

도시유출 해석 모형을 이용한 불명수 산정 시스템 개발

The Development of Inflow/Infiltration Estimation System using Urban Runoff Model

이의훈¹⁾, 이정호²⁾, 조덕준³⁾, 김종훈⁴⁾

Eui Hoon Lee, Jung Ho Lee, Deok Jun Jo, Joong Hoon Kim

요 지

노후된 하수도 관망에서 발생하는 불명수(Inflow/Infiltration)량을 측정하기 위하여 수문학적 타당성을 비롯한 다양한 인자를 고려하여 많은 방법들이 개발되었다. 현행 실무에서는 물사용평가방법, 일 최대-최소 유량평가법, 일최대 유량평가법, 야간생활하수 평가법 등으로 산정하고 있으나 각 산정값들간의 차이가 매우 크며, 각 방법별 산정된 불명수의 평균값을 채택하는 현행 기준은 그 근거가 명확하지 않고 오차값이 신뢰할 수 있는 범위를 벗어난다. 본 연구에서 제안한 방법은 도시유출 해석 프로그램인 SWMM(Storm Water Management model)을 이용하여 모의유출량을 산정한 다음, 이를 관측유량과 비교하여 그 차이를 불명수량으로 산정하는 방법이다.

핵심용어 : 도시유출, 불명수, SWMM

1. 서 론

하수관거의 중요성은 농어촌지역 뿐만 아니라 도시지역에서 큰 비중을 차지하고 있다. 하지만 이런 수공 구조물 설계에 있어서 어느 정도의 오차와 실패확률은 항상 존재하고 있다. 이를 줄여나가기 위해 많은 학자들이 노력하고 있으며 그 과정에서 많은 이론들이 연구되고 있는 실정이다. 노후화된 하수관거에서 발생하는 불명수(Inflow/Infiltration, I/I)로 인해 문제가 발생되고 있으며, 이는 하수처리장의 용량 및 효율문제와 연계되고 있다. 기존의 불명수량 산정방법은 물사용평가방법(Water Use Evaluation), 일 최대-최소 유량평가법(Maximum-Minimum Daily Flow Evaluation), 일최대 유량평가법(Maximum Daily Flow Evaluation), 야간 생활하수 평가법(Nighttime Domestic Flow Evaluation) 등 크게 네 가지로 나눌 수 있다. 현재 실무에서는 이상 네가지 방법에 의한 결과값의 평균치를 사용하고 있으나, 불명수량은 측정자료의 불확실성을 내포하며 명확한 근거 제시가 부정확한 실정이다.

본 연구에서는 관측유량이 측정된 각각의 네 개의 소분구별 상수도 원단위를 하수량 사용패턴에 따라 시간별로 분배시켰으며, 이를 각각의 소분구별 유출관까지의 지체시간을 고려하여 합성하였다. 지체시간을 고려하여 합성된 원단위값을 도시유출 해석 모형인 SWMM(Storm Water Management model) 중 부정류 해석모듈인 Extran 모듈에 입력시켜 각 시간별로 모의하였으며, 산정된 시간대별 모의유출량을 관측유량과 비교하여 그 패턴을 비교한 후 그 차이를 통하여 불명수량을 산정함으로써, 새로운 불명수 산정방법을 제시하였다.

1) 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정(slayers97@hanmail.net)

2) 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정(jungho_lee@lycos.co.kr)

3) 경북대학 토목설계과 겸임교수(djjo7592@lycos.co.kr)

4) 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수(jaykim@korea.ac.kr)

2. 불명수 산정방법

불명수량 침투수와 침입수를 말하며, 침입은 고의적으로 또는 편의상 하수관거에 외부수원이 직접 연결되어 발생한다. 이러한 연결은 원치 않는 우수나 임의의 배수관을 통해 배수된 오수를 유입시키며 낮은 지역 혹은 침투지역의 물이 의도적이든, 우연적이든 간에 맨홀 덮개를 통하여 하수관거로 유입되게 된다. 침투는 결함이 있는 연결 부위, 깨진 곳, 균열이 있는 파이프, 부적절한 연결, 맨홀 벽, 그 외 다른 곳들을 통해 토양에서 하수관거로 들어가는 지하수량을 말한다. 불명수(I/I) 분석은 하수관거에서 불명수(I/I)가 과도하게 발생하는지의 여부를 탐지하기 위한 것이다.

2.1 기존 산정방법

실무에서 사용해오던 기존 산정방법에는 물사용평가방법, 일 최대-최소 유량평가법, 일최대 유량평가법, 야간 생활하수평가법 등 크게 네 가지로 구분된다.

