

전기전도도 및 토연모델을 이용한 CSOs 유량 및 수질 추정 The Flow and Water Quality Estimation of CSOs Using EC Data and Civil Engineering Research Model

최원석[†] · 정철권* · 남정윤* · 구원석 · 정광수

Wonsuk Choi[†] · Chulkwon Chung* · Jungyeon Nam* · Wonseok Koo · Kwangsu Jung

엔포텍디에스 · *나스텍이엔씨
NATECDS CO., LTD · *Nasstech Engineering Consultants

(2014년 2월 7일 접수, 2014년 2월 24일 채택)

Abstract : In this study, monitoring method which is more economic and easier in maintenance comparing to existing monitoring system was scrutinized for application to sewer intercepting chamber of 10.2 ha basin area by estimating CSOs (Combined Sewer Overflows) quantity and quality with 2 rainfall events using electrical conductivity data and civil research model. The result showed that determination coefficient of flow estimation by EC (Electrical Conductivity) dilution ratio and observed data was over 0.86 for all cases and the accuracy of estimation was improved from 0.5 to 0.8 for determination coefficient (R^2) and from 54.1% to 68.5% for accumulation frequency of relative error by considering antecedent dry days and rainfall duration. CSOs water quality estimation results by civil research model showed that determination coefficients were 0.64-0.97 for BOD and 0.70-0.95 for SS.

Key Words : Combined Sewer Overflows (CSOs), Monitoring Method, Electrical Conductivity (EC), First Flush Effect

요약 : 본 연구에서는 기존 CSOs (Combined Sewer Overflows) 모니터링에 비해 비용효과적이며 유지관리가 용이한 모니터링 시스템 구축의 적용성 검토를 위해 10.2 ha 규모의 배수면적이 포함된 우수토실에서 2회의 강우이벤트에 대해 전기전도도 데이터 및 토연모델을 이용하여 CSOs 유량 및 수질을 예측하였다. 강우이벤트별 전기전도도 희석률에 의한 유량예측결과 실측값과의 결정계수(R^2)는 모두 0.86 이상으로 나타났으며, 다양한 강우이벤트에 적용이 가능한 예측식 산정을 위해 선행건기일 수 및 강우지속기간 2가지를 추가 매개변수로 고려하여 회귀식을 보정한 후 적용한 결과 전기전도도 희석률만을 고려한 결과에 비해 R^2 는 0.50에서 0.80, 오차범위 40% 이내에 포함된 상대오차 누적빈도는 54.1%에서 68.5%로 예측값의 정확도가 개선되었다. CSOs 수질은 별도의 입력자료 없이 매개변수의 보정만으로 예측값 산정이 가능한 토연모델을 적용한 결과 강우이벤트별 실측값과의 R^2 는 BOD 0.64-0.97, SS 0.70-0.95의 범위를 나타내었다.

주제어 : 합류식하수도월류수, 모니터링 기법, 전기전도도, 초기세척효과

1. 서론

국내 하수도는 과거 급격한 도시의 팽창과 효율성의 추구로 건설 및 유지관리가 쉬운 합류식 하수도시스템으로 발전하였는데, 최근 들어 불투수층 증가로 강우 유달시간이 짧아지고 유출물이 증가하여 도심내 하천으로 유입되는 CSOs 오염부하 영향이 가중되고 있다.¹⁾

특히, 우리나라 특·광역시에는 하수도 보급률이 100%에 달하고 있으며,²⁾ 생활수준향상으로 인하여 하천의 기능에 대한 국민인식이 고조되면서 수질관리의 중요성이 더욱 강조되고 있다.³⁾

따라서 정부는 4대강 비점오염원관리 종합대책 등을 통하여 CSOs 제어를 위한 기준 및 지침을 정비하고 2015년까지 CSOs 및 SSOs (Separated sewer overflows) 관리를 위해 2,811억원을 투자할 계획을 가지고 있으며,⁴⁾ 2010년 수질 및 수생태 환경기준에 포함된 하천의 생활환경기준에는 pH, BOD, SS, DO, 대장균군의 기존 항목에 COD와 TP 항목이 추가되는 등 수질관리를 강화하고 있다.⁵⁾

효과적인 CSOs 제어를 위해서는 모니터링을 통한 실질적

인 유출특성에 대한 조사가 선행되어 강우 및 지역특성에 따라 변화가 심한 CSOs에 대하여 적절한 해석기술을 이용하여 발생현상을 규명해야 하며, 최근 유역관리를 위한 수질오염총량관리제의 합리적인 시행을 위해서도 모니터링사업은 유역환경을 대표할 수 있는 지류하천을 선정하여 지속적으로 수행하여야 하며, 또한 10월부터 익년 6월까지 30회 이상 의무적으로 측정하고, 그 결과를 기준으로 목표수질 및 수질개선유역의 선정 및 평가에 활용되어야 한다고 보고되었다.⁶⁾

