

오수관의 최저유속

Minimum Velocity of Sewer Line

김태원*, 박종표**, 이길성***

Tae Won Kim, Jong Pyo Park, Kil Seong Lee

요 지

하수관거는 장기간 사용에 의해 오염물질 퇴적 현상이 발생하여 관거 유하능력의 기능을 상실하게 되는 문제점이 발생한다. 관내 오염물질 제거 방법 중 관거 Flushing 방법을 적용하였을 경우, 유입유량, 유입시간, 관경사 변화에 따른 유속 및 수위 변화를 분석하여 하수관거 내 부유물질의 퇴적을 방지하기 위한 최소유속 기준을 만족하는 관거 유하 길이를 분석하고자 한다. 관거 내의 수리학적 거동을 분석하기 위해서 SWMM 및 FLOW-3D 모형을 이용하여 관거 내 수리학적 거동 현상을 분석하였다. 또한 모형의 적용성을 검증하기 위해서 수리모형실험 자료를 이용하였다. 5 % 관경사에 대하여 유입유량 $0.16 \text{ m}^3/\text{min}$ 을 3 분 동안 Flushing 하였을 경우 최대유속은 0.58 m/s 로 최소유속 0.6 m/s 를 만족하는 관의 누가거리는 확보할 수 없는 것으로 모의되었다. 또한 관경사가 증가함에 따라서 최대유속 및 최대유량도 증가함을 보여주고 있다. 이와 같은 분석을 통해 관 내 부유물질의 퇴적을 방지하기 위해 Flushing 방법을 수행하였을 경우, 보다 효과적이며 경제적으로 Flushing 방법을 수행할 수는 설계 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 최저유속, 오수관, Flushing 방법, SWMM

1. 서 론

하수도의 기능 중 하나는 오수를 위생적으로 운반 처리하여 위생적이고 깨끗한 생활환경을 만드는데 있다. 그러나 하수관거는 장기간 사용에 의해 오염물질 퇴적 현상이 발생하여 관거 유하능력이 상실되는 문제점이 발생하기도 한다. 하수관거 내 퇴적물을 적시에 준설 및 청소 미행 시에는 관거 통수 능력이 저하될 뿐만 아니라, 악취발생의 원인과 펌프장 및 하수처리장의 유지 관리에 많은 지장을 초래하게 된다. 이와 같은 현상을 방지하기 위해서 하수관거 설계에서 중요한 요소 중의 하나는 하수가 관거 내를 유하할 때 최소유속을 결정하는 것이다. 국내의 경우 하수도 설계기준에 의거한 최소유속기준은 오수관의 경우 계획시간 최대 오수량을 기준으로 0.6 m/s , 우수관의 경우 계획우수량 기준으로 0.8 m/s 이상을 확보하도록 제안하고 있다. 미국 오클라호마주의 경우 최소유속을 만관 시 0.61 m/s , 비만관인 경우 0.3 m/s 로 적용하여 국내 기준보다는 합리적으로 규정하고 있는 설정이다. 그러나 일반적으로 하수관거 내를 유하하는 하수량은 시간에 따라 변동하기 때문에 항상 이와 같은 이상적인 최소유속을 유지하면서 유하할 수는 없다. 합류식의 경우 모든 관거에 대해 청천 시 최소유속을 확보하는 것은 매우 어려운 문제이므로 특정지역에 대해서는 청천 시 일정량의 퇴적물 발생을 허용하면서 강우 또는 인공적인 방법으로 간헐적인 청소방법을 강구해야 한다.

청소방법으로는 시상수 및 소화용수를 이용한 관거 세정 및 우수 저류 후 관거 Flushing 방법, 저류된 하수를 일시 유하시키는 방법 등이 현장에서 적용되고 있다.

* (주)웹솔루스 수자원부 · E-mail : ktw@websolus.co.kr

** (주)웹솔루스 수자원부 · E-mail : pjp@websolus.co.kr

*** 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 · E-mail : kilselee@snu.ac.kr

본 연구에서는 하수관거 내 부유물질의 퇴적을 방지하기 위해 관거 Flushing 방법을 적용 시 유입 유량, 유입시간, 관경사 변화에 따라서 최소유속이 기준을 만족될 수 있는 설계인자를 정량적으로 분석하고자 한다. 관거 내의 수리학적 거동을 분석하기 위해서 SWMM(Storm Water Management Model) 및 FLOW-3D 모형을 이용하여 유입유량, 지속시간, 관경사 변화에 따른 관거내 수리현상을 분석하였다. 또한 모형의 적용성을 검증하기 위해서 수리모형실험 자료를 이용하였다.