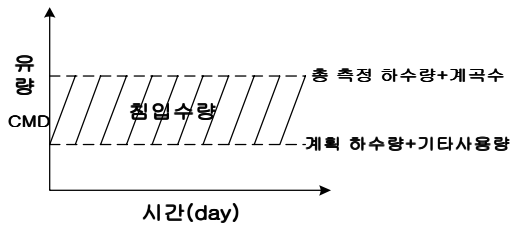
물사용평가방법(Water Use Evaluation)은 가정에서 오수관거로 배출되는 하수량을 산정하며 관측 지점에서 측정되는 총 하수량(오수관거)을 산정한 후 계곡수를 산정한다.

일 최대-최소 유량평가법(Maximum-Minimum Daily Flow Evaluation)은 가정에서 오수관거로 배출되는 하수량을 산정한 후 관측 지점에서 측정되는 총 하수량(오수관거)을 산정하고 계곡수를 산정한다. 하루 침투량 및 공업용수량은 일정하다고 가정하며 도시하수량은 일최대 유량에서 일최소 유량의 차이이다.

일최대유량평가법(Maximum Daily Flow Evaluation)은 유입량이 침입수량보다 많고 하루동안 발생하는 침입수량은 일정하다고 가정한 후 일 최소유량 계열을 작성한다.

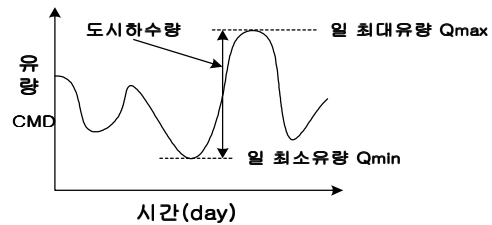
야간생활하수평가법(Nighttime Domestic Flow Evaluation)은 침입수량, 공장폐수량, 야간도시하수량이 일정하다고 가정한다.

다음 그림 1부터 그림 4는 기존 불명수 산정방법을 도시하고 있다.



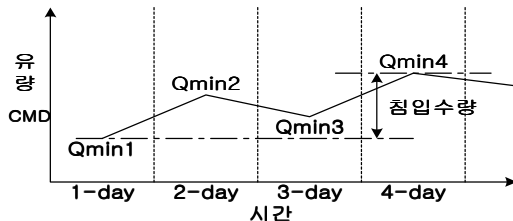
$$\text{침입수량} = (\text{측정하수량} + \text{계곡수}) - (\text{계획하수량} + \text{기타사용량})$$

그림 1. 물사용평가방법



$$\text{침입수량} = (\text{측정하수량} + \text{계곡수}) - (\text{도시하수량} + \text{공장폐수량})$$

그림 2. 일최대-최소 유량평가법



$$\text{침입수량} = \text{일최소유량 중 최대값} - \text{일최소유량 중 최소값}$$

그림 3. 일최대 유량평가법



$$\begin{aligned} \text{야간도시하수량} &= \text{유량해침입수량} - \text{유량\&수질해침입수량} \\ \text{침입수량} &= \text{일최소유량} - (\text{공장폐수량} + \text{야간도시하수량}) \end{aligned}$$

그림 4. 야간생활하수평가법

2.2 SWMM 모형

유출모형은 SWMM(Storm Water Management Model)의 부정류 해석모델인 Extran을 이용하였다. Extran block의 흐름에 대한 기본 방정식은 연속방정식과 개수로에서의 일차원 점변 부정류 방정식으로서 다음의 St.Venant 식을 사용한다.

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta t} = 0$$

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta(Q^2/A)}{\delta t} + gA \frac{\delta H}{\delta t} + gAS_f = 0$$

A 는 통수단면적, Q 는 관거내 유량, H 는 수위, S_f 는 관거의 경사이다.

2.3 SWMM을 이용한 불명수 산정방법

SWMM Extran block에서의 입력자료로 이용되는 구리시의 상수도 사용량의 시간대별 사용패턴을 구하기 위하여 상수도 원단위를 관측유량 패턴에 따라서 분배시켰다. 원단위는 구리시 상수도 원단위량에 인구를 곱하여 구하며 이를 각 소분구별 지체시간을 고려하여 합성시킨 후 1시부터 24시까지 각 시간대별로 분배시킨 후 각각의 모의유출량을 산정하며 합성수문곡선을 작성한다. 작성된 수문곡선과 관측유량은 유사한 유출패턴을 보이거나 유출용적면에서는 차이를 보인다. 이 때, 관측 및 모의 유출량 간의 용적차는 관거의 파손부위를 통하여 유입된 불명수 발생량이 된다.