그러나 우수토실이 산재되어 있는 국내의 경우 CSOs에 대한 모니터링 사업은 조사기간, 조사 개소수, 소요비용 및 계측기 유지관리의 한계로 인해 현실적으로 제약이 많아 일회성 분석에 의한 경우가 대부분이며, 일본의 경우에도 합류식 지역의 배출기준인 BOD 40 mg/L는 유역단위에서 발생하는 오염부하 총량을 방류수 총량으로 나누어 산정하도록 규정한 것으로 계측값 뿐 아니라 추계한 경우의 데이터가 포함되는데, 이는 CSOs 모니터링의 한계점을 직·간접적으로 시사하고 있는 것으로 볼 수 있다.⁷⁾

따라서 본 연구에서는 고비용이 요구되는 기존 모니터링

[†] Corresponding author E-mail: wschoi@ntds.co.kr Tel: 031-423-2973 Fax: 031-423-2974

에 비해 경제적이고 유지관리가 용이하면서도 신뢰성 있는 데이터의 구축이 가능한 CSOs 모니터링 방안으로 전기전도도 데이터와 토연모형을 이용한 CSOs 유량 및 수질예측에 대해서 그 적용성을 검토하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 계측기 및 모니터링 지점 선정

모니터링을 위한 계측기로 유량계는 PCM3 모델인 이동식 초음파 유량계를 사용하였으며, 전기전도도 계측기는 유도전류방식에 의해 전도도를 측정하는 Jumo CTI-500 모델을 각각 설치후 연속측정하여 모니터링을 실시하였다.

조사지점은 면적, 하수량, 인구밀도, 토지이용도, 유출계수 등을 종합적으로 분석하여 주거 및 상업지역이 고르게 분포된 지점을 선정하였으며, 모니터링을 통한 계측데이터 획득의 안정성 및 현장조사시 접근의 용이성 등을 우선적으로



Fig. 1. Portable flow meter and Electrical conductivity meter.

고려하였다.

본 연구에서는 이러한 검토과정을 거쳐 경기도 A시내 10.2 ha의 배수면적을 포함하고 있는 우수토실을 선정하였으며, 토지이용도 및 관거현황은 Table 1과 같다.

2.2. 유량 및 수질 모니터링 방법

CSOs의 유량 및 수질예측을 위한 모니터링 기간은 2013년 10월 23일~12월 20일까지 약 2개월 동안 실시하였으며, 본 연구를 통해 측정된 데이터의 분석을 위하여 필요한 강우데이터는 기상청 관측소중 측정지역에서 가장 근접한 지역별 상세 관측 강우자료(AWS)를 활용하였다.

유량 및 전기전도도는 3일 이상 선행건기의 영향을 고려하여 5분 간격으로 연속측정된 계측기의 모니터링 자료를 사용하였으며, 강우시 수질 조사는 모니터링 기간동안 발생한 2회의 강우이벤트에 대하여 월류가 발생한 시점부터 5~10분 간격, 월류 종료 후 20~30분 간격으로 채수하여 초기세척효과를 확인할 수 있도록 현장에서 조정하였다. 채수한 시료는 수질오염공정시험법 기준에 준하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유량 및 수질 모니터링 결과

3.1.1. 건기시 유량 및 전기전도도 현황

대상지점의 건기시 유량 및 전기전도도 패턴분석은 5분 간격으로 연속측정된 모니터링 자료를 토대로 3일 이상의

Table 1. The outline of monitoring site

Drainage area (ha)		10,2	
Land use (%)	Residence	25	
	Park	33	
	Commerce	15	
	Road	14	
	Etc	13	
Conduit use	Combined sewer	3,0 × 2,0 m	
	Intercepting sewer	D 300 mm	

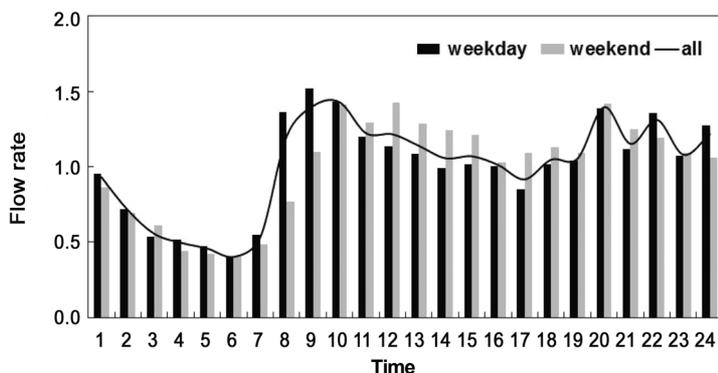


Fig. 2. Flow rate pattern of dry weather.

