

토사적체에 따른 우수관의 조도계수 변화와 성능불능확률

Probability of Performance Failure and Change of Roughness Coefficient According to Accumulation of Debris in Storm Sewer

권혁재*

Kwon, Hyuk Jae

Abstract

Reliability model which can calculate the probability of performance failure of storm sewer was developed considering change of roughness coefficient in this study. Roughness coefficient should be re-evaluated due to accumulations of debris in sewer pipe. Therefore, roughness coefficient according to depth of debris in circular sewer pipe was determined for the present study. Reliability analysis was performed with the new roughness coefficient. After the analysis, it was found that capacity of storm sewer can be significantly decreased and probability of performance failure of storm sewer can be significantly increased by increasing the depth of debris in storm sewer. In this study, reliability model was applied for the Daegu and Jeonju using new roughness coefficient which was determined according to accumulation of debris in circular storm sewer. It was observed that if the depth of debris is increased, roughness coefficient is increased simultaneously and probability of performance failure of storm sewer is significantly increased.

Key words : Probability of performance failure, Reliability model, Roughness coefficient, Storm sewer

요 지

본 연구에서는 우수관의 조도계수의 변화에 따른 성능불능확률을 산정할 수 있는 신뢰성 모형이 개발되었다. 조도계수는 우수관의 토사의 적체에 따라 다시 산정되었으며 새로운 조도계수를 이용하여 신뢰성 해석이 수행되었다. 해석결과, 우수관에 적체되는 토사의 깊이가 증가함에 따라 우수관의 용량은 크게 감소하고 성능불능확률은 크게 증가함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 우수관에 적체되는 토사의 깊이에 따라 산정된 조도계수를 사용한 신뢰성 모형을 대구와 전주에 적용하였다. 원형 우수관에 적체된 토사의 깊이가 증가할수록 우수관의 조도계수는 커지고 성능불능확률도 역시 크게 증가 하는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 성능불능확률, 신뢰성 모형, 조도계수, 우수관

1. 서 론

우수관의 설계에서 우수관의 용량 결정에는 Manning의 공식이나 Darcy-Weisbach공식 등이 사용되고 있으며 설계지점의 강우에 의한 유입유량 산정을 위해서는 합리식이 주로 사용되고 있다. 용량과 유입량을 결정하기 위한 식에는 여러 가지 변수들이 사용되며 이 변수들은 불확실성을 내재하고 있으므로 확률변수로 인식하고 신뢰성 분석을 수행하여야 한다.

이 등(2005)은 우수관의 강우확률 년 수를 변화시키며 우수관의 건설비용 변화를 산정하였다. 그리고 다양한 확률 년수에 기초한 건설비용과 설계용량의 변화를 함수가 회귀분석에 의해서 유도되었다. 김 등(2007a)은 현장에서 실측된 유량과 수위로 산정된 조도계수의 오차를 분석하고 실측수위를

이용한 조도계수 산정의 타당성을 확인하였다. 김 등(2007b)은 하천에서 실측한 자료를 사용하여 유량변화에 따른 조도계수의 변화를 분석하고 기존 조도계수의 적용성을 검토하였다. 실측자료를 이용하여 대상구간에 대한 조도계수를 산정하고 여러 가지 경험식들과 비교분석하였다. Kwon and Lee(2008a)는 상수관에서 유효유량의 확보여부를 가지고 상수관 시스템의 불능확률을 산정하여 신뢰성 해석을 수행하였다. 그리고 Kwon and Lee(2008b)는 상수관망의 부정류 수치해석을 통해 얻어진 압력의 시간에 따른 유동특성을 이용하여 상수관의 파괴확률을 산정하였고 Kwon and Lee(2009)는 AFDA방법을 이용하여 상수관의 파괴확률을 산정하고 마찰손실계수에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

우수관은 우수의 유입구가 공공장소에 노출되어 있는 경우가 많다. 따라서 많은 지역의 우수관은 강우 시 뿐만 아니라

*정회원 · 청주대학교 토목환경공학과 전임강사(E-mail : hjkwon@cju.ac.kr)

평상시에도 많은 쓰레기나 여러 가지 불순물이 쌓이기 쉽다. 그리고 하수관의 벽면에 생기는 여러 가지 퇴적물에 의해서 처음 축조시의 관 벽면의 조도를 그대로 유지하기 힘들어진다. 본 연구에서는 신뢰성 모형을 이용하여 우수관이 성능불능상태에 이를 확률을 정량적으로 산정하였으며 토사의 적체로 인한 조도계수의 변화에 따른 성능불능확률을 산정하였다.

