

# SWQC(Storm Water Quality Control)를 위한 CSOs 산정

이정호<sup>1)</sup> · 조덕준<sup>2)</sup> · 박무종<sup>3)</sup> · 김중훈<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

하수도는 공공수역의 수질보전 뿐만 아니라 시가지 또는 농어촌의 우수를 신속히 배제함으로써 침수에 의한 재해를 방지하는 기능도 갖고 있다. 우리나라의 경우 근래에 들어 지속적인 인구증가와 더불어 도시의 외형적인 규모는 커지고 발전하는 반면 도시환경 및 기반시설인 하수도 시설은 양적 팽창에도 불구하고 질적으로 낙후되어 개선의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 특히, 합류식 하수관거에서의 월류수(Combined Sewer Overflows : CSOs)로 인한 수질오염 영향을 합리적으로 관리하지 않고 있으므로 자연수계의 수질 보호 및 보전 차원에서 지속적인 문제점을 야기하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 평균개념의 확률강우량을 산정하여 도시유출모형을 통하여 토구별 우수토실에서 발생하는 CSOs 발생량을 산출하여 실제 차집관거의 설계용량과 비교 분석하였다.

## 2. CSOs 산정 방법

강우기간 동안 합류식 하수관거로부터의 월류수(CSOs)는 호우로 인한 유출뿐만 아니라 가정하수, 산업폐수 등에 존재하는 오염물 및 비점원(non-point source) 오염물을 포함하므로 합류식 하수 관거에서의 오염된 월류수 유출로 인한 점속 하천 및 해양의 오염은 합류식 하수도 시스템의 가장 심각한 문제로 제시되고 있다. 본 연구에서는 토구별 CSOs를 산출하기 위하여 ILLUDAS 모형을 이용하였으며 이때, 강우량은 새로운 평균개념의 확률강우량을 적용하였다.

### 2.1 차집관거 용량 기준

합류식 하수관거가 보급된 지역에서 차집관거의 역할은 첫째, 청천시 발생하수량을 전량 차집하여 하수처리장으로 수송처리하여 방류하며 둘째, 우천시는 우천시 계획차집량(시간최대 오수량의 3배)을 차집하여 처리장으로 수송처리하며, 계획차집량을 초과하는 우수는 공공수역으로 방류한다.

다음은 시간최대 오수량 및 차집량 결정식이다.

- 시간최대오수량 = (일평균 오수량 원단위 × 침투계수 × 계획인구) / 면적
- 지하수량 = (지하수 원단위 × 계획인구) / 면적
- 합류식지역 차집량 = 시간최대 오수량 × 3 + 지하수량

### 2.2 강우분석

차집관거의 용량 기준에 의하면 합류식 하수관거에서 우수에 의한 최대차집량은 시간최대오수량을 1Q라 했을 때 3Q에 해당된다. 차집관거로 유입되는 유출 해석에 있어서 강우자료에 대한 분석이 선행되어야 하는데 기존의 확률홍수량 개념의 강우 분석은 현행 하수관거 설계기준상 적당하지 않다. 즉, 차집관거의 용량이 생활오수량에 기준되어 설계되기 때문에 확률홍수량과는 다른 개념상의 확률강우량의 분석이 필요하다.

- 
- 1) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 연구원
  - 2) 고려대학교 토목환경공학과 박사과정
  - 3) 한서대학교 토목공학과 조교수
  - 4) 고려대학교 토목공학과 교수

본 연구에서는 일반적인 확률홍수량 산정과는 다른 평균개념의 확률강우량을 산정하여 ILLUDAS 모형에 의하여 도구별 유출을 해석하였으며 평균개념의 확률강우량 산정을 위한 계산절차는 다음과 같다.

- 1) 시간단위 강우자료에 의한 평균 강우지속시간 산정
- 2) 평균 강우지속시간에 따른 연 평균 강우량 산정
- 3) 연평균 강우량에 대한 적정 확률분포형에 따른 빈도별 확률평균 강우량 산정
- 4) 평균 강우지속시간 강우사상들의 분포에 따른 적정 빈도 채택
- 5) 산정된 확률평균강우량에 따른 평균 강우지속시간단위 강우분포 산정

### 3. 적용 및 결과

서울시의 기존 차집관거는 「하수도 정비 기본계획(1984. 서울시)」 및 「하수도 기본계획 재정비(1992. 서울시)」에 근거하여 시간최대우수량(Q)의 3배(3Q)를 계획차집용량으로 채택하고 있다.

본 연구에서는 기존에 시설된 차집관거의 용량에 대하여 강우 발생시 차집관거 유입 유량을 ILLUDAS 모형에 의해 모의하여 합류식 하수관거에서 하천으로 직접 유입되는 월류수(CSOs)의 용량을 분석하였으며 대상지역은 서울시 1개 배수분구내 4개 토구를 선정하였다.

