

저류지에 의한 우수의 수질개선 효과 연구

A Study on the Effect of Water Quality Improvement of a Storm Sewage by Detention Pond

이 종 태* / 송 치 흥** / 강 태 호***
Lee, Jong Tae / Song, Chi Heung / Kang, Tae Ho

Abstract

The effect of water quality improvement of combined sewage by detention pond has been studied. It is convinced that the pollutant load and peak flow through the combined sewer by first rainfall and runoff can be decreased by detention pond sited at the outlet of small basin. Hydraulic modeling of detention pond was performed for two cases of sedimentation pond and gravel contact pond. It has been recognized that it is more efficient to reduce the pollutant of combined sewage when the combined sewage is released after a fixed detention time in the detention pond than it is released continuously without detention time. The gravel contact detention pond shows higher pollutant removal rate than the sedimentation detention pond in all pollutants. When it comes to gravel contact detention pond, the gravel pond filled with crushed gravel has a higher pollutant removal rate than that filled with river gravel.

Keyword : detention pond, water quality improvement, pollutant load, removal rate, detention time, gravel contact pond, sedimentation pond

요 지

본 연구에서는 저류지에 의한 우수의 수질개선 효과를 모형실험에 의하여 분석하였다. 본 연구를 통하여 배수 구역 출구에 저류지를 설치함으로써 합류식 관거를 통한 하수 및 강우 초기 유출수의 침투유량과 오염도를 크게 경감시킬 수 있음을 확인하였다. 저류조 모형실험은 자연침강 저류조와 자갈접촉 저류조에 대하여 각각 실시하였다. 자연침강 저류조실험에서는 지속적으로 우수를 방류하는 경우보다는 일정시간 저류지내에 정체 후 방류하는 경우가 동일한 지체시간의 조건하에서 더 높은 오염물질 제거율을 보였다. 또한, 자갈을 채운 저류조에 대한 실험을 실시하였으며, 자연침강 저류조에 비해 전반적으로 각 오염성분에 대해 높은 제거율을 보였다. 한편, 채움재료의 표면이 상대적으로 거친 쇄석의 경우가 자갈보다 높은 제거율을 보였다.

핵심용어 : 저류지, 수질개선, 오염도, 제거율, 지체시간, 자갈접촉 저류조, 자연침강 저류조

* 경기대학교 토목환경공학부 토목공학과 교수
Prof., Division of Civil & Environmental Eng., Kyonggi Univ., Seoul, Korea
** 경호기술단 종합환경사업부
Division of General Environment, Kyung-ho Eng Co, Kuri, Kyonggi, Korea
*** 건일엔지니어링 수자원부
Division of Water Resources Kun Il Eng Co., Seoul, Korea

1. 서 론

산업화와 도시인구의 집중으로 인한 유역의 불투수 면적의 증가는 도시홍수량의 증가, 도달시간 단축 및 오탉부하량 증가 등의 문제를 유발하고 있으며 그 해결하기 위한 하수도랑의 확충, 하수처리시설 용량의 증대, 저류시설 및 배수펌프장신설 등의 방안들이 강구되고 있다. 특히 도로 및 운동장 등의 지하공간을 이용하는 저류시설은 침투유출량의 억제와 수질개선에 크게 기여할 수 있으며 비교적 경제적이고 내구성이 크다. 특히 신도시 건설이나 도시의 재개발로 인하여 추가로 발생하는 유출량 및 오탉부하량의 해소를 위해서는 적절한 규모의 저류시설 및 배수펌프장이 필수적이다. 이때 개발 후의 유출이 개발 전의 유출량을 초과하지 않도록 규정하고 있으나 저류공간을 활용하는 홍수량의 경감 및 하천 수질의 개선방안을 같이 고려하는 복합적인 설계개념은 충분히 적용되고 있지 못한 실정이다.

합류식하수망을 갖는 도시지역에서의 비점원 오염물은 강우시 하수처리장으로 직접 유입하여 하수처리효율을 급격히 저하시키거나, 도시하천으로 월류하여 하천 수질을 악화시킨다. 특히 강우 초기에 지표면 유출 과정을 통하여 집중적으로 발생하는 비점원 오염물질은 하천환경 및 생태에 큰 영향을 미치므로 저류지를 이용한 이들 오염물의 효율적인 제거는 매우 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 강우초기에 일정량의 우수를 저류시켜 지체시간에 따른 도시홍수조절 및 오탉물질의 제거효율을 실험하고 그 결과를 분석함으로써 유출 및 수질을 동시에 고려하는 저류시설 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

도시지역의 저류시설에 관한 연구는 '80년대에 접어들어 확산되기 시작하였다. Cobb(1982)는 저류시설의 설계시 고려해야할 사항에 대해 기술하였으며, Wisner(1982)는 우수 관리용 저류시설의 운영방법에 대해 연구하였다 Colver(1982)는 강우깊이에 따른 우수지의 개폐 및 운영에 관한 기법에 대해 연구하였으며, Malcom(1982)은 저류지의 적정용량의 결정 방법에 대해 연구하였다.

특히, Randall(1982) 등은 침강에 의한 유출수의 저류시간에 따른 SS의 제거율, 기타 오염물의 제거율 및 SS와 타 오염물과의 상관성 등에 대해 연구하여 SS의 경우 48시간의 저류로 오염물의 약 90% 이상을 제거할 수 있으며, 그 외에 중금속 및 생화학적 오

염물 역시 일부 제거할 수 있음을 보였다. Randall(1982)은 일련의 침강기동 실험을 통하여 제거율곡선을 제시하였으며, Whipple과 Hunter(1981) 등의 침강기동실험 결과와 비교하였다

이후 이 연구결과는 Grizzard(1986), Driscoll(1986)에 의해 더 많은 실험자료로 추가 보완되어 발표되었다. Hey 등(1982)은 Ellyn 호수로 유입되는 오염물을 일시 저류시킴으로써 수질개선을 도모하는 연구를 하였으며, MWCOG(1983)와 OWML(1986)에서는 저류지(detention pond)에 의한 오염물 제거에 관한 실제 모니터링을 하였다. Geiger(1987)는 저류지에 의해 합류거에서 발생하는 오염물의 효과적인 제거방법에 대해 기술하였으며, Schueler(1987)는 건기 조절지(dry pond) 및 우기 조절지(wet pond)에서 보다 긴 지체시간은 오염물 제거에 있어서 낮은 비용으로 효과적이며, 하류 제방 침식 조절에도 큰 역할을 한다고 하였다. 즉 우수의 24시간 저류로 SS의 약 90% 제거가 가능하며 용존성 질소나 '인의 경우도 이 보다는 낮았으나 상당한 제거율을 나타낸 것으로 보고 하였다. 효율적인 조절지 관리를 위한 지체시간의 추정 및 도시지역 계획수립에 관한 사항은 Schueler(1987) 및 MWCOG(1987) 등에 기술되어 있다.

