

오염부하량을 고려한 월류수 처리시설 규모 결정

김중훈¹, 유도근¹, 이의훈^{1*}
¹고려대학교 건축사회환경공학부

Determination of CSOs Treatment Capacity considering the Pollution Load

Kim, Joong Hoon¹, Yoo, Do Geun¹ and Lee, Eui Hoon^{1*}

¹School of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, Korea University

요약 도시배수시스템에서는 초기유출수(first flush)에 의한 하천오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이는 강우발생시 강우에 의해 도시지역의 비점오염원들에 의해서 오염물이 하수관거로 유입되고 한정된 하수처리장의 용량으로는 제대로 처리하지 못하는 월류수에 의해 하천의 수질이 악화되기 때문이다. 대상유역으로 선정된 경기도 구리시 돌다리분구는 합류식 관거로 이루어져 있어 우기시 강우에 의한 월류가 발생할 확률이 높다. 월류에 의해 인근 왕숙천의 수질오염이 가중될 우려가 있어 적절한 처리시설의 설치가 필요하였다. 기존의 CSOs 설계에서는 강우의 최대치를 이용하여 설계가 연구되었다. 그러나, 강우의 최대치를 이용한 설계는 시설의 과다계획으로 이어져 많은 예산낭비를 초래할 수 있으며, 처리시설의 적정규모를 산정하지 못한다. 본 연구에서는 강우특성을 분석하여 매개변수들을 산정하고 이에 따른 유출분석을 실시하였다. 또한 위험도를 고려한 강우-유출분석을 이용하여 유출량을 계산하였다. 유출량을 포함한 유출특성에 의해 월류특성을 분석하였다. 왕숙천 BOD 오염농도를 기준으로 설계하기 위해 하수처리장 용량별 처리시설 요구효율을 산정하였으며 현재 하수처리장의 하수처리를 고려하여 간이 CSOs 처리시설의 효율을 71.48%로 하여 설계하였다.

Abstract Many researches has been conducted as extreme rainfall in hydrology and extreme rainfall analysis is not proper for determination of CSOs treatment capacity. In this study, runoff is calculated by tranformation from rainfall to runoff according to Interevent Time Definition. The capacity of sewage treatment plant is designed by 3 times of DWF(Dry Weather Flow) and the efficiency of present sewage treatment plant is very low becauseat at present. Also, The sewage treatment plant can not control CSOs. In this research, the pollution load is calculated by EMC(Event Mean Concentration) and pollution concetration of total runoff is a standard deciding suitability of present sewage treatment plant. Finally, CSOs treatment capacity is determinated considering pollution load.

Key Words : Combined Sewer Overflows, Non-point Source Pollution, Event Mean Concentration

1. 서론

도시지역 내 수질오염의 주된 요인으로 문제가 되고 있는 초기우수에 의한 비점오염원 관리를 위한 CSOs 처리시설의 설계에서 강우에 의한 비점오염원의 총량을 산정하는 것은 쉬운 일이 아니다.

우천시 하수처리장의 유입유량 및 수질 변화폭이 커

져서 수질관리가 어려우며 강우로 인한 유출량에 대한 지역강우 및 유출특성이 고려되지 못하여 처리시설의 적정규모 산정이 되지 못하고 있다. 또한, 일부 강우-유출을 고려하는 경우에도 강우의 연속성에 대한 확률적 분석보다는 최대치에 대한 분석에 국한하여 시설의 과다계획으로 인한 예산낭비가 되고 있다. 하지만, 비점오염원을 유발하는 강우를 분석하고 이에 따른 유출특성에 대

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Lee, Eui Hoon(Korea Univ.)

Tel: +82-2-3290-4724 email: hydrohydro@naver.com

Received April 18, 2014

Revised (1st May 2, 2014, 2nd May 7, 2014)

Accepted May 8, 2014

한 연구는 미흡한 실정이다. 현재 하수처리장 설계는 강우의 최대치만을 분석하여 처리효율의 저하를 보이고 있으며 이에 따른 문제점을 극복하는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 해석적 확률모형의 이론 및 강우-손실-유출 관계에 대하여 기술하고 수질분석을 위해 도입한 EMC(Event Mean Concentration)개념에 대해 기술하였다. 월류수 처리시설의 설계에서는 위험도를 고려한 강우-유출 모의에 의한 Stochastic 방법을 적용하였으며, 기존 혹은 가정된 유출량의 수질관리를 위한 처리시설에 대하여 비 초과확률로 정의되는 유출저류곡선을 산정하기 위하여 점 강우-유출분석을 수행하였다. 마지막으로 적용 및 결과분석에서는 대상지역인 구리시 돌다리분구의 특성을 파악하고 연속강우를 독립강우로 분리시키기 위한 IETD를 결정하여 분석하였다. 강우를 유출로 변환시킨 후 오염 부하량을 산정하기 위한 EMC를 적용하였다.