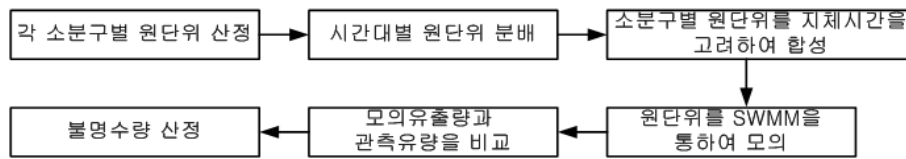


그림 5. SWMM을 이용한 불명수 산정 흐름도

3. 적용결과 및 분석

본 연구에서는 경기도 구리시 간촌, 인창, 새말, 딸기원 유역을 선정하여 SWMM을 이용한 불명수 산정방법을 적용 및 분석하였다.

3.1 유역현황

분석 대상 구간인 구리시 하수관거의 경우 기존 관거의 노후화에 따른 파손 또는 집합부 시공불량 등으로 불명수를 포함한 하수량이 급증하고 있는 실정이다. 유역의 현황은 다음 표 1에 나타내었다.

표 1. 소분구별 현황

구 분	간 촌	인 창	새 말	딸기원
하수배제방식	합병식	분류식	합류식	합류식
지역별용도	주거/상업	택지개발	주거(취락)	주거(취락)
급수인구(인)	4,302	31,871	15,167	4,256
면적(km ²)	0.41	0.67	0.73	0.59

3.2 관측유량 현황

4개 소분구의 하수량 및 누가하수량은 다음 그림 6과 같다.

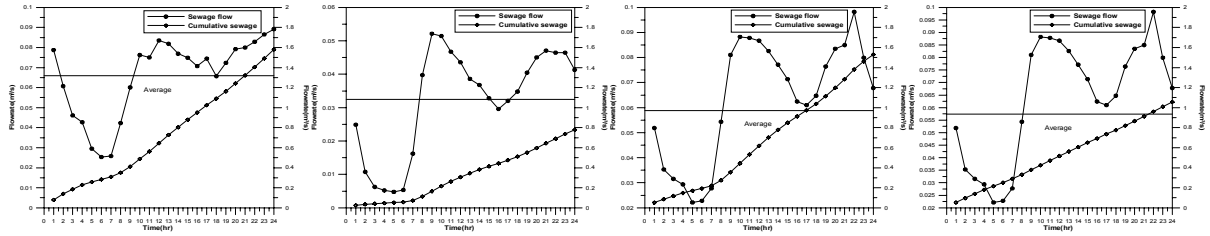


그림 6. 간촌, 인창, 새말, 딸기원 하수량 / 누가하수량

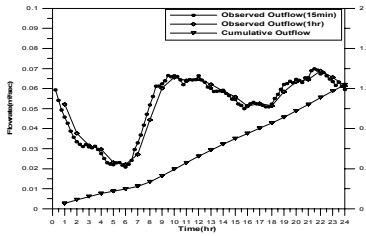


그림 7. 관측유량 분포현황

구리시의 관측유량분포는 유량조사 지점에서의 일유량의 시간평균유량 및 누가유량을 산정한다. 관측유량의 시간분포현황은 다음 그림 7과 같다. 관측유량은 관측기간 동안의 조사유량을 동일 시간대별로 평균하여 일유량 패턴을 분포시켰다.

15분 단위로 측정된 유량을 각각 4개씩, 즉 1시간 단위로 평균을 내어 시간당 관측유량을 산출하였다. 산출된 관측유량에서 보면 활동인구가 적은 새벽시간에 낮은 값을 나타내고 있다.

3.3 모의유량 산정

산정된 모의유출결과는 그림 8과 같고, 그 값은 다음의 표 2에 나타내었다. 모의유출결과를 관측유량과 비교하여 보면 시간별 유량패턴이 비슷한 것을 알 수 있다. 활동인구가 적은 야간에 유량이 적은 것을 볼 수 있으며 약간의 차이는 불명수로 인한 것으로 분석할 수 있다.