Rushton(1990) 등은 저류지내 유입되는 오염물의 일반적인 특성과 유입구 형태의 변화에 따른 오염물 제거율에 대해 연구하였으며, Zarriello(1990) 등은 건기시 저류지내에서 저류시간의 증가에 따른 오염물 제거에 대해 연구하였다. NVPDC(1992)는 지체시간의 중요성을 확인하였으며, Hall 등(1993)은 홍수방지용 저류지에 대한 전반적인 사항에 대해 연구하였으며 저류지내의 수질개선 기법에 대해 조사하였다.

또한, Yu 등(1993)은 건기 조절지(dry pond)에서 일반적으로 약 0~20%의 오염물제거 효과가 있다고 발표하였으며, Yu와 Kaighn(1992) 및 Yu 등(1993)은 건기 및 우기시에 사용할 수 있는 저류조에서 입자형태 오염물의 제거율이 40~70%인 것으로 발표하였다. Tai(1991), Wanielista와 Yousef(1993), Yu 등(1994)은 금속성 및 유기물질이 포함된 부유사의 오염 성분 제거율에 대해 Virginia 지역 Charlottesville의 실제 현장 실험에서 총 부유물질(TSS) 50%, 총인(TP) 40%, COD 35%, 총아연(TZn) 30% 등의 오염물이 제거된다고 하였다. Schueler(1987)는 평균 제거효율에 관한 실험결과들을 요약하였으며, 최근에는 Ostrowski(1994)가 건기 조절지, 우기 조절지 및

extended detention pond에 대한 평균 제거효율에 관한 연구결과들을 정리하였다.

우리나라 도시배수구역에서 강우기간의 오염부하량 및 성분과 저류지 규모와 지체시간에 따른 각 오염성분별 제거효율 등의 연구로서 이종태 등(1992)은 오염물의 저류시간에 따른 오염물의 제거에 관해 연구하여 약 4시간 정도의 하수 저류로 비교적 많은 양의 오염물질을 경제적으로 제거할 수 있음을 보여주었다. 서울시정개발연구원(1995)은 유수지 우수유출을 저감대책으로 저류시설의 이용과 침투시설의 이용을 제시하였으며, 저류지내 펌프의 적정운영에 의한 유수지 이용효율의 증대 방법에 대해 연구하였다. 한편, 이시진 등(1996)은 하수처리장의 수질 개선을 위한 기초조사로서 저류시간에 따른 침전기동내의 오염물 거동에 대해 연구하였다. 유수지 및 하도에서 오염물의 제거를 위한 연구로서 한국건설기술연구원과 경남기업(1995)은 자갈접촉 산화조에 의한 오염물의 제거, 접촉 매개체(강자갈, 페르콘리트, 페타이어)에 따른 오염물의 제거 및 슬러지의 처리 등에 대해 연구한 바 있으며, 한국수자원공사(1996)는 댐으로 유입되는 오염원을 자갈접촉조 및 폭기조를 이용하여 감소시키는 기법에 관하여 연구하였다. 또한, 송치홍(1997), 이종태(1998) 등은 침전기동과 저류조에서의 수질개선효과에 대하여 연구한 바 있다.

2. 기상 저류조의 유출억제효과 및 모형설계

도시유출과정을 통하여 합류식 하수관으로 운반되는 부유물질, SS는 그 표면에 인, 중금속 등의 다른 오염물질들을 흡착하여 운반하므로 수질에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 따라서 저류지에 의한 SS의 침전법은 상당량의 흡착 오염성분들을 동시에 제거시킬 수 있음으로서 수질을 개선시키고 관리하는데 매우 효율적인 방법이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 먼저 부유성 고형물의 침강시뮬을 원통 시험관을 통해 조내의 적정 지체시간을 산정하였고, 이를 기초로 적용배수구역으로서 서울 남가좌 제 1 배수구역을 선정하고 이 지역에 대한 유역조사와 하수량 및 수질분석을 실시한 후 배수구역에서의 기상 저류지 위치와 용량을 설정하고, 이에 근거하여 Froude 상사법칙에 의한 저류지 모형을 설계 제작하여 오염물의 방류시간 및 지체시간에 따른 오염성분의 제거효율 및 적정 저류시간을 산정하였다. 또한 자갈을 여과제로 이용한 자갈접촉산화조를 제작하고 이에 관

하여서도 동일한 실험을 실시하고 그 결과를 단순저류조와 비교하였다. 이 때 자갈접촉산화조의 경우는 강자갈과 쇄석의 두 경우에 대하여 동일시료를 사용하여 분석하였다.

실험은 건기시 및 우기시의 시료를 채취하여, 각각의 수조에 대해 일정 시간의 정체 및 방류시간을 선정하여 실험하였다.

2.1 저류조의 규모와 유출억제효과

강우로 인한 지면의 비점원오염물은 주로 강우 초기에 집중된다. Huber 등(1988)의 미환경보전국 보고서에 의하면 약 12.7mm의 초기강우로 노면에 존재하는 먼지 등 오염물의 약 90% 이상이 쓸려가는 것으로 분석하였으며, 이는 남가좌 배수구역에서도 확인된 바 있다(이종태, 1997). 본 연구에서의 저류조 크기는 유출억제와 더불어 강우는 초기 쓸림오염물을 차집하기 위하여 진 배수구역에 내린 약 10mm의 유효강우를 처리할 수 있는 용량을 선택하였다. 따라서 남가좌 제 1 배수구역의 계획 저류량은 배수구역의 면적(0.203km²)을 고려하여 약 2,100m³로 결정하였으며, 유역 출구에 저류지를 설치하는 이동저류(移動貯溜, offsite storage)의 형식으로 하였다(그림 2.1).