2. 강우-유출 모형

2.1 연속확률분포

본 연구에서의 강우-유출 모형은 도시배수시스템의 분석적 확률모형과 관련된 확률이론이다. 기존에 도시하천유역의 비점오염원 유출특성분석에 대한 연구 등이 있었다. [1] 비점오염원의 발생량을 산정하고 이에 따른 유출특성을 분석하기 위해서는 강우사상의 양상을 파악하고 이에 따른 유출특성을 분석하는 것이 가장 중요하다. 연속강우를 IETD(Inter Event Time Definition)에 따라 표준강우사상으로 분리하면 비점오염원의 총량을 구하기 위한 표준강우사상의 강우특성에 대한 산정이 가능하다. 연속 강우사상의 통계특성은 지수함수를 따른다는 것은 많은 연구들에 의해 검증되었다. [2] 강우사상의 통계특성들은 연속적인 성격을 띠며 이에 따라 연속 확률분포의 변수로써 표현할 수 있다[3].

2.2 결합 확률밀도함수

지수형태를 가지고 있는 확률밀도함수에 나타난 여러 가지의 강우사상의 통계 특성들은 유출특성으로 이어질 수 있으며 결합 확률밀도함수(Joint Probability Density Function)의 개념을 적용하여 분석된통계 특성들 간의 상관관계를 나타낼 수 있다. 결합 확률밀도함수는 두 개

혹은 그 이상의 변수들의 결합 확률을 나타내는 확률분포를 의미한다.

2.3 확률분포의 유도

본 연구에서는 해석적인 확률모형을 이용하여 강우-유출모형에 적용하였다. 강우량에서 유출량으로의 변환은 STORM에서 사용된 간단한 선형적인 모형을 적용하였다. [4] 다만 강우-유출 변환함수에서 반드시 고려되어야만 하는 초기손실우량이나 지면저류량을 계산하기 위해서는 Impulse Probability의 개념을 필요하다.

2.4 Impulse Probability

강우에 따른 유출을 1대1 변환을 통하여 확인하면 연속적인 확률분포의 개념이 사용되고 있으나, 실제로는 연속적인 부분과 불연속적인 부분으로 구성되어 있다. 연속적인 변수와 불연속적인 변수는 함수적 관계를 가지고 있으며 이는 Impulse function의 개념으로 설명이 가능하다[5].

강우-유출의 1대1 변환함수 내에서 불연속적인 부분이 포함되더라도 Impulse function의 개념으로 적용하면 쉽게 나타낼 수 있다. 함수내에 존재하는 불연속적인 부분을 고려하여 초기손실량 및 지면저류량을 정확히 설명할 수 있다.

3. 도시배수시스템의 구성

3.1 강우 입력자료

하수처리장을 포함한 도시배수시스템에서 결정된 무강우시간을 바탕으로 표준강우사상을 분리할 수 있으며 각각의 분리된 강우사상별로 통계적인 분석을 가능하게 한다. 또한 이는 강우-유출의 1대1 변환을 통해 유출사상의 특성에 대한 분석으로 연결된다.

3.2 도시배수시스템의 가정

앞에서 설명된 수문학적 모델을 바탕으로 하여 screening-level 분석이 연구되었으며 이를 바탕으로 간략화된 가정들에 대해 명확히 이해하는 것은 강우에 따른 유출특성을 분석하는데 있어서 중요하다.