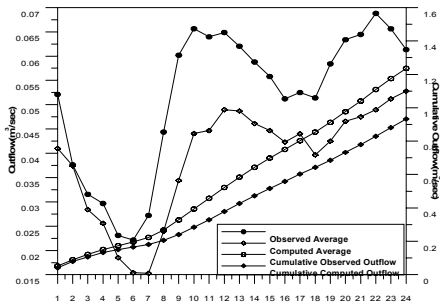


그림 8. 모의유량 및 관측유량

표 2. SWMM에 의한 하수유출량 모의 결과

구 분	평균유량	최대유량	누가유량	비 고
유량(cms)	0.0388	0.0528	0.9328	

3.4 불명수 산정

각 시간대별로 관측유량과 모의유량의 차로 불명수량을 산정하였다. 각 시간별 불명수량 산정값을 통하여 최종 불명수량을 산정하였으며, 그 결과값은 다음 표 3에 나타내었다.

표 3. SWMM에 의한 불명수량 산정결과

시간 (hr)	관측유량 (cms)		모의유량 (cms)		I/I 추정량 (cmd)	시간 (hr)	관측유량 (cms)		모의유량 (cms)		I/I 추정량 (cmd)
	유량	누가	유량	누가			유량	누가	유량	누가	
1	0.052	0.041	0.052	0.041	960.26	13	0.062	0.049	0.584	0.426	1153.20
2	0.038	0.037	0.090	0.078	19.18	14	0.059	0.046	0.643	0.473	1096.40
3	0.032	0.028	0.121	0.107	271.44	15	0.056	0.045	0.699	0.517	958.75
4	0.030	0.026	0.151	0.132	351.62	16	0.051	0.042	0.750	0.560	769.90
5	0.023	0.019	0.174	0.151	396.79	17	0.052	0.044	0.803	0.604	734.24
6	0.022	0.015	0.196	0.166	581.79	18	0.051	0.040	0.854	0.643	1011.69
7	0.027	0.015	0.223	0.182	1027.35	19	0.058	0.043	0.913	0.686	1374.88
8	0.044	0.024	0.268	0.206	1768.77	20	0.063	0.047	0.976	0.732	1449.45
9	0.060	0.034	0.328	0.240	2228.59	21	0.064	0.048	1.040	0.780	1465.42
10	0.066	0.044	0.394	0.284	1860.80	22	0.069	0.049	1.109	0.829	1711.43
11	0.064	0.045	0.458	0.329	1664.49	23	0.066	0.051	1.175	0.880	1245.65
12	0.065	0.049	0.522	0.378	1371.62	24	0.061	0.053	1.236	0.933	737.91

기존 불명수 산정방법은 각 방법별 산정값의 최대, 최소치를 제외한 나머지 두 값의 평균으로 산정하며, 그 결과는 다음 표 4에 나타내었다.

표 4. 불명수 산정방법별 비교

구 분	기존 불명수 산정방법				SWMM 산정방법
	물사용평가방법	일최대 최소 유량평가법	일최대 유량평가법	야간생활하수평가법	
불명수량 (cmd)	2278.20	1295.50	1095.70	804.70	1092.15
	Mean = 1195.60				

기존 산정방법의 경우 1195.60 cmd가 나왔으며 본 연구에 의한 산정값은 1092.15 cmd가 나왔다. 불명수 산정값의 차는 103.45 cmd로 근소한 차이를 보인다.

4. 결 론

현행 실시되고 있는 하수관거 정비사업을 비롯한 도시유출 시스템의 계획 및 개량을 위해 보다 명확한 근거를 제시하며 불명수 발생량을 정량화할 수 있는 새로운 산정방법의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 도시유출 해석모형을 이용하여 수리·수문학적 분석을 통한 불명수 산정방법을 제시하였다. SWMM을 통한 불명수 산정방법은 상수도 및 관측 하수량 패턴을 이용하여 불명수 발생량을 정량화하며, 해석결과에 대한 보다 명확한 근거를 제시하였다. 추후 연구과제로는 불명수 발생량에 근거한 도시유출 시스템 계획 및 개량에 대한 종합적 관리 방안에 대한 연구가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. 김정환(1993), “도시유역에서 강우·유출해석을 위한 SWMM 모형의 연구”, 석사학위논문, 경기대학교.
2. 서울특별시(1999), “하수관거조사 및 정비기본계획 보고서”.
3. 김태진(2002), “불명수를 고려한 하수관거 최적개량 의사결정 시스템의 개발”, 석사학위논문, 고려대학교.
4. 이정호(2003), “도시유출 해석과 불명수 산정 모형을 통한 하수관거 최적개량 시스템의 개발”, 석사학위논문, 고려대학교.
5. Cermola, J.A. et al(1981), “SWMM Application to Combined Sewerage in New Haven”, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE.