J. Korean Soc. Hazard Mitig.
Vol. 19, No. 5 (Oct. 2019), pp.273~284
https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.5.273

ISSN 1738-2424(Print)
ISSN 2287-6723(Online)
www.kosham.or.kr

풍수해방재

우수관거 계획에서 지표면 침수여부 판정 계산 절차 개발

Development of Calculation Procedures to Determine Surface Inundation in Stormwater Management Plans

이정민* · 박종표**
Lee, Jungmin*, and Park, Jongpyo**

Abstract

The "Working Guidelines for Consulting on Pre-Disaster Impact Review" and the "Sewage Facility Standard" suggest flood analyses of stormwater drainage plans. Based on the results in these guidelines, a conduit plan should be established to eliminate flooding. However, despite these guidelines, reviews of the impact of a disaster generally focus on the installation of reservoirs as flooding tend to increase after development. The Excel sheets "makesw," which are frequently used in stormwater reclamation planning, cannot analyze inundation due to the drainage effect because the upstream conduit is not affected by the downstream flow. The purpose of this study is to connect basic design technology and the stormwater management model to develop a program that can be used for immersion analysis and contribute to improving the convenience and accuracy of immersion analysis.

Key words : Inundation Analysis, SWMM, Graphviz

요 지

'사전재해 영향성검토 협의 실무지침'와 '하수도 설계기준'에서는 우수관거 계획에 있어 침수에 대한 분석을 수행하고 침수에 대응이 가능하도록 한 관거 계획을 수립하도록 제시하고 있다. 그러나 지침에도 불구하고, 사전재해 영향성 검토 시 개발 후의 홍수량이 커지면 저류지를 설치하는데 초점을 두고 있다. 우수배제 계획에 빈번하게 사용되는 엑셀 시트 'makesw'는 상류 관거의 흐름 상태가 하류의 흐름 상태에 영향 받지 않으므로 배수효과에 의한 내수 침수를 분석할 수 없다. 이에 본 연구에서는 우수관거 계획에서 지표면 침수 여부를 판정하는 계산 절차의 개발을 통해 관로 설계 단계에서 수행이 어려운 침수분석을 기존 설계기법과 침수분석이 가능한 SWMM 모형과 연계한 프로그램을 개발하여 침수분석에 편의성과 정확성을 높이고자 한다.

핵심용어 : 침수분석, SWMM, Graphviz

1. 서 론

최근 기후변화로 인하여 지난 100년간 강우량은 17% 증가, 강우일수는 18% 감소, 집중호우는 1970년대 대비 2배가 증가하였다. 또한, 급격한 도시화로 인한 불투수면의 확대 및 지하수 고갈, 하천의 건천화와 생태계 교란, 열대야 및 열섬 현상이 심화되고 있으며, 도시지역에서는 개발에 따라 주차장, 건물, 도로 등의 불투수면적이 급격하게 증가하게 되고, 땅 속으로 우수가 흡수되어 지반 내 저장될 수 있는 능력이 상실되어 표면유출이 크게 증가하거나 유출이 하천에 도달하는 시간이 짧아져 홍수발생이 크게 증가하는 등 물순환 체계는 심각하게 파괴되고 있는 실정이다.

토지 개발 사업 시행시 기상이후로 인한 호우재해 분석과 대응방안 마련이 중요한 실정에서 사전재해영향성 검토 시 사업지구 내 관거계획 및 저류지에 대한 검토는 수행하나 지표면 침수여부의 검토는 미흡하거나 실행하지 못하는

*정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(E-mail: andrew4502@lh.or.kr)
Member, Research Fellow. Lnad & Housing Institute
**교신저자, 정회원, 주식회사 헥코리아 이사(Tel: +82-2-572-4320, Fax: +82-70-4325-6097, E-mail: jppark@hecorea.co.kr)
Corresponding Author, Member, Director. HECOREA

실정이다. 개발 사업의 실시설계 단계에서는 Strom Water Management Model (SWMM) 모형 등을 이용하여 침수분석을 수행하나 분석과정이 복잡하고 모형의 접근이 어려워 사업지구 밖의 외수 영향을 고려하여 침수분석을 수행하는 경우가 드문 실정으로 구체적인 침수 계산이 가능한 절차 개발이 필요하다.

'사전재해 영향성검토 협의 실무지침(MOIS, 2017)'에서는 호우재해의 공학적 검토를 통한 정량적 분석을 위하여 SWMM 등 내수 침수량을 계산할 수 있는 모형을 선택하도록 제시하고 있으며, '하수도 시설기준(ME, 2011)'의 우수관거 계획에서는 침수 원인이 외수에 의한 침수인 경우에 방류수역의 기점수위로 추정된 배수위를 고려하여 침수 해소를 위한 관거 계획을 수립하도록 제시하고 있다.

그러나 위와 같은 지침에도 불구하고, 사전재해 영향성검토 시 개발 후의 홍수량이 커지면 저류지를 설치하는데 초점을 두고 있다. 우수배제 계획에 빈번하게 사용되는 엑셀 기반 하수관망 계산 프로그램인 'makesw'는 상류 관거의 흐름 상태가 하류의 흐름 상태에 영향 받지 않으므로 배수효과에 의한 내수 침수를 분석할 수 없으며, 우수배제 계획에 사용하는 ILLUDAS 모형도 관거 내의 배수효과를 모의할 수 없어 내수 침수를 분석할 수 없는 실정이다.

본 연구에서는 우수관거 계획에서 지표면 침수 여부를 판정하는 계산 절차의 개발을 통해 관로 설계 단계에서 수행이 어려운 침수분석을 기존 설계기법과 침수분석이 가능한 SWMM 모형과 연계한 프로그램을 개발하여 침수분석에 편의성과 정확성을 높이고자 한다. 설계단계의 기법적 단점을 보완한 연구로 Karovic and Mays (2014)는 우수배수 시스템의 최적화 기술을 Excel 기반으로 구현하고 현장 적용을 통한 비용절감효과를 제시하였으며, Leandro et al. (2009)는 1차원과 2차원이 결합된 하수/표면 유압모델의 비교 검토를 수행한 바 있다.

makesw와 SWMM 모형의 연계를 통한 우수관거 계획에서 지표면 침수 여부를 판정하는 절차를 개발하기 위하여, 유출체계 구성 절차를 제시하고 지표면 침수여부 판정의 실행 도구를 개발하여 사례 관거 체계의 지표면 침수 여부를 판정하고자 한다.

2. 침수판정 프로그램 개발

2.1 침수판정 연구 동향

외수의 영향에 의한 내수 침수를 분석할 수 있는 SWMM은 강우에 의한 지표 및 지하수 유출 모의와 관거를 통한 흐름 추적을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 유출수의 수질을 모의할 수 있다(Fig. 1). 또한, SWMM은 융설, 하수처리장, 저류지, 저영향개발(Low Impact Development, LID) 시설 등을 모의하는 방대하고 복잡한 기능을 가지고 있다. 그러나, SWMM의 사용법 습득이 까다로워 우리나라의 경우에 우수배제 계획에 우선적으로 적용되고 있지 않는 실정이다.

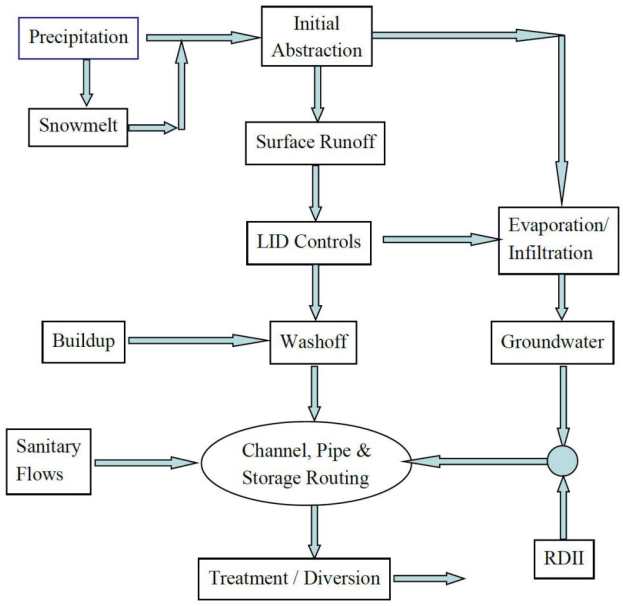


Fig. 1. Simulation Process for Runoff and Water Quality in SWMM

우수관거 계획에서 지표면 침수 여부를 판정하는 계산 방법은 사용자의 접근성과 적용성을 높이기 위하여 최대한 단순해야 하므로 다음과 같은 필수 기능을 갖추어야 하나 그에 따른 한계도 공존하는 것으로 나타났다.