#### 3.1 강우분석

본 연구에서는 SWQC(Storm Water Quality Control)를 위한 차집관거에서의 CSOs 산출을 위하여 일반적인 강우량의 최대치계열에 의한 확률강우량과는 다른 평균개념의 확률강우량을 산정하여 ILLUDAS 모형에 의하여 도구별 유출을 해석하였다. 강우량 자료는 기상청에서 관측된 서울지역 1961년부터 1998년까지 38년간의 시간강우량을 사용하였다.

##### (1) 평균 강우지속시간 산정

연속강우자료에 대하여 발생시킨 각각의 강우사상에 대하여 평균 강우지속시간을 산정하였다. 즉, 강우가 연속적으로 발생한 모든 강우사상을 각각의 강우사상으로 분류하며 지속시간을 산정하고 모든 강우사상에 대한 강우지속시간의 총 합을 총 강우사상 개수로 나누어 평균 강우지속시간을 산정하였다. 또한, 도시지역 강우의 초기손실을 고려하여 모든 강우사상 중에서 2.5mm 이하의 강우사상은 계산에서 제외하였다. 그 결과 서울시 평균 강우지속시간은 4시간으로 산정되었다.

##### (2) 연평균 강우량 산정

계획강우량 산정을 위하여 매년 발생한 모든 4시간단위 강우사상에 의한 강우발생 총량을 총 강우발생 개수로 나누어 4시간 지속 연평균 강우량을 산정하였다.

##### (3) 빈도별 확률평균강우량 산정

산출된 연평균 강우량 자료를 이용하여 빈도해석을 하였고 K-S Test 및 Chi-Square Test 등을 거쳐 적정 확률분포형으로 Gumbel분포를 채택하였다. 빈도해석결과 재현기간별 확률평균강우량은 다음과 같다.

표 1. 확률평균강우량(4hr)

(단위 : mm)

재현기간	확률평균강우량	재현기간	확률평균강우량	재현기간	확률평균강우량	재현기간	확률평균강우량
1	3.20	2.5	7.84	10	10.06	50	12.38
1.5	6.76	3	8.16	20	11.07	80	13.05
2	7.41	5	9.00	30	11.65	100	13.36

##### (4) 적정 재현기간 채택

평균 강우지속시간(4hr)에 따른 모든 강우사상에 대하여 재현기간별 확률평균강우량의 범위내에 분포되어 있는 양상을 분석하여 적정 재현기간을 채택하였다.

다음의 표 2는 재현기간별 강우사상의 분포에 대한 분석 결과이다.

표 2. 재현기간별 강우사상의 분포

재현기간(년)	확률평균강우량(mm)	강우사상누가갯수	강우사상누가비율(%)	재현기간(년)	확률평균강우량(mm)	강우사상누가갯수	강우사상누가비율(%)
1	3.20	10904	52.51	20	11.07	16706	80.45
1.5	6.76	14591	70.26	30	11.65	16893	81.35
2	7.41	15040	72.43	50	12.38	17090	82.30
2.5	7.84	15285	73.61	80	13.05	17321	83.41
3	8.16	15473	74.51	100	13.36	17375	83.67
5	9.00	15857	76.36	100이상		20766	100
10	10.06	16308	78.53				

이상의 결과에서 알 수 있듯이 강우지속시간 4시간 강우사상을 모두 분석한 결과 전체 강우사상의 70% 이상이 재현기간 1.5년의 확률평균강우량 이하에 분포되고 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 CSOs 발생량을 산출하기 위하여 차집관거로 유입되는 토구별 유량 산정을 위한 ILLUDAS 모형의 적용을 위해 적용되는 확률평균강우량은 재현기간 1.5년의 6.76mm를 사용하였다.

(5) 평균강우지속시간의 강우분포

다음의 표 3에는 총 강우량 6.76mm에 대하여 서울시 대표적 강우분포인 Huff 4분위법(2분위 채택)에 의하여 강우지속시간 4시간에 걸쳐 분포시킨 강우자료이다.

표 3. Huff 4분위법에 의한 강우분포

시간(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
강우량(mm)	0	0.267	0.205	0.220	0.279	0.356	0.433	0.495	0.535	0.549	0.537	0.501	0.447
시간(min)	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	
강우량(mm)	0.381	0.311	0.243	0.184	0.140	0.113	0.103	0.107	0.117	0.119	0.095	0.019	

3.2 토구별 CSOs 산정

Huff 4분위법에 의하여 지속시간 4시간 단위의 강우자료를 ILLUDAS 모형에 의하여 토구별 유출 수문곡선을 산출하여 기존 차집관로의 계획차집용량과 비교하였다.

표 4. 토구별 차집관거에서의 CSOs 침투유량

(단위 : cms)

토 구	1	2	3	4
시간최대유량(1Q)	0.0265	0.0079	0.1782	0.0644
계획차집량(3Q)	0.0795	0.0237	0.5346	0.1933
CSOs 침투유량	0.2455	0.0329	0.6142	0.5214

다음의 그림 1에서는 토구별로 발생하는 COSs를 일최대유량(1Q) 및 차집용량(3Q)와 비교하였다.

