

# 우수 저류조의 도류벽 설치 및 자갈접촉법에 따른 수질개선효과 분석

이종태\*, ○서홍준\*\*

## 1. 서론

도시개발과 산업화에 의한 도시인구와 불투수지역의 증가는 홍수 도달시간의 단축, 침투홍수량의 증가 및 오탁부하량의 증가 등의 문제를 야기시키고 있다. 이런 문제를 해결하기 위한 방안으로 하수도망의 확충, 하수처리시설 용량의 증대, 저류시설 및 배수펌프장의 신설 등이 강구되고 있다. 특히 도로 및 운동장 등의 지하공간을 이용하는 저류시설은 침투유출량의 억제와 수질개선에 크게 기여할 수 있으며 비교적 경제적이고 내구성 또한 크다. 그러나 저류시설을 이용하여 오탁부하량의 경감 및 하천 수질 개선을 고려하는 수질관리 측면에 대한 자료 및 적용사례는 충분하지 못한 실정이다. 특히, 강우초기에 집중되는 지표면으로부터 하천에 부하되는 비점원오염원 물질들을 차집 및 저류함으로써 침투 홍수량의 저감과 수질의 개선하는 방안은 매우 바람직하다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 BOD, COD 등 주요 오염성분과의 상관성이 큰 SS의 농도변화를 검토함으로써 저류지에 의한 수질개선효과를 분석하였으며, 그 기능을 향상시키기 위한 저류지의 최적의 형상과 도류벽 및 채움재료의 여부가 수질개선에 미치는 영향을 검토하였다.

## 2. 저류조 실험

### 2.1 저류조 모형

저류조는 폭 8m, 깊이 6m를 원형으로 하여 축척 1:40을 기준으로 폭 20cm, 깊이 15cm 및 길이 20cm부터 180cm의 모형을 제작하였다. 저류방식을 흐름저류방식으로 채택하였기 때문에 저류조에 물을 공급하는 500ℓ 용량의 수조를 제작하였고, 공급 수조 내의 SS 분포가 항상 고르게 유지시키기 위하여 프로펠러를 지속적으로 회전시켜 혼합하였다. 공급 수조와 저류조 사이의 연결은 직경 1.5cm의 고무튜브를 이용하였고, 저류조의 유입부와 유출부에는 각각 유량조절 밸브를 설치하였다.

### 2.2 저류조에서의 유량 산정

Randall(1982)과 송치홍(1997)의 연구에서 SS는 약 2시간의 저류로 70% 이상의 제거효율을 보인다고 하였으며 본 연구에서도 지체시간 2시간을 목표로 저류조 내에서의 유속을 결정하였다.

따라서, 본 저류조 실험에서는 동일한 유량조건이어야 하므로 유속을 2.0cm/min으로 가정하여, 유량을 0.6ℓ/min으로 결정하였다.

---

\* 경기대학교 건설공학부 교수

\*\* 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정

### 2.3 오염성분간의 상관성

일반적으로 하수의 특정 오염성분간에는 상호 상관성이 있는 것으로 연구되어 왔다(B.T. Rushton, 1990). 이들 상관성은 하수의 특성에 따라 각기 다르게 나타나므로 그 결과를 수질 성분의 결정에 적극적으로 사용은 어렵지만 간접적인 판단자료로는 충분한 가치가 있다고 판단된다.

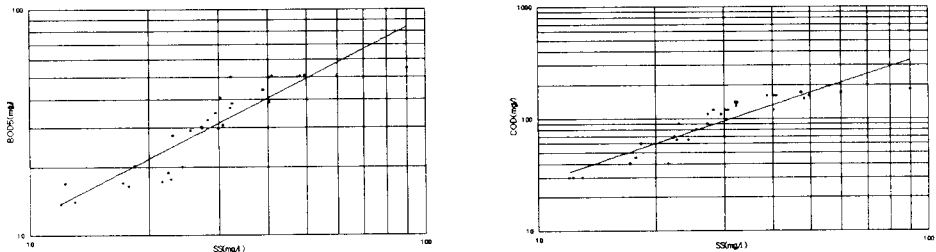
송치홍(1997)의 연구에서는 서울 남가좌 배수구역 하수의 오염성분간의 특성을 파악하기 위하여 SS, BOD<sub>5</sub> 및 COD 간의 상관성을 분석하였다. 먼저, SS와 BOD<sub>5</sub>와의 상관성은 매우 큰(상관계수,  $R^2 = 0.83$ )것으로 나타났으며 그 관계식은 다음과 같다.

$$BOD_5 = 1.495SS^{0.8943} \quad (2.1)$$

한편, SS와 COD와의 상관성 분석에서도 비교적 상관성이 큼(상관계수,  $R^2 = 0.83$ )을 알 수 있었다.

$$COD = 1.987SS^{1.1389} \quad (2.2)$$

이상의 결과로부터 SS의 제거는 SS와 상관성이 있는 BOD<sub>5</sub>, COD의 제거에도 상당히 기여할 것으로 추정된다.



