

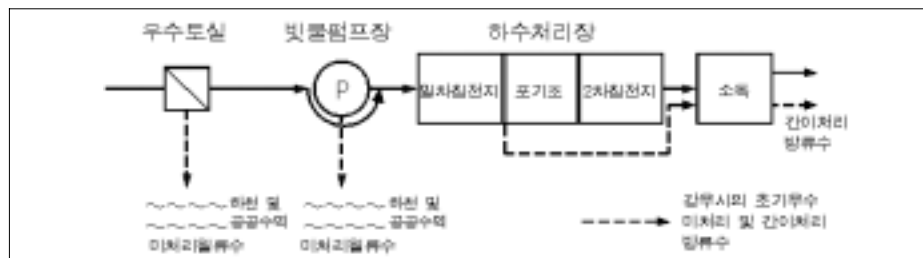
## 하천수질보전을 위한 초기우수 처리 개선방안

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1. 초기우수 처리 필요성       | 4. 초기우수 발생량 및 오염부하량 산정 |
| 2. 초기우수 처리관련 규정 및 시설 | 5. 초기우수 처리기준           |
| 3. 초기우수 발생강우량        | 6. 초기우수 처리 개선방안        |

### 1. 초기우수 처리 필요성

#### ○ 초기우수 개념

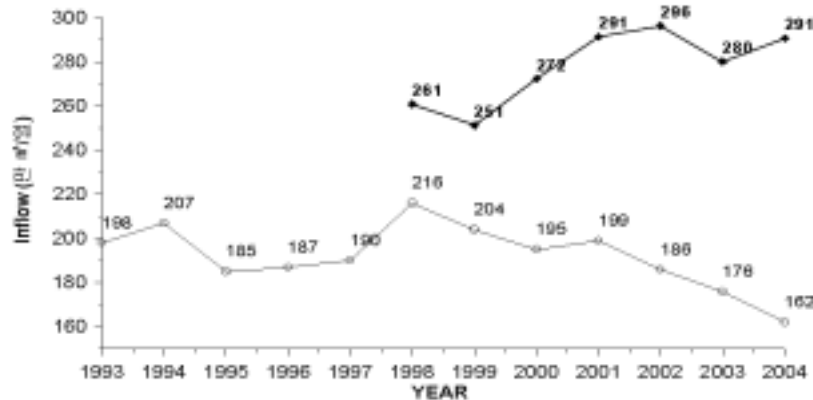
- 초기우수는 강우초기의 우수가 지표면과 하수관거내를 흐르면서 불투수면에 퇴적되어 있는 오염물과 하수관거의 퇴적물을 세척해 상대적으로 고농도 오염물질을 함유하게 되는 우수를 의미함.
- 초기우수 중 문제가 되는 미처리 방류수는 강우초기에 합류 비점오염물질, 하수관거 퇴적물, 오수 등의 오염물질을 함유한 하수의 일부가 하천변의 우수토구와 빗물펌프장, 하수처리장의 유입펌프장 등을 통하여 월류되는 미처리 월류수와 하수처리장에서 일차 침전지만을 거친 후 방류되는 간이처리 방류수임. 초기우수의 발생시기는 강우초기에 오염물의 농도가 증가한 후 건기시 평균하수농도로 저하되는 시점까지라고 할 수 있음.
- 합류식 하수도에서 강우시 초기우수가 배출되는 경로는 하천과 하수처리장임. 하천에서는 우수토구나 빗물펌프장을 통해서 배출되고 있고, 하수처리장에서는 처리시설능력을 초과하여 유입된 하수가 일차침전 처리되어 하천으로 방류되고 있음.



[그림 1] 합류식하수도에서 강우시 초기우수의 배출경로

○ 초기우수 처리현황

- 서울시 전체 하수처리구역의 32%를 담당하고 있는 중랑하수처리장은 강우시 시가지지역에서 발생하는 초기우수를 처리하기 위하여 하수를 청천시(晴天時)의 하수유입량보다 1.2배~1.8배 더 유입시키고 있음.