[Table 1] PDFs of rainfall characteristics

Rainfall Characteristics	Exponential PDF	Variables	Applicable Range
Volume, v (mm)	$f_V(v) = \zeta e^{-\zeta v}$	$\zeta = 1/\bar{v}$	$0 \leq v \leq \infty$
Duration, t (h)	$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$\lambda = 1/\bar{t}$	$0 \leq t \leq \infty$
Average intensity, i (mm/hr)	$f_I(i) = \beta e^{-\beta i}$	$\beta = 1/\bar{i}$	$0 \leq i \leq \infty$
Interevent time, b (h)	$f_B(b) = \Psi e^{-\Psi(b - IETD)}$	$\Psi = 1/(\bar{b} - IETD)$	$IETD \leq b \leq \infty$
Simplified version	$f_B(b) = \Psi e^{-\Psi b}$	$\Psi = 1/\bar{b}$	$0 \leq b \leq \infty$

강우-손실-유출과정은 하수처리장을 포함한 도시배수시스템을 단순화시킴으로써 유출특성 분석에서 계산되는 각각의 매개변수들에 대한 개념을 설명하였다.

강우발생 후 지면저류가 발생하게 되며, 지면저류를 초과하는 강우는 유출계수 ϕ 에 따라 유출로 변환된다.

3.3 위험도를 고려한 유출모형

강우의 제어를 위한 시설들(Storm-water best management practices, BMPs)은 다양한 배수 및 저류시설들을 사용하여 유출 제어과정들을 보완하기 위한 실용적인 해결책을 제시하고 있다. 효과적인 강우수질 제어를 위한 집수시설(Storm-water quality control basin, WQCB)의 설계에 있어서 강우자료의 최대치 계열이 아닌 전체의 강우자료를 다뤄야 하기 때문에 강우수질 제어를 위한 차집량(Storm water quality capture volume, WQCV)의 설계는 중요하다[6].

기존의 도시유역 수문학은 강우자료의 최대치에 중점을 두어 연구되어 왔으며 강우의 홍수-빈도 곡선은 강우의 최대치와 월류위험도의 기초적인 관계를 보여주며 이에 따라 계산된 월류위험도에 의해 홍수조절시설의 설계 용량을 결정한다.

하지만, 강우의 최대치에 기초한 접근은 WQCV 시설을 위한 적절한 용량을 결정함에 있어서 적절치 못하다. 이는 미국의 대도시에서의 연속적인 강우사상을 분석하였을 때, 2년빈도의 강우는 5%미만이고 10년빈도의 강우는 1%미만이었기 때문이다. [7] 물론 이는 강우의 95%이상이 작은 강우사상들에 의해 이루어져 있음을 의미한다. 그러므로, 최대치를 이용하여 사용한 강우분석은 WQCV의 설계에

있어서 적절치 못한 과다설계의 가능성이 있다.

초기강우의 중요성은 강우발생후 초기에 발생하는 초기유출수(first-flush)가 건기에 발생하는 하수에 비하여 10배가 넘는 오염도를 나타낸다는 점에서 찾을 수 있다. 95%이상의 작은 강우사상들의 초기유출수를 제어할 수 있는 WQCB의 크기를 결정하고자 한다. 물론, 작은 강우사상들 뿐만 아니라, 중, 대규모의 강우사상들을 고려하여 설계를 하는데 그 목적이 있다.

본 논문에서는 연속적인 강우-유출 모형뿐만 아니라 Monte Carlo 모의를 사용한 기법을 이용하여 WQCV의 월류위험도를 유도하였다. 전기간치 강우자료를 사용할 때, 장기적인 모의과정을 대체하기 위한 기법에 관한 많은 연구들이 있었다. 이런 연구들에 이어, WQCB 설계를 위한 일반화된 유출 차집곡선(Runoff Capture Curve)과 차집관거 설계를 위한 일반화된 유출 배수곡선(Runoff Delivery Curve)을 설계하고자 한다.

유출 차집곡선의 유도는 전체 강우자료의 일반적인 특성들을 이해하는데서 시작한다. 본 논문에서 매개변수의 일반화를 하여 구한 표준강우사상의 1회 강우량을 사용함으로써 유출 차집곡선과 유출 배수곡선을 지수분포로 나타낼 수 있다. 유출 차집곡선으로부터 WQCB의 월류 위험도를 구할 수 있다.