(a) BOD<sub>5</sub> & SS

(b) COD & SS

그림 2.1 SS와 타오염물과의 상관분석도 (남가좌유역; 송치홍(1997))

### 3. 저류조의 기하학적인 형태에 따른 SS 제거율 실험

#### 3.1 형상비에 따른 오염물 제거 실험

본 연구에서는 저류조의 형태를 길이의 깊이에 대한 횡단면 형상비(L/H) 또는 길이의 폭에 대한 평면 형상비(L/B)를 변화시키면서 수질의 개선효과를 실험 분석하였다. 최적의 저류조의 형태를 결정하기 위하여 먼저 폭과 깊이는 각각 20cm와 15cm로 일정하게 놓고 형상비(L/H=약 1.33~12; L/B=1.0~8.25)가 변화함에 따른 SS 제거율의 변화를 분석하였다.

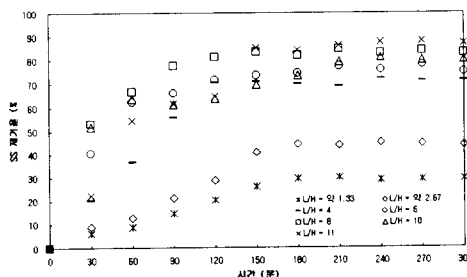


그림 3.1 횡단면 형상비(L/H)에 따른 SS 제거율

그림 3.1은 횡단면 형상비 변화에 따른 저류조 출구에서의 지체시간에 따른 SS 제거율을 나타낸 것으로서, 횡단면 형상비가 1.33~2.67에서는 초기 농도의 약 30~40%의 제거율만을 보였으나 4.0이상의 저류조에서는 모두 70% 이상의 제거율을 보여주었다. 이 비는 본 저류조에서 SS의 침강시간과 하수의 이동속도에 의하여 결정되는 한계특성치이다. 실험결과(그림 3.1)에서 저류시설의 경제성을 감안한다면 지체시간 약 2시간일 때 약 70%의 제거율을 보여주는 횡단면 형상비(L/H)가 4.0인 경우가 비교적 적절한 저류조의 형상임을 알 수 있었다. 즉 이때의 모형수조의 수심이 15cm일 때 최적길이는 60cm로서 저류조 폭 20cm의 3배 길이를 갖는 수조를 기준수조로 선택함으로써, Biggers 등(1980)이 제시한 저류조의 일반적 평면 형상비(L/B=3.0~5.0)의 범위를 만족하도록 하였다.

### 3.2 도류벽 설치에 따른 오염물 제거 실험

저류지의 입지제약조건 또는 공사비 절감을 위하여 단면 형태비(L/B)가 3.0 이하일 경우에 예상되는 오염물 제거율의 저하를 극복하기 위하여 저류조 내에서 지체시간을 늘리는 방안으로 도류벽을 저류조 내에 설치하고 이에 따른 오염물 제거효율에 대하여 검토하였다. 본 연구에서는 저류조의 평면 형상비(L/B)를 1.5, 2.0, 3.0 등의 3가지 형상으로 하고 도류벽을 1개 또는 2개를 설치하고 각 경우에 대하여 실험을 실시하였다(그림 3.2).

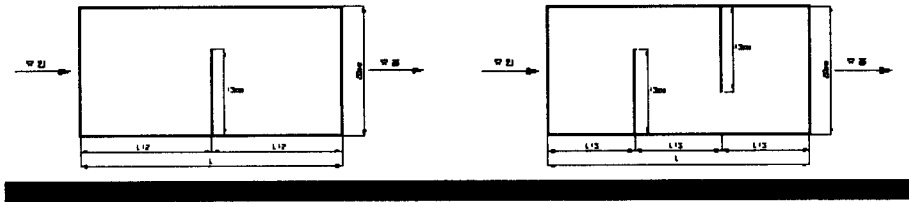


그림 3.2 도류벽 설치 수조

그림 3.3a는 도류벽을 1개소 설치하였을 경우의 시간에 따른 SS 제거율을 도시한 것으로서 L/B가 작을수록 제거율은 낮았으나 도류벽의 설치로 어느정도의 제거율을 향상시킬 수 있었다. 그러나, 지체시간 2시간으로서 형상비(L/B)가 1.5일 때는 약 40%, 형상비(L/B)가 2.0일 때는 약 60%의 제거율을 보여 줌으로써 L/B가 3.0인 기준 빈수에서조의 제거율 70%에는 미흡함을 보여주었다.