[그림 2] 중랑하수처리장 연도별 일평균유입량 및 강우시 일최대유입량 변화

- 초기우수의 수질은 선행 무강우일수 및 강우량 등의 영향을 받아 BOD는 54~472mg/L, SS는 50~512mg/L로서 저농도에서 고농도까지 상당히 큰 편차를 보이고 있음. BOD 최고농도는 472mg/L로서 청천시의 평균 BOD농도인 122mg/L을 훨씬 초과하며, SS는 최고값으로 549mg/L을 기록하여 평균 SS농도인 86mg/L을 크게 상회하고 있음.

○ 초기우수 처리개선 필요성

- 강우시 고농도의 초기우수는 하천환경·생태계를 오염시켜 매년 물고기 폐사사건을 발생시키고 있고, 현재 추진 중인 자연형하천 조성사업이 실효성을 거두는 데 장애요인이 되고 있음. 또한 막대한 예산의 수질오염 개선대책에도 불구하고 하천과 공공수역의 수질이 더 이상 개선되지 않는 원인의 하나로 지적되고 있음.
- 서울시의 하천 및 공공수역이 수질을 개선·보전하고 이수 및 친수 등의 기능을 유지하기 위해서는 초기우수의 발생과 배출현황 및 영향을 파악하고, 이와 함께 초기우수를 배출시키는 대상유역의 합류식하수도 시스템을 평가하여 하수도 개선방안과 연계한 구체적이고 효율적인 초기우수 처리대책이 강구되어야 함.

## 2. 초기우수 처리관련 규정 및 시설

### ○ 우리나라의 초기우수 처리관련 규정

- 우리나라에서 지금까지 하천이나 공공수역의 수질오염에 대한 규제는 청천시(晴天時)에 하수, 폐수, 오수·분뇨 및 축산폐수 관리 위주로 실시되어 왔으며, 실질적으로 수질변동이 크고 공공수역의 환경에 일시에 큰 영향을 미치는 강우시 초기우수에 대해서는 규제하지 못하고 있는 상태임.
- 다만 2005년도에 개정된, 환경부의 하수도시설기준에 합류식하수도에서의 강우시 방류부하량 저감목표로 대상 처리구역에서 배출되는 연간 BOD 방류부하량을 분류식일 경우에 배출되는 연간 BOD 방류부하량과 같은 정도로 하거나 그 이하로 하도록 명시되어 있으나 실질적으로 적용되지 못하고 있음.

### ○ 일본의 초기우수 처리관련 규정 및 시설

- 일본은 2004년에 개정된 하수도법 시행령에서 강우시 합류식하수도 방류수의 수질기준은 BOD 40mg/L을 기준으로 설정하고 기준치가 적용되기까지 평균수질 70mg/L을 잠정기준치로 적용하도록 규정하고 있음. 또한 처리효과를 단기간에 얻기 위하여 개선목표를 “장기 목표”와 “당면 목표”의 2단계로 나누고, 합류식하수도를 채택하는 모든 도시는 아래와 같이 3개 항목에 대하여 당면목표를 설정하고 이를 10년 이내에 달성하게 함.
  - ① 오탁부하량의 삭감: 배출하는 연간 BOD부하량을 분류식하수도과 동등 수준이하로 함.
  - ② 공중위생상의 안전확보: 모든 토구에서 미처리하수의 방류회수를 반이상 감소함.
  - ③ 협잡물의 삭감: 원칙적으로 모든 토구의 협잡물 유출을 방지함.
- 가와사키(川崎)市에서는 하천으로 배출되는 초기우수량을 저감하기 위해 펌프장에 초기우수저류지를 설치하여 운영하고 있으며, 장기적으로 합류식하수도의 월류수에 의한 연간 월류오염부하량을 적어도 분류식우수관거에서 방류되는 오염부하량과 같은 정도로 삭감하는 것을 목표로 하고 있음. 초기우수저류지의 상부는 다목적 광장으로 정비하여 시민에게 개방하고 있음.