2. 신뢰성 모형

2.1 신뢰함수의 구축

신뢰함수를 구하기 위해서 시스템에 작용하는 하중(load)과 저항(resistance)이 결정되어야 한다. 우수관의 경우 하중은 유입유량이며 저항은 우수관의 용량(capacity)이 된다. 성능불능상태(state of performance failure)란 유입유량 Q_L 이 우수관의 용량 Q_C 을 초과한 상태로 정의한다. 따라서 신뢰함수 (Ang and Tang, 1984; Frankel, 1988; Modarres, 1999)는 아래 식 (1)과 같이 규정할 수 있다.

$$Z = Q_C - Q_L \quad (1)$$

여기서, 유입유량을 산정하기 위하여 합리식 (2)이 사용되었고 용량을 산정하기 위해서 Manning의 식 (3)이 사용되었다.

$$Q_L = 0.2778 C i A \quad (2)$$

여기서 C 는 유출계수, i 는 강우강도(mm/hr)이고, A 는 유역면적(km²)이다.

$$Q_C = \left(\frac{4}{n}\right) \pi R^{8/3} S^{0.5} \quad (3)$$

여기서, n 은 Manning의 조도계수, R 은 경심(hydraulic radius), S 는 우수관의 경사(slope)이다. 본 연구에서는 우수관의 성능불능상태에 도달할 확률을 산정하기 위해서 FORM(First-Order Reliability Method)의 일종인 Level II AFDA(Approximate Full Distribution Approach)방법(Kwon and Lee, 2008b)이 사용되었다. Fig. 1에서 신뢰지수(reliability index) β 는 원점에서 파괴면의 설계지점(design point)에 이르는 최단거리이며 반복계산에 의해서 구해진다. β 를 구할 때 신뢰지수의 불변성이 요구되어지기 때문에 정규화과정(normalization process)이 필수적이다. 신뢰함수에 사용되는 여러 가지 변수들에 대한 통계적 분석이 필요하며 식 (4)의 와 $F_i(x)$ 는 $f_i(x)$ 연 최대강우강도의 Gumbel 분포함수를 의미한다.

$$F_i(x) = \exp[-e^{-\kappa(x-\lambda)}] \quad (4a)$$

$$f_i(x) = \kappa \exp[-\kappa(x-\lambda) - e^{-\kappa(x-\lambda)}] \quad (4b)$$

여기서 $\kappa = \pi/(\sqrt{6}\sigma)$, $\lambda = \mu - (0.577/\kappa)$ 이다. 새로운 설계지점은 β 가 적정한 값에 수렴할 때까지 반복계산이 이루어져야 한다.

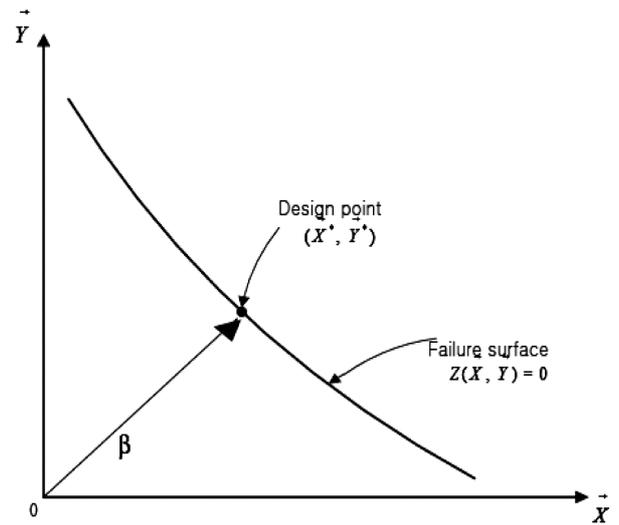


Fig. 1. Design point on failure surface

신뢰함수를 이루는 다른 확률변수들은 정규분포를 따른다고 가정하였고 지역별 연 최대강우강도(annual maximum rainfall intensity)는 통계학적 특성을 분석하여 Gumbel분포를 따르는 것을 확인하였다.

2.2. 연 최대강우강도의 확률분포함수 결정

본 연구에서 대구와 전주의 연 최대강우강도의 분포특성을 분석한 결과 Fig. 2와 같이 Gumbel분포와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

대구와 전주의 분포함수를 찾기 위해서 최근 39년간(1971년~2009년)의 연 최대강우강도 자료 즉 39개의 자료를 사용하였다. Table 1은 대구와 전주의 연 최대강우강도에 대한 통계특성을 나타내고 있다. Gumbel 분포함수와 자료의 일치성을 확인하기 위해서 Table 2와 같이 chi-square goodness-of-fit test를 수행하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 두 도시 모두 연 최대강우강도의 분포가 Gumbel 분포와 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 일치수준은 유의 수준 5%이내에 들었다. 대구의 경우 연 최대강우강도의 평균은 약 36.06 mm/hr 그리고 전주는 43.09 mm/hr인 것으로 나타났다. 재현기간(return period)에 따른 연 최대강우강도는 아래 식(5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_T = \mu + K_T \sigma \quad (5)$$