- 호우는 빈도 강우를 적용
- 관거로 유입되는 각 단위 유역의 배수 유량이 빈도 강우에 의하여 최대인 상태에서 지면의 침수를 판정
- 호우 시계열에 의한 홍수량 시계열은 모의하지 않음
- 외수로 인한 배수 영향을 모의
- 공간 범위로서 합리식의 가정이 적용되는 약 2.6 km^2 (=1 $mile^2$) 이내 면적의 개발지역에 적용
- 융설, 유출수 수질, 저영향개발 요소, 펌프, 위어 등은 포함하지 않음

또한, 사전 재해 영향성검토의 지침은 필요한 경우에 호우로 인한 내수 침수를 모의하도록 명시하고 있으나 실무에서는 침수 분석 기능이 없음에도 불구하고 난이도가 낮고 사용법이 간단한 계산 방법을 우수 배제 계획에 흔히 적용하고 있다. 따라서, 호우로 인한 개발지역의 침수에 관하여 지침과 실무의 괴리를 채울 수 있는 우수관거 계획의 지표면 침수 여부 판정 계산 방법 개발이 필요한 실정이다.

2.2 지표면 침수 여부 판정의 이론적 개요

우수관거 계획에서 지표면의 침수 여부 판정은 유역-절점-관거의 유출체계에서 호우로 인한 절점의 계산 수두가 절점의 지반고보다 높은지 계산함으로써 이루어진다(Fig. 2).

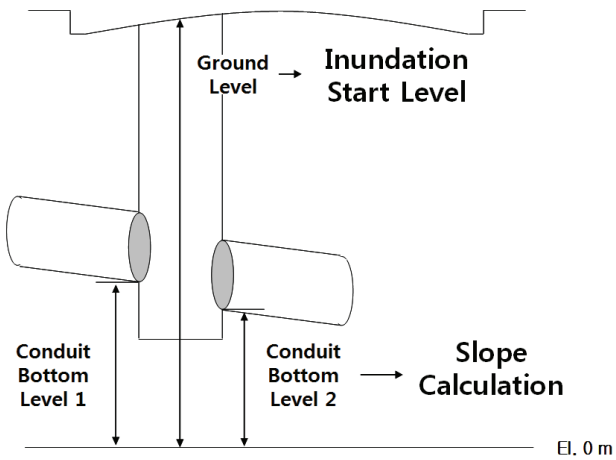


Fig. 2. Diagram of Height in Relation to Manhole Components

유역-절점-관거 체계는 Fig. 3을 예로 우수는 아래에서 위로 흐르며, 파선은 등고선을, 이점쇄선으로 구분된 영역은 배수 소유역, 굵은 실선은 우수관거를 나타낸다. 우수관거 사이의 원은 맨홀이다.

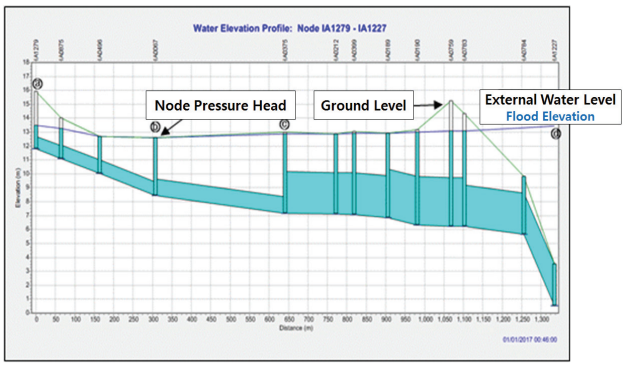


Fig. 3. Calculation Results of Longitudinal Pipeline and Water Level

우수관거 시스템은 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있으며, 관거의 종속변수는 유량, 절점의 종속변수는 수두이다.

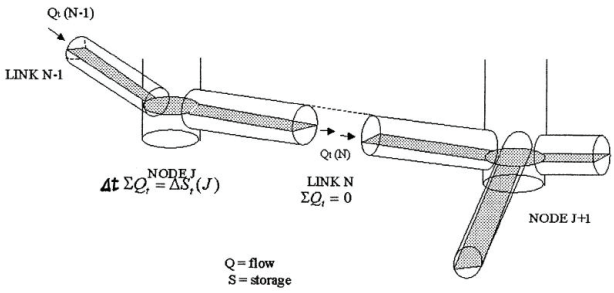


Fig. 4. Conceptual Diagram of the Drain Pipe System (James et al., 2005)

우수관거의 흐름에서 배수영향을 고려하려면 흐름의 지배방정식으로서 동역학파(dynamic wave)를 적용하여야 한다. 동역학파 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (1)$$

A: 흐름 면적
Q: 관거 유량,
x: 관이나 수로를 따른 거리
t: 시간
H: 수두(관거 바닥 높이+수위)
g: 중력가속도
S_f: 마찰 경사

지배방정식의 다른 하나는 연속방정식이다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

우수관거의 유량을 계산하는 수식은 동역학파 식과 연속식을 연립하고 차분한 다음 식을 적용한다. 여기서, 미지수는 $Q_{t+\Delta t}$, H_1, H_2이다.

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1+\frac{k\Delta t}{R^{4/3}}|V|}\left[\begin{array}{l} Q_t + 2\overline{V}\left[\frac{\Delta A}{\Delta t}\right]_t \Delta t \\ + \overline{V^2}\frac{A_2 - A_1}{L}\Delta t \\ - g\overline{A}\frac{H_2 - H_1}{L}\Delta t \end{array}\right] \quad (3)$$

절점의 수두 H는 집중형 연속방정식을 적용하며, 차분식은 다음과 같다.

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\Sigma Q \Delta t}{A_s} \quad (4)$$

2.3 지표면 침수 여부 판정 계산 절차 구성

개발 사업이 이루어진 사례 유역 선정 후 우수 배제 계획의 통수 단면 결정을 위한 makesw 엑셀 시트를 참조하여 유역-절점-관거를 요소로 한 홍수 유출체계를 엑셀 시트 및 셀로 구조화 하였다. 또한, 기존 프로그램의 활용과 소켓 프로그램의 구동, 프로그램 실행 결과의 엑셀 시트 내 표출 등은 비주얼 베이직 매크로로 작성 하였다.

소요 입력 자료의 유형은 유역-절점-관거의 연결 관계, 유역, 관거, 절점 요소의 자료로 하였으며, 우수관거의 형상은 흔히 사용되는 원형과 사각형으로 한정하였다(Table 1). 또한, 유출 요소의 입력자료는 Table 2와 같다.

Table 1. Range of Drain Pipe Types

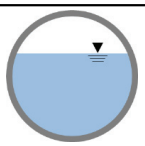
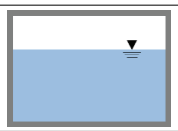
Conduit Type	Input data	Shape
circle	Diameter	
Square	Width, Height	

Table 2. Required Data at Basin, Drain Pipe, Nodes

Element	Basin	Conduit	Node
Input data	Area, Runoff coefficient, Rainfall intensity, Inlet time	Lengh, Width & Height (or Diameter), Roughness coefficient, Connection,	Manhole height, Node depth, Offset

자료 입력, 관거 유량과 절점 수두의 연산, 침수 여부 판정결과 표시가 하나의 체계에서 수행되는 도구로서 엑셀을 사용하고자 한다. 엑셀을 사용하는 이유는 입력자료 결과의 화면 내 확인이 용이하며, 입력자료의 정의 파악, 위치 확인, 수정이 용이하다는 장점을 가지고 있기 때문이다. 또한, 복잡한 연산을 비주얼 베이직 매크로로 묶음화하고 셀 자료들과 매크로 묶음들을 연결하여 연산 처리하는 유용성이 있어 엑셀을 도구로 사용하는 것이 합리적이다.

기존 우수관거 흐름 모의 컴퓨터 프로그램의 내용과 연산 구조를 분석하고 사례 유역의 소요 자료를 수집하여 유역, 관거, 절점의 엑셀 입력자료를 구성하였다. 또한, 호우에 대하여 관거 유량과 절점 수두를 계산할 수 있는 유역-절점-관거 체계를 엑셀 시트로 구조화하여 소유역 합리식 빈도 홍수량의 연산 엑셀 시트를 개발하였다.

유역 홍수량의 하도추적 프로그램을 구동하는 비주얼 베이직 매크로 개발, 동역학파 차분식으로 하도추적하는 SWMM을 구동하기 위한 매크로 개발과 함께 유역-절점-관거 체계의 자료 입력과 매크로 실행을 결합한 엑셀 시트 완성하였다.

위 개발된 내용을 바탕으로 사례 유역 우수관거 계획의 지표면 침수 여부 판정의 계산을 실행하였다.

2.4 엑셀 기반의 침수판별 프로그램 구성

침수 판별 프로그램은 기존의 makesw 엑셀 시트 프로그램을 개선하여 개발하였고, 사용자 편의성을 향상시키기 위해 사용자들에게 익숙한 makesw 엑셀시트와 유사한 입력 양식을 가지고 있다.

외수로 인한 배수 영향을 모의하기 위해 SWMM5 프로그램을 사용하였고, 사용자 편의성을 향상시키기 위해 엑셀 파일 안에서 입력과 실행결과 확인이 모두 이루어지도록 Visual Basic for Application (VBA)로 코딩하였다.