2. 수치모형의 개요

SWMM은 도시유역 하수시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있는 모형이다. 배수관망 시스템 내에서 유량과 수심을 계산하기 위해 개수로/관수로 등에서 흐름 추적 및 오염부하량이 모의 가능한 EXTRAN 블록을 적용하였다. EXTRAN 블럭에서 사용된 지배방정식은 연속방정식과 이차원 점변 부정류 방정식인 St.Venant 식이다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

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

EXTRAN 블럭은 LINK에서 운동량방정식을 NODE에서는 연속방정식을 사용한다. 수심이 얇은 흐름에 있어서 이송항, $[\partial(Q^2/A)/\partial x]$ 은 운동량 방정식 계산 시 생략하게 되는데, 이 항이 운동량방정식의 여러 항들 중에서 가장 작은 값을 갖는 동시에 결과값에 불안정한 요인을 제공하기 때문이다(Yen, 1986). 따라서, 간편하고, 안정된 해를 구하기 위해 식 (2)를 식 (3)과 같이 변형할 수 있다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V\frac{\partial A}{\partial t} - V^2\frac{\partial A}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

비압축성 유체의 흐름을 해석하기 위해서 FLOW-3D에서 사용하는 지배방정식은 직교좌표계 (x, y, z) 상에서 시간적분 레이놀즈방정식을 사용한다. 물과 공기의 경계인 자유수면을 모델링하기 위하여 VOF(Volume Of Fluid) 함수를 정의하는데, 함수의 값이 1인 경우는 검사체적에 물이 가득한 상태를 의미하고 함수의 값이 0인 경우는 검사체적에 물이 없는 경우를 의미하고 자유수면에서는 0과 1 사이의 값을 가진다. 난류모형은 RNG(Renormalized Group) $k - \varepsilon$ 모형을 사용하였다. 지배방정식은 유한차분법을 이용하여 이산화되며, 격자계의 구성시 격자망과 지형은 독립적으로 입력되며, 특히 FAVOR(Factional Area and Volume Obstacle Representation) 기법을 사용함으로써 유한체적법의 접근방법으로 해석된다.

3. 수치모형의 구성

SWMM을 이용한 관거 내 수리현상을 분석하기 위하여 관경 200 mm인 원형관에 대하여 유입량, 유입시간, 관경사 변화에 따른 총 60가지 경우에 대한 모델링을 수행하였다. 이때 적용된 관 조도계수는 0.010, 관입력 간격은 40 m, 계산시간 간격은 10 초, 총계산시간은 18,000 초이다. 위 조건에 대하여 유입량, 유입시간, 관경사 변화에 따른 총 수치모의는 60 Case이며, 수치모의 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. 수치모의 조건

조건											
유입 유량(m ³ /min)				0.16, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50							
유입 시간(min)				3, 6, 8, 10							
관경사(%)				5, 7, 10							
Case	관경사 (%)	유입 유량 (m ³ /min)	지속 시간 (min)	Case	관경사 (%)	유입 유량 (m ³ /min)	지속 시간 (min)	Case	관경사 (%)	유입 유량 (m ³ /min)	지속 시간 (min)
1	5	0.16	3	21	10	0.2	8	41	7	0.4	6
2	7	0.16	3	22	5	0.2	10	42	10	0.4	6
3	10	0.16	3	23	7	0.2	10	43	5	0.4	8
4	5	0.16	6	24	10	0.2	10	44	7	0.4	8
5	7	0.16	6	25	5	0.3	3	45	10	0.4	8
6	10	0.16	6	26	7	0.3	3	46	5	0.4	10
7	5	0.16	8	27	10	0.3	3	47	7	0.4	10
8	7	0.16	8	28	5	0.3	6	48	10	0.4	10
9	10	0.16	8	29	7	0.3	6	49	5	0.5	3
10	5	0.16	10	30	10	0.3	6	50	7	0.5	3
11	7	0.16	10	31	5	0.3	8	51	10	0.5	3
12	10	0.16	10	32	7	0.3	8	52	5	0.5	6
13	5	0.2	3	33	10	0.3	8	53	7	0.5	6
14	7	0.2	3	34	5	0.3	10	54	10	0.5	6
15	10	0.2	3	35	7	0.3	10	55	5	0.5	8
16	5	0.2	6	36	10	0.3	10	56	7	0.5	8
17	7	0.2	6	37	5	0.4	3	57	10	0.5	8
18	10	0.2	6	38	7	0.4	3	58	5	0.5	10
19	5	0.2	8	39	10	0.4	3	59	7	0.5	10
20	7	0.2	8	40	5	0.4	6	60	10	0.5	10

