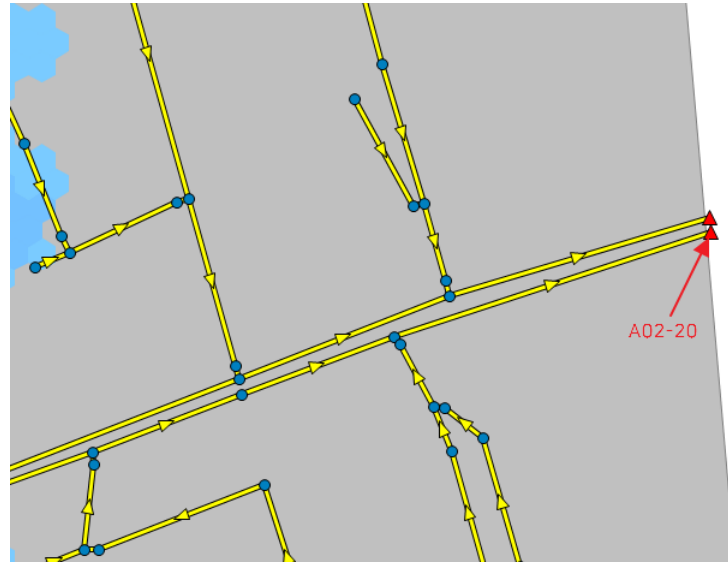
인자	PC SWMM
홍수량 (m^3)	5361.81
침수면적 (m^2)	118161.2
침수면적 비율 (%)	10.54
지점 A02-20 침수심 (m)	7.76
지점 B05-03 침수심 (m)	18.60
지점 B19-04 침수심 (m)	18.03

3.4 침수지점별 비교

대표적인 침수지점을 3군데 정하여 각 지점에서의 최대 침수 시각, 최대 침수심을 살펴보고 3가지 모델간의 차이를 비율로 아래와 같이 정리해 보았습니다. 위치 정보 및 양상 파악을 위해 PCSWMM의 침수 평면도만 첨부하였습니다.



맨홀 이름: A02-20 (방류구)



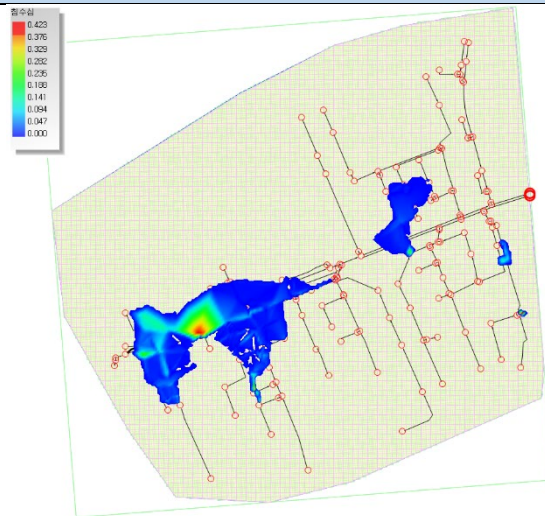
	XPSWMM	ICM	PCSWMM
시간 (h:m)	12:55	12:38	12:35
침수심 (m)	7.52	7.66	7.69
PCSWMM 대비 오차비율 (%)	-2.17	-0.39	

위에서 확인할 수 있는 바와 같이, 각 지점별로 침수심의 오차 비율은 0% ~ 2.17% 수준에 그쳤으며 이로서 3가지 프로그램의 침수 결과가 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있습니다. 물론, 선택한 지점의 위치와 확률 강우에 따라 좀 더 오차 비율이 커질 수는 있겠지만 전체적인 양상은 크게 다르지 않습니다.

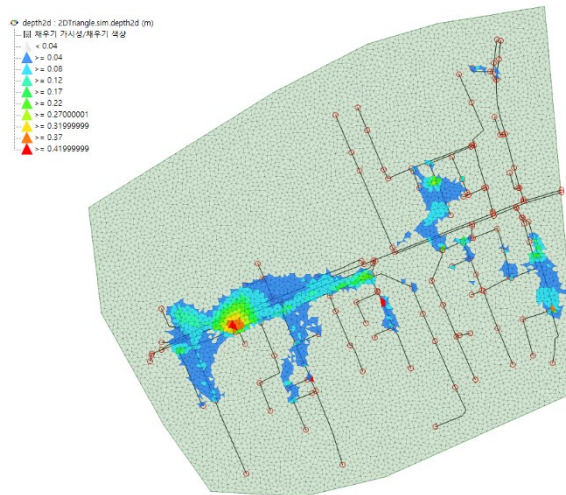
3.5 최대 침수심 비교

각 모델별로 최대 침수심이 발생한 시각에서 침수 면적이나 방향 등의 양상을 확인해 볼 수 있도록 최대 침수심을 아래와 같이 표시하였습니다. 모델에 따라 침수심 범례 표현과 관련된 인자 값이 상이하야 결과 역시 약간씩의 차이는 보이지만, 강우가 발생한 시간과 침수가 진행되는 양상을 애니메이션으로 확인해 볼 때, 대동소이하다는 것을 확인하였습니다. 각 지점별 침수심과 홍수량을 비교한 테이블 자료는 마지막 페이지에서 볼 수 있습니다.