<표 1> 일본 가와사키시 초기우수저류지 현황

명칭	오오시마(大島) 우수저류지	쿄마치(京町) 우수저류지	와타리다(渡田) 우수저류지	칸논가와(觀音川) 우수저류지
집수면적	新川排水區 (386.05ha)	川崎運河排水區 (119.40ha) 小田 1 排水區 60.52ha 합 계 179.92ha	小田 2 排水區 107.97ha 田島排水區 132.69ha 합 계 240.66ha	觀音川排水區 251.50ha
부지면적	15,422㎡	6,393㎡	17,717㎡	7,220㎡
저류방식	저류침전방류방식 (질대책)	저류방식 (질 및 양대책)	저류방식 (질 및 양대책)	저류방식 (질 및 양대책)
저류지 용량	21,280㎡ (5mm상당)	18,000㎡ (10mm상당)	24,000㎡ (10mm상당)	26,000㎡ (10mm상당) (저류관 11,000m)

- 하수처리장으로 유입된 초기우수를 처리하기 위해서 하수처리장에 초고속응집 침전시설을 설치하거나 일차 침전지에 부상여과장치를 설치하여 운영하고 있음.

<표 2> 하수처리장에 설치된 초기우수 고속응집침전처리시설의 성능평가

적용범위	- 펌프장의 유입수 - 합류식관거 월류수 - 하수처리장의 유입수 - 하수처리장의 최초 침전지 유입수	- 하수처리장의 최초침전지 월류수
개발목표	강우시 오염부하제거율은 SS제거율 88%, BOD제거율 75%, COD제거율 55~96%, T-N제거율 15%, T-P제거율 80%이상	
평가결과	강우시 오염부하제거율이 SS제거율 80%, BOD제거율 75%, COD제거율 55%, T-N제거율 15%, T-P제거율 80% 이상이 되어, 개발목표를 달성했다고 인정됨.	강우마다의 오염부하제거율로 SS제거율 80%, COD제거율 55%, T-N제거율 15%, T-P제거율 80% 이상이 되어 개발목표를 달성했다고 인정됨. 또한 BOD제거율은 68.4~74.7%임.

○ 미국의 초기우수 처리관련 규정 및 처리

- 미국 환경보호청이 1994년에 결정한 월류수대책 방침은 월류빈도를 연간 평균 4~7회로 감소시키고 연간 우수유량의 85% 이상에 대하여 적어도 1차처리를 실시하는 것임.

- 미국의 1996~2016년(20년간) 사이의 하수도사업 투자액은 1,395억 달러임. 이중 초기우수를 포함한 CSO(Combined Sewer Overflow)처리대책에 소요되는 금액은 447억 달러(32%)로서 가장 많으며 하수처리장의 2차처리 및 고도처리를 위한 투자액 440억 달러보다 큼.

### 3. 초기우수 발생강우량

#### ○ 고농도의 초기우수 발생강우량

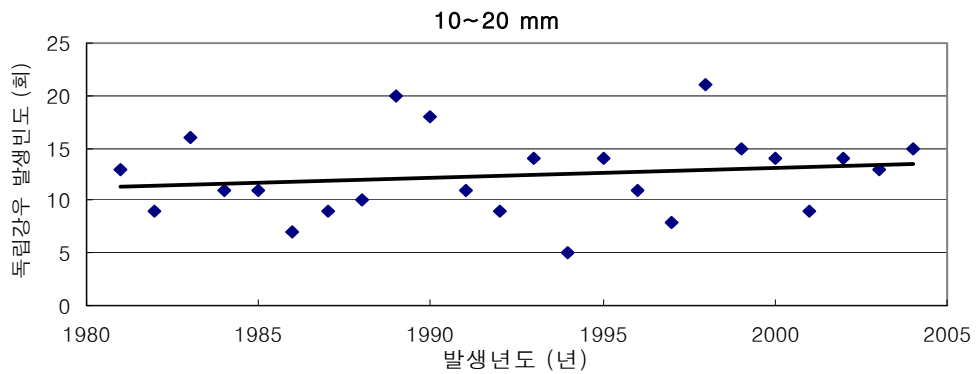
- 초기우수가 BOD 300mg/L 이상의 고농도로 발생하는 경우는 강우량이 4.5~12.5mm이고 강우 지속시간이 2~4시간인 범위로서 선행 무강우시간이 7~13일일 때인 것으로 분석됨.