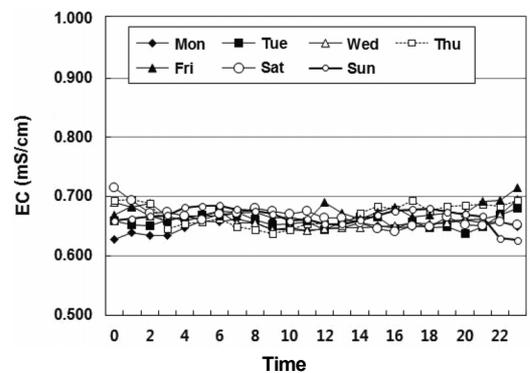


Fig. 3. EC pattern of dry weather.

선행건기의 영향을 고려하여 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2 및 3과 같다.

건기시 유량의 경우 전체 일평균 건기유량(130.0 m³/hr) 대비 시간대별 유량변동비는 0.40~1.43으로 새벽시간대에 유량이 감소하고 오전 8시와 오후 8시경에 물사용량의 증가로 하수량이 증가하는 전형적인 도시구역의 유량패턴을 나타내고 있으며, 요일별로는 주말의 경우 평일에 비해 오전시간대의 유량비가 높게 나타났는데 이는 생활패턴의 변화에 의한 해당시간대의 물사용량 증가에 기인한 것으로 판단된다.

건기시 전기전도도 패턴분석은 향후 CSOs 유량예측시 강우 대응시간에 대한 건기시 전기전도도 데이터 적용을 위하여 요일 및 시간대별로 분류하여 수행하였으며, 그 결과 일평균 전기전도도는 0.650~0.673 ms/cm 범위로 시간대별로 특별한 경향 없이 유사한 범위를 나타내었다.

건기시 전기전도도의 경우 동일지점에서도 요일 및 시간에 따라 미세한 차이가 발생하는 것은 해당지점의 생활패턴에 따른 하수발생 특성에 관련된 것으로 전기전도도 계측기의 경우 해당수질성상이 유지류를 비롯한 이물질이 많이 포함하고 있는 조건에서도 계측오류의 가능성이 적기 때문에 상기의 결과와 같이 향후 CSOs 유량예측시 정확도 향상을 위해 필요한 안정적인 건기시 전기전도도 패턴구축이 가능한 것으로 판단된다.

3.1.2. 강우시 CSOs 유량 및 수질 현황

모니터링 기간 동안 CSOs가 발생한 2회의 강우이벤트에 대해서 실시한 그 결과는 Table 2 및 Fig. 4와 같다.

BOD, SS 항목에 대한 강우이벤트별 CSOs 모니터링 결과 유량가중평균농도(EMC)의 경우 한국환경공단에서 실시한 도시지역 CSOs 연구⁸⁾와 비교한 결과, BOD의 경우 276.1~417.9 mg/L로 높게 나타났으며, SS의 경우 384.1~530.0 mg/L로 유사한 범위를 나타내었다.

강우 이벤트별 유량가중평균농도(Event mean concentration, EMC)는 상대적으로 선행건기일수가 길고 강우강도가 큰 1차 강우이벤트가 더 큰 초기세척효과로 2차 강우이벤트에 비해 높게 나타났으며, 단위면적당 강우량에 대한 오염 부하원단위의 경우 2차 강우이벤트의 유량가중평균농도가 낮음에도 불구하고 상대적으로 긴 강우지속기간으로 월류량이 많아 1차 강우이벤트에 비해 높게 나타난 것으로 판단된다.

3.2. 강우이벤트별 전기전도도 희석률 및 회귀식 산정에 의한 유량예측

전기전도도를 이용한 유량예측은 요일별 시간별로 구축한 건기시 전기전도도 패턴에 강우시의 시간적 변화에 의한 희

Table 2. Flow rate and water quality of rainfall period

Rainfall event	Rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Preceding dry period days (days)	Discharge (m ³)	Maximum concentration (mg/L)		EMC (mg/L)		Basic unit (kg/mm/ha)	
					BOD ₅	SS	BOD ₅	SS	BOD ₅	SS
1. (2013. 10. 29)	3.5	3.5	13	202.15	700.5	933.3	417.9	530.0	3,199	4,306
2. (2013. 11. 02)	6.5	1.3	3	671.21	552.0	857.0	276.1	384.1	3,379	4,806