2.4.1 프로그램 정보시트

침수 판정 프로그램은 기능별로 다수의 엑셀 시트(sheet)로 구성된다. 또한, 비슷한 성격을 가진 시트를 구분하여 관리하기 위해 시트 탭의 색깔을 초록색, 노란색, 빨간색, 파란색, 회색으로 표시하였다. Table 3은 침수 판정 프로그램 내 엑셀 시트들을 색깔로 구분하여 정리한 내용을 나타낸다. 사용법을 간단히 소개하면, 사용자는 초록색 시트의 정보를 참조하여 노란색 시트에 침수 판정 프로그램 실행에 필요한 입력자료를 입력한다. 그리고 입력이 완료되면, 노란색 시트인 '입력자료 & 실행' 시트에서 실행 버튼을 눌러 프로그램을 구동시킨다(Fig. 5). 이후 순차적으로 모듈들이 실행되고 나면, 빨간색 시트인 '침수 판정 결과' 시트가 자동으로 활성화되고, 해당 시트를 통해 모의 결과를 확인할 수 있다.

Table 3. Configuration of Excel Sheet in Inundation Determination Program

Color	Excel sheet	Remarks
Green	Program information, Input reference	- Reference - No user input required
Yellow	Setting of Roughness coefficient & IDF, Input & Execution	- User input required
Red	Inundation judgment result	- Automatic calculation - Simulated output
Blue	Schematic Code	- Automatic calculation - No user access required
Gray	IDF, flood analysis, SWMM Input & Output	- Fixed information - Automatic calculation - No user access required

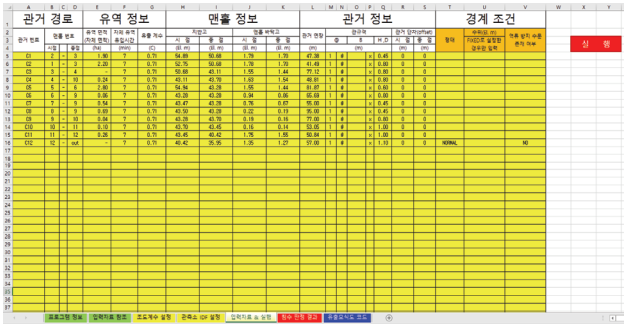


Fig. 5. 'Input Data & Execution' Sheet with Action Button

Fig. 6은 각각 회색으로 분류된 시트를 포함하기 전과 후의 침수 판정 프로그램의 화면을 나타낸다. 회색 시트에 포함된 정보는 프로그램 구동에 필요한 자료이기는 하지만

사용자가 직접 제어하거나 확인이 필요한 시트는 아니다.

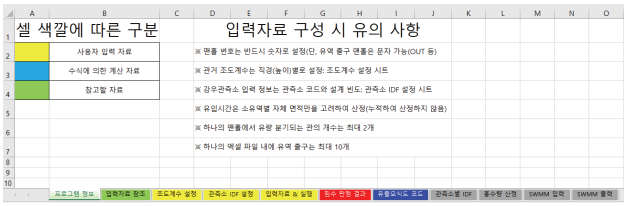


Fig. 6. Inundation Determination Program

2.4.2 입력자료 참조 시트

입력자료 참조 시트에는 사용자가 유역의 유입시간과 하류단 경계조건의 입력에 참조할 내용을 포함하고 있다(Fig. 7). 침수 판별 프로그램은 합리식을 이용하여 홍수량을 결정하는데, 합리식에 사용되는 강우강도의 설정에는 강우의 지속기간이 요구된다. 일반적으로 강우의 지속기간은 유역의 도달시간으로 결정되므로 유역의 유입시간은 강우의 지속기간 결정에 주요 변수로 작용된다.

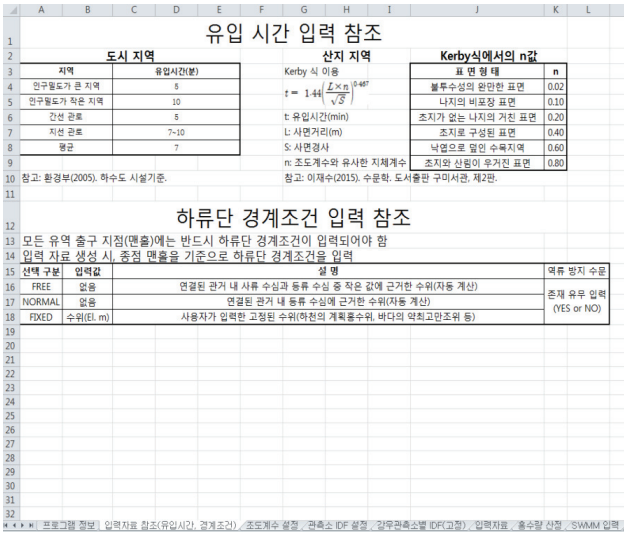


Fig. 7. Sheet Screen for Reference to Input Data

유역의 유입시간 결정 방법은 도시 지역과 산지 지역으로 구분될 수 있다. 도시 지역의 경우에는 ME (2011)에서 인구밀도와 관거의 구분에 따른 유입시간을 참조할 수 있도록 제시하고 있다. 실제로 실무에서는 도시 지역의 유입시간을 평균값으로 제시한 7분이 주로 사용하고 있다. 산지 지역에 대해서는 Kerby 식을 이용할 수 있으므로 Lee (2015)에서 제시한 관련된 수식과 매개변수를 기술하였다.

침수 판별 프로그램은 SWMM의 엔진 중 동역학파(dynamic wave) 식을 이용하여 하도추적을 수행하므로 반드시 유역 출구부의 경계조건이 입력되어야 한다. 유역 출구부의 경계조건은 3가지이며, 각각 'FREE', 'NORMAL', 'FIXED'로 구분된다. 'FREE'는 유역 출구부와 연결된 관거의 사류 수심과 등류 수심 중 작은 값을 입력하는 조건이고, 'NORMAL'은 등류 수심을 사용하는 조건이다. 이때 'FREE' 또는 'NORMAL'을 경계조건으로 사용하는 경우, 해당되는 수위를 SWMM 엔진 내부에서 자동으로 계산하여 설정되므로 사용자가 직접 수위를 입력할 필요가 없다. 반면에 'FIXED'는 사용자가 고정된 수위를 직접 입력하는 조건이다. 고정된 수위는 외수의 상태에 따라 하천의 계획홍수위나 바다의 약최고만조위 등이 입력될 수 있다.

한편, 각각의 하류단 경계조건의 입력 시에는 역류 방지 수문의 존재 여부를 입력해야한다. 즉, 역류 방지 수문이 존재하는 경우 'YES'로 설정하고, 존재하지 않을 경우에는 'NO'를 입력해야 한다. 상기에서 기술한 모든 영문자는 대/소문자를 구별하지 않는다.

2.4.3 조도계수 입력 시트

조도계수 입력 시트는 사용자가 관거의 조도계수를 설정할 수 있다(Fig. 8). 해당 시트에는 조도계수 설정 시 참조할 자료로서 ME (2011)에서 제시한 관거와 개거의 종류에 따른 조도계수의 범위에 관한 표를 제시하고 있다.

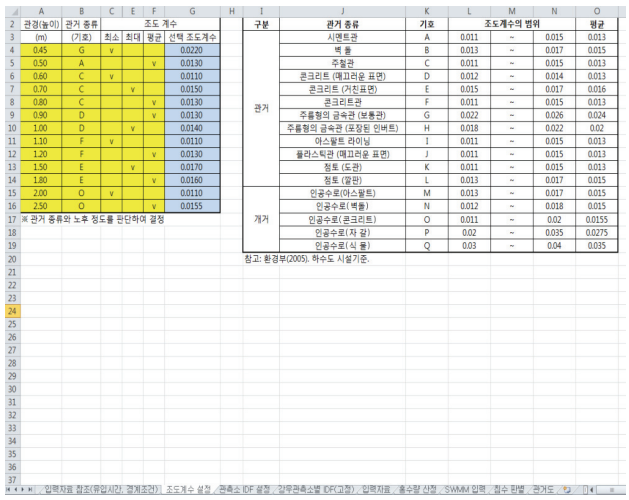


Fig. 8. Sheet Screen of Setting for the Roughness Coefficient

개발된 침수 판별 프로그램에서는 사용자가 해당 조도계수의 표를 보고 조도계수를 결정할 수 있도록 구성하였으며, 금회 연구에서는 원형관의 직경 또는 직사각형 관의 높이에 따라 동일한 조도계수가 입력될 수 있도록 설정하였다. 즉, 사용자가 관거의 직경(높이)에 따라 조도계수를 설정하면, 후술될 입력자료 시트에 입력되는 모든 관거에 일괄 적용되도록 하였다. 사용자가 조도계수를 설정하는 방법은 다음과 같다.