4. 적용 및 결과

4.1 대상지역 현황

본 논문에서 대상지역으로 선정된 구리시 지역은 분

[Table 2] Water quality standard

grade	1	2	3	4	5	others
BOD (mg/l)	under 1	under 3	under 6	under 8	under 10	over 11

[Table 3] Changes of water quality in Wangsuk stream

water system	stream	section	Applied grade	Average in 2002	Average in 2003	Present grade
Han river	Wangsuk	All	2	19.2	24.2	others

[Table 4] Characteristics of Doldari area in Guri

Basin	Area (ha)	Coefficient of discharge	Landsurface storage (mm)	EMC (mg/ℓ)	Design volume of sewage (m ³ /day)
Doldari	401.75	0.48	5.1	85.3	12789

류식 지역(새말, 딸기원, 간촌, 인창)과 합류식 지역(돌다리, 수택)으로 이루어져 있다. 합류식 지역의 경우 강우시 우수가 유입될 경우 월류수가 발생하므로 인근 왕숙천 유역의 오염이 심해질 우려가 있다. 막대한 예산을 들인 정부의 한강 수계 수질개선 노력에도 불구하고 왕숙천의 수질은 목표수질인 2등급에 크게 못미치고 있다.

위에서 1등급은 정수처리를 통해 식수사용이 가능하고 2, 3등급은 수영이 가능하다. 4, 5등급은 농·공업 용수로 사용이 가능하다. 현재 왕숙천의 수질은 목표수질이 2등급임에도 불구하고 2003년 자료를 보면 24.2 mg/l에 달하고 있다. 왕숙천에서의 수질변화를 Table 3, 구리시 돌다리분구의 유역특성을 Table 4에 나타내었다.

4.2 유출특성 분석

4.2.1 표준강우사상의 강우특성

서울지역 강우자료를 표준강우사상으로 분리하기 위해 1992년, 2004년에 발표된 연구에서 선택한 IETD는 11시간이었다. [8,9] 이를 통해 표준강우사상의 강우특성 값과 확률밀도함수의 적용을 위한 매개변수를 산정하게 되며 산정된 확률밀도함수의 매개변수는 아래의 Table 5와 같다.

4.2.2 대상유역의 유출특성

대상유역의 유출특성은 아래의 Table 6와 같고 손실

량 및 지면지류량은 Table 7와 같다.

[Table 6] Runoff characteristics

classification	characteristics
Average runoff volume (v_r)	12.292 mm/event
Annual average runoff(R)	393.36 mm/yr
Runoff Probability ($Prob[V_r > S_d]$)	84.51 %/event
Annual runoff number (n_r)	27 event/yr

[Table 7] Loss and land surface storage

classification	characteristics
Average loss	18.011 mm/event
Annual average loss	576.34 mm/yr
Average depression storage	4.694 mm/event
Annual depression storage	150.21 mm/yr

4.3 하수처리장 용량 분석

4.3.1 월류특성 분석

기존의 하수처리장의 용량은 건기시 오수량의 3배로 설계되어 있다. 유출량 중 건기시 오수량의 3배가 넘는

[Table 5] Parameters of PDF

Characteristics	Characteristics of rainfall	Parameters of PDF	Variables
Volume	30.172 mm	0.033	ζ
Duration	15.253 hour	0.066	λ
Rain-free time	67.682 hour	0.015	ψ
Intensity	1.978 mm/hr	0.506	β
Annual number of events	32	-	Θ

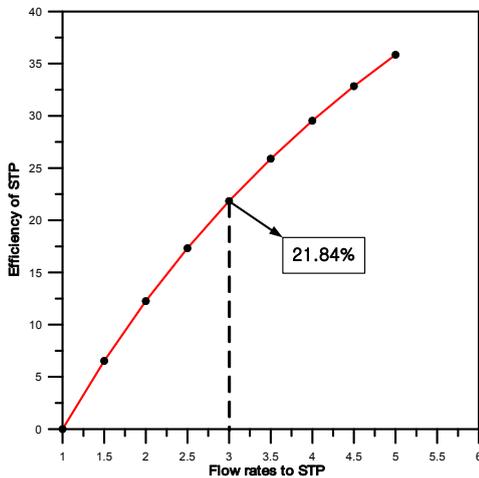
양은 하천으로 방류된다. 이 때의 발생하는 월류의 특성에 대한 분석은 기존 하수처리장의 용량이 적절한지에 대하여 검토할 수 있게 한다. 산정된 결과는 아래의 Table 8과 같다.

[Table 8] Characteristics of Overflow

classification	characteristics
Probability of overflow($G_p(0)$)	0.660
Overflow volume($E[P]$)	9.559 mm/event
Annual average number of event(θ)	32 event/yr
Annual average number of overflow (n_s)	22 event/yr
Annual average number of overflow volume(P_u)	305.90 mm/yr
Annual average pollution load(M_u)	104.76 ton/yr

4.3.2 하수처리장 효율분석

하수처리장의 용량에 따라 유출량 중 일부를 처리할 수 있으며 이에 따라 월류되는 양이 달라지게 된다. 이 때, 하수처리장의 처리효율을 검토할 수 있으며 이는 아래의 Fig. 11과 같다.