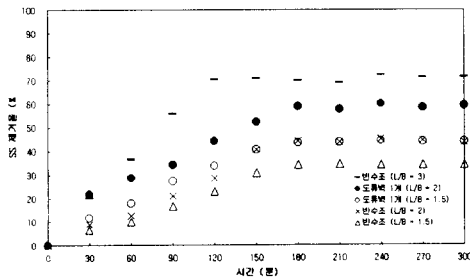


그림 3.3a 도류벽 1개 설치 수조의 SS 제거율 비교

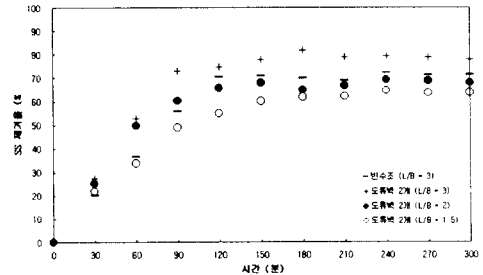


그림 3.3b 도류벽 2개 설치 수조의 SS 제거율 비교

한편, 도류벽을 2개 설치했을 경우에는 형상비(L/B) 1.5일 때 약 60% 정도의 제거율을 보였고, 형상비(L/B) 2.0일 경우에는 약 70%의 제거율을 보임으로써 저류조 길이가 1/3만큼 짧은 저류조 일 경우에도 도류벽을 설치한다면 형상비(L/B) 3.0의 빈수조와 비슷한 제거효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

### 3.3 자갈접촉저류조의 오염물 제거 실험

저류조에 자갈을 채워 물이 저류조를 통과되는 동안 자갈과 접촉하여 발생하는 SS 제거효율을 평면 형상비(L/B)가 1.5, 2.0, 3.0의 경우에 대해 각각 실험하고 그 결과를 분석하였다.

이때 사용한 자갈은 입경 약 10mm~15mm, 공극율 40% 정도의 거칠고 불규칙한 형상의 쇄석을 사용하였다. 자갈접촉수조의 경우에서는 형상비(L/B)가 1.5만 되더라도 지체시간 2시간에서 약 70%의 높은 SS 제거율을 보여주었으며, 형상비(L/B) 2.0의 경우에서의 제거율은 약 75%로서 형상비(L/B) 3.0의 빈수조의 경우보다 제거효율이 오히려 높음을 보여주었다. 특히 자갈접촉수조의 경우 초기 SS 제거율이 높았으며 저류조의 용적을 크게 줄이는 효과를 보였다(그림 3.4).

### 3.4 도류벽이 있는 자갈접촉저류조에서의 오염물 제거 실험

저류조에 지체시간을 늘려주는 도류벽과 자갈접촉법을 동시에 적용함에 따른 오염물 제거효과에 관한 실험을 추가로 실시하였다. 즉, 2개소의 도류벽이 있는 자갈접촉수조에서 형상비(L/B)가 1.5, 2.0인 경우에 대해 각각 실험하고 SS 제거효율을 측정하였으며 그 결과는 그림 3.5와 같다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 형상비(L/B) 1.5의 도류벽이 있는 자갈접촉수조에서의 2시간 지체 후 제거율은 약 80%로서 형상비(L/B) 3.0인 빈수조의 제거율 약 70%보다 오히려 좋은 효과를 나타내었다.