- 분석 대상 관망 시스템의 모든 관거의 특성을 고려하여 관경(높이)에 따라 구분하여 정의
- 관경(높이)에 따른 관거의 종류를 조도계수의 범위에 관한 표에 제시된 기호로 설정

- 표에 제시된 조도계수의 범위 중 최소, 최대, 평균 중 어느 것을 사용할지 영문자(v)를 이용하여 선택
- 사용자에 의해 선택된 정보에 따라 관경(높이)별 조도계수가 결정
- 조도계수 입력 시트에서 설정된 관경(높이)별 조도계수는 후술될 입력자료 시트에 입력되는 개별 관거의 조도계수로 자동 결정

2.4.4 관측소 IDF 설정 및 강우관측소별 IDF 시트

침수 판별 프로그램은 홍수량 결정 시 합리식을 이용하므로 합리식에 사용되는 강우강도에 대한 정의가 필요하다. 이에 침수 판별 프로그램에서는 사용자가 쉽게 강우강도를 결정할 수 있도록 전국의 기상청 산하 강우관측소의 강우강도-지속기간-빈도(intensity-duration-frequency, IDF) 관계를 프로그램에 탑재하였다.

개별 강우관측소의 강우강도-지속기간-빈도의 관계는 MLTM (2011)에서 제시한 자료를 이용하였으며, 강우강도-지속기간-빈도의 관계는 전대수 다항식(6차식)에 의해 결정되었다. 전대수 다항식은 Eq. (5)와 같고 여기서, I는 강우강도(㎜/hr), ln은 자연대수, t는 강우의 지속기간(hour), a, b, c, d, e, f, g는 6차 다항식의 계수를 의미한다.

$$\ln(I) = a + b\ln(t) + c(\ln(t))^2 + d(\ln(t))^3 + e(\ln(t))^4 + f(\ln(t))^5 + g(\ln(t))^6 \quad (5)$$

Fig. 9는 관측소 IDF 설정 시트의 화면을 나타낸다. 해당 시트에서 사용자가 입력할 정보는 분석 대상 지역에 활용할 강우관측소 코드 번호와 설계 빈도인 강우관측소 코드 번호의 입력을 위해 기상청 산하 강우관측소별 코드를 해당 시트에 제시하여 사용자가 대상 지역을 고려하여 검색 후 입력할 수 있도록 하였다.

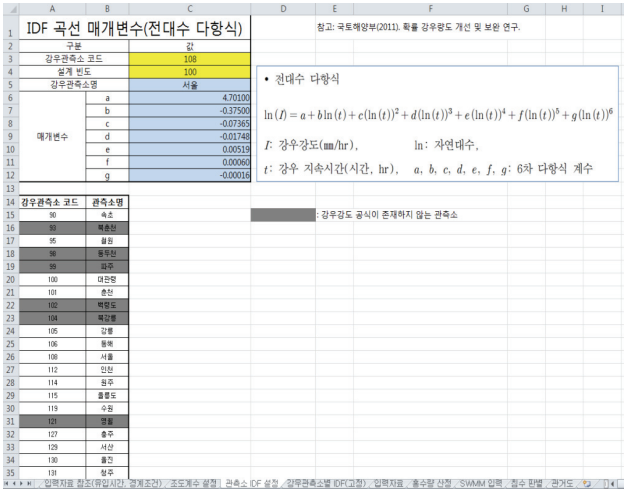


Fig. 9. Sheet Screen of Setting for IDF

사용자가 강우관측소 코드 번호와 설계 빈도를 입력하면 강우관측소명이 생성되고 강우강도-지속기간-빈도 관계를 정의한 전대수 다항식의 매개변수가 자동으로 결정된다. 한편, 기상청 산하 강우관측소 중 MLTM (2011)에서 제시하지 않아 강우강도 공식에 존재하지 않는 관측소는 해당 시트에 음영 처리하여 별도 표시하였다.

2.4.5 입력자료 시트

입력자료 시트는 분석 대상 지역에 관한 정보를 사용자가 모두 직접 입력해야 하는 시트로써 입력자료의 구성은 관거를 중심으로 설정되어야 한다. 관거를 우선적으로 정의하고 해당 관거와 관련된 정보를 입력하는 방법으로 수행되며, 최상류부터 유역 출구부에 위치한 관거까지 하류 방향으로 순차적으로 작성되어야 한다. 입력 대상 자료는 Table 4와 같이 관거 경로, 유역 정보, 맨홀 정보, 관거 정보, 경계 조건으로 크게 구분된다.

Table 4. Input Data of Program

Devision	Input data
Conduit	Conduit number, Manhole number
Basin	Area, Inlet time, Runoff coefficient
Manhole	Ground height, Manhole height
Conduit	Length, Size, Connection
Boundary	Form, Water level, Backflow prevention gate

관거 경로와 관련된 입력자료는 관거와 맨홀을 이용한 배수체계와 관련되어 있으며, 실제 입력자료는 관거 번호와 해당 관거의 시작부 맨홀 번호 및 종점부 맨홀 번호이다. 이때 관거와 맨홀의 배수체계 입력 시, 상류에서부터 하류 방향으로 입력되어야 한다. 한편, 현재까지 개발된 침수 판별 프로그램에서는 상류에 위치한 다수의 관거가 하나의 관거로 합류되는 관망 시스템과 특정한 관에서 2개의 관으로 분기되는 관망 시스템을 모두 고려할 수 있다.

유역 정보에 관한 입력자료는 개별 관거의 지배 유역면적(ha)과 강우 시 우수가 유역의 가장 먼 곳으로부터 관거 시점까지 도달하는데 소요되는 유입시간(min) 및 유출 계수이다. 이때 유입시간은 입력자료 참조(유입시간, 경계조건) 시트에 기술된 유입시간 결정 방법을 참조하여 결정될 수 있으며, 유역 면적과 유출 계수는 사용자가 별도의 산정 방법을 이용하여 입력해야 한다.

맨홀 정보에 관한 입력자료는 맨홀의 상단부 표고에 해당하는 지반고(El. m)와 맨홀의 바닥 표고(El. m)로 나뉜다. 이 때, 입력자료가 관거를 중심으로 입력되기 때문에 관거 시점부와 종점부에 대한 지반고 및 맨홀 바닥고가 각각 입력되어야 한다. 관거 정보로는 관거의 연장(m)과 관거의 규격 및 관거 단차(offset)가 입력되어야 한다.

관거의 규격에는 관거의 폭과 높이(또는 직경)가 입력되

어야 하고, 해당 관거의 설치 개수가 입력되어야 한다. 만일, 원형관일 경우에는 관거의 폭 입력란을 비워두고 높이만 입력하도록 되어져 있다. 이는 침수 판별 프로그램에서는 원형관과 직사각형관의 구분을 관의 폭이 입력되어 있는지를 통해 판단하도록 구성되어 있기 때문이다.

관거 단차는 해당 관의 바닥고가 맨홀 바닥으로부터 떨어져 있는 정도를 나타내는 요소로써 관거 바닥고에서 맨홀 바닥고를 뺀 높이(m)가 입력되어야 하고, 관거의 시점과 종점에 대하여 각각 입력되어야 한다.

경계 조건의 입력 정보는 입력자료 참조(유입시간, 경계조건) 시트에 설명되어 있다. 경계 조건은 유역 출구부에 해당되는 관거에 입력되는데, 입력 요소는 경계 조건의 형태와 수위 및 역류 방지 수문의 존재 여부의 3가지 타입이다. 우선, 경계 조건의 형태는 'FREE', 'NORMAL', 'FIXED' 중 선택하여 입력되어야 하고, 수위의 경우 경계 조건의 형태를 'FIXED'로 설정한 경우에만 입력한다. 반면, 경계 조건의 형태를 'FREE' 또는 'NORMAL'로 입력하는 경우에는 수위를 입력하지 않아도 무방하다. 또한, 역류 방지 수문의 존재 여부에는 실제 설치 유무를 고려하여 'YES' 또는 'NO'를 입력해야 한다.

침수 판별 프로그램에서는 상기에서 기술한 모든 영문자의 대/소문자를 구별하지 않는다. 또한, 현재까지 개발된 침수 판별 프로그램에는 하나의 관거에만 경계 조건을 입력할 수 있어 유출부가 2개 이상인 관망 시스템에는 적용될 수 없다.

입력자료 시트는 Fig. 5와 같으며 프로그램 개발에 사용한 임의의 관망 시스템에 관한 정보가 입력되어 있다. 입력자료 시트 내에 모든 입력자료를 입력한 후에는 우측 상단에 표시된 '실행' 버튼을 클릭하여, 매크로로 정의된 이후의 계산 과정(홍수량 산정, 침수 판별 등)을 자동으로 진행한다.

2.4.6 홍수량 산정 시트

홍수량 산정 시트는 입력자료 시트에서 관련 내용이 입력되면 최대 996개의 관거에 대한 홍수량이 자동 계산되도록 구성되어 있다. 해당 시트는 관거 내 흐름 시간과 도달시간의 산정을 통해 강우의 지속기간을 결정하는 프로세스와 합리식에 의해 홍수량을 계산하는 과정을 포함하고 있다(Fig. 10).

개별 관거의 관내 흐름시간을 결정하기 위해서는 우선, 만관으로 가정하고 Eq. (6)의 Manning 식으로 관거 내 유속을 결정해야한다. 그리고 해당 관거의 길이를 관내 유속으로 나누어 관거 내 흐름 시간을 결정한다. 여기서, V는 유속(m/s), n은 조도계수, R은 동수 반경(A/P, m)으로서 흐름 단면적(A, ㎡)을 윤변(P, m)으로 나눈 값이고, S는 하상 경사를 의미한다. 이때, 조도계수는 조도계수 설정 시트에서 사용자에 의해 관경(높이)과 관거 종류에 따라 설정된 조도계수의 값으로 자동 입력된다.