[Fig. 11] Efficiency of sewage treatment plant as flow rates

기존의 하수처리장 설계에 따라 건기시 오수량의 3배로 하였을 경우, 약 21.84%의 처리효율을 보여준다.

4.3.3 오염부하량에 따른 수질분석

기존의 유출량 중 하수처리장에 의해 조절되는 양이

있으므로 오염농도는 낮아지게 되지만 왕숙천의 수질을 고려하여야만 한다. 하수처리장 미고려시 수질은 EMC와 같다.

하수처리장으로 차집되는 양이 없다면 오염농도, 즉 BOD(생화학적 산소요구량)는 85.3mg/l가 되며 BOD 오염농도는 아래의 Eq. (1)과 같다.

$$BOD = \frac{\text{Total pollution load}}{\text{Total runoff}} \quad (1)$$

[Table 9] BOD of Wangsuk stream

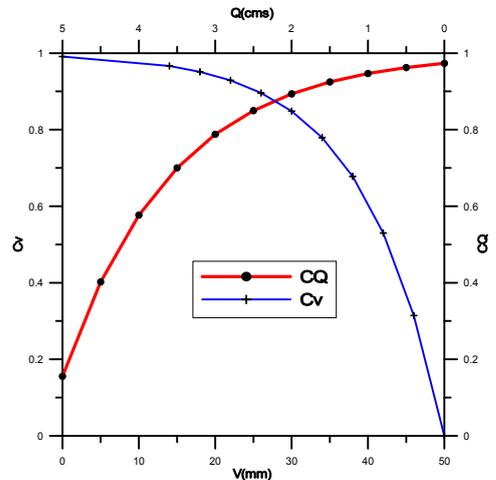
year	2002	2003	Quality of discharge
BOD (mg/l)	19.2	24.2	66.29

위의 Table 9에서 보면 하수처리장의 용량만으로는 왕숙천의 수질을 악화시키는 것을 볼 수 있다. 이에 왕숙천의 수질을 고려한 CSOs 처리시설을 설계하겠다.

4.4 월류수 처리시설 규모 결정

4.4.1 위험도를 고려한 유출분석

위험도를 고려한 유출모형을 적용하여 유출분석을 실시하였다. 유출량 차집률 C_v 는 설계에 따라 0~100%로 분포되며, 유효강우량 V_0 를 구하고 설계강우량 D 를 산정한다. 이에 따라 하천으로의 유출량을 산정하였다. 계산결과는 아래의 Fig. 12와 같다.



[Fig. 12] Discharge analysis considering degree of risk

4.4.2 유출사상당 오염부하량 산정

오염부하량을 산정하기 위해서 하수처리장 용량에 따른 월류량을 산정하였다. 하수처리장 용량별 연평균 월류량은 아래의 Table 10과 같다.

아래의 Table 10에서 산정된 하수처리장 용량별 연평균 월류량에 따라 오염부하량을 계산할 수 있다. 오염부하량은 아래의 Table 11과 같다.

하수처리장의 용량(3×DWF)만으로는 월류수에 의한

하천 수질저하를 막을 수 없으며, 이에 간이 CSOs 처리시설을 설치하여 설계하여야 한다. 간이 CSOs 처리시설의 효율에 따른 분석은 하천 수질을 고려하고자 한다. 처리시설의 효율에 따른 오염부하량을 강우사상별로 분리하여 산정하였으며 산정결과는 아래의 Table 12와 같다.

Table 12와 같은 과정으로 계산한 하수처리장 용량별 오염부하량은 아래의 Table 13과 같다.