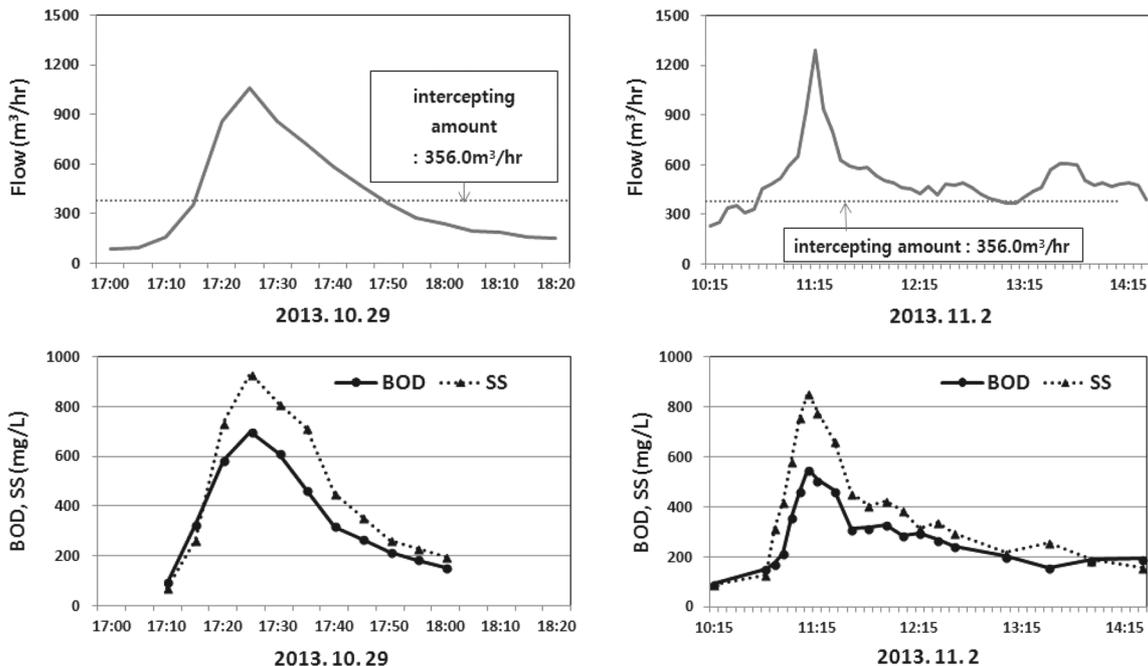


Fig. 4. Flow rate and water quality of each rainfall period.

석물을 파악한 후 희석률과 유량과의 회귀식 산정을 통해 유량을 예측하는 방안으로 강우이벤트에 따른 유량예측결과는 Table 3 및 Fig. 5와 같다.

2회의 강우이벤트에 대해서 건기시 전기전도도 패턴과 전기전도도희석률에 의한 회귀식 산정후 CSOs 유량을 예측한 결과 강우이벤트별 유량회귀식의 2차 다항식 결정계수 (R^2)값은 모두 0.86 이상으로 상관성이 높아 시계열적으로 유량 실측값과 예측값이 유사하게 나타났으며, 예측값의 정확도 검증을 위한 오차범위 40% 이내의 상대오차 누적빈도도 77.6~83.5%로 양호한 수준을 나타내었다.

강우에 포함된 전기전도도는 지역마다 차이가 있으나 주로 20~30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위로⁹⁾ 하수에 비하여 매우 낮기 때문에 강우에 의한 희석효과를 이용하여 전기전도도 데이터로 CSOs 유량을 예측하는 것이 가능한 것으로 확인되었다. 다만, 동

일지점의 서로 다른 강우이벤트에 대해서 전기전도도 희석률만을 고려하여 산정한 유량회귀식을 범용적으로 적용할 경우 상관성도 낮아지고 예측유량값의 정확도도 떨어지게 되는 문제가 발생할 것으로 판단된다.

3.3. 추가매개변수를 고려한 유량회귀식 보정

3.2에서 각각의 독립강우이벤트에 대해서 전기전도도 희석률에 의한 CSOs 유량예측결과 실측값과 유사한 경향을 나타내었으나, 동일지점의 서로 다른 강우이벤트에 대해서도 유사하게 유량을 예측하기 위한 범용 예측식의 유도를 위해서는 강우특성이 추가적으로 고려된 예측식의 보정이 필요하였다.

이 등¹⁰⁾은 차집용량을 결정하는 방안으로 초기세척효과에 영향을 주는 변수로 강우강도, 강우지속기간, 선행강우일

Table 3. The CSOs flow rate estimation equation result for each rainfall event

Rainfall event			Discharge regression equation (Q : discharge (m ³ /hr), (X : ECdry/ECwet)	R-squared (R ²)	Relative error cumulative frequency less than 40% error range ($ Q_{est} - Q_{obs} /Q_{obs}$)
Date	Time	Rainfall			
10/29	1	3.5	$Q = 76.886X^2 - 95.472X + 108.09$	0.8629	77.6%
11/2	5	6.5	$Q = -68.47X^2 + 734.41X - 507.6$	0.8621	83.5%