여기서 μ 는 연 최대강우강도의 평균값, σ 는 표준편차, 그리고 K_T 는 빈도계수(frequency coefficient)이며 재현기간과 사용되는 확률분포의 종류에 따라 결정된다. 본 연구에서는 연 최대강우강도에 대해서 Gumbel분포를 사용하게 되므로 K_T 는 아래 식(6)에 의해 결정되었다.

$$K_T = \left\{ 0.45 + 0.7797 \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

여기서 T 는 재현기간(년)이다. 재현기간에 대한 대구와 전주의 연 최대강우강도를 아래 Fig. 3과 같이 산정하였다. 대구의

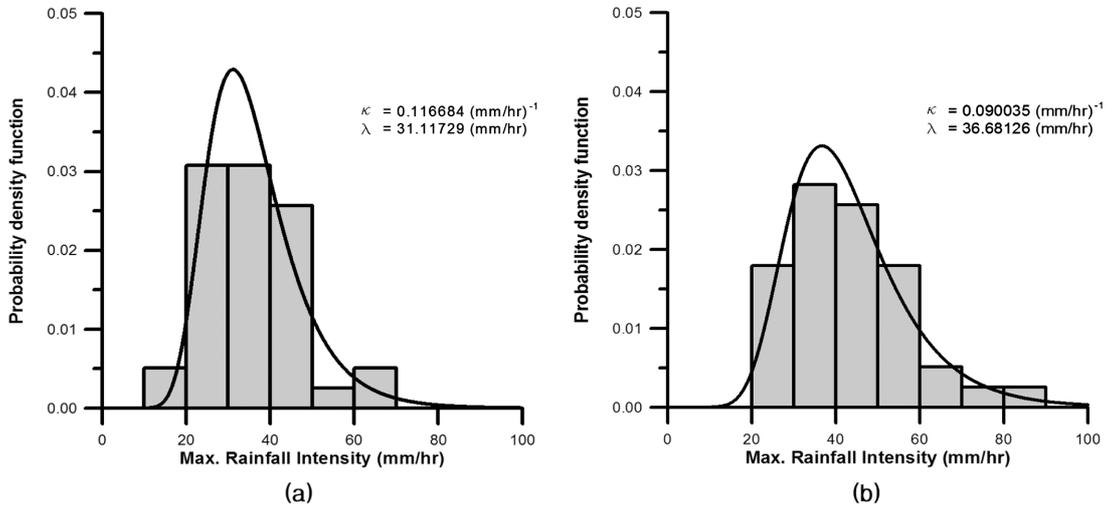


Fig. 2. Statistical distribution of the annual maximum rainfall intensity of (a) Daegu, (b) Jeonju

Table 1. Statistical properties of annual maximum rainfall intensity of Daegu and Jeonju

	Sample size	Mean Rainfall Intensity (mm/hr)	Standard deviation (mm/hr)	COV
Daegu	39	36.06	10.99	0.3048
Jeonju	39	43.09	14.24	0.3306

Table 2. Results of chi-square goodness-of-fit test

	Degree of Freedom	Significance Level	Probability	Result
Daegu	7-2-1=4	5%(0.05)	9.49	4.43
Jeonju	7-2-1=4	5%(0.05)	9.49	2.02

5, 10, 20년 재현기간의 연 최대강우강도는 각각 43.974 mm/hr, 50.39 mm/hr, 56.56 mm/hr 그리고 전주는 53.33 mm/hr, 61.67 mm/hr, 69.66 mm/hr인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 대구와 전주에 대한 연 최대강우강도의 통계적 특성을 이용하고 조도계수 변화에 따른 우수관의 성능불능확률을 산정하였다.

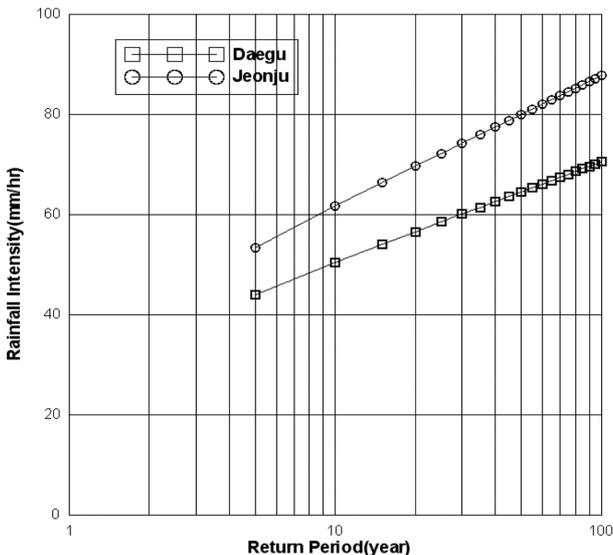


Fig. 3. Annual maximum rainfall intensity according to return period

2.3 확률변수들의 통계적 특성

본 연구에서 개발된 신뢰성 모형을 성능불능확률 산정을 위해 대구와 전주의 원형 우수관에 적용하였다. 우수관의 직경은 1.2 m, 경사는 1:1000, Manning의 조도계수는 0.013, 유출계수는 0.85, 유역면적은 0.7 km²(70,000 m²)로 가정하였다.