<표 3> 초기우수의 BOD농도별 강우인자의 범위

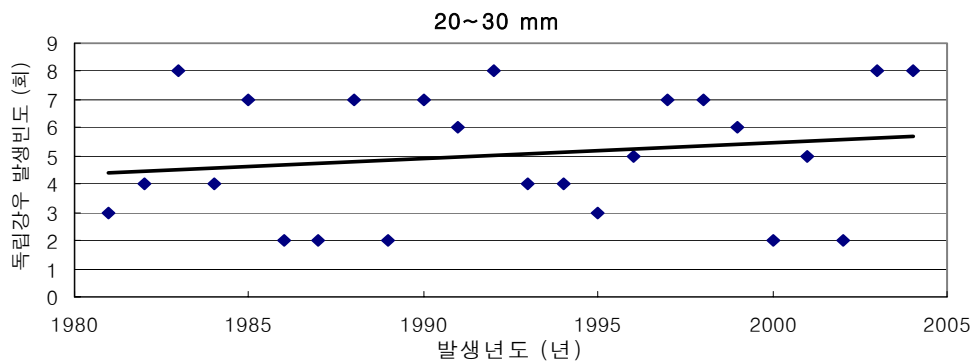
구분	BOD 472 mg/L (농도최고치)	BOD 300mg/L이상 발생구간	BOD 150mg/L이상 발생구간
누가강우량	4.5mm, 12.5mm	4.5~12.5mm	1.5~43mm
강우지속시간	2hr, 4hr	2~4hr	1~12hr
평균 강우강도	2.25mm/hr, 3.13mm/hr	1.13~3.13mm/hr	0.75~8.67mm/hr
선행무강우시간	8일, 9일	7~13일	0~17일

#### ○ 초기우수 발생강우 빈도

- 초기우수를 발생시키는 강우의 발생빈도를 파악하기 위하여 서울시에서 최근 24년간(1981년~2004년)의 독립강우변화를 발생빈도와 발생량에 대해 분석한 결과, 독립강우가 0~10mm에서 다소 감소하고 있으나 10~20mm, 10~20mm, 20~30mm 30~40mm 및 40~50mm에서는 증가하는 경향을 나타냄.
- 24년간 독립강우의 변화분석에서 10~20mm의 독립강우가 증가경향을 보이고 있고, 이와 함께 초기우수의 최고농도가 봄철의 누가강우(累加降雨) 12~15mm일 때 발생하고 있음. 이에 따라 강우발생빈도가 겨울철에 작고 봄철에 높아지고 있는 것을 고려하면 초기우수가 하천 및 공공수역에 미치는 영향은 점점 커질 것으로 예상되고 있음.



[그림 3] 과거 24년간 10~20mm 범위의 독립강우 발생빈도 변화



[그림 4] 과거 24년간 20~30mm 범위의 독립강우 발생빈도 변화

#### 4. 초기우수 발생량 및 오염부하량 산정

##### (1) 초기우수 발생지역

- 초기우수의 발생량은 합류식 하수처리구역의 면적에 비례하여 증가한다고 할 수 있음. 서울시에서 합류식 하수도가 차지하는 면적은 전체 처리구역면적인 351.2km<sup>2</sup> 중에서 87.5%에 해당하는 304.7km<sup>2</sup>임. 중랑하수처리구역은 처리구역면적 111.7km<sup>2</sup>에서 87.7%인 98.0km<sup>2</sup>가 합류식 하수도로 부설되어 있음. 분류식 지역이라도 합류식 지역과 연결되어 있으므로 서울시 하수도는 대부분 합류식이라 할 수 있음.

<표 4> 서울시 하수도의 처리구역별 합류식 및 분류식 면적 현황

구분	처리구역면적(ha)			면적비율(%)	
	계	합류식	분류식	합류식	분류식
계	35,117.05	30,471.35	4,645.70	87.5	12.5
중랑	11,174.76	9,798.66	1,376.10	87.7	12.3
탄천	6,406.01	4,133.21	2,272.80	64.5	35.5
서남	11,794.89	10,985.39	809.50	93.1	6.9
난지	5,741.39	5,554.09	187.30	96.7	3.3