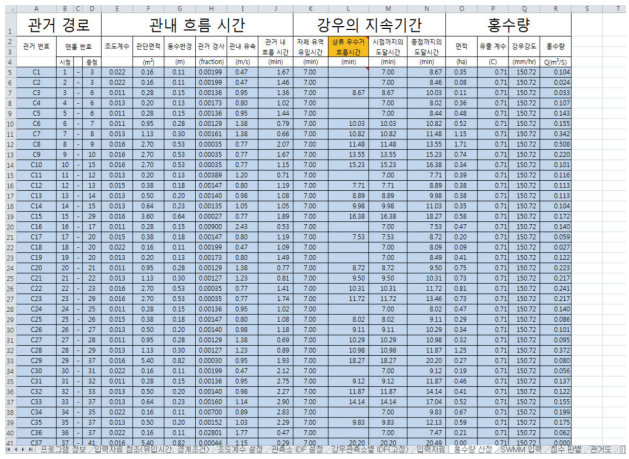
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \tag{6}$$

강우의 지속기간 결정은 개별 소유역의 유입시간과 유역 최상류부 관거의 시점부터 유출부 관거의 종점까지 유하하는데 소요되는 유하시간을 고려하여 결정되며 유하시간은 최상류부 관거로부터 하류 방향의 관거로 순차적으로 계산되어 진다. 즉, 강우의 지속기간은 대상 유역의 유입시간과 유하시간의 합인 도달시간으로 결정된다.

홍수량은 Eq. (7)의 합리식에 의해 결정된다. 여기서, C는 유출계수, I는 강우강도(㎜/hr), A는 유역면적(ha)을 의미한다. 합리식에 사용되는 유역면적과 유출계수는 입력자료 시트에서 사용자가 직접 입력한 개별 관거의 지배 유역면적과 유출계수가 적용된다. 강우강도의 경우, 관측소 IDF 설정 시트에서 사용자가 입력한 강우관측소 코드와 설계 빈도에 따라 선택된 강우관측소의 강우강도-지속기간-빈도 관계에서 상기에서 결정된 강우의 지속기간을 대입하여 산정된다.

$$Q = \frac{1}{360} CIA \tag{7}$$

한편, 침수 판별 프로그램에서는 개별 관거의 지배 유역에 대한 강우강도의 산정 시, 강우의 지속기간을 유역 전체의 도달시간으로 동일하게 입력하였기 때문에 모든 개별 관거의 지배 유역에 대한 강우강도는 동일한 값을 가진다.



관거 경로				관내 흐름 시간						강우의 지속기간				홍수량			
관거 번호	맨홀 번호		조도계수	관단면적	동수반경	관거 경사	관내 유속	관거 내 흐름 시간	자체 유역 유입시간	상류 우수거 흐름시간	시점까지의 도달시간	종점까지의 도달시간	면적	유출 계수	강우강도	홍수량
	시점	종점		(㎡)	(m)	(fraction)	(m/s)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(ha)	(C)	(mm/hr)	Q(㎥/s)
C1	1	3	0.022	0.16	0.11	0.00199	0.47	1.67	7.00		7.00	8.67	0.35	0.71	150.72	0.104
C2	2	3	0.022	0.16	0.11	0.00199	0.47	1.46	7.00		7.00	8.46	0.08	0.71	150.72	0.024
C3	3	6	0.011	0.28	0.15	0.00136	0.95	1.36	7.00	8.67	8.67	10.03	0.11	0.71	150.72	0.033
C4	4	6	0.013	0.20	0.13	0.00173	0.80	1.02	7.00		7.00	8.02	0.36	0.71	150.72	0.107
C5	5	6	0.011	0.28	0.15	0.00136	0.95	1.44	7.00		7.00	8.44	0.48	0.71	150.72	0.143
C6	6	7	0.011	0.95	0.28	0.00129	1.38	0.79	7.00	10.03	10.03	10.82	0.52	0.71	150.72	0.155
C7	7	8	0.013	1.13	0.30	0.00161	1.38	0.66	7.00	10.82	10.82	11.48	1.15	0.71	150.72	0.342
C8	8	9	0.016	2.70	0.53	0.00035	0.77	2.07	7.00	11.48	11.48	13.55	1.71	0.71	150.72	0.508
C9	9	10	0.016	2.70	0.53	0.00035	0.77	1.67	7.00	13.55	13.55	15.23	0.74	0.71	150.72	0.220
C10	10	15	0.016	2.70	0.53	0.00035	0.77	1.15	7.00	15.23	15.23	16.38	0.34	0.71	150.72	0.101
C11	11	12	0.013	0.20	0.13	0.00389	1.20	0.71	7.00		7.00	7.71	0.39	0.71	150.72	0.116
C12	12	13	0.015	0.38	0.18	0.00147	0.80	1.19	7.00	7.71	7.71	8.89	0.38	0.71	150.72	0.113
C13	13	14	0.013	0.50	0.20	0.00140	0.98	1.08	7.00	8.89	8.89	9.98	0.38	0.71	150.72	0.113
C14	14	15	0.013	0.64	0.23	0.00135	1.05	1.05	7.00	9.98	9.98	11.03	0.35	0.71	150.72	0.104
C15	15	29	0.016	3.60	0.64	0.00027	0.77	1.89	7.00	16.38	16.38	18.27	0.58	0.71	150.72	0.172
C16	16	17	0.011	0.28	0.15	0.00900	2.43	0.53	7.00		7.00	7.53	0.47	0.71	150.72	0.140
C17	17	20	0.015	0.38	0.18	0.00147	0.80	1.19	7.00	7.53	7.53	8.72	0.20	0.71	150.72	0.059
C18	18	20	0.022	0.16	0.11	0.00199	0.47	1.09	7.00		7.00	8.09	0.09	0.71	150.72	0.027
C19	19	20	0.013	0.20	0.13	0.00173	0.80	1.49	7.00		7.00	8.49	0.41	0.71	150.72	0.122
C20	20	21	0.011	0.95	0.28	0.00129	1.38	0.77	7.00	8.72	8.72	9.50	0.75	0.71	150.72	0.223
C21	21	22	0.013	1.13	0.30	0.00127	1.23	0.81	7.00	9.50	9.50	10.31	0.73	0.71	150.72	0.217
C22	22	23	0.016	2.70	0.53	0.00035	0.77	1.41	7.00	10.31	10.31	11.72	0.81	0.71	150.72	0.241
C23	23	29	0.016	2.70	0.53	0.00035	0.77	1.74	7.00	11.72	11.72	13.46	0.73	0.71	150.72	0.217
C24	24	25	0.011	0.28	0.15	0.00136	0.95	1.02	7.00		7.00	8.02	0.47	0.71	150.72	0.140
C25	25	26	0.015	0.38	0.18	0.00147	0.80	1.08	7.00	8.02	8.02	9.11	0.29	0.71	150.72	0.086
C26	26	27	0.013	0.50	0.20	0.00140	0.98	1.18	7.00	9.11	9.11	10.29	0.34	0.71	150.72	0.101
C27	27	28	0.011	0.95	0.28	0.00129	1.38	0.69	7.00	10.29	10.29	10.98	0.32	0.71	150.72	0.095
C28	28	29	0.013	1.13	0.30	0.00127	1.23	0.89	7.00	10.98	10.98	11.87	1.25	0.71	150.72	0.372
C29	29	37	0.016	5.40	0.82	0.00030	0.95	1.93	7.00	18.27	18.27	20.20	0.27	0.71	150.72	0.080
C30	30	31	0.022	0.16	0.11	0.00199	0.47	2.12	7.00		7.00	9.12	0.19	0.71	150.72	0.056
C31	31	32	0.011	0.28	0.15	0.00136	0.95	2.75	7.00	9.12	9.12	11.87	0.46	0.71	150.72	0.137
C32	32	33	0.013	0.50	0.20	0.00140	0.98	2.27	7.00	11.87	11.87	14.14	0.41	0.71	150.72	0.122
C33	33	37	0.013	0.64	0.23	0.00160	1.14	2.90	7.00	14.14	14.14	17.04	0.52	0.71	150.72	0.155
C34	34	35	0.022	0.16	0.11	0.00700	0.89	2.83	7.00		7.00	9.83	0.67	0.71	150.72	0.199
C35	35	37	0.011	0.50	0.20	0.00152	1.03	2.29	7.00	9.83	9.83	12.11	0.59	0.71	150.72	0.175
C36	36	37	0.022	0.16	0.11	0.02801	1.77	0.47	7.00		7.00	7.47	0.21	0.71	150.72	0.062
C37	37	41	0.016	5.40	0.82	0.00046	1.15	0.29	7.00	20.20	20.20	20.49	0.00	0.71	150.72	0.000

Fig. 10. Sheet Screen of Flood Analysis

2.4.7 SWMM 입력 시트

개발된 침수 판별 프로그램은 SWMM의 동역학파 식을 이용하여 하도추적을 수행하므로 SWMM을 수행하기 위한 SWMM의 입력자료 구성이 요구된다.