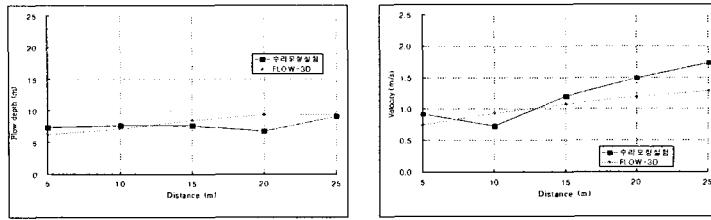
오수관거에 대하여 3차원 모형인 FLOW-3D를 이용하여 모의한 결과값을 SWMM 결과값과 수리모형실험 결과값과 비교·분석하였다. 수리모형실험은 2003년 홍익대학교 과학기술연구소에서 실시한 결과값을 사용하였다. SWMM으로 수행한 모든 경우에 대해서 3차원 모형인 FLOW-3D와 비교하는 것은 많은 시간이 소요되므로 Table 1에서 두 가지 경우(Case 22와 52)에 대하여 3차원 수치모의를 수행하였다.

4. 결과 분석

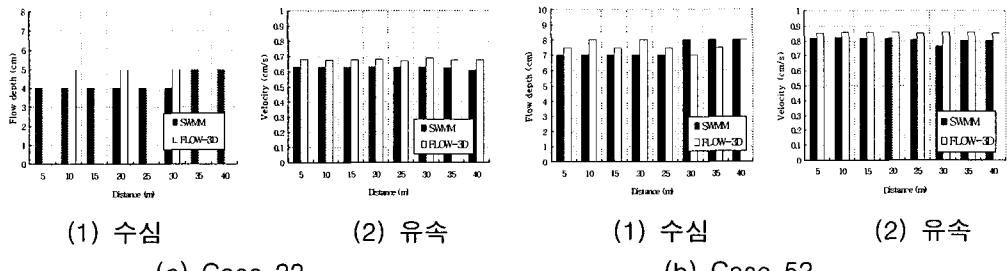
4.1 모형의 검증

수위와 유속에 대하여 실험을 통해 취득된 관측값과 FLOW-3D 수치모의 계산값에 대하여 비교·분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 수위와 유속을 비교한 결과 3차원 수치모의 결과값과 수리모형 관측값은 잘 일치함을 보여주고 있다. 유량이 관거를 유하할 경우 시간이 경과됨에 따라서 관경사에 의해 수심이 낮아지는 현상이 발생할 것이다. 시간이 경과된 관측된 지점에서 수심이 낮아지는 것이 보여주고 있으며, 수치모의도 수위가 저감되는 것으로 모의되었다.

SWMM과 Flow-3D의 유속 및 수위에 대한 수치모의 결과값을 비교·분석하였다(Fig. 2). 두 모형의 유속값은 수심 20 %에 해당하는 깊이에서 계산된 값이다. Case 22의 경우 0.68 m/s의 유속분포를 보이며 Case 52의 경우는 0.81 m/s로 나타났다. SWMM의 비해 Flow-3D의 유속이 전체적으로 빠른 것으로 모의되었다. 이것은 SWMM의 유속은 단면 평균유속이어서 FLOW-3D의 지점 유속으로 단면평균유속보다 지점유속이 빠른 것으로 분석되었지만, 두 모형의 결과값은 잘 일치하는 것으로 분석되었다.



(1) 수심
(2) 유속
Fig. 1 실험값과 FLOW-3D 모형의 계산값 비교



(a) Case 22
(b) Case 52
Fig. 2 SWMM과 FLOW-3D 모형의 결과값 비교

4.2 누가거리 산정

관 내의 오염물의 퇴적현상 방지 및 관거 내 청소 방법 중 Flushing 방법에 의해 관거 세정을 위해 유입을 지속시간별 유입할 경우 최소유속 0.6 m/s를 만족시키는 누가거리를 분석하였다(Table 2. 참조). 누가거리는 관 내에서 최소유속 0.6 m/s를 만족시킬 수 있는 거리를 의미한다. 5 % 관경사에 대하여 유입유량 $0.16 \text{ m}^3/\text{min}$ 을 3 분 동안 Flushing 하였을 경우 최소유속 0.6 m/s를 만족하는 관의 누가거리는 확보할 수 없는 것으로 모의되었다. 유입유량 $0.16 \text{ m}^3/\text{min}$ 을 3 분 동안 Flushing 하였을 경우 관경사는 7 % 일 경우 40 m까지 최소유속 0.6 m/s를 만족하는 것으로 분석되었다.