Table 3은 대구와 전주의 우수관의 성능불능확률 산정을 위한 신뢰함수에 사용된 확률변수의 통계학적 특성을 나타내고 있다. 강우강도에 대한 확률분포함수는 Gumbel 분포를 사용하였고 나머지 변수들에 대해서는 정규분포를 따른다고 가정하였다.

모든 확률변수들은 통계학적으로 독립적이라고 가정하고 각 우수관의 유입유량은 관의 용량을 초과할 경우 성능불능상황으로 간주한다. 그리고 식 (3)에서 원형 우수관에 토사가 적체되면 더 이상 $R=D/4$ 가 아니므로 우수관의 성능불능확률 산정을 위한 신뢰함수는 아래 식 (7)과 같다.

$$Z = \frac{\pi D}{4n} R^{2/3} S^{0.5} - 0.2778 C_i A \quad (7)$$

Table 3. Statistical properties of random variables for reliability function

Variables	Distribution	Mean/COV	Daegu	Jeonju
C	Normal	Mean	0.85	0.85
		COV	0.05	0.05
i	Gumbel	Mean(mm/hr)	36.06	43.09
		5-year return period (mm/hr)	43.97	53.33
		10-year return period (mm/hr)	50.39	61.67
		20-year return period (mm/hr)	56.56	69.66
		COV	0.3048	0.3306
n	Normal	Mean	0.013	0.013
		COV	0.12	0.12
K	Normal	Mean	0.9	0.9
		COV	0.05	0.05

신뢰함수에서 $Z < 0$ 은 성능불능상태(state of performance failure), $Z > 0$ 는 안전상태(safe state), 그리고 $Z = 0$ 는 한계상태(limit state)를 의미한다. 따라서 신뢰함수는 식 (8)을 사용하여 $Z \leq 0$ 에 해당하는 성능불능확률을 정량적으로 산정한다.

$$P_f = P(Z \leq 0) \quad (8)$$

3. 우수관의 조도변화와 성능불능확률

본 연구에서는 우수관의 성능불능확률 산정을 위한 신뢰성 모형을 개발하여 Fig. 4와 같은 원형 우수관에 적용하였다. 우수관은 축조 후 곧바로 많은 양의 우수와 접하게 된다. 또한 우수관의 수많은 유입구는 항상 도로변이나 공공장소에 노출되어 있으며 많은 불순물들이 유입되게 된다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 많은 양의 토사가 쌓여서 적체되면 원형 우수관에 적체된 토사의 폭 W 가 커지게 된다. 또한 시간이 흐르면서 우수관의 내벽은 산화되거나 불순물들의 접촉에 의해서 기존 설계시의 조도와 달라진다. 두 경우 모두 자연스럽게 조도가 더 커지게 되는 이유가 된다. 따라서 우수관의 축조된 시기를 감안하여 우수관의 조도 변화에 따른 성능을 재평가 할 필요가 있다.

Table 4는 여러 형태의 수로의 조도계수를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 평범한 하수관의 경우 조도는 약

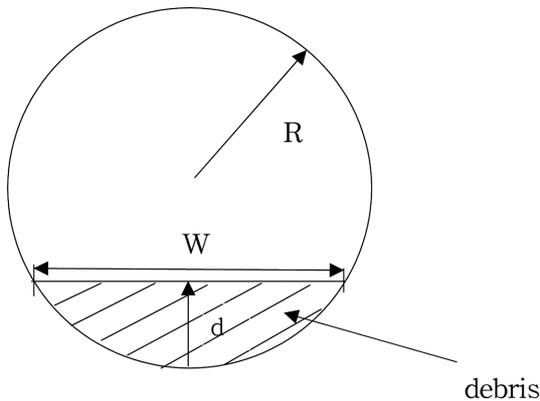


Fig. 4. Circular storm sewer with the debris

Table 4. Roughness coefficient of Manning's equation (Brater et al., 1996)

Surface	Condition		
	Best	Good	Fair
Uncoated cast iron pipe	0.012	0.013	0.014
Coated cast iron pipe	0.011	0.012	0.013
Welded pipe	0.01	0.011	0.013
Riveted and spiral steel pipe	0.013	0.015	0.017
Vitrified sewer pipe	0.011	0.013	0.015
Concrete pipe	0.012	0.013	0.015
Brick in cement mortar, brick sewer	0.012	0.013	0.015
Cement mortar surface	0.011	0.012	0.013
Natural earth	0.018 ~		

0.011에서 0.015까지 다양한 분포를 보이고 있다. Fig. 4처럼 많은 양의 토사가 적체되어 있는 상태라면 조도 역시 크게 변하게 된다. 하지만 지하에 축조된 우수관의 현재 토사적체 상태는 예측을 하거나 실시간 관측을 하기 힘들다. 따라서 우수관의 설계는 물론이고 관리 감독에도 시간에 따른 우수관의 조도변화를 인지하거나 예상하고 우기에 대처해야만 한다.