SWMM 입력 시트는 침수 판별 프로그램에 의해 산정된 개별 관거의 지배 유역에 대한 홍수량과 분석 대상 관망 시스템을 SWMM의 입력자료로 구성해 주기 위한 시트이다.

시트에 내용을 입력하면 관련 정보가 SWMM 입력 시트에 자동으로 입력되며 최대 996개 관거까지 처리 가능하다.

입력자료 시트의 실행 버튼을 누르면, SWMM 입력 시트의 내용이 텍스트 파일로 저장되고, 이는 FORTRAN으로 만든 소켓프로그램을 이용하여 SWMM의 입력 파일(SWMM_INPUT.INP)로 전환된 후 SWMM이 실행되어 SWMM_OUTPUT.DAT라 명명된 출력파일을 생성한다(Fig. 11).

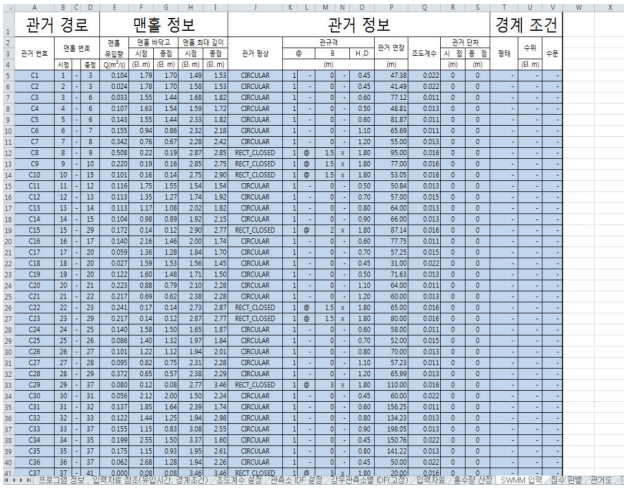


Fig. 11. Sheet Screen of Input SWMM

2.4.8 침수 판별 및 관거도 시트

침수 판별 시트는 입력자료 시트에서 '실행' 버튼을 클릭하여 생성된 SWMM 출력파일의 내용이 자동 저장되는 시트이다. 엑셀 매크로를 이용하여 침수판별 시트의 'node flooding summary'를 탐색하고, 침수가 발생한 맨홀 번호를 구분하여 저장한다.

침수 판정 프로그램을 가독성과 이해의 편의성을 위해 Graphviz (graph visualization software) 프로그램을 이용하였다. Graphviz는 dot 언어 스크립트로 지정된 그래프를 그리기 위한 오픈 소스 도구 패키지이다. Graphviz는 그래프 시각화라는 의미를 가지고 있고, 복잡한 구조의 정보를 한눈에 보기 쉽게 그래프나 도표로 표현해 주는 프로그램이다.

침수 판정 프로그램에서는 dot 언어를 활용하여 모식도를 유연하게 구현함으로써 지선 관거의 차수가 몇 차가 되더라도 모식도 생성이 가능하며 최대 10개의 유출구를 동시에 고려할 수 있도록 개발되었다.

또한, 모식도를 표현하는 부분에 있어 침수 판정 결과를 시각적으로 쉽게 파악할 수 있도록 우수 범람으로 인한 침수 발생 맨홀과 그렇지 않은 맨홀을 색깔로 구분하여 표현하였다. 즉, 침수가 발생하지 않은 맨홀은 흰색 원에 검은색의 맨홀 번호가 입력되도록 설정하였고, 침수가 발생하는 맨홀은 파란 원에 흰색의 관거 번호가 입력되도록 설정하였다. 관거명을 모식도에 구현하여 맨홀 상·하류의 관거 정보를 쉽게 파악하도록 하였다(Fig. 12).

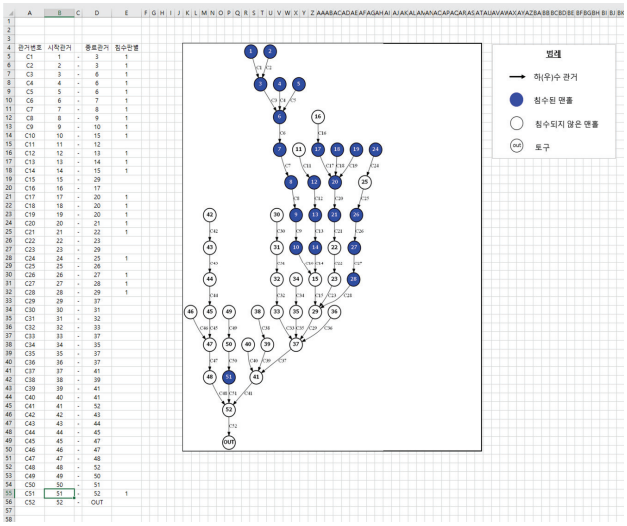


Fig. 12. Inundation Analysis Result of Program

3. 침수판정 프로그램의 적용성 평가

3.1 적용 대상

개발된 침수 판정 프로그램의 적절성 평가를 위해 대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지 내 우수 계획에 대하여 적용하였다. Fig. 13은 대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지의 우수 유역도를 나타낸다. 해당 지역 중 원교천 주변의 G, H, I, K, L, N 유역에 대한 우수 관거 계획에 대하여 개발된 침수 판정 프로그램을 적용하였다.

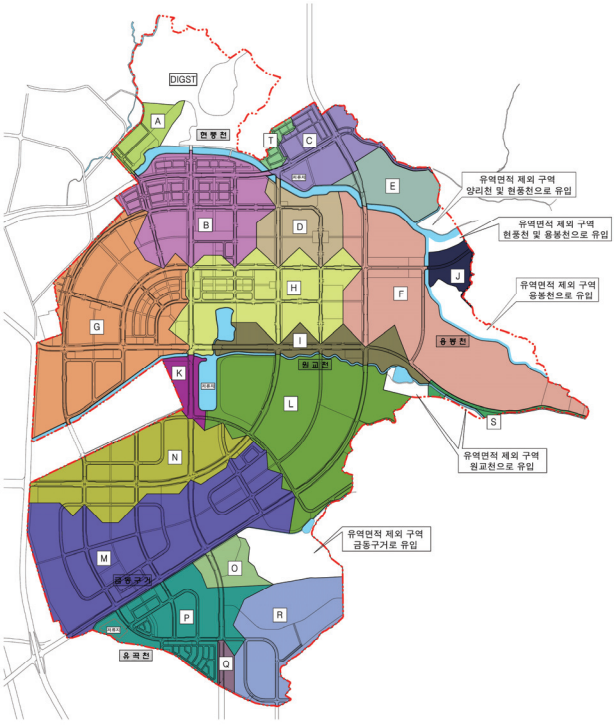


Fig. 13. Basin Diagram of General Industrial Complex

3.2 적용 방법

대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지의 우수 관거 설계 당시에는 Daegu Metropolitan City (2001)에서 제시한 Talbot 형의 강우강도식으로 유도된 강우강도가 사용되었다. 반면에 본 연구에서 개발된 침수 판정 프로그램에서는 강우강도-지속기간-빈도를 이용한다.

또한, 대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지의 우수 관거 설계에는 하수도 설계에 사용되는 일반적인 방법인 합리식과 Manning 공식이 사용되었다. 반면에 본 연구에서 개발한 침수 판정 프로그램에서는 합리식과 SWMM의 동역학파(dynamic wave) 모형이 사용되었다. 두 방법의 가장 큰 차이는 하도 추적에 Manning 공식과 동역학파를 사용하는 점이다. 그리고 두 방법이 유역의 홍수량 산정에 있어 합리식을 사용한다는 점에서는 같으나, 이용하는 방법 역시 다르다. 기존의 Manning 공식을 사용하는 방법에서는 개별 관거의 구체적인 설계를 목적으로 관거별 시점부를 중심으로 유역 면적을 가중하여 홍수량을 산정한다. 반면에 침수 판정 프로그램은 소유역별 홍수량을 결정하여 추정한다. 이는 동역학파 모형을 이용하여 하도 추적을 일괄적으로 수행하기 때문이다. Fig. 14는 기존 하수도 설계 방법과 침수 판정 프로그램의 차이를 나타낸 그림이다.