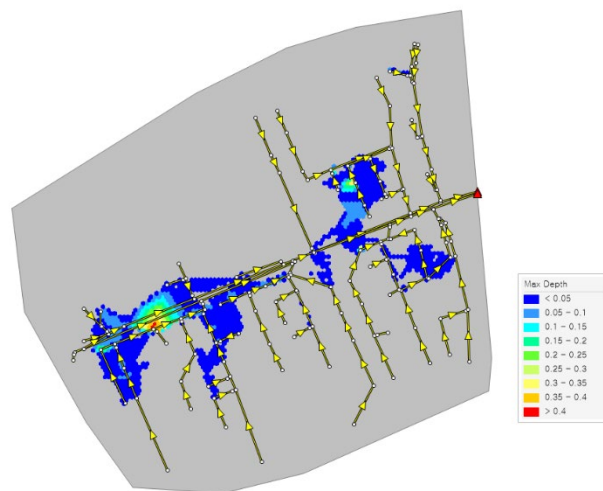
XPSWMM



ICM



PCSWMM



3.6 종합 내수침수 발생 평가 결과

모델에 적용한 확률년수별 내수침수 발생 평가를 종합하면 다음과 같습니다.

1) XP SWMM 모델

확률년수	30년	50년	100년
홍수량 (m^3)	3,478.48	4,755.22	5,791.83
침수면적 (m^2)	78,975	10,4050	11,7500
침수면적 비율 (%)	7.04	9.27	10.47
지점 A02-20 침수심 (m)	7.52	7.56	7.59
지점 B05-03 침수심 (m)	18.59	18.61	18.63
지점 B19-04 침수심 (m)	17.99	18.02	19.35

2) ICM 모델

확률년수	30년	50년	100년
홍수량 (m^3)	4,024.96	4,893.43	5,514.54
침수면적 (m^2)	94,965.13	10,7267.3	11,938.6
침수면적 비율 (%)	8.50	9.56	10.64
지점 A02-20 침수심 (m)	7.66	7.70	7.75
지점 B05-03 침수심 (m)	18.63	18.67	18.70
지점 B19-04 침수심 (m)	18.13	18.16	18.19

3) PC SWMM 모델

확률년수	30년	50년	100년
홍수량 (m^3)	4,032.10	4,646.76	5,361.81
침수면적 (m^2)	94,320.90	10,8451.7	11,8161.2
침수면적 비율 (%)	8.41	9.67	10.54
지점 A02-20 침수심 (m)	7.69	7.72	7.76
지점 B05-03 침수심 (m)	18.59	18.59	18.60
지점 B19-04 침수심 (m)	18.02	18.02	18.03

위 표에서 확인할 수 있듯이, 3가지 확률년수에 대해 3가지 모델 모두 상당히 유사한 결과를 보이는 것이 관찰됩니다. 전체적으로 XPSWMM이 다른 2가지 모델에 비해 침수 면적이 약간 넓게 분석되는 반면 홍수량은 조금 많은 편이며, 침수면적 비율이 상대적으로 작게 계산되기는 하지만 역시 대동소이하고 각 지점별 침수심에는 소소한 차이만 있을 뿐입니다.

이로써, 위의 3가지 침수 분석 모델 모두 대부분의 도시침수 양상을 합리적으로 표현한다고 볼 수 있겠으며 설계사는 필요에 맞게 원하는 제품을 사용하는데 무리가 없음을 확인하였습니다.

참고 문헌

- 침수대응 하수도 시뮬레이션 가이드라인 마련 연구 (2011.10) 환경부
- 도시지역의 확률강우량 산정 (2006) 건설교통부 도시홍수재해관리기술연구단
- 재해지도 작성 기준 등에 관한 지침 (2006.6) 소방방재청
- 하수도시설기준(안) (2010) 환경부
- 홍수위험지도 작성 기준 등에 관한 지침 (2008.4) 국토해양부
- FARD (Frequency Analysis of Rainfall Data) 소방방재청 국립방재연구소
- Urban Drainage (2010) Butler, D.B., Davies, J.W., 3rd edn., Spon Press