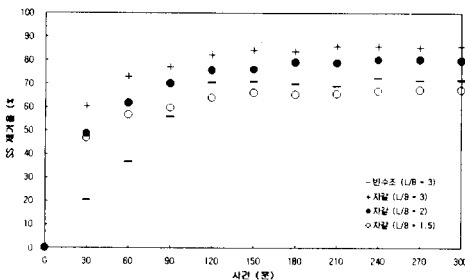


그림 3.4 자갈접촉수조의 SS 제거율

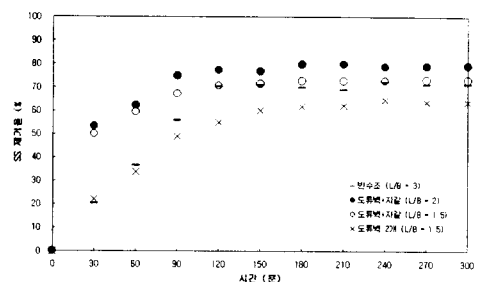


그림 3.5 도류벽이 있는 자갈접촉수조의 SS 제거율

## 4. 비교 고찰

### 4.1 도류벽 및 자갈접촉 효과 분석

저류조의 길이가 적정치(L/B=3.0)의 1/2에 해당되는, 즉 형상비(L/B)가 1.5인 경우에 ① 빈 저류조, ② 도류벽 설치(1개소), ③ 도류벽 설치(2개소), ④ 자갈접촉저류조, ⑤ 도류벽이 있는 자갈접촉저류조 등의 5가지 경우에 대하여 SS 제거율 실험을 각각 실시하였다. 빈 저류조와 도류벽 1개 설치 저류조의 경우에는 각각 30%와 40% 정도의 저조한 제거율을 보여주었으나, 도류벽 2개 설치 수조의 경우는 60%에 달하여 상당한 제거율의 향상을 보였다. 자갈접촉수조의 경우에는 약 60% 이상의 제거율을 보임으로써 2개소의 도류벽 설치의 경우와 유사하였다. 한편, 도류벽이 있

는 자갈접촉수조의 경우에는 70% 이상의 SS 제거율을 나타냄으로써 이보다 2배나 긴 단순저류조의 기능과 유사하였다. 따라서, 형상비(L/B)가 1.5의 경우에는 도류벽이 있는 자갈접촉산화수조가 최적의 형태로 판단되었다.

형상비(L/B)가 2.0인 경우에 대해서는 ① 빈 저류조, ② 도류벽 설치(1개소), ③ 도류벽 설치(2개소), ④ 자갈접촉저류조, ⑤ 도류벽이 있는 자갈접촉저류조 등의 5가지 경우에 대하여 SS 제거율 실험을 실시하였다. 빈 저류조의 경우에는 약 40% 정도의 제거율만을 보였으나, 도류벽을 1개소 설치함으로써 약 60% 정도의 제거율 향상을 보였다. 도류벽 2개소의 경우에는 제거율이 약 70%에 달하는 제거율을 보여주었고, 자갈접촉저류조와 도류벽이 있는 자갈접촉저류조의 경우에는 약 80% 정도의 제거율을 나타냈다. 따라서, 이 경우에는 도류벽 2개를 설치하거나, 자갈접촉만을 통하여 이보다 1.5배 긴 일반저류조의 제거능에 상당하는 효과를 얻을 수 있었다.

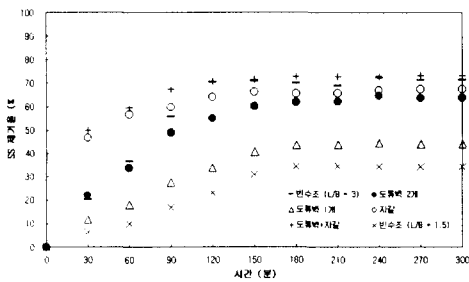


그림 4.1 폭과 길이의 비가 「1 : 1.5」인 경우 SS 제거율 비교

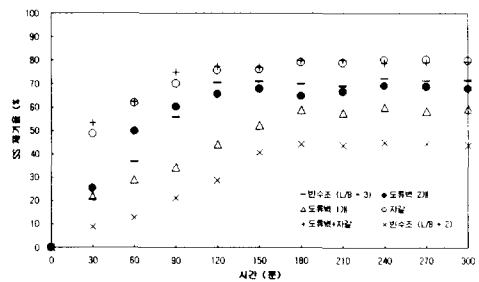


그림 4.2 폭과 길이의 비가 「1 : 2」인 경우 SS 제거율 비교

또한, 형상비(L/B)가 3.0인 경우에도 마찬가지로 5가지 경우의 조건에서 실험을 실시하였으며, 5가지 수조 모두 70% 이상의 제거율을 나타내었다. 특히 자갈접촉수조의 경우는 80% 이상의 제거율을 보여주었다. 제거율은 자갈접촉수조 > 도류벽 설치 수조 > 빈수조의 순으로 나타났으나 그 편차는 폭과 길이의 비가 1:3 보다 짧은 수조의 경우에 비해 상대적으로 매우 작으므로 평면형상비(L/B)가 3.0(횡단면 형상비; L/H=4.0)의 경우에는 빈수조만으로도 충분히 SS를 제거할 수 있음을 알 수 있었다(그림 4.3).