원형 우수관에 토사가 적체되면 우수관의 윤변(wetted perimeter)과 면적(area) 그리고 경심(hydraulic radius)이 변하게 된다. Fig. 5는 지름 1.2 m의 원형 우수관에 토사가 적체될 때 토사의 폭과 윤변의 변화를 나타내고 있다. 토사의 적체가 관의 반경인 0.6 m에 이르렀을 때 토사의 폭은 최대인 1.2 m가 되며 그 다음은 다시 감소하게 된다. 그리고 윤변은 토사의 적체깊이가 증가할수록 계속해서 감소하게 되며 전체 윤변에 대한 토사의 폭의 비가 상당히 증가함을 알 수 있다. 토사의 깊이가 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m, 그리고 0.6 m일 때 윤변에 대한 토사의 폭의 비율은 각각 17.8%, 24.4%, 29.1%, 33%, 36%, 그리고 39%이다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 그 비율은 계속해서 증가하게 된다. 따라서 우수관의 관리, 유지, 보수를 위해서는 설계조도는 더 이상 무의미해질 수밖에 없으며 현재상태의 조도계수를 사용하여 우수관의 용량을 산정하여야 한다.

본 연구에서는 우수관에 토사가 적체되어 쌓이면서 변화하는 윤변 그리고 그에 따른 조도계수의 영향을 고려하여 우수관의 용량을 산정하고 신뢰성 해석을 하였다. 먼저 Fig. 5와 같이 원형 우수관에서 적체되는 토사의 깊이가 증가하면 토사의 폭도 변화하기 때문에 그에 따른 조도계수를 다시 결정하여 우수관의 성능불능확률을 산정하였다. 예를 들면, 윤변에 대한 토사 폭의 비가 30%라면 0.7배의 콘크리트 우수관의 조도계수에 0.3배의 흙바닥에 대한 조도계수를 더하는 방법으로 조도계수를 식 (9)과 같이 계산하여 우수관의 용량산정 후 성능불능확률을 계산하였다.

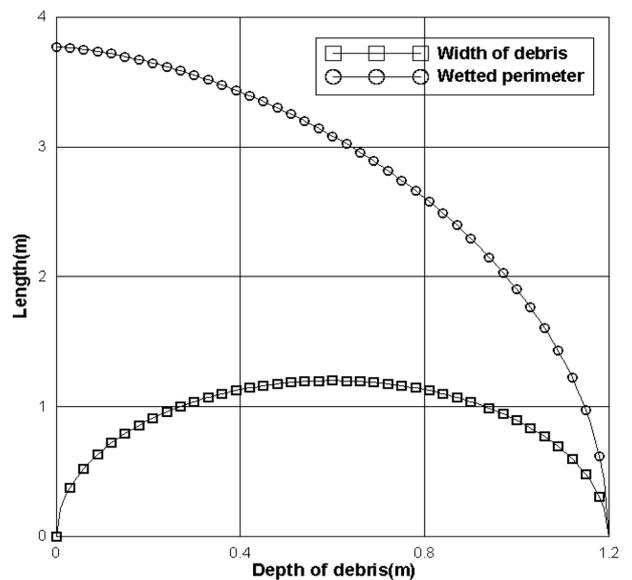


Fig. 5. Width of debris and wetted perimeter according to depth of debris

$$n_{new} = \left(\frac{P - W_{debris}}{P}\right) \times n_{original} + \left(\frac{W_{debris}}{P}\right) \times n_{earth} \quad (9)$$

여기서, P 는 윤변, W_{debris} 는 토사의 폭, $n_{original}$ 은 원래의 원형 우수관 조도계수, 그리고 n_{earth} 는 흙바닥 조도계수이다. 본 연구에서 가정된 우수관 원래의 조도계수는 0.013이고 흙바닥에 대한 조도계수는 약 0.02이다. 여기서 우수관에 적체된 토사의 깊이에 따른 조도계수를 Table 5와 같이 다시 산정하였다. Table 5는 우수관에 적체된 토사의 깊이 변화에 따른 윤변, 토사의 폭, 윤변에 대한 폭의 비, 그리고 조도계수의 변화를 보여주고 있다.