한편, 그림 2.2는 1997년 9월 2일 강우로 인한 배수구역 출구에서의 저류지로 인한 유출양상의 변화를 도시 유출 - 수질모형인 SWMM의 Runoff와 Transport 블록을 적용하여 산정한 결과로서 저류지는 우수의 상당량을 지체시켜 홍수의 집중 유출을 억제하고 있음을 보여준다. 저류조의 설치후 홍제천으로 방류되는 침투유량은 1.2CMS에서 0.68CMS로 크게 완화되

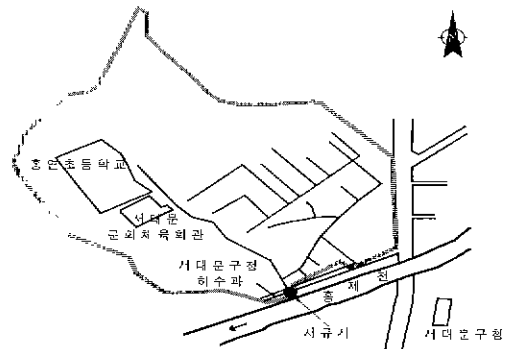


그림 2.1 남가좌 배수구역 및 기상 저류지 위치

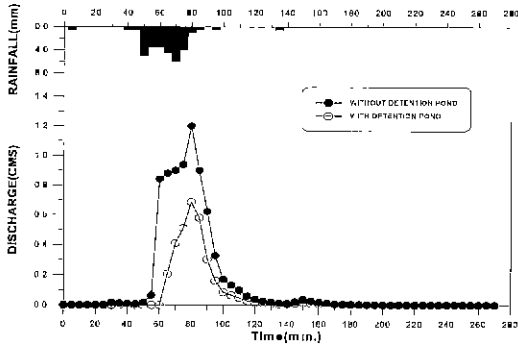


그림 2.2 저류조 설치에 따른 유출수문곡선의 변화(1997.9.2강우)

었으며 침투 발생시간도 약 5분 지체되는 효과를 보였다

2.2 저류조 모형의 설계와 시험방법

한편 저류조의 규격에 관한 연구로서 Biggers 등(1980)과 Schueler(1987)는 저류지의 폭과 길이의 비는 1:3~1:5 정도가 적합한 것으로 기술한 반면, 한국수도협회(1998)는 침사지의 길이를 폭의 3~8배로 제시하였다. 저류지의 형상은 대체로 하수 이동방향을 길이로 하는 장방형이겠으나 그 적정 규격에 대한 엄격한 기준은 확인하기 곤란하였다. 따라서 본 연구에서의 저류조는 그 소요용량과 기존 도로지하공간의 활용을 제약조건으로 하는 입방형 저류조로서 폭×수심×길이 = 7.5m×7m×40m의 크기로 계획하였는바 이 때의 폭과 길이의 비는 약 1:5.3으로서 Biggers 등(1980) 및 Schueler(1987) 상한치에 근사하며, 한국수도협회의 하수도 시설기준 권장치 범위의 중앙치에 근사하다.

저류조에 의한 오염물의 제거시험은 전기시와 우기시의 시험 배수구역 출구에서의 하수를 채수하여 각 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 저류조에서 지체시간별 각 오염성분의 제거율을 분석하기 위하여 본 연구에서는 저류시간 0, 20, 40, 60, 80, 100분 및 2, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72시간에서의 SS, BOD₅, COD, TP, TN 등의 농도를 각각 측정하였으며, 전기 및 우기시의 두 경우에 대하여 각각 반복 실험하였다. 본 연구에서의 오염성분 제거율은 제거된 오염성분 농도의 초기성분 농도에 대한 비율로 표현하였다.

저류조내에서 SS의 거동은 중력, 유동상황 및 점성력 등에 의하여 결정되겠으나 침전속도와 유속 및 지체시간에 주로 지배된다고 보아 기하학적 상사율과

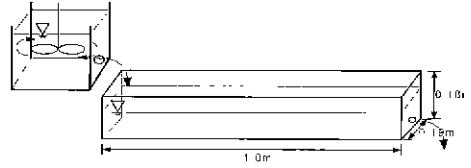


그림 2.3 저류조 모형의 제원

Froude 상사율을 고려하여 수조를 제작하였다. 생화학 적 변화과정에 영향을 크게 지배되는 기타 수질 성분 에 대해서는 상사율의 적용이 불가능하나 BOD₅, COD 등의 수질 성분들은 SS와 상관상을 가지므로 이들도 Froude 상사율의 영향을 크게 받을 것이 확실 하나 현재로서는 그 연구성고가 충분하지 못한 실정이다.

저류조는 남가좌 제 1 배수구역 출구점 현지 도로폭 및 유출량을 고려하여 기하학적 상사법칙에 의해 1/40로 축소 제작하였다. 조의 형상 및 제원은 그림 2.3과 같다. 모형에서는 지체시간의 변화에 따라 유입량과 방류량을 밸브로 조절토록 하였다. 하수는 일단 저류조내에 만수된 후 홍수조절 및 수질개선의 효과를 고려하여 적정 시간 동안 정체한 후에 방류되는것으로 보았으며 본 실험에서의 지체시간은 만수상태로 배수가 완전 차단된 초기 정체시간(t_1)과 방류를 시작하여 수조의 물이 완전히 방류되는 배수시간(t_2)을 고려하여 근사 평균지체시간(t) ($t = t_1 + (t_2/2)$)으로 정의하였다.

한편, SS의 제거율 실험을 위한 지체시간은 모형에서의 실시간과 Froude 상사법칙에 의해 축소 1:√40으로 환산한 원형에서의 시간을 같이 병기하였으며 기타 각 오염성분에 관한 지체시간은 모형에서의 실시간이다.

3. 자연침강(단순저류) 저류조 실험

3.1 오염성분의 제거율 실험(실험 1)

3.1.1 하수의 오염성분

자연침강 저류조에서의 지체시간에 따른 오염 성분 및 제거율의 변화를 측정하기 위한 실험1을 실시하였다. 실험은 지체시간 0, 20, 40, 60, 80, 100분 및 2, 6, 12, 24, 48시간 등의 11개의 경우에 대하여 우기 및 건기의 하수를 대상으로 각각 수행하였다. 시료는 남가좌 배수구역의 일 평균 수질에 대체로 해당하는

표 3.1 오염물 초기 농도(남가좌 제 1 배수구역)

| 시료 | 분석항목 | SS(mg/ℓ) | BOD ₅ (mg/ℓ) | COD(mg/ℓ) | TP(mg/ℓ) | TN(mg/ℓ) |
|----------|------|----------|-------------------------|-----------|----------|----------|
| 건기(생활하수) | | 90.20 | 54.60 | 182.00 | 0.86 | 16.25 |
| 우기(우수) | | 257.90 | 192.40 | 710.00 | 2.25 | 24.11 |

시각인 13:00시에 채취하였으며 우수의 경우는 강우 초기에 오염물이 집중되는 것을 감안하여 우수가 집중되기 시작하는 시점에서 채취하였다.