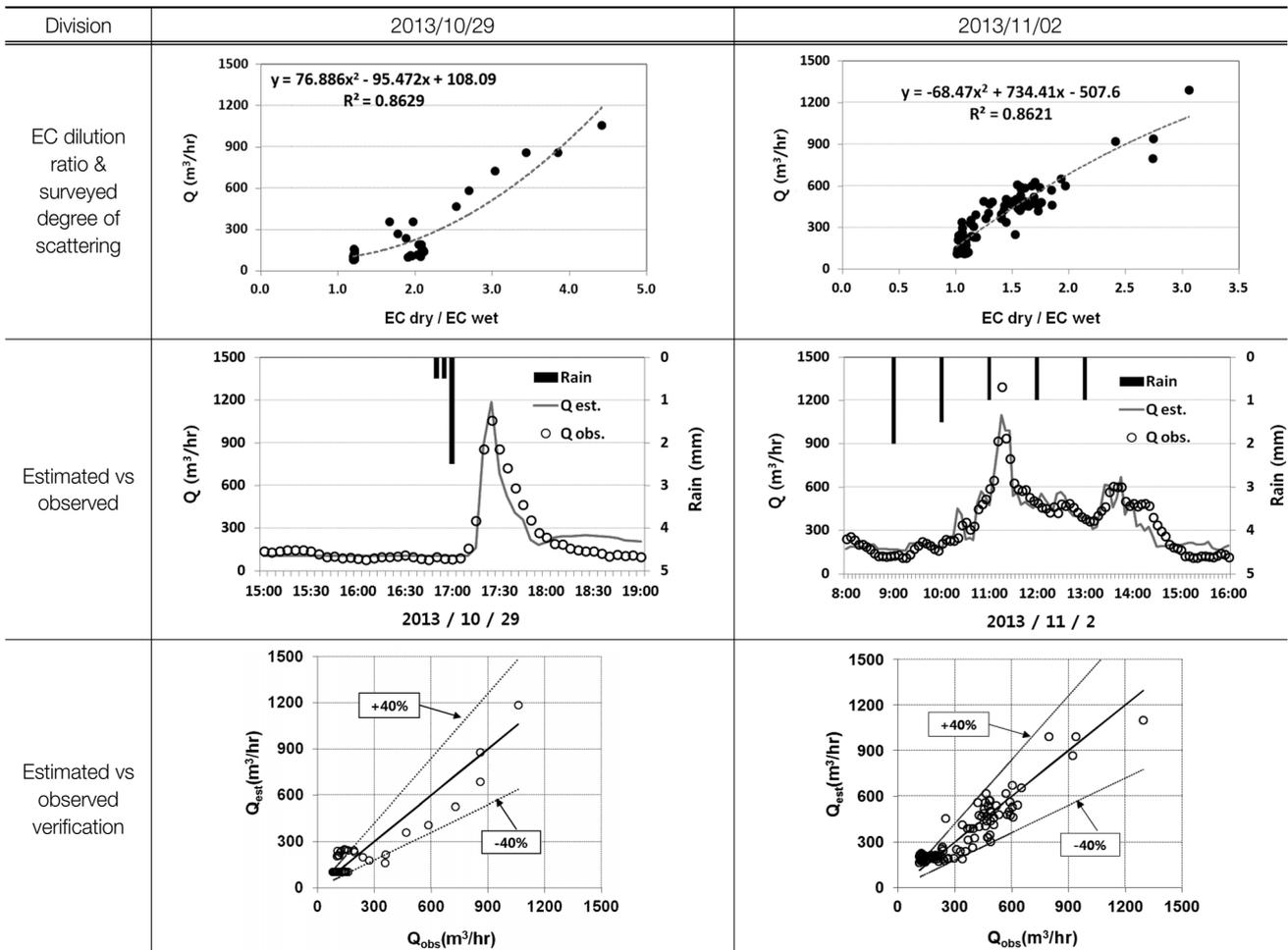


Fig. 5. The CSOs flow estimation result by each rainfall event estimation.

수를 고려하였으며, 최 등¹¹⁾은 강우시 발생하는 CSOs 오염 부하는 다양한 강우강도 및 선행건기일수의 영향을 받게 된다고 하였다.

본 연구에서도 다양한 강우이벤트에 범용적으로 적용이 가능한 유량 예측식의 보정을 위해 기존의 전기전도도 희석률만을 고려한 2차 다항식에서 선행건기일수와 강우지속시간 2가지를 추가매개변수로 고려하여 유량예측식을 보완한 후 적용성을 검토하였으며, 예측식 보완 전과 후 유량예측 결과는 Table 4 및 Fig. 6과 같다.

Fig. 6과 같이 강우특성(선행건기일수, 강우지속시간)을 추가매개변수로 고려한 경우와 전기전도도 희석률만을 가지고 전체강우이벤트에 대해서 CSOs 유량을 예측한 결과 예측값과 실측값 사이의 결정계수(R²)는 0.50에서 0.80, 오차범위 40% 이내에 포함된 상대오차 누적빈도는 54.1%에서 68.5%로 실측값과 예측값의 상관성 및 정확도가 더 높아진 것으로 확인되었다.