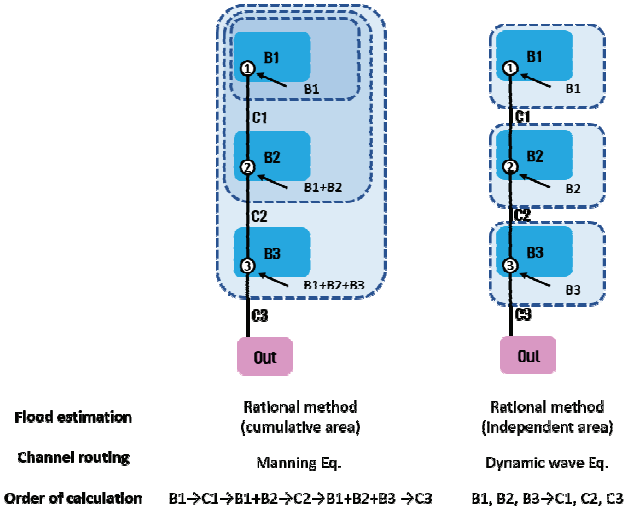


Fig. 14. Difference Between Existing Design Method and Program

상기에서 기술한 바와 같이 대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지의 우수 관거 설계 당시와 금회 개발된 침수 판정 프로그램은 강우강도 산정 방법이 다르므로 동일한 빈도를 고려하더라도 강우강도가 상이하다. 또한, 기존의 하수도 설계 방법에서는 유역 면적을 가중하여 홍수량을 산정하기 때문에 하류 관거로 갈수록 도달시간이 길어져서(강우의 지속기간이 길어짐) 강우강도가 작아지는 것을 고려한다. 반면에 침수 판정 프로그램은 소유역별로 홍수량을 산정함에 따라 소유역별 강우강도가 대부분 동일하다. 이는 대부분의 소유역에 대한 강우 유입시간이 매우 짧기 때문에, ME (2011)의 최소 기준 유입시간이 일괄 적용되기 때문이다.

이러한 두 방법의 분석적 차이가 있지만, 침수 판정 프로그램에 의한 홍수량 산정 결과가 기존 하수도 설계 방법에 의한 홍수량과 차이가 크지 않음을 보일 필요는 있다. 이에 따라 본 연구에서는 대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지 우수 관거 설계에서 분석된 소유역 단위의 확률 강우강도와 유사하도록 확률 강우강도를 조정하여 비교하였다.

3.3 비교 분석 결과

대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지의 우수 관거에 대하여 설계 당시의 홍수량 자료와 금회 개발된 침수 판정 프로그램에 의해 계산된 홍수량을 비교하였다. Fig. 15는 두 홍수량 산정 방법에 결정된 모든 관거의 홍수량을 1:1 직선(line) 상에 표시한 그림이다. 즉, 두 방법에 의해 산정된 관거별 홍수량의 크기가 유사할수록 직선에 가깝게 위치하게 된다. 그리고 점들과 직선의 결정계수(R^2)를 도출하였다. 6개의 유역에 대하여 분석된 관거별 홍수량 산정 결과는 설계 당시의 자료와 금회 분석된 결과가 매우 유사한 것으로 분석되었다. 결정계수를 보더라도 모든 유역에서 1에 매우 근접한 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. 즉, 금회 개발된 침수 판정 프로그램에 의해 산정된 홍수량이 적절한 것으로 판단되었다.

3.4 유출 모식 체계 구현 및 침수 판정 검토

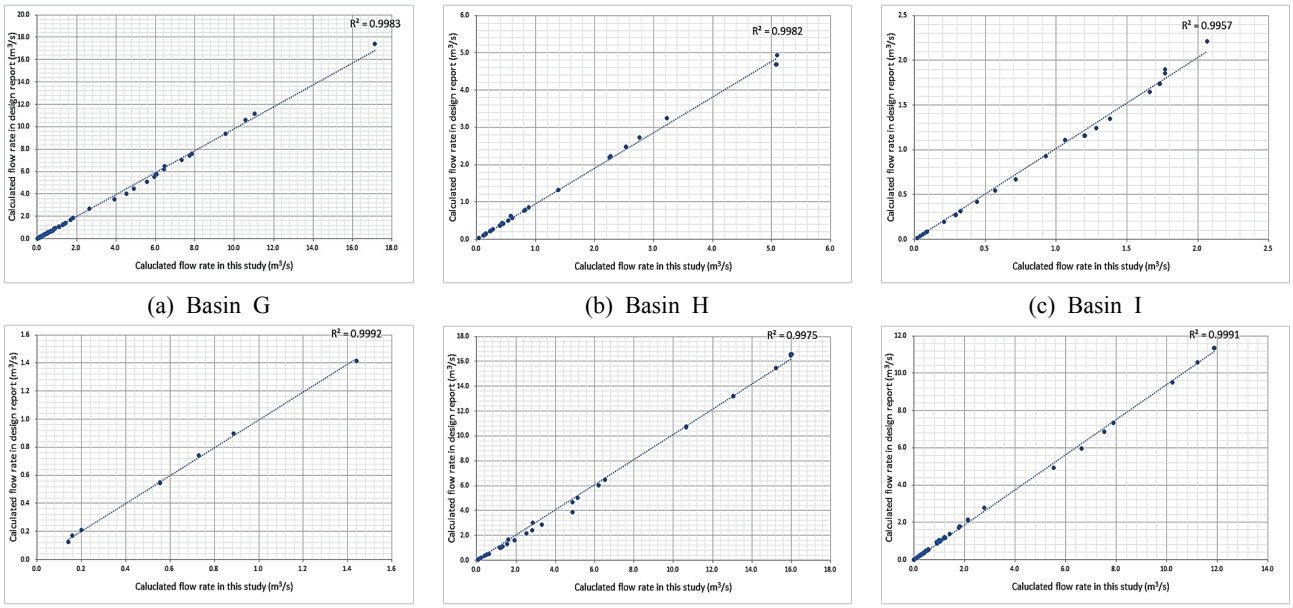
침수 판정 프로그램은 입력된 강우조건에 대하여 침수가 발생하는 지점의 표시가 가능하다. 이에 전 절에서 분석한 강우조건에 대하여 침수 판정 유무를 검토하였다.

Fig. 16은 대구시 테크노 폴리스 일반 산업단지의 G, H, I, K, L, N 유역에 대하여 분석한 결과이다. 침수 판정 프로그램은 입력된 우수관거의 정보를 이용하여 유출 체계를 구성해 주고, 침수가 발생되는 맨홀의 위치를 파란색으로 표현해 준다. 그림에서 보듯이 복잡한 유출 체계를 가지고 있는 지역에 대해서도 모식도를 잘 구현해 주는 것을 확인할 수 있다. 특히, I 유역의 경우에는 3개의 유출부를 가지고 있는데, 이러한 경우에도 유출 체계를 정확히 구현해주는 것을 확인할 수 있다. 참고로 본 연구에서 개발된 침수 판정 프로그램은 10개의 유출부까지 동시에 고려 가능하다.

한편, 본 연구에서는 테크노 폴리스 일반 산업단지 내 우수 관거의 설계 강우량 정도에 해당하는 강우량을 입력하였기 때문에 대부분의 맨홀에서 침수가 발생하지 않는 것으로 나타났다.

3.5 확률 강우량 증가에 따른 침수 판정 검토

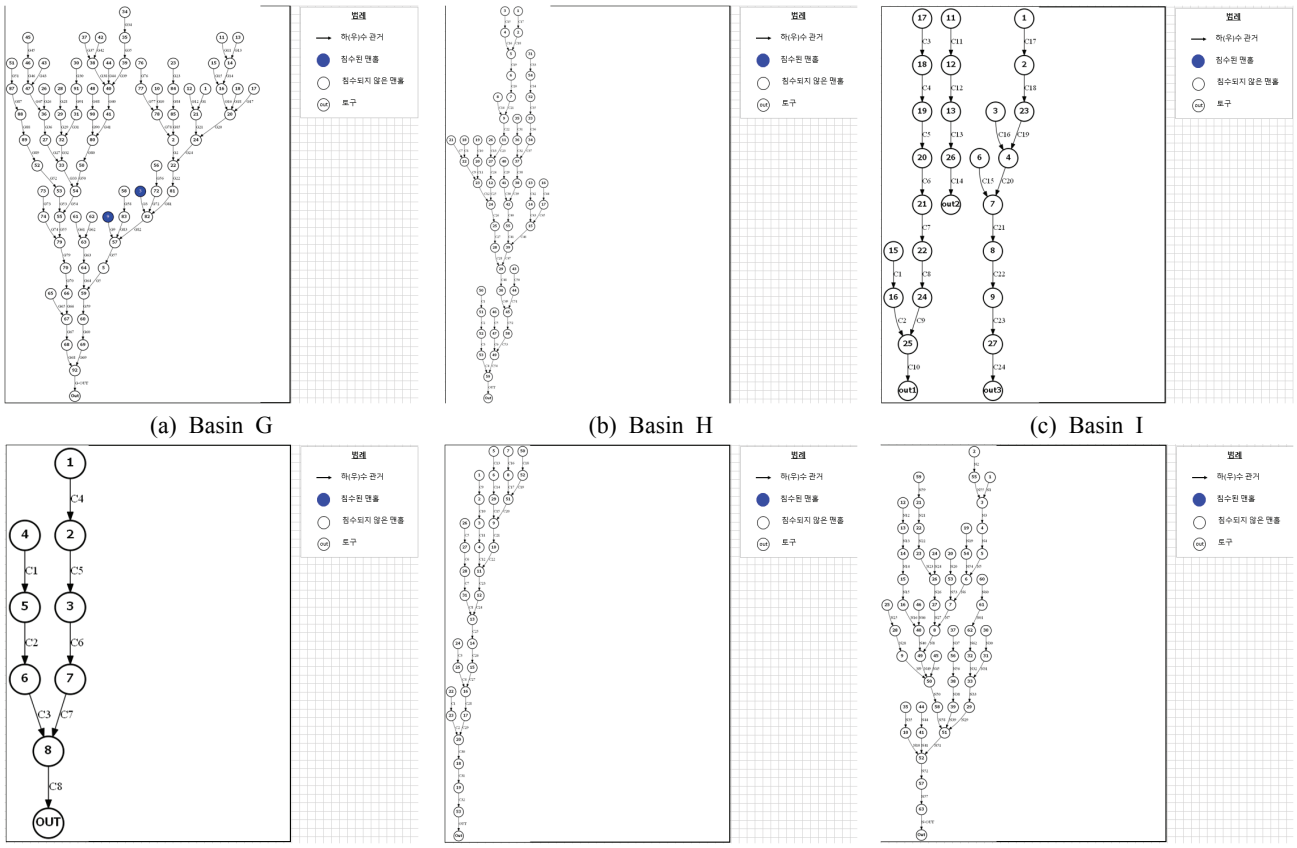
금회 개발된 침수 판정 프로그램에 의한 홍수량 계산 및 침수 판정 도출의 적절성을 검토하기 위해 확률 강우량을 임의로 증가시켜 발생되는 침수 지점을 검토하였다. 이에