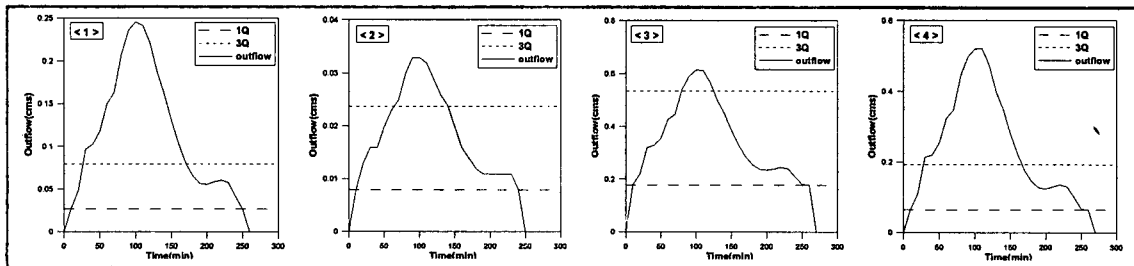


그림 1. 토구별 차집관거로의 유입수문곡선

이상의 결과는 1회 강우사상(4시간)에 대하여 발생하는 침투유량을 현재 설계되어있는 차집침투유량  $3Q$ 와 비교한 것으로써 우기시 발생하는 하수중 상당량이 하천으로 직접 방류되고 있음을 보여준다.

다음의 표 5에서는 도구별 차집관거의 현재 설계된 침투유량( $3Q$ )과 우기시 발생하는 CSOs의 침투유량에 따른 STP(Sewage Treatment Plant)에서의 처리용량 및 하천으로의 방류용량을 비교하였다.

표 5. 도구별 차집관거에서의 처리용량 및 방류용량

도구	침 투 유 량(cms)			STP 처리용량( $m^3$ )		방 류 용 량( $m^3$ )	
	$3Q$	$Q_D$	$Q_D-3Q$	강우1회	일평균	강우1회	일평균
1	0.0795	0.2455	0.1660	1765.35	770.64	747.78	326.43
2	0.0237	0.0329	0.0092	270.36	118.02	24.76	10.81
3	0.5346	0.6142	0.0796	5505.72	2403.44	140.26	61.23
4	0.1933	0.5214	0.3281	3873.11	1690.75	1407.67	614.50

이상의 결과에서  $Q_D$ 는 CSOs에 의해 발생된 침투유량을 나타내고 있으며 현재 설계되어있는 차집침투유량  $3Q$ 는  $Q_D$ 로 재설계 되어야 한다. 이때,  $Q_D$ 로 설계된 차집관거에 대해서는 기존에 하천으로 방류되는 CSOs 용량이 재처리되어야 한다. 즉, 기존에  $3Q$ 의 처리용량에 의해서 하천으로 방류되던 CSOs 용량은  $Q_D$ 의 처리용량으로 차집관거를 재 설계함에 따라서 도구별로 저류 또는 자체처리가 이루어져야 하는 용량이 되며 이것이 STP 처리용량이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 차집관거에서 발생하는 CSOs를 산출하여 기존 계획차집량 설계기준과 비교 분석하므로써 차집관거의 개량 계획을 수립하기 위한 근거를 마련하였다. 이때 적용된 강우자료는 새로운 개념의 평균 강우 사상을 산출하여 적용하였다.

차집관거별로 CSOs 발생량을 산출한 결과 기존에 설치되어있는 차집관거의 설계용량에 의해서는 많은 양의 CSOs가 발생됨을 알 수 있다. 이는 강우의 초기유출이 상당한 오염물을 포함하고 있으며 하천의 수질 오염 문제 차원에서 현행 차집관거 설계용량 기준에 대한 개선 방안을 위한 근거를 보여주고 있다.

추후 연구 과제로는 근래 들어 도시환경 및 하천의 오염 문제등이 대두되고 있는 상황에서 CSOs 발생량에 따른 차집관거의 용량 기준에 대한 연구가 시급이 요구되며 이에따른 차집관거 및 CSOs 처리시설에 관한 연구가 필요하다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구 지원(과제번호:R01-2001-000-00474-0)으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

#### 6. 참고문헌

서울시, 1997, 하수관거 정비사업 기본계획

W. F. Geiger(1998) Combined sewer overflow treatment - knowledge or speculation, Water Science and Technology, Vol. 38, Issue 10, pp. 1-8.

G. Vaes and J. Berlamont(1999) The impact of rainwater reuse on CSO emissions, Water Science and Technology, Vol. 39, Issue 5, pp. 57-64.

Morten Grum and R. Hans Aalderink(1999) Uncertainty in return period analysis of combined sewer overflow effects using embedded Monte Carlo simulations, Water Science and Technology, Vol. 39, Issue 4, pp. 233-240.