상기의 연구결과, 전기전도도 희석률에 의한 산정된 회귀식에 추가 매개변수를 고려한 예측식의 보정을 통하여 CSOs 유량을 예측하는 방안은 기존 모니터링 방식에 비하여 유지관리성 및 경제성이 우수한 방안이 될 수 있을 것으로 판

단되었다. 또한 보다 정확한 유량예측을 위해서는 모니터링 기간이 장기간 지속될 경우 기 구축된 건기시 전기전도도 패턴의 지속적인 보완과 더불어 본 연구에서 적용한 매개변수인 선행건기일수와 강우지속시간 외 유량예측값의 정확도를 향상시킬 수 있는 인자에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

3.4. 토연모형을 이용한 CSOs 수질예측

CSOs 수질예측을 위하여 사용한 토연모형은 일본 건설성 토목연구소에서 개발하였으며, 강우시 발생하는 유출부하량을 크게 관로내 유출과 지표면 유출로 구분하여 표현하는 것으로 지표의 잔존부하량은 선행강우조건에 따라 변화하고 유효강우강도 및 우수유입량에 비례하는 것으로 가정한다.

토연모형의 기본 방정식은 Table 5와 같으며, 사용자가 기본매개변수의 보정만으로 초기세척효과와 같은 수질특성의 모의가 가능하여 본 연구에서 그 적용성을 검토하였다.

Table 5의 토연모형 기본방정식 매개변수 가운데 수질예측을 위해 시행착오법을 통한 매개변수 결정계수는 C(부하유출계수), P(퇴적부하계수), M(유량계수) 3가지이며 강우이벤트별 BOD, SS 수질항목에 대해서 토연모형 적용을 통한

Table 4. The Derived CSOs flow equation in view of ADWP and rainfall duration

$Q = aX^2 + bX + c + dY + eZ$					R-squared (R ²)	Relative error cumulative frequency less than 40% error range ($ Q_{est} - Q_{obs} /Q_{obs}$)
a	b	c	d	e		
Q : Flow predicted values (m ³ /hr), X : ECdry/ECwet Y : Preceding dry period (day), Z : Rainfall continuous hour (min) a, b, c, d, e : coefficient					Uncorrected regression	Regression after correction
-2.75	345.45	-75.01	-22.84	0.49	0.5004	0.7985
					Uncorrected regression	Regression after correction
					54.1%	68.5%

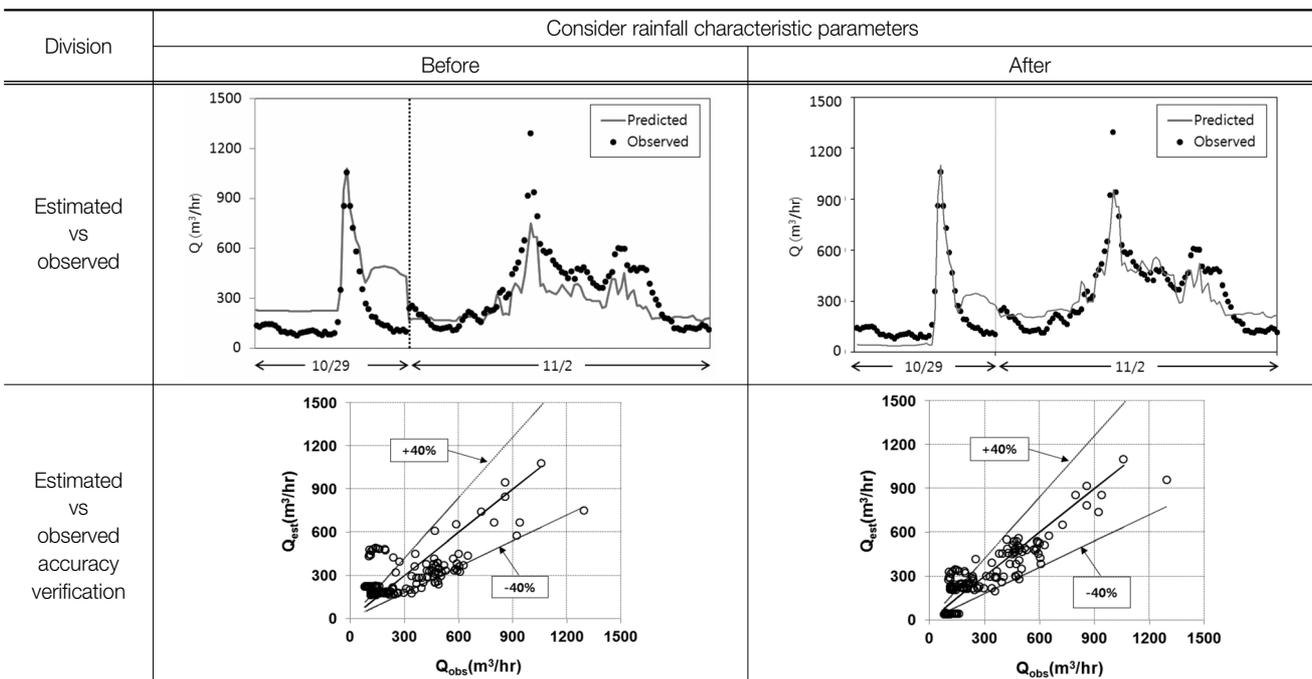


Fig. 6. The CSOs flow estimation result by revised integrated equation.