(a) Basin G (b) Basin H (c) Basin I

(d) Basin K (e) Basin L (f) Basin N

Fig. 15. Review Flood Analysis Results of Program



(a) Basin G (b) Basin H (c) Basin I

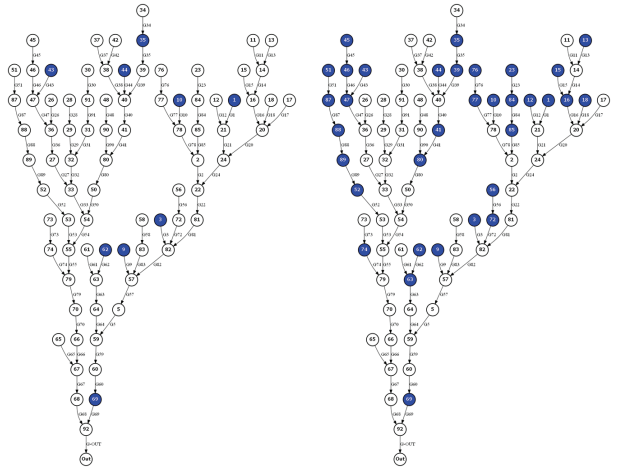
(d) Basin K (e) Basin L (f) Basin N

Fig. 16. Inundation Analysis Results of Program

본 연구에서는 가장 많은 맨홀 지점과 복잡한 유출 체계를 가지고 있는 G 유역에 대하여 적용하였다. Fig. 16의 G 유역에 대한 모의 결과는 MLTM (2011)에서 제시한 대구기상관측소의 5년 빈도 강우에 해당되므로 확률 강우량의

증가에 따른 변화를 파악하기 위해 10년 및 30년 빈도 강우에 대하여 분석하였다.

Fig. 17은 10년 및 30년 강우 발생 시, G 유역의 침수 발생 맨홀을 표시한 그림이다. 확률 강우가 증가함에 따라 침수가 예상되는 맨홀이 증가하는 것을 볼 수 있다. 침수가 예상되는 지점들은 상대적으로 작은 우수 관거가 계획되는 상류 지점들로 나타났다. 따라서 확률 강우 증가에 따른 홍수량 산정과 이에 따른 침수 지점에 대한 분석이 적절히 분석되는 것으로 판단된다.



(a) Frequency of 10 years (b) Frequency of 30 years

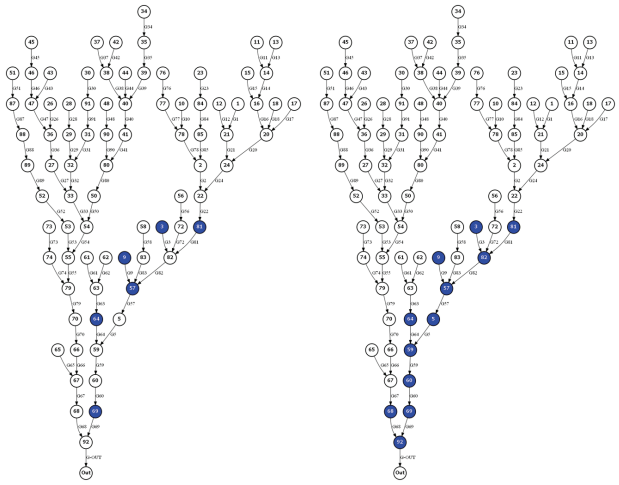
Fig. 17. Flooding Range with Increasing Probable Rainfall

3.6 하류단 경계 조건 변화에 따른 침수 판정 검토

침수 판정 프로그램은 기존의 우수 관거 설계 방법에서는 고려하지 않는 하류부 경계조건을 반영하여 모의할 수 있다. 즉, 우수 관거 방류부에 위치한 하천 또는 바다의 수위 조건을 고려할 수 있도록 개발되었다. 따라서 외수위 조건에 따른 침수 영향이 분석되는지를 검토할 필요가 있다.

이에 동일하게 G 유역을 대상으로 하였고, 유역 유출부에 가상의 수위 조건을 고려하여 침수 영향을 분석하였다. G 유역 방류부의 관저고는 El. 26.31 m이고, 관의 높이는 2 m이다. 이를 고려하여 외수위 조건으로 El. 27 m와 El. 28 m를 적용하여 이에 따른 침수 영향을 검토하였다(Fig. 18). 참고로 하류부에 가상의 수위 조건을 고려한 침수 영향 분석 시, G 유역의 외수위 조건 이외의 입력자료는 Fig. 16의 결과를 도출하기 위해 사용한 입력자료와 동일하다.

분석 결과, 외수위 조건이 El. 27 m와 El. 28 m일 때, 침수가 발생하는 맨홀이 각각 6개 지점과 12개 지점으로 증가하는 것으로 분석되었다. 또한, 침수가 발생하는 지점은 외수위 조건이 고려된 하류부쪽에 집중되는 것으로 나타났다. 즉, 개발된 침수 판정 프로그램은 외수위 조건을 고려한 분석이 가능한 것으로 분석되었다.



(a) External water level El. 27 m (b) External water level El. 28 m

Fig. 18. Review of the Flooding Range According to the Change of External Water

4. 결 론

사전 재해 영향성검토의 지침은 필요한 경우에 호우로 인한 내수침수를 모의하도록 명시하고 있으나 실무에서는 침수 분석 기능이 없음에도 불구하고 난이도가 낮고 사용법이 간단한 계산 방법을 설계에서 적용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존 실무 사용 프로그램과 SWMM을 연계한 침수 판정 프로그램을 개발하였으며, 기존 설계자료와 비교, 확률강우량의 증가에 따른 분석을 수행하여 프로그램의 적용성 검토를 수행하였으며, 하류단 경계 조건 변화를 통한 분석 수행 결과 외수위 조건을 고려한 분석 수행도 가능한 것으로 나타났다. 이에, 개발한 우수관거 계획의 지표면 침수 판정 프로그램은 호우로 인한 개발지역의 침수에 관하여 지침과 실무의 괴리를 채울 수 있는 있을 것으로 판단된다. 현재 개발된 프로그램은 SWMM 모형의 한계로 침수발생지역의 공간적인 해석은 불가하다는 한계가 있다. 향후 추가적인 연구수행으로 XP-SWMM 또는 ArcGIS 등의 프로그램과 연계한다면 공간적인 해석을 포함한 구체적 침수분석 프로그램으로 개발될 수 있다.

나아가 우수배제 계획에 대한 지표면 침수 판정 방법의 도구화를 개발한다면 지표면 침수 판정의 새로운 패러다임을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 지원으로 수행되었습니다(과제번호 19NSPS-B149833-02).

References

Daegu Metropolitan City. (2001). *Sewer maintenance basic plan change report in Daegu*.

James, W., Huber, W.C., Rossman, L.A., Dickinson, R.E., Pitt, R.E., James, W.R.C., et al. (2005). *User's guide to SWMM* (10th ed.). Ontario, Canada: CHI Pubs.

Karovic, O., and Mays, L.W. (2014). Sewer system design using simulated annealing in excel. *Water Resources Management*, Vol. 28, No. 13, pp. 4551-4565.

Leandro, J., Chen, A.S., Djordjević, S., and Savić, D.A. (2009). Comparison of 1D/1D and 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 135, No. 6, pp. 495-504.

Lee J.S. (2015). Hydrology (2nd ed.). Goomibook.

Ministry of Environment (ME). (2011). *Sewage system standards*. Korea Water and Wastewater Works Association.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2011). *Improvement and supplement of probability rainfall*. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Practice guidelines of preliminary disaster inspection and consultation system*.

Received	September 26, 2019
Revised	September 27, 2019
Accepted	October 7, 2019