Fig. 6은 우수관의 성능불능확률 산정을 위한 순서도이다. Fig. 7과 8은 대구와 전주에 대하여 각각 5, 10, 20년 재현기간의 연 최대강우강도를 사용하여 조도계수의 변화에 따른 성능불능확률을 산정하였다. 이때 두 도시의 우수관에 퇴적물이 없다고 가정하고 조도계수의 변화에 따른 불능확률을 산정하였다. 우수관의 설계를 위한 재현기간이 약 10년인 것을 감안하여 재현기간은 5년, 10년, 그리고 20년에 대하여 성능불능확률을 산정하였다.

Table 5. Evaluation of new roughness coefficient for the estimation of sewer capacity

Depth of debris(m)	Width of debris(m)	Wetted perimeter(m)	Ratio of W/P	Roughness coefficient
0.05	0.48	3.75	0.128	0.0139
0.1	0.66	3.73	0.178	0.0142
0.15	0.79	3.70	0.215	0.0145
0.2	0.89	3.65	0.244	0.0147
0.25	0.97	3.60	0.270	0.0149
0.3	1.04	3.55	0.291	0.0150
0.35	1.09	3.49	0.312	0.0152
0.4	1.13	3.42	0.330	0.0153
0.45	1.16	3.35	0.347	0.0154
0.5	1.18	3.27	0.360	0.0155
0.55	1.19	3.18	0.376	0.0156
0.6	1.2	3.08	0.389	0.0157

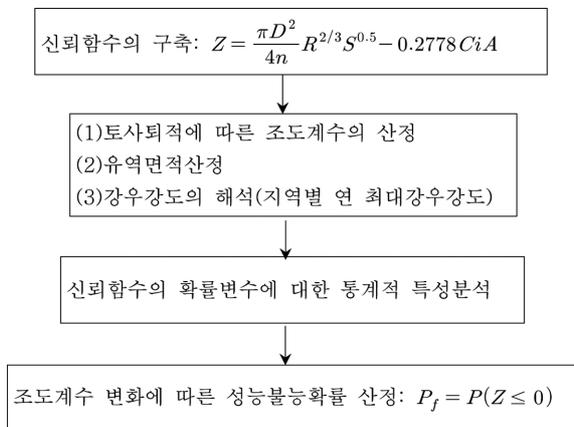


Fig. 6. Flow chart for calculation of probability of performance failure of storm sewer

대구와 전주의 경우, 원래의 조도계수 0.013과 재현기간 5년의 연 최대강우강도를 사용하였을 때 성능불능확률이 2.2%로 미미하게 나타났으나 10년과 20년 재현기간을 갖는 연 최대강우강도를 사용 시 성능불능확률이 각각 6.9%와 14.3%로 나타났다. 전주의 경우 조도계수가 0.013이고 재현기간 5, 10, 20년의 연 최대강우강도를 사용 시 성능불능확률이 각각 11.2%, 23.2%, 36.1%로 대구보다 전반적으로 크게 나타났다. 이것은 전주가 대전보다 재현별 강우강도가 크기 때문이다. 그리고 성능불능확률은 조도계수가 0.01과 0.02사이에 있을 때 상당히 가파르게 증가하는 것을 알 수 있다. 결과에서 볼 수 있듯이, 성능불능확률은 조도계수에 아주 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 따라서 우수관의 설계 및 유지 관리에서 우수관의 조도를 면밀히 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 적체된 토사의 깊이가 증가함에 따라서 토

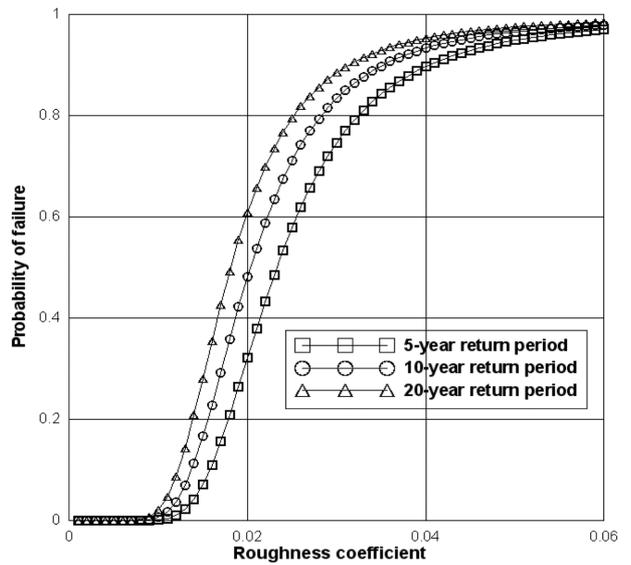


Fig. 7. Probability of performance failure according to roughness coefficient using annual maximum rainfall intensity with 5, 10, 20-year return period of Daegu