Table 5. The CSOs water quality equation of civil engineering research model

$$\frac{dP}{dt} = DWL - C \cdot P \cdot Q^m \quad (1)$$

$$L = C \cdot P \cdot Q^m \quad (2)$$

L : load (g/s)
 C : load coefficient
 P : sedimentation load coefficient
 Q : rainfall (m³/s)
 m : rainfall coefficient
 DWL : load of dry weather

수질예측결과는 Table 6 및 Fig. 7과 같다.

Fig. 7과 같이 토연모델을 통한 수질예측결과 기본매개변수의 보정만으로 실측값과 시계열적으로 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났으며, 수질항목별 실측값과 예측값의 결정계수(R²)는 BOD 0.64~0.97, SS 0.70~0.95의 범위를 나타내었다.

토연모델을 이용한 CSOs 수질예측방안은 현재 국내에서

Table 6. The parameter computation result for CSOs water quality estimation

Rainfall event Date	Time	Rainfall	Water quality item	Parameter computation result				R-squared (R ²)
				DWL (g/s)	C	P	M	
10/29	1	3.5	BOD	3,791	0,004	1,7	1,90	0,9661
			SS	3,229	0,0065	1,9	2,00	0,9494
11/2	5	6.5	BOD	3,791	0,0045	1,6	2,20	0,6424
			SS	3,229	0,005	1,9	2,05	0,6968

많이 사용되고 있는 SWMM (Storm Water Management Model)과 같은 하수관거유출 모형의 원리와 유사하나 별도의 유역특성 및 배수관망자료를 구축하는 사전작업 없이도 충분한 정도의 예측값 산정이 가능하기 때문에 전기전도도를 이용한 CSOs 모니터링 구축시 수질예측방안으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

단, 토연모델에 의한 수질예측값의 경우 강우특성에 따라 재현성이 높지 않을 수 있기 때문에 향후 장기간 모니터링을 통한 추가적인 연구를 통해 각각의 강우특성별로 산정된 여러 예측식 가운데 후속 강우시 그와 가장 유사한 강우 이벤트에 대해서 도출된 매개변수를 적용하여 오차범위를 최소화하는 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 전기전도도 모니터링 및 토연모델을 이용한 CSOs 유량 및 수질예측 적용성 검토를 통하여 기존 모니터링에 비하여 비용 효과적이며 유지관리가 용이한 국내 우수토실 현황에 맞는 CSOs 모니터링 구축방안에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

1) CSOs 모니터링을 위한 현장조사 결과 건기시 유량 변동비는 건기유량(130.0 m³/hr)대비 0.40~1.43, 전기전도도는 0.650~0.673 ms/cm 범위로 나타났으며, CSOs가 발생한 2회의 강우이벤트에 대한 수질항목별 EMC 농도는 BOD 276.1~417.9 mg/L, SS 384.1~530.0 mg/L의 범위로 나타났다.