자료: 서울특별시, 2003.6, 「중랑하수처리장 고도처리시설 건설사업 기본계획보고서」,

**(2) 하천의 초기우수 발생량 및 오염부하량 산정**

- 강우지속시간이 3시간일 경우 강우량 20mm, 50mm에 대한 초기우수량 및 오염부하량 산정
  - 강우시 하수차집량이 하수처리장의 현재 하수유입량일 경우 하수처리장으로서의 초기우수유입량은 73.1만~81.3만<sup>m<sup>3</sup></sup>임. 그리고 하천으로 배출되는 초기우수 미처리월류량은 35.9만~230.3만<sup>m<sup>3</sup></sup>이고 하천오염부하량은 35,310~ 51,492kg이 됨. 향후 하수차집량이 3Q(Q: 시간최대 하수발생량)로 될 경우에는 초기우수가 하수처리장으로 109.0만~164.3만<sup>m<sup>3</sup></sup>이 유입되고, 하천으로는 0~147.3만<sup>m<sup>3</sup></sup>이 월류되며 이때의 하천오염부하량은 0~32,448kg으로 산정됨.
  - 강우시 3Q로 하수를 차집하게 되면 현재 하수차집량의 경우보다 초기우수는 하수처리장으로는 1.5~2.0배 더 많이 유입되는 반면에, 하천으로는 미처리수가 유입되지 않거나 40%가 줄어들고 오염부하량도 저감되어 하천에 미치는 영향이 크게 줄어 듬.

<표 5> 20mm 강우일 경우 차집량별 초기우수의 하수처리장 유입량 및 하천월류량\*

구분	초기우수의 하수처리장유입량 및 하천월류량 (m <sup>3</sup> )			
	처리장 최대능력 차집시	2Q 차집시	Q+1 <sup>mm</sup> /hr 차집시	3Q 차집시
하수처리장의 초기우수 유입량 (m <sup>3</sup> )	731,100	994,820	1,019,750	1,090,000
하천의 초기우수 월류량 (m <sup>3</sup> )	358,900	95,180	70,250	0
BOD오염부하량 (kg)	35,310	10,160	7,572	0
총유출량 (m <sup>3</sup> )	1,090,000			

\* 강우지속시간이 3시간일 경우

<표 6> 50mm 강우일 경우 차집량별 초기우수의 하수처리장 유입량 및 하천월류량\*

구분	초기우수의 하수처리장유입량 및 하천월류량 (m <sup>3</sup> )			
	처리장 최대능력 차집시	2Q 차집시	Q+1mm/hr 차집시	3Q 차집시
하수처리장의 초기우수 유입량 (m <sup>3</sup> )	813,000	1,244,000	1,299,000	1,643,000
하천의 초기우수 월류량 (m <sup>3</sup> )	2,303,000	1,872,000	1,817,000	1,473,000
BOD오염부하량 (kg)	49,300	40,735	39,647	32,448
총유출량 (m <sup>3</sup> )	3,116,000 (평균 BOD농도 22mg/L)			

\* 강우지속시간이 3시간일 경우

○ 강우지속시간이 8시간일 경우 초기우수량 및 오염부하량 산정

- 강우시 하수차집량이 하수처리장의 현재 하수유입량일 경우 초기우수 유입량은 78.5만~90.5만m<sup>3</sup> 임. 하천으로의 초기우수 미처리월류량은 21.9만~212.4만m<sup>3</sup>이고 하천의 오염부하량은 14,078~41,617kg이 됨.
- 향후 하수차집량이 증가하여 3Q가 되면 초기우수는 하수처리장으로 100.4만~202.9만m<sup>3</sup>이 유입되며, 하천으로는 0~100.0만m<sup>3</sup>이 월류되고 이때의 하천오염부하량은 0~19,663kg으로 산정됨. 또한 하수처리장의 초기우수 유입량은 하수처리장의 현재 하수차집량일 때보다 1.3~2.3배 증가하지만, 하천으로는 미처리하수가 유입되지 않거나 53%가 줄어들어 하천에 미치는 영향이 상당히 감소하게 됨.