#### 4.2 최적의 저류조 형태 및 형상

빈수조의 경우에 대한 실험결과 폭과 길이의 비가 1:3 일때도 70% 이상의 SS 제거율을 보였으며 수조의 길이가 길어짐에 따라 제거율이 다소 증가되는 경향을 보였으나 그 편차는 뚜렷하지 않았다. 그러나, 폭과 길이의 비가 작을수록 제거율은 현격히 떨어지는 것을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서는 같은 형상비의 저류조에서 도류벽이 있는 자갈접촉산화수조 > 자갈접촉산화수조 > 도류벽설치수조 > 빈수조 순으로 제거율이 높은 것을 알 수 있다.

따라서, 형상비(L/B)가 3.0인 경우에는 빈수조 만으로도 오염물을 제거하는데 충분하다고 판단되나, 부지확보 등 경제성을 감안해 볼 때 형상비(L/B)가 2.0인 수조에 도류벽을 설치하거나 자갈접촉산화수조로 오염물을 제거하는 방법도 가능하다고 판단되며, 형상비(L/B)가 1.5의 경우에는 도류벽이 있는 자갈접촉수조로서도 비슷한 제거율을 얻을 수 있는 저류조의 설계가 가능하다고 판단된다(그림 4.4).

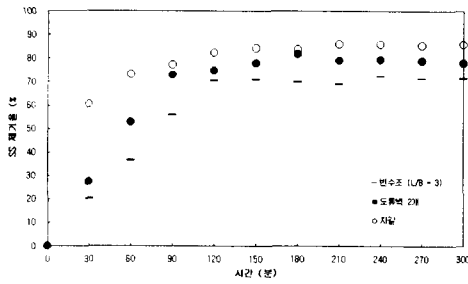


그림 4.3 폭과 길이의 비가 「 1 : 3 」 인 경우 SS 제거율 비교

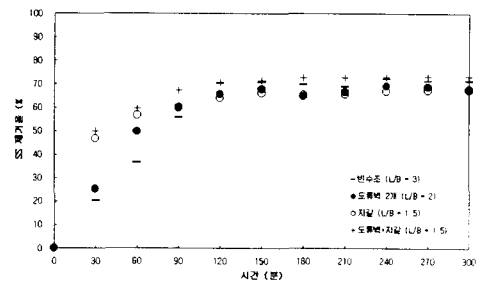


그림 4.4 최적의 저류조 형태 및 형상의 SS 제거율 비교

## 5. 결론

도시지역의 합류식하수망에서 저류지에 의한 우수의 오염물질 제거효율 향상을 위하여 저류조에 도류벽과 자갈접촉법을 도입하는 방안을 검토하였다. 형상비의 변화에 따른 제거율을 실험한 결과, 형상비(L/B)가 3.0(L/H=4.0)일 때 약 2시간의 저류로 70% 이상의 오염물 제거효율을 나타내었다. 저류조의 길이축소에 따른 제거율 저하를 극복하기 위한 연구로서 형상비(L/B) 1.5, 2.0, 3.0인 형태의 저류조에서 도류벽 및 자갈접촉수조로 오염물 제거율을 실험한 결과 도류벽이 있는 자갈접촉수조 > 자갈접촉수조 > 도류벽 설치 수조 > 빈수조의 순으로 높은 제거율을 보였다. 결국, 형상비(L/B) 1.5의 도류벽(2개)이 있는 자갈접촉산화수조의 제거율은 형상비(L/B)가 3.0인 빈수조의 제거율과 비슷한 제거효과를 나타내었으며 또한 형상비(L/B) 2.0일 때 2개의 도류벽 또는 자갈접촉수조에서도 L/B가 3.0인 빈수조에서의 제거율에 근사한 효과를 보임을 알 수 있었다. 따라서, 저류조 입지의 제약성과 경제성을 감안한다면 형상비가 작은 짧은 수조에 도류벽 설치와 자갈 등의 매개물질을 채움으로서 소정의 제거율을 유지하는 저류조의 설계가 가능함을 확인하였다.

## 참고문헌

1. 송치홍(1997), 합류식 하수도에서 저류지에 의한 수질 개선 효과 분석, 경기대학교 석사학위논문, pp. 38~72.
2. Clifford W. Randall(1982), Stormwater Detention Ponds for Water Quality Control, pp200~204, Proceedings of the Conference on Stormwater Detention Facilities, ASCE
3. Ryan Robert Matthews(1996), Enhancing Pollutant Removal from an Urban Stormwater Pond with Retrofitted Baffles, A Thesis submitted to the Department of Civil Engineering in conformity with the requirements for the degree of Master of Science (Engineering), Queen's University.