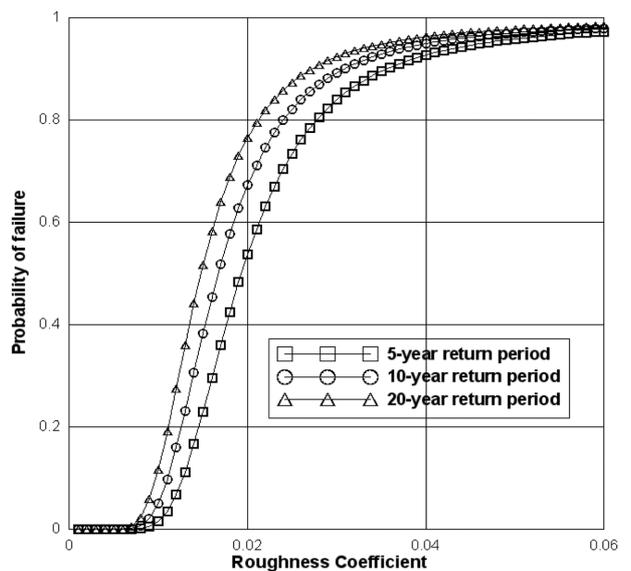


Fig. 8. Probability of performance failure according to roughness coefficient using annual maximum rainfall intensity with 5, 10, 20-year return period of Jeonju

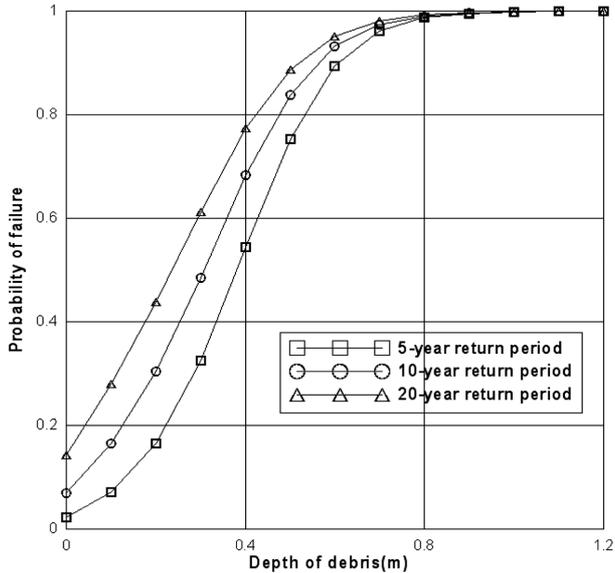


Fig. 9. Probability of performance failure according to depth of debris using annual maximum rainfall intensity with 5, 10, 20-year return period of Daegu

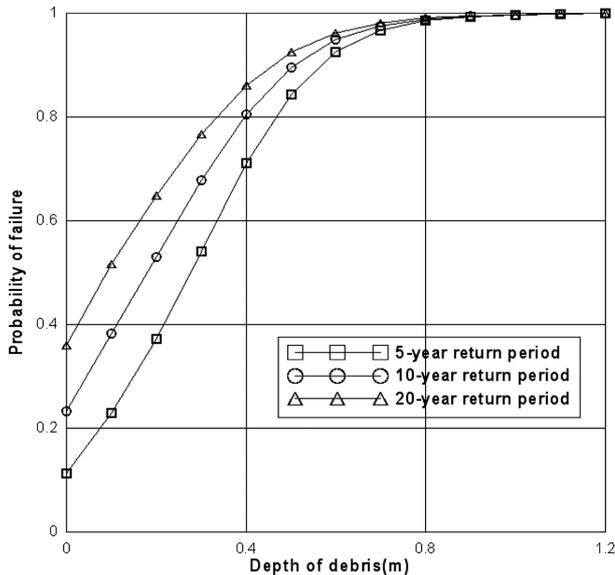


Fig. 10. Probability of performance failure according to depth of debris using annual maximum rainfall intensity with 5, 10, 20-year return period of Jeonju

사의 폭도 증가하므로 조도계수를 다시 산정하였다. 적체물의 깊이가 증가하면 윤변에서 폭의 비율이 증가하게 된다. 또한 우수관의 내벽과 적체물의 폭과의 비율도 달라지므로 그에 따른 조도계수를 다시 평가해야 한다. Fig. 9와 10은 우수관에 토사의 적체가 생겼을 경우 적체된 토사의 깊이에 따른 성능불능확률을 보여주고 있다. 이때 적체된 토사의 깊이에 따라 우수관의 유효면적은 줄어들게 되며 또한 그에 따른 조도계수 역시 Table 5와 같이 다시 산정하여 성능불능확률을 계산하였다. 따라서 우수관의 성능불능확률의 계산에는 토사 적체로 인한 우수관 유효면적의 변화는 물론 그에 따른 조도계수의 변화도 같이 고려가 되었다. Fig. 9와 Fig. 10은 대구와 전주의 우수관에 토사적체로 인한 성능불능확률을 재현기간별로 나타낸 것이다. 재현기간이 증가할수록 성능불능확

률을 급상승하는 것으로 나타났다. 토사의 적체와 조도계수의 변화가 우수관의 성능불능확률을 크게 증가시키는 것을 알 수 있었다. 또한 전주와 대구를 비교해보면, 전주 우수관의 성능불능확률이 전반적으로 대구보다 크게 나타났다. 이것은 전주의 연 최대강우강도가 크기 때문이며 우수관의 성능불능확률이 강우강도의 크기에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었다.