<표 7> 20mm 강우일 경우 차집량별 초기우수의 하수처리장 유입량 및 하천월류량\*

구분	초기우수의 하수처리장유입량 및 하천월류량 (m <sup>3</sup> )			
	처리장 최대능력 차집시	2Q 차집시	Q+1mm/hr 차집시	3Q 차집시
하수처리장의 초기우수 유입량 (m <sup>3</sup> )	785,200	1,004,000	1,004,000	1,004,000
하천의 초기우수 월류량 (m <sup>3</sup> )	218,800	0	0	0
BOD오염부하량 (kg)	14,078	0	0	0
총유출량 (m <sup>3</sup> )	1,004,000			

\* 강우지속시간이 8시간일 경우

<표 8> 50mm 강우일 경우 차집량별 초기우수의 하수처리장 유입량 및 하천월류량\*

구분	초기우수의 하수처리장유입량 및 하천월류량 (m <sup>3</sup> )			
	처리장 최대능력 차집시	2Q 차집시	Q+1mm/hr 차집시	3Q 차집시
하수처리장의 초기우수 유입량 (m <sup>3</sup> )	905,000	1,492,000	1,568,000	2,029,000
하천의 초기우수 월류량 (m <sup>3</sup> )	2,124,000	1,537,000	1,461,000	1,000,000
BOD오염부하량 (kg)	40,647	29,625	28,185	19,663
총유출량 (m <sup>3</sup> )	3,029,000			

\* 강우지속시간이 8시간일 경우



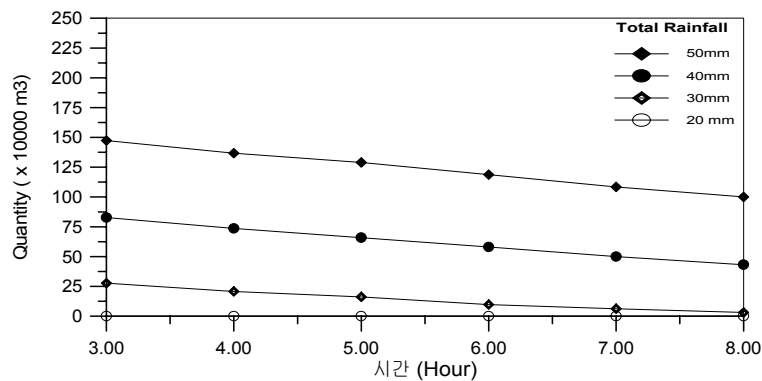
## 5. 초기우수 처리기준

### ○ 초기우수 방류수 농도 및 월류빈도

- 초기우수의 방류수 수질기준은 일본 및 미국의 규제기준과 우리나라의 초기우수정책 등을 고려하여 BOD 50mg/L로 설정할 수 있으며 이를 달성하기 위하여 초기우수처리대책을 마련함.
- 초기우수를 방류수 수질기준 BOD 50mg/L로 처리하여 방류하게 될 경우 하천의 월류빈도는 50mm 이상의 큰 강우를 제외하고 연간 1~7회 범위이며 연평균으로는 3.3회로 연간평균 4회 이내로 줄일 수 있음.

### ○ 하수처리장에서의 초기우수처리량

- 서울시에서 강우시 발생하는 초기우수가 하천수질에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 청천시의 유입하수 평균농도 이상의 고농도 초기우수는 최대한 기존 하수처리장에서 처리하도록 함.
- 하수처리장의 초기우수처리량은 BOD 최고농도 200mg/L 이상이고 평균농도 108mg/L인 초기우수 전량을 하수처리장으로 유입시킬 수 있는 시간최대하수발생량의 3배(3Q)로 설정하는 것이 적절함.



[그림 5] 하수처리장의 3Q차집시 강우량별 초기우수 하천월류량

## 6. 초기우수 처리 개선방안

### ○ 하수처리장의 초기우수 처리 개선방안

- 하수처리장의 초기우수 처리 개선목표는 강우시 시간최대하수발생량의 3배(3Q)의 초기 우수량을 하수처리장으로 유입시키고 BOD 50mg/L로 처리하여 방류함.
- 중량하수처리장의 경우 강우시 3Q를 처리하기 위해 유입펌프시설은 1Q인 229.9만<sup>m</sup>³/일, 침사지는 1.6Q, 최초침전지는 2.1Q인 496.2만<sup>m</sup>³/일이 더 필요한 것으로 분석되어 현 시설용량으로는 3Q를 차집하여 처리하기 어려운 상태임. 간이처리(by-pass) 방류수가 목표수질인 50mg/L이내로 처리되기 위해서는 초기우수 처리시설이 설치되어야 함.
- 장래 부지를 확보하여 부족한 시설용량에 대한 증설을 검토하는 것과 함께 부지확보의 어려움을 고려하여 부지소요면적이 적고 강우시 단시간에 처리할 수 있는 방법이 필요함. 고속응집 침전시설 등을 이용하여 처리하는 방법과 1차처리를 고속응집침전으로 처리하여 최초침전지의 처리용량을 줄이고 확보된 최초침전지를 초기우수의 저류시설로 활용하는 방법을 검토할 수 있음.