[Table 10] Annual average overflow by sewage treatment plant capacity

Discharge	1Q	1.5Q	2Q	2.5Q	3Q	3.5Q	4Q	4.5Q	5Q
Annual average overflow (mm)	391.37	365.82	343.40	323.57	305.90	290.07	275.79	262.85	251.07

[Table 11] Pollution load by sewage treatment plant capacity

Discharge	1Q	1.5Q	2Q	2.5Q	3Q	3.5Q	4Q	4.5Q	5Q
Annual average pollution load (tonnes/year)	134.02	125.27	117.6	110.8	104.76	99.33	94.44	90.01	85.98
pollution load per event (tonnes/event)	6.092	5.694	5.345	5.036	4.762	4.515	4.293	4.091	3.908

[Table 12] Calculation of pollution load considering degree of risk(IQ)

Efficiency	V_0 (mm)	D (mm)	Discharge(m^3/sec)	BOD pollution load per event(tonnes/event)
0.10	0.00	5.10	0.111	5.487
0.20	0.78	6.73	0.236	4.877
0.30	2.72	10.76	0.378	4.267
0.40	4.95	15.41	0.541	3.658
0.50	7.59	20.91	0.734	3.048
0.60	10.82	27.65	0.971	2.439
0.70	14.99	36.33	1.276	1.829
0.80	20.86	48.56	1.705	1.219
0.90	30.90	69.47	2.440	0.610

[Table 13] Calculation of pollution load by sewage treatment plant capacity

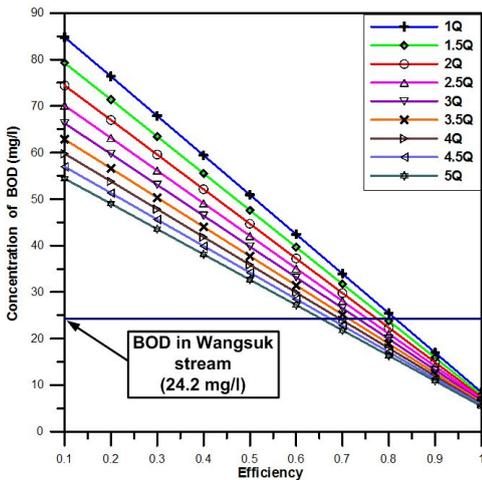
Efficiency	1Q (tonnes /event)	1.5Q (tonnes /event)	2Q (tonnes /event)	2.5Q (tonnes /event)	3Q (tonnes /event)	3.5Q (tonnes /event)	4Q (tonnes /event)	4.5Q (tonnes /event)	5Q (tonnes /event)
0.10	5.487	5.129	4.814	4.536	4.289	4.067	3.866	3.685	3.520
0.20	4.877	4.559	4.279	4.032	3.812	3.615	3.437	3.276	3.129
0.30	4.267	3.989	3.744	3.528	3.336	3.163	3.007	2.866	2.738
0.40	3.658	3.419	3.209	3.024	2.859	2.711	2.578	2.457	2.347
0.50	3.048	2.849	2.675	2.520	2.383	2.259	2.148	2.047	1.956
0.60	2.439	2.279	2.140	2.016	1.906	1.807	1.718	1.638	1.564
0.70	1.829	1.710	1.605	1.512	1.430	1.356	1.289	1.228	1.173
0.80	1.219	1.140	1.070	1.008	0.953	0.904	0.859	0.819	0.782
0.90	0.610	0.570	0.535	0.504	0.477	0.452	0.430	0.409	0.391

[Table 14] Calculation of BOD pollution load by sewage treatment plant capacity

Efficiency	1Q (mg/l)	1.5Q (mg/l)	2Q (mg/l)	2.5Q (mg/l)	3Q (mg/l)	3.5Q (mg/l)	4Q (mg/l)	4.5Q (mg/l)	5Q (mg/l)
0.10	76.382	71.395	67.019	63.149	59.701	56.611	53.824	51.299	49.000
0.20	67.895	63.462	59.572	56.132	53.068	50.321	47.844	45.599	43.556
0.30	59.408	55.529	52.126	49.116	46.434	44.031	41.863	39.899	38.111
0.40	50.921	47.596	44.679	42.099	39.801	37.741	35.883	34.199	32.667
0.50	42.434	39.664	37.233	35.083	33.167	31.450	29.902	28.499	27.222
0.60	33.947	31.731	29.786	28.066	26.534	25.160	23.922	22.800	21.778
0.70	25.461	23.798	22.340	21.050	19.900	18.870	17.941	17.100	16.333
0.80	16.974	15.865	14.893	14.033	13.267	12.580	11.961	11.400	10.889
0.90	8.487	7.933	7.447	7.017	6.633	6.290	5.980	5.700	5.444

4.4.3 처리시설에 의한 수질분석

위에서 산정한 과정과 동일하게 수질을 분석하였다. 수질분석 결과는 위의 Table 14와 같다.