즉, 건기시 실험은 1997년 7월 15일 13:00시에 현장에서 시료원수를 채취하여 아이스 박스에 보관하여 실험실로 신속히 운반 즉시 실험을 실시하였다. 우기시 채수는 1997년 9월 2일 0:20시 강우 초기 유출이 발생하는 시기에 실시하였으며, 건기시 실험과 동일한 방법으로 운반 즉시 실험을 실시하였다. 각 시료의 오염

성분별 초기 농도는 표 3.1과 같다.

3.1.2 지체시간과 제거율

저류조내에서의 지체시간에 따른 각 오염물의 제거율은 그림 3.1과 같다. 그림에서의 시간은 모형실험에서의 실시간으로 표현하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 지체시간의 경과와 더불어 제거율은 증가하는 경향을 보였으며 SS의 경우 모형에서의 지체시간이 약 6시간(원형시간 약 38시간)에 이르면 초기농도의

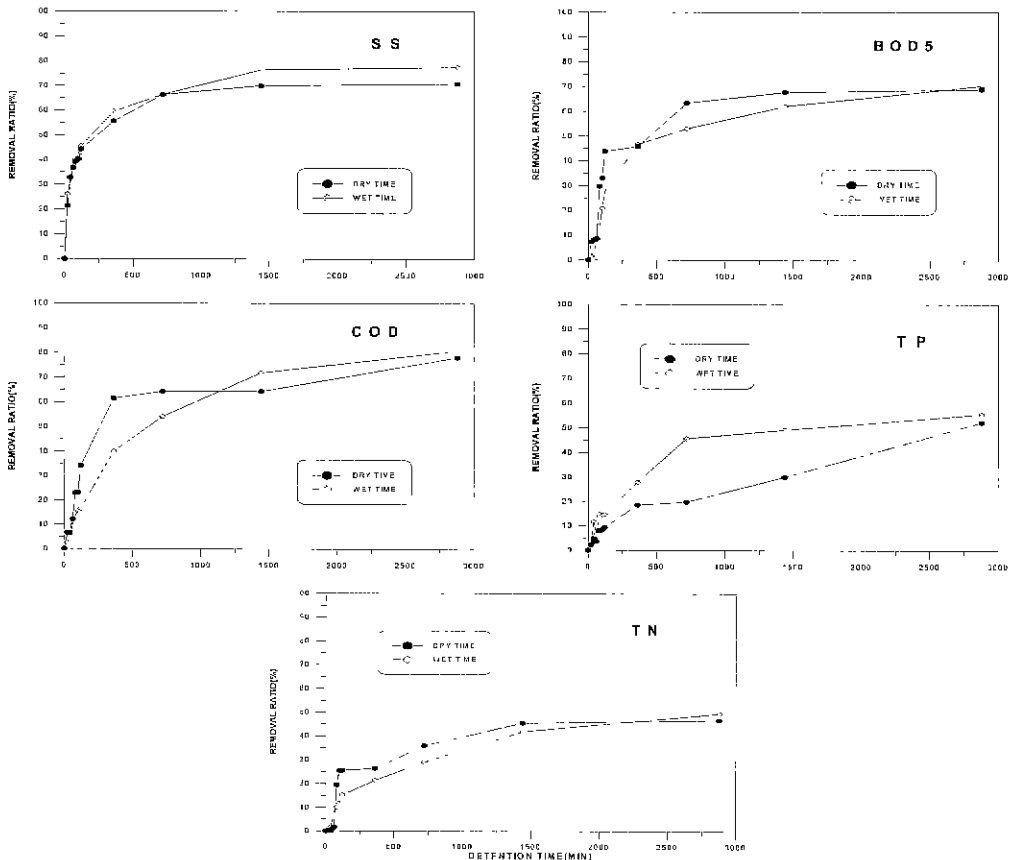


그림 3.1 각 오염물의 제거율곡선(자연침강, 실험 1)

표 3.2 SS의 정체 및 지체시간과 제거율(실험 2)

| 정체시간 원형,hr (모형,min) | 방류시간 원형,hr(모형,min) | 지체시간 원형,hr(모형,min) | SS(건기) | | SS(우기) | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------|--------------|------------|
| | | | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) |
| 0(0) | 0(0) | 0(0) | 90.2 | 0.0 | 257.9 | 0.0 |
| 0(0) CASE I | 4(36) | 2(18) | 49.9 | 44.7 | 106.3 | 58.8 |
| | 8(72) | 4(36) | 47.1 | 47.8 | 97.2 | 62.3 |
| | 12(108) | 6(54) | 41.4 | 54.1 | 96.9 | 62.4 |
| 2(18) CASE II | 4(36) | 4(36) | 46.4 | 48.6 | 96.8 | 62.5 |
| | 8(72) | 6(54) | 41.3 | 54.2 | 80.3 | 68.9 |
| | 12(108) | 8(72) | 35.3 | 60.9 | 69.3 | 73.1 |
| 4(36) CASE III | 4(36) | 6(54) | 39.6 | 56.1 | 79.6 | 69.1 |
| | 8(72) | 8(72) | 33.8 | 62.5 | 68.3 | 73.5 |
| | 12(108) | 10(90) | 31.4 | 65.2 | 60.0 | 76.7 |
| 8(54) CASE IV | 4(36) | 8(72) | 34.3 | 62.0 | 56.4 | 78.1 |
| | 8(72) | 10(90) | 29.8 | 67.0 | 54.4 | 78.9 |
| | 12(108) | 12(108) | 29.1 | 67.7 | 52.3 | 79.7 |

약 55~60%가 제거되었으며 24시간 뒤에는 약 70~75%의 제거율을 보였다. 특히, 우기시의 SS 제거율은 건기시보다 제거율이 더 높은것으로 나타났다. 이는 SS의 성분중에서 비중이 큰 무기물 입자들은 침전 초기에 상당부분 제거될 수 있으므로 상대적으로 무기물의 농도가 높은 호우시의 경우에서 더 높은 제거율을 나타낸 것으로 판단된다.

BOD₅ 및 COD의 제거율은 지체시간 약 6시간에서 약 45%, 24시간에서 약 65%내외의 값을 보였다. 한편 TP 및 TN은 그 최대제거율이 모두 60% 미만으로 건기 및 우기시 모두 그 제거율이 타 오염성분에 비해 상대적으로 낮았다.

3.2 정체 및 방류시간을 고려한 제거율 실험 (실험 2)

저류조내의 하수를 일정시간 정체시켰을 때 그 영향이 오염성분의 변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 정체시간별 방류시간에 따른 수질 변화에 대하여 SS를 중심으로 실험2를 실시하고 그 결과를 비교하였다. 즉, 원형에서의 정체시간을 0, 2, 4, 8시간의 4가지 경우(CASE I, II, III, IV)로 각각 구분하고 방류시간별 수질 성분의 변화를 건기 및 우기의 시료에 대하여 실험하였다.