지표면 아래에 축조된 하수관의 경우 평상시 흙과 낙엽 등 여러 가지 물질들이 적체되어 있는 경우가 많다. 우수관에 많은 토사가 적체되어 있을 경우 우수관의 유효면적이 줄어들어 허용용량이 크게 줄어들게 된다. 따라서 적은 강우량에도 과부하 상태가 되어 성능불능상태에 쉽게 도달하게 된다. 또한 토사의 적체가 증가하면 윤변에 대한 토사의 폭의 비율이 증가하여 우수관의 설계 시 사용되었던 조도계수는 무의미해진다. 따라서 시간이 지나면서 토사의 적체가 크게 일어난 곳은 조도계수를 현실에 맞게 결정하여 그 우수관에 허용되는 용량을 다시 산정하여야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 우수관의 성능불능확률을 산정하여 신뢰성 해석을 수행하였다. 먼저 적용도시의 강우자료를 면밀히 분석하고 연 최대강우강도의 통계적 특성을 분석하여 신뢰함수를 구축하였으며 우수관의 성능불능확률 산정을 위한 신뢰성 모형이 개발되었다. 그리고 우수관에 적체되는 토사의 깊이에 따라 조도계수를 다시 결정하여 용량산정을 하였다. 재현기간 별 강우강도를 사용하여 대구와 전주의 원형우수관의 성능불능확률을 산정한 결과, 재현기간의 증가에 따른 성능불능확률을 급하게 상승하는 것을 알 수 있었다. 5년, 10년, 20년 재현기간에 따른 연 최대강우강도를 사용하여 대구와 전주의 우수관의 성능불능확률을 산정하였다. 또한 토사의 적체에 따른 우수관 유효면적의 변화와 그에 따른 조도계수의 변화를 고려하여 두 도시의 우수관의 성능불능확률을 산정하였다. 대구와 전주의 성능불능확률을 확인한 결과, 토사의 적체와 조도계수의 변화가 우수관의 성능불능확률을 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 원형 우수관의 성능불능확률을 산정한 결과, 조도계수에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었으며 토사의 적체에 따라 우수관의 용량은 감소하고 조도계수는 커져서 성능불능확률이 크게 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 우수관의 용량감소를 막고 성능불능확률을 최소화하기 위해 우수관에 적체된 토사의 양을 예측할 수 있는 연구가 필요하며 적체된 토사와 콘크리트나 강관벽면이 복합된 우수관에 대한 조도계수를 보다 더 정확히 정량화 할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

김지성, 이찬주, 김원 (2007a) 실측 수위에 의한 자갈하천의 조도계수 산정. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 40권, 제 10호, pp. 755-768.
 김지성, 이찬주, 김원 (2007b) 현장실측에 의한 조도계수 산정의

- 불확실도 평가. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제 40권, 제 10호. pp. 801-810.
- 이철규, 현인환, 독고석, 김형준 (2005) 강우 확률년수의 설정이 우수관거 설계에 미치는 영향. **상하수도학회지**, 대한상하수도학회, 제 19권, 제 5호, pp. 647-654.
- Ang, A. and Tang, W.H. (1984) *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Brater, E.F., King, H.W., Lindell, J. E. and Wei, C. Y. (1996). *Handbook of hydraulics*, McGraw-Hill, New York.
- Frankel, E.G. (1988) *Systems Reliability and Risk Analysis*. Klume Academic Publishers.
- Kwon, H.J. and Lee, C.E. (2008a) Reliability analysis of pipe network regarding transient flow. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 12, No. 6, pp. 409-416.
- Kwon, H.J. and Lee, C.E. (2008b) Reliability analysis for the probability of pipe breakage. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, KSWW, Vol. 22, No. 6, pp. 609-617.
- Kwon, H.J. and Lee, C.E. (2009) Sensitivity analysis for friction coefficient on the estimations of probability of pipe breakage. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 13, No. 6, pp. 453-462.
- Modarres, M. (1999) *Reliability Engineering and Risk Analysis*. Marcel Dekker.

© 논문접수일 : 10년 07월 22일

© 심사의뢰일 : 10년 10월 19일

© 심사완료일 : 10년 10월 06일