[Fig. 13] BOD concentration by treatment efficiency

Fig. 13의 결과를 보면 하수처리장의 용량과 처리효율이 증가함에 따라 BOD 오염농도가 감소하는 추세를 보이고 있다. 대상유역인 왕숙천의 2003년 수질은 BOD 기준 24.2mg/l이고 목표수질인 2등급(3mg/l)이다. 목표수질에 맞춰 설계가 불가능하므로 2003년 기준 왕숙천의 BOD농도인 24.2mg/l에 맞춰 설계하는 것이 타당하다.

4.4.4 수질을 고려한 처리시설 용량 결정

처리시설의 효율에 따른 BOD 오염농도를 산정하였다. 간이 CSOs 처리시설의 효율을 왕숙천의 BOD 오염농도인 24.2mg/l에 맞춰 설계하면 Table 12와 Table 13에서의 과정을 역순으로 진행한다. 설계 BOD에 따른 오염부하량은 38,244 tonnes/yr로 산정된다. 이를 만족하는 하수처리장 용량별 처리시설의 효율은 아래의 Table 15와 같다.

위의 Table 15에 의한 결과는 왕숙천 수질기준에 적합한 처리시설의 효율이다. 하수처리장의 용량변동에 따라 55.55~71.48%의 요구효율을 보이고 있다. 현재 하수처리장 용량은 3Q(건기시 오수량의 3배)이고 이 중 2Q는 1차침전지까지만 이송되고 하천으로 방류된다. 하수처리장에서 3Q를 차집한다고 해도 전처리까지 하는 것은 건기시 오수량정도이다. 하천으로 방류되는 2Q에는 일정량의 오염물이 포함되어 있고 이는 하천의 수질악화를 가중시킬 것이다. 처리시설의 요구효율 결정시 1차침전 후 방류되는 2Q에 의한 오염은 제외시켰으므로 1Q 이상시, 즉 전처리되지 않는 양이 증가할수록 오염은 가중될 것이다. 이러한 상황을 토대로 하여 하수처리장의 용량을 1Q(건기시 하수량)로 제한시키고 간이 CSOs 처리시설의 효율을 71.48% 정도로 하여 설계하였다. 아래의 Table 16에서 수질을 고려한 처리시설의 적정효율을 결정된 결과를 나타내었다.

[Table 15] Efficiency of treatment capacity considering quality of water

Discharge	1Q	1.5Q	2Q	2.5Q	3Q	3.5Q	4Q	4.5Q	5Q
Required efficiency of treatment facilities (%)	71.48	69.49	67.50	65.51	63.52	61.53	59.53	57.54	55.55

[Table 16] Determination of treatment capacity

Stream	Quality of stream (mg/l)	Reasonable efficiency (%)	BOD pollution load per event (tonnes/event)	Quality of discharge (mg/l)
Wangsuk	24.2	71.48	38.244	24.2

5. 결론

대상유역으로 선정된 경기도 구리시 돌다리분구는 합류식 관거로 이루어져 있어 우기시 강우에 의한 월류가 발생할 확률이 높다. 월류에 의해 인근 왕숙천의 수질오염이 가중될 우려가 있어 적절한 처리시설의 설치가 필요하였다.

유출분석을 통한 매개변수를 이용하여 월류특성들을 분석할 수 있었고 월류특성을 이용한 연평균, 강우사상당 오염부하량에 대한 산정이 가능하였다.

산정된 오염부하량을 기준으로 BOD 오염농도를 계산할 수 있었으며 이를 왕숙천의 수질(2003년 기준)과 비교하여 처리시설이 필요함을 보였다. 처리시설의 효율에 따른 하수처리장 용량별 오염부하량 및 오염농도를 산정하여 비교하였다.

단순히 기존 하수처리장의 용량만으로 설계할 경우 차집한 하수량을 전부 처리하지 않고 일정한 양의 하수는 1차침전만을 하여 하천으로 방류하므로 이를 고려하여 처리시설을 설계하였다.

표준강우사상의 확률밀도함수에 의한 매개변수를 통해 유출특성을 분석하였으며 이에 따른 대상유역의 유출특성을 분석하였다. 분석결과 연평균 유출횟수는 27회이고 강우사상당 평균유출량은 12.292mm/event, 연평균 유출량은 393.36mm/yr, 강우시 유출확률은 87.51%/event로 산정되었다. Impulse Probability를 고려하여 산정한 결과, 강우사상당 손실량은 18.011mm/event, 연평균 손실량은 576.34mm/hr, 강우사상당 지면저류량은 4.694mm/event, 연평균 지면저류량은 150.21mm/yr이다.