실험결과에 따른 SS의 지체시간별 제거율은 표 3.2

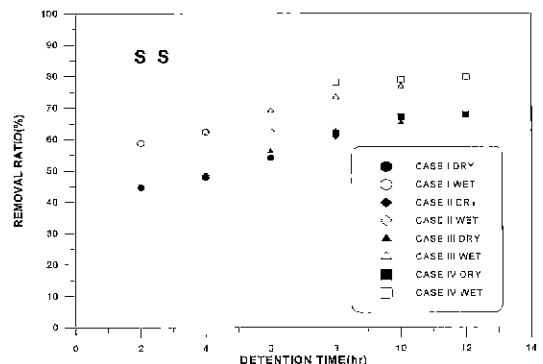


그림 3.2 SS의 정체시간이 제거율에 미치는 영향(자연침강, 실험 2)

와 같으며 동일 지체시간의 조건에서 정체시간이 길고 방류시간이 짧을수록 그 제거율이 높아짐을 보여주고 있다. 즉, 지체시간 6시간(원형)인 우기의 경우 제거율은 CASE I에서 62.4%, CASE II에서 68.9%, CASE III에서 69.1%로써 정체시간의 비중이 클수록 제거율이 상승하고 있음을 보여주고 있다. 이 경향은 건기와 우기의 두 경우에서 마찬가지로 나타났다. 건기 및 우기시 SS의 각 CASE별 제거율을 비교한 곡선은 그림 3.2와 같으며, 우기의 경우가 건기보다 높은 SS 제거율을 나타내었다. 그림에서 시간은 원형에

표 3.3 각 오염성분의 정체시간과 제거율(실험 2)

| 정체 시간 (분) | 방류 시간 (분) | 지체 시간 (분) | BOD ₅ (건기) | | COD(건기) | | TP(건기) | | TN(건기) | | BOD ₅ (우기) | | COD(우기) | | TP(우기) | | TN(우기) | |
|-----------|-----------|-----------|-----------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 제거율 (%) |
| 0 | 0 | 0 | 54.6 | 0.0 | 182 | 0.0 | 0.86 | 0.0 | 16.248 | 0.0 | 0 | 0 | 192.4 | 0.0 | 710 | 0.0 | 2.25 | 0.0 |
| CASE I | 36 | 18 | 52.0 | 4.8 | 160 | 12.1 | 0.86 | 0.0 | 15.730 | 3.2 | 36 | 18 | 182.3 | 5.3 | 613 | 13.7 | 2.19 | 2.7 |
| | 72 | 36 | 51.2 | 6.2 | 144 | 20.9 | 0.84 | 2.3 | 12.033 | 25.9 | 72 | 36 | 170.6 | 11.3 | 580 | 18.3 | 2.19 | 2.7 |
| | 108 | 54 | 50.9 | 6.8 | 145 | 20.3 | 0.83 | 3.5 | 12.025 | 26.0 | 108 | 54 | 159.7 | 17.0 | 563 | 20.7 | 2.16 | 4.0 |
| CASE II | 36 | 36 | 50.8 | 7.0 | 160 | 12.1 | 0.83 | 3.5 | 13.984 | 13.9 | 36 | 36 | 163.2 | 15.2 | 606 | 14.6 | 2.17 | 3.6 |
| | 72 | 54 | 42.6 | 22.0 | 150 | 17.6 | 0.84 | 2.3 | 13.310 | 18.1 | 72 | 54 | 150.3 | 21.9 | 562 | 20.8 | 2.12 | 5.8 |
| | 108 | 72 | 40.3 | 26.2 | 140 | 23.1 | 0.79 | 8.1 | 11.763 | 27.8 | 108 | 72 | 142.8 | 25.8 | 533 | 24.9 | 2.09 | 7.1 |
| CASE III | 36 | 54 | 46.2 | 15.4 | 155 | 14.8 | 0.76 | 11.6 | 11.783 | 27.5 | 36 | 54 | 149.6 | 22.2 | 573 | 19.3 | 2.07 | 8.0 |
| | 72 | 72 | 42.9 | 21.4 | 140 | 23.1 | 0.77 | 10.5 | 11.122 | 31.5 | 72 | 72 | 140.6 | 26.9 | 540 | 23.9 | 2.00 | 11.0 |
| | 108 | 90 | 39.7 | 27.3 | 110 | 39.6 | 0.75 | 12.8 | 11.330 | 30.3 | 108 | 90 | 130.4 | 32.2 | 516 | 27.3 | 1.92 | 14.7 |
| CASE IV | 36 | 72 | 42.8 | 21.6 | 140 | 23.1 | 0.74 | 14.0 | 12.100 | 25.6 | 36 | 72 | 132.6 | 31.1 | 503 | 29.2 | 1.90 | 15.6 |
| | 72 | 90 | 39.6 | 27.5 | 120 | 34.1 | 0.74 | 14.0 | 12.099 | 25.4 | 72 | 90 | 120.3 | 37.5 | 492 | 30.7 | 1.62 | 28.0 |
| | 108 | 108 | 36.7 | 32.8 | 100 | 45.1 | 0.72 | 16.3 | 11.974 | 26.3 | 108 | 108 | 116.2 | 39.6 | 352 | 50.4 | 1.49 | 33.8 |

서의 시간이다.

한편 SS를 제외한 각 오염성분의 정체시간의 변화

에 따른 농도의 변화를 실험하였으며 그 결과는 표

3.3 및 그림 3.3과 같다.