### ○ 하천의 초기우수 처리 개선방안

- 강우시 중량하수처리장이 현재의 최대하수량차집 상태에서 처리해야 하는 초기우수량은 124.8만<sup>m</sup>³이며 저감오염부하량은 51,607kg이지만, 향후 하수차집량이 3Q로 증가되면 미처리월류량은 53.7만<sup>m</sup>³이 되고 저감오염부하량은 현재 차집량에 의한 저감오염부하량보다 54%가 적은 23,874kg임.
- 하천의 초기우수 처리 개선방향은 ①발생지역에서 초기우수를 저감하는 것을 원칙으로 하고 우수를 가능한 땅속으로 스며들게 하여 강우시 지표면으로 흐르는 우수량을 최대한 저감시키며, ② 발생지역의 단위는 하수관거구역 최소단위인 배수분구로 설정하고 배수분구에서 발생한 초기우수의 저류·처리장소로 우수지를 최대한 활용하는 것임.
- 중량하수처리구역에는 64개 배수분구가 있으며 시가지지역에 해당되는 배수분구는 58개임. 이 중에서 10개 배수분구에 13개의 우수지가 설치되어 있으며 우수지에 의해 저감할 수 있는 초기우수량은 총 53.7만<sup>m</sup>³ 중에서 11.2만<sup>m</sup>³임.

<표 9> 우수지 초기우수저감량(중량하수처리장으로 3Q, 유입시)

분구명	유역면적 (ha)	시가화면적 (ha)	초기우수저감량 (m <sup>3</sup> )	초기우수 저감대책방향
이문	494.89	415.9	15,185	신이문3, 휘경유수지 활용 검토
면목1	366.09	335.78	15,434	면목유수지 지하공간활용 검토
전농	367.32	328.65	13,683	용답유수지 지하공간활용 검토
장안	418.19	347.85	14,541	장안4유수지 지하공간활용 검토
군자	221.27	214.85	8,552	새말유수지 지하공간활용 검토
행당	248.4	228.02	8,157	응봉유수지 지하공간활용 검토
광장	458.98	154.63	5,809	구의, 노유유수지 지하공간활용 검토
구의	532.22	321.15	13,812	자양유수지 지하공간활용 검토
성수1	510.94	314.25	11,747	뚝섬유수지 지하공간활용 검토
제기	134.12	133.83	5,245	용두유수지 지하공간활용 검토

- 초기우수량 총 53.7만m<sup>3</sup>에서 우수지에 의한 저류공간이 없는 42.5만m<sup>3</sup>은 유역내의 우수유출 저감시설(침투 및 저류시설 등)이나 하천변 우수토구에서의 스크린, 초기우수처리기계 이용 등 별도의 초기우수 처리대책이 검토되어야 할 것임.
- 초기우수에 의한 공공수역 및 하천오염을 최소화하기 위한 정책방향
  - 시가지에 녹지지역과 투수성포장, 침투통, 침투측구 등 침투시설을 설치하여 지표면으로 흐르는 우수량을 저감시켜 강우초기에 하천으로 방류되는 초기우수량을 최대한 줄임.
  - 자연형하천과 상수원인 공공수역을 대상으로 우선적으로 초기우수저류시설을 설치함.
  - 합류식하수도지역에서 하수처리장은 강우시 초기우수를 3Q까지 차집하여 처리함.
  - 하수처리장에서의 초기우수 간이처리방류량에 의한 오염부하량을 저감함.
  - 하천토구, 빗물펌프장에서 하천으로 배출되는 초기우수에 의한 오염부하량을 저감함.

김영란 | 서울시정개발연구원 연구위원  
02-2149-1159  
yrkim@sdi.re.kr