기존 하수처리장 용량에 대해 효율을 분석하기 위해 월류특성분석을 실시하였다. 월류특성 분석을 실시한 결과, 강우사상당 월류확률은 0.660, 강우사상당 월류량은 9.559mm/event, 연평균 월류횟수는 22회로 산정되었으며, 연평균 월류량은 305.90mm/hr, 연평균 오염부하량은 104.76ton/yr로 산정되었다. 하수처리장의 용량별 처리효율을 분석하였고 약 21.84%의 효율을 보였다. 수질을 고려한 분석에서는 2003년 왕숙천의 BOD기준 오염농도가 24.4mg/l인데 반하여 대상유역의 방류수의 수질은

66.29mg/l인 점으로 미루어 하수처리장의 용량만으로는 월류수에 의한 수질악화를 막을 수 없는 것으로 나타났다.

년간 월류부하를 고려한 월류수 처리시설을 결정하기 위하여 위험도를 고려한 유출분석을 실시하였고 그에 따른 효율에 따른 유출량을 도출하였다. 유출사상당 오염부하량을 산정하기 위해 하수처리장 용량별 연평균월류량을 산정하였고 이에 따라 연평균 오염부하량 및 강우사상당 오염부하량을 산정하였다. 기존의 하수처리장만으로는 월류수에 의한 하천오염을 막을 수 없으므로 간이 CSOs 처리시설을 설치하여 효율에 따른 오염부하량, BOD 오염농도 등을 산정하였다. 2003년 왕숙천 BOD 오염농도를 기준으로 설계하기 위해 하수처리장 용량별 처리시설 요구효율을 산정하였으며 현재 하수처리장의 하수처리를 고려하여 간이 CSOs 처리시설의 효율을 71.48%로 하여 설계하였다. 추후 연구과제로서는 간이 CSOs 처리시설 설계시 하수처리장 용량에 따른 유지관리비, 차집관거 용량별 시설비, 처리시설 효율별 설치비 등을 고려하여 비용에 대한 최적화기법을 적용한 분석이 필요하다고 판단된다.

References

- [1] J. S. Shin, "Analysis on runoff characteristics of non-point source in urban river basin", thesis of master, Joongbu University, Chungchung-namdo 312-702, 2013.
- [2] P. S. Eagleson, "Dynamics of Flood Frequency", *Water Resources Research*, Vol. 8, No. 4, pp. 878-897, 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/WR008i004p0878>
- [3] B. J. Adams, F. Papa, "Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models", Wiley, 2000
- [4] U.S. Army Corps of Engineers, 1974
- [5] J. R. Benjamin, C. A. Cornell, "Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers", McGraw-Hill, New York, 1970
- [6] C. Y. Guo, R. B. Urbanas, "Runoff Capture and Delivery Curves for Storm-Water Quality Control Designs", *Journal of Water Resources Planning and*

Management, Vol. 128, No. 3, 2002

DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2002\)128:3\(208\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2002)128:3(208))

- [7] C. Y. Guo, B. R. Urbanas, "Special Report to the Urban Drainage and Flood Control District on Stormwater BMP Capture Volume Probabilities in United States", Denver, 1995
- [8] D. R. Lee, S. M. Jung, "A Spatial-Temporal Characteristics of Rainfall in the Han River Basin", Vol. 25, No. 4, pp. 75-85, 1992
- [9] E. H. Lee, C. S. Yoo, D. J. Jo, J. H. Kim, "Estimation of Inter Event Time by Exponential decay Function", Korean Society of Civil Engineers Annual Conference

이 의 훈(Lee Eui Hoon)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과 수자원공학 (공학석사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학전공 박사과정

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학

김 중 훈(Kim Joong Hoon)

[정회원]



- 1984년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 1986년 12월 : Virginia Polytechnic Institute & State Univ. (공학석사)
- 1992년 2월 : Univ. of Texas at Austin(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경공학부 교수

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학

유 도 근(Yoo Do Guen)

[정회원]



- 2007년 2월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학 (공학석사)
- 2013년 2월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 수자원공학 (공학박사)

<관심분야>

수문학, 수리학, 수자원공학