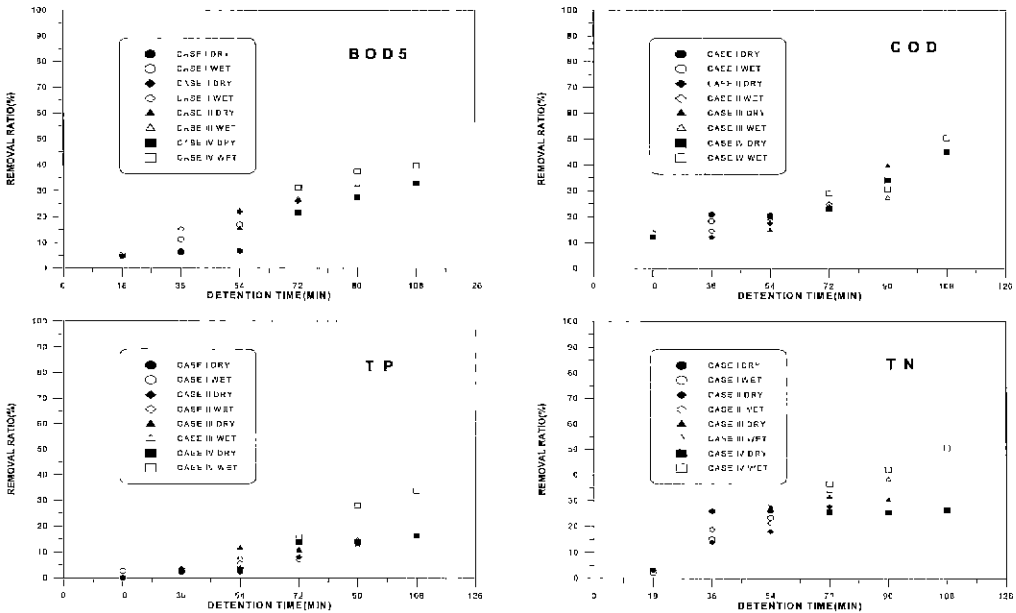


그림 3.3 정체시간의 변화에 따른 각 CASE별 제거율(자연침강, 실험 2)

표 4.1 자갈접촉 저류조에 사용된 채움 재료의 특성

| 자갈의 종류 | 강 자갈 | 쇄 석 |
|--------|----------------------|----------------------|
| 공극율 | 50% | 40% |
| 입경 | Ø 10mm~15mm(원형 40cm) | Ø 10mm~15mm(원형 40cm) |
| 자갈의 특성 | 매끈하고 원형 | 거칠고 불규칙적 형상 |

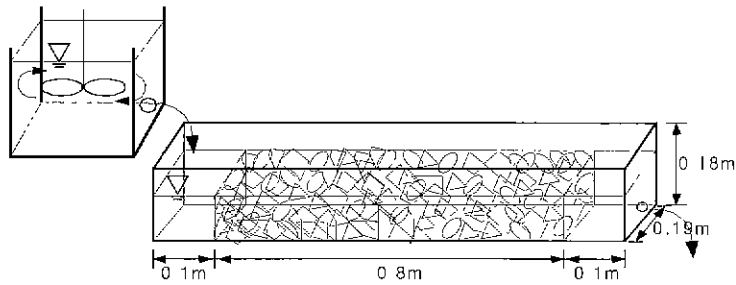


그림 4.1 강자갈 및 쇄석을 이용한 접촉 저류조

이 실험결과에서 알 수 있는바와 같이 각 오염성분은 지체시간이 길수록 제거율이 증가되는 경향을 전반적으로 보여주었다. BOD₅ 및 COD의 경우 동일한 지체시간에서 정체시간이 긴 경우가 전반적으로 높은 제거율을 나타내는 경향을 보였다. 그러나 TP 및 TN에 대하여서도 같은 경향을 보이는 것으로 단정하기에는 어려움이 있었으며 이에 관하여서는 앞으로의 추가 실험이 요망된다.

4. 여과재로 채운(자갈접촉) 저류조 실험

4.1 저류조 및 채움 재료

모형 저류조는 자연침강 저류조와 같은 크기로 되었으며 자갈접촉 저류조에 사용된 두 채움 재료의 특성은 표 4.1과 같다. 저류조에 각각 강자갈층 또는 쇄석층을 설치하여 하수가 이 부분을 통과하면서 채움재료와 접촉하도록 설계하였으며 그 형상은 그림 4.1과 같다.

4.2 오염성분의 제거율 실험(실험 3)

자갈채움 저류조 모형에서의 지체시간별 오염물의 제거율을 측정하였으며 강자갈의 경우와 쇄석의 경우로 구분한 각 오염성분의 제거율 곡선은 그림 4.2와 같다. 그림에서의 시간은 Froude 상사율에 의한 원형

의 시간으로 환산 표기하였다.

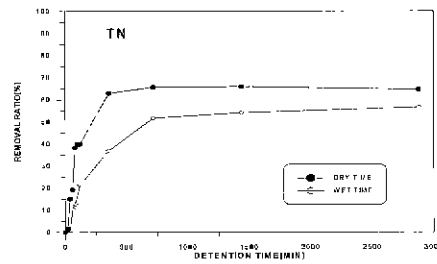
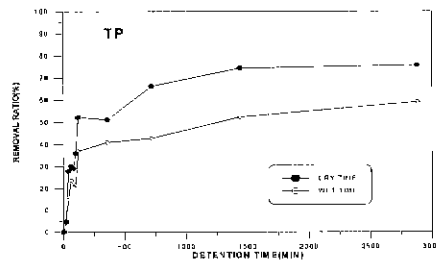
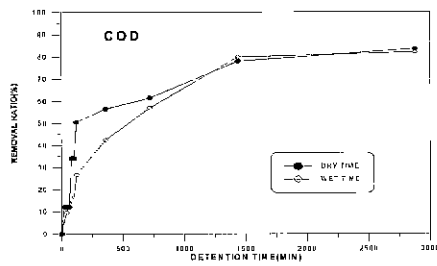
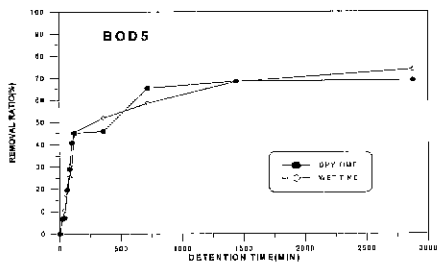
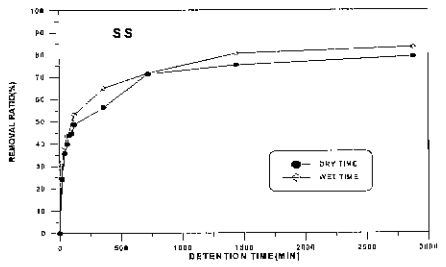
이 실험3에서 SS 제거율은 우기시가 건기시보다 상대적으로 높은 제거율을 나타냈다. 또한 SS 제거율은 강자갈 보다 쇄석 수조에서 더 높은 제거율을 보였는데, 이는 쇄석이 강자갈보다 우수의 매개체와의 접촉면이 넓기 때문인 것으로 판단된다. 저류 초기에 SS의 약 70% 이상이 제거되었으며, 24시간 저류이후에는 제거율의 변화가 크게 나타나지 않았다. BOD₅ 역시 비교적 높은 제거율을 나타냈으며, 강자갈조와 쇄석조의 경우가 거의 동일한 제거율을 나타냈다. COD는 건기시 시료에서 보다 높은 제거율을 나타냈으며, 쇄석조의 경우가 높은 제거율을 나타냈다. TP는 건기와 우기간에 제거율의 차이를 크게 보였으며 쇄석조의 건기시에 보다 높은 제거율을 나타냈다. TN도 건기시에 높은 제거율을 나타냈으며 쇄석의 경우가 다소 양호한 제거율을 보였다.