SWMM에서 계산된 오수관거 전 구간에 대한 최대유속과, 최대유량을 분석한 결과 관경사가 2 % 증가 할 경우 동일한 유입량 조건에서 최대유속은 13 - 17 %, 최대유량은 3 - 11 % 증가하였으며, 관경사가 3 % 증가 할 경우 동일한 유입량 조건에서 최대유속은 15 - 18 %, 최대유량은 4 - 17 % 증가하였다. 또한, 관경사가 5 % 증가 할 경우에는 동일한 유입량 조건에서 최대유속은 29 - 53 %, 최대유량은 13 - 26 % 증가하였다.

5. 결 론

오수관의 경우 부유물질의 퇴적을 방지하기 위해서는 최소유속 기준을 만족하여야 한다. 본 연구에서는 관거 세정 방법 중에 하나인 Flushing 방법을 수행하였을 경우, 관경사에 따른 유입유량, 유입시간 변화에 따른 유속 및 수심의 변화를 분석하여 최소유속을 유지할 수 있는 관의 누가거리를 분석하였다. 분석방법으로는 SWMM과 FLOW-3D 모형을 사용하였으며, 모형의 적용성을 검증하기 위해서 실험자료와 비교 분석한 결과 두 모형은 실험을 수행하여 취득한 관측값과 잘 일치함을 보여주고 있다.

Table 2. 누가거리 산정

관경사 (%)	유입 유량 (m^3/min)	지속 시간 (min)	누가 거리 (m)	비고 (Case)	관경사 (%)	유입 유량 (m^3/min)	지속 시간 (min)	누가 거리 (m)	비고 (Case)	관경사 (%)	유입 유량 (m^3/min)	지속 시간 (min)	누가 거리 (m)	비고 (Case)
5	0.16	3	0	1	7	0.16	3	40	2	10	0.16	3	160	3
		6	160	4			6	320	5			6	600	6
		8	280	7			8	520	8			8	880	9
		10	440	10			10	760	11			10	1,200	12
	0.2	3	40	13		0.2	3	120	14		0.2	3	240	15
		6	240	16			6	480	17			6	840	18
		8	440	19			8	760	20			8	1,160	21
		10	680	22			10	1,040	23			10	1,520	24
	0.3	3	120	25		0.3	3	280	26		0.3	3	560	27
		6	600	28			6	960	29			6	1,400	30
		8	880	31			8	1,320	32			8	1,880	33
		10	1,240	34			10	1,760	35			10	2,320	36
	0.4	3	280	37		0.4	3	520	38		0.4	3	840	39
		6	920	40			6	1,360	41			6	1,920	42
		8	1,280	43			8	1,840	44			8	2,320	45
		10	1,720	46			10	2,320	47			10	2,400	48
	0.5	3	440	49		0.5	3	720	50		0.5	3	1,120	51
		6	1,240	52			6	1,760	53			6	2,360	54
		8	1,720	55			8	2,320	56			8	2,400	57
		10	2,240	58			10	2,400	59			10	2,400	60

감사의 글

본 연구는 “안동·임하댐 하수도시설 확충공사 기본설계” 용역으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다. 또한 본 연구를 통해 특허(등록특허번호: 10-0596680)가 출현되었습니다.

참 고 문 헌

- 홍익대학교 과학기술연구소(2003). 한강수계하수관거정비(5공구) T/K 기본설계 수리모형실험 보고서.
- Camp, T. R.(1964). Sedimentation and design of settling tanks, Trans., ASCE, 111, pp. 895-936.
- Hager, W.H.(1994). Wastewater hydraulics, Springer, Berlin,
- Larsen T., Broch K. and Andersen M. R.(1998). First flush effects in an urban catchment area in alborg, Wat. Sci. Tech., 37(1), pp. 251-257.
- Nalluri, C and Ab Ghani(1996). Design options for self-cleansing storm sewer, Water Science and Technology, 33(9), pp. 215-220.
- Saget A., Chebbo G. and Bertrand J.-Krajewski(1996). The first flush in sewer systems, Wat. Sci. Tech., 33(9), pp. 101-108.
- Yen, B. C.(1986). Hydraulics of sewers, in Advances in Hydrosicience, 14, B. C. Yen, ed., Academic Press, New York.