2) 전기전도도 희석률에 의한 희귀식 산정 후 강우이벤트별 CSOs 유량예측결과 2차 다항식 결정계수(R²)값은 모두

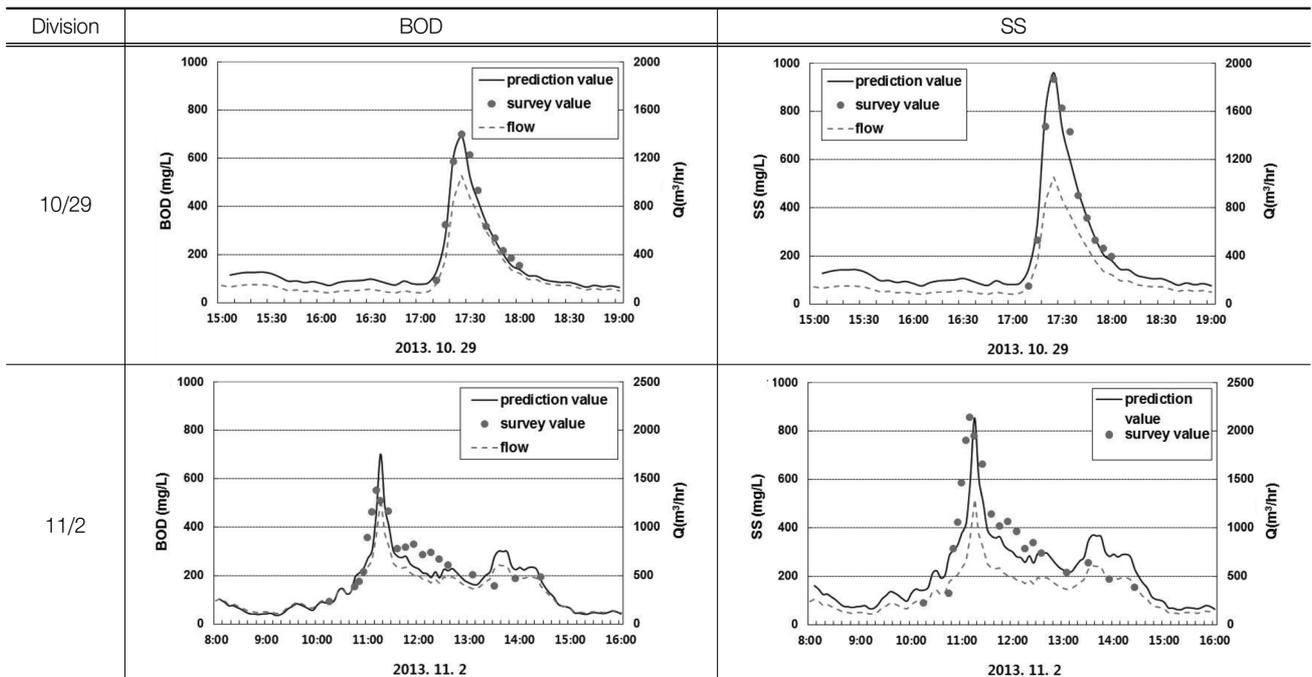


Fig. 7. The CSOs water quality estimation result by civil engineering research model.

0.86 이상으로 상관성이 높게 나타났으며, 유량 실측값과의 40% 이내 상대오차 누적빈도는 77.6~83.5%의 범위를 나타내었다.

3) 동일지점의 다양한 강우이벤트에 대해서도 범용적으로 적용이 가능한 예측식의 산정을 위하여 2가지매개변수(선형 건기일수, 강우지속기간)를 추가로 고려하여 회귀식을 보정한 후 적용한 결과 실측값과의 결정계수(R^2)는 0.50에서 0.80, 40% 이내 상대오차 누적빈도는 54.1%에서 68.5%로 상관성 및 정확도가 더 높아진 것으로 확인되었다.

4) CSOs 수질예측을 위해 시행착오법을 통한 기본매개변수의 보정만으로 예측값의 산정이 가능한 토연모형을 적용한 결과 강우이벤트별 결정계수(R^2)는 BOD 0.64~0.97, SS 0.70~0.95의 범위 값을 보여 초기세척효과가 포함된 실측값과 시계열적으로 유사한 경향을 나타내었다.

5) 향후 본 연구에서 적용한 CSOs 유량 및 수질예측기법을 차집제어시스템과 연계하여 실시간으로 예측된 CSOs 유량 및 수질데이터를 활용하면 강우특성에 따른 신속한 대응으로 효과적인 CSOs 오염부하의 감소가 가능할 것으로 판단된다.

KSEE

Reference

1. Kim, S. W., "Runoff Characteristics of Combined Sewer Overflows (CSOs) in Urban area during rainfall," Kyungpook National University graduate school master's thesis(2012).
2. The Ministry of the environment, Sewer statistics(2012).
3. Richard, F. and Daniel, S., "Overview of EPA's wet-weather flow research program," *Urban Water*, **3**, 165~169(2001).
4. The Ministry of the environment, "Combined sewer feasibility study wolryusu pollution load reduction in installation services," summary report(2007).
5. The Ministry of the environment, Reuse of treated sewage Guidebook(2009).
6. Kim, Y. G., Lee, S. G., Kim, H. S. and Jung, U. Y., "Reasonable Implementation of Total Water Pollution Management for Watershed Management," in Proceedings of the annual meeting of KSWE·KSWW, pp. 173~174(2011).
7. Japanese MILT, "Combined sewer discharge rain water testing for water quality standards manual," report(2004).
8. KECO, "Estimated Pollution Loads from Combined Sewer Overflows (CSOs) and Stormwater Runoff in Urban Areas," report(2004).
9. Lee, J. S., Kim, B. Y., Kim, J. H. and Hong, S. G., "Chemical Composition of Rainwater in Suwon and Ansong Area," *J. Kor. Soc. Environ. Agric.*, **18**(2), 169~173(1999).
10. Lee, D. J., Kim, J. H., Woo, H. M. and Ahn, H. W., "Determination of intercepting volume using pollution Load mass balance in combined sewer system-," *Kor. Soc. Water Waste.*, **19**(5), 547~556 (2005).
11. Choi, S. H., Choi, S. C., Kim, B. G. and Lim, J. M., "Analysis of Storm Water Run-off Characteristics to Evaluate the Intercepted Volume of CSOs during Wet Weather," *Kor. Soc. Water Waste.*, **18**(3), 320~330(2004).
12. Nissui Co., "CSOs monitoring using electrical conductivity," Internal Knowledge Base, II-7~II-18(2010).