4.3 정체 및 방류시간을 고려한 제거효율 실험 (실험 4)

본 실험4는 강자갈 및 쇄석 저류조에서 정체시간의 영향을 분석하기 위한 것으로서 먼저 지체시간에 따른 SS 및 각 오염물의 제거율을 측정하였다. SS의 지체시간별 제거율은 표 4.2와 같다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 쇄석의 경우가 강자갈

(a) 강자갈



(b) 쇠 석

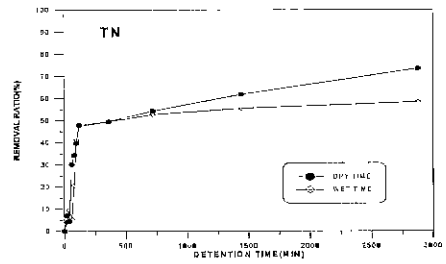
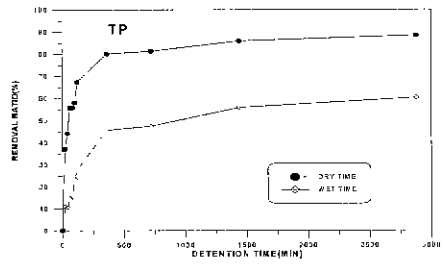
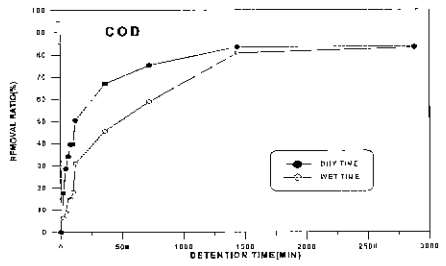
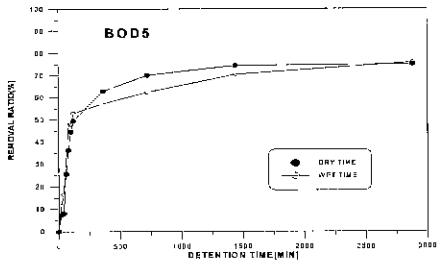
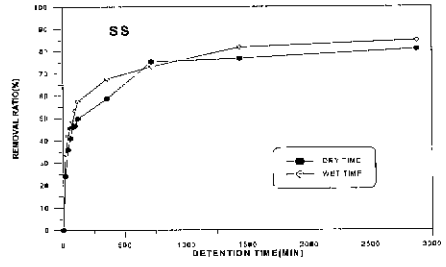


그림 4.2 자갈 접촉에 의한 각 오염물성분의 제거율 곡선(실험 3)

표 4.2 건기 및 우기시 SS의 지체시간별 제거율(실험 3)

| 정체시간 원형, hr (모형, min) | 방류시간 원형, hr (모형, min) | 지체시간 원형, hr (모형, min) | 건기/자갈 | | 우기/자갈 | | 건기/쇄석 | | 우기/쇄석 | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | | 농도 | 제거율 | 농도 | 제거율 | 농도 | 제거율 | 농도 | 제거율 |
| 0(0) | 0(0) | 0(0) | 90.2 | 0.0 | 257.9 | 0.0 | 90.2 | 0.0 | 257.9 | 0.0 |
| 0(0) CASE I | 4(36) | 2(18) | 37.4 | 58.5 | 78.7 | 69.5 | 42.0 | 53.4 | 70.3 | 72.7 |
| | 8(72) | 4(36) | 33.7 | 62.6 | 73.5 | 71.5 | 39.0 | 56.8 | 69.9 | 72.9 |
| | 12(108) | 6(54) | 31.3 | 65.3 | 73.3 | 71.8 | 25.8 | 71.4 | 65.4 | 74.6 |
| 2(18) CASE II | 4(36) | 4(36) | 33.3 | 63.1 | 76.3 | 70.4 | 31.8 | 64.7 | 69.7 | 73.0 |
| | 8(72) | 6(54) | 32.2 | 64.3 | 74.5 | 71.1 | 25.8 | 71.4 | 64.2 | 75.1 |
| | 12(108) | 8(72) | 25.6 | 71.6 | 54.5 | 78.9 | 21.7 | 75.9 | 50.9 | 80.3 |
| 4(36) CASE III | 4(36) | 6(54) | 31.6 | 65.0 | 43.9 | 83.0 | 23.7 | 73.7 | 43.8 | 83.0 |
| | 8(72) | 8(72) | 25.6 | 71.6 | 37.2 | 85.6 | 23.2 | 74.3 | 37.3 | 85.5 |
| | 12(108) | 10(90) | 22.3 | 75.3 | 36.1 | 86.0 | 21.0 | 76.7 | 32.6 | 87.4 |
| 8(54) CASE IV | 4(36) | 8(72) | 27.6 | 69.4 | 42.6 | 83.5 | 19.7 | 78.2 | 40.4 | 84.3 |
| | 8(72) | 10(90) | 19.0 | 78.9 | 37.8 | 85.3 | 17.3 | 80.8 | 32.3 | 87.5 |
| | 12(108) | 12(108) | 18.9 | 79.0 | 32.2 | 87.5 | 15.1 | 83.3 | 28.5 | 88.9 |

의 경우보다 높은 제거율을 나타내어, 건기시 약 10%, 우기시 약 5%의 높은 제거율을 나타냈다. 또한, 강자갈 및 쇄석체움의 두 저류조에서 모두 우기시 높은 제거율을 나타냈다. 동일한 지체시간에서 방류시간과 정체시간을 달리하는 경우에는 조내에 정체시간이 긴 경우가 보다 높은 제거율을 나타냈다 따라서 일정량의 하수를 계속 방류하는 것보다는 일정시간 저류후 방류하는 경우에 높은 제거율을 얻을 수 있었다.

또한, 기타 오염성분의 강자갈과 쇄석에 대한 정체시간에 따른 제거율 실험 결과를 그림 4.3에 나타내었으며, 쇄석조는 전체적으로 강자갈조보다 높은 제거율을 보여주고 있다.

BOD₅의 경우에도 쇄석조가 높은 제거율을 나타냈으며, 자연친강 저류조의 경우에서와 마찬가지로 동일한 지체시간에서 방류시간보다 정체시간이 긴 경우에 더 높은 제거율을 나타냈다. COD는 우기시 보다 건기시 높은 제거율을 나타냈으며, 쇄석조에서 더 높은 제거율을 나타냈다. TP 및 TN은 건/우기시 강자갈 및 쇄석조에서 모두 상대적으로 낮은 제거율을 나타냈으며, 방류시간 및 정체시간의 영향은 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 건기시 쇄석조에서의 TP 및 TN의 제거율은 강자갈의 경우 보다 약 10% 이상 높은 제거율

을 보였다.

5. 결과분석 및 고찰

5.1 초기 오염물농도와 제거효율

저류시간의 변화에 따른 각 오염물의 제거율은 저류 초기의 오염농도 및 성분과 밀접한 관계가 있음을 본 연구에서 확인되었다. 즉, SS의 경우 전체적으로 초기 농도가 높은 우기시의 제거율이 초기 농도가 낮은 건기시보다 전체적으로 높았으며 특히 저류 초기에 뚜렷하게 나타났다. 이러한 경향은 TP의 경우에도 유사하였다. 이는 강우초기에 운반되는 비교적 거친 입경의 부유물이 저류지에서 신속히 침전되기 때문인 것으로 판단된다.

그러나, BOD₅, COD 및 TN의 경우에는 오히려 저류시간의 초기 상당기간에서는 건기의 경우가 높은 제거율을 보였는 바 이는 하수의 오염특성에 기인하는 것으로서 그 명확한 원인을 현단계로서는 확인할 수 없었다. 단지 강우초기에 운반되는 부유물질에는 건기시의 생활하수 보다는 흙착 BOD₅, COD 등의 성분이 작은데 기인하는 것도 한 원인으로 판단된다.

따라서 저류지 공간이 허용하는 범위에서 초기 정체

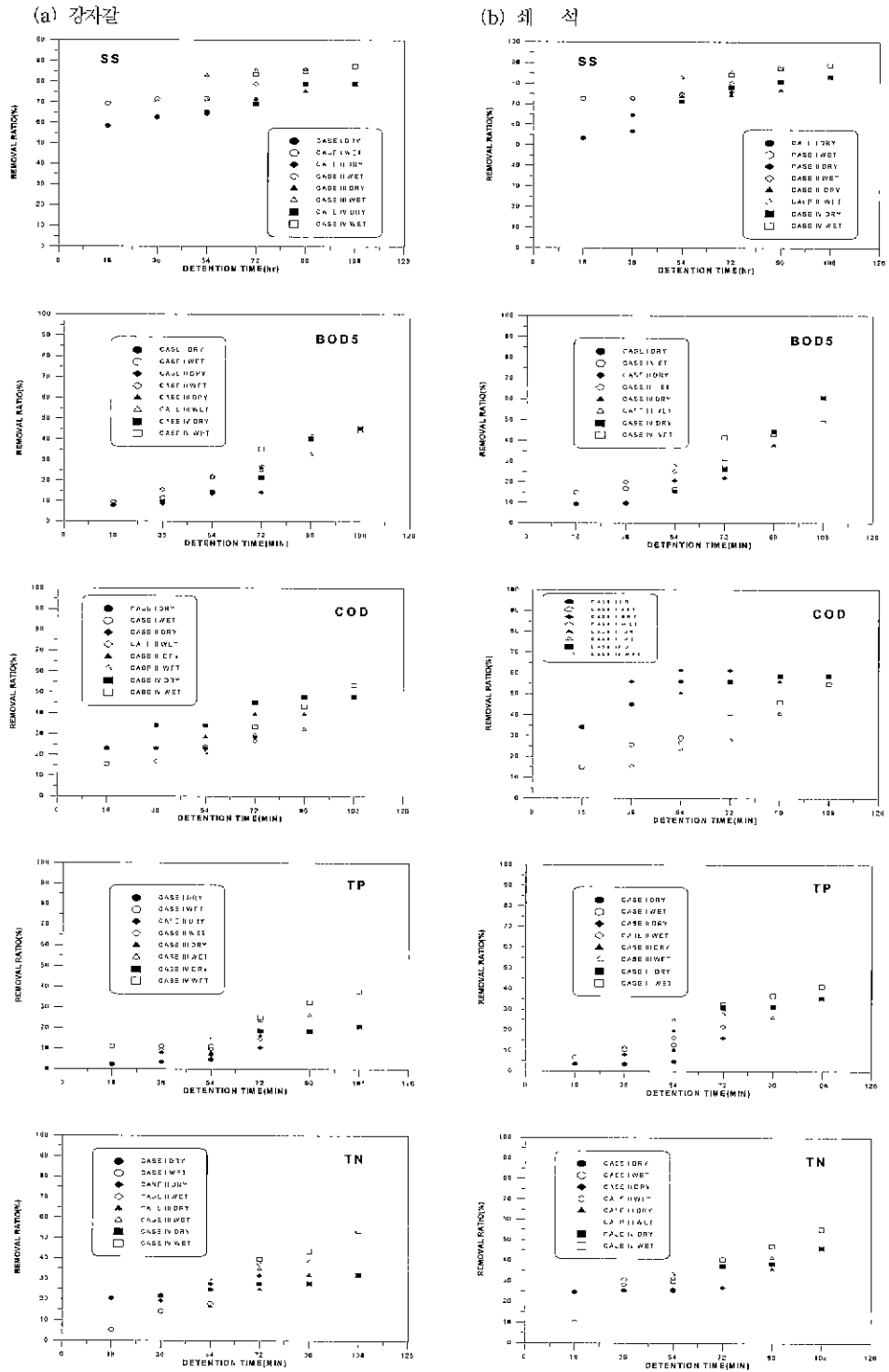


그림 4.3 각 오염성분의 CASE별 제거율 곡선(자갈채움 저류조, 실험 4)

를 늘리는 것은 바람직하며 월류를 허용하더라도 일정 지체시간을 지킬 수 있다면 수질개선에는 큰 무리가 없다고 판단된다.

한편 지체시간에 따른 오염성분들의 제거율은 건기와 우기시에 따라 다르나 대체로 초기의 약 6시간까지는 제거율이 급속히 증가하다가 이 시간을 기점으로 그 제거효율의 개선 정도는 급속히 완화되는 경향을 보여주고 있다. 따라서, 특별한 경우가 아니라면 약 12시간의 지체시간으로서는 제거율이 목표량의 약 70~80%에 상당하는 수질개선효과를 기대할 수 있으므로 이를 고려한 저류조의 적정 용량이 결정되어야 할 것이다.

5.2 정체시간 및 지체시간이 제거효율에 미치는 영향

강우시 하수의 초기 오염도는 매우 높으므로 이를 효과적으로 낮추기 위한 방안으로서는 초기의 오수를 일정시간 정체시킨 후 서서히 월류시키는 것이 효율적이다. 동일 지체시간에 있어서 초기 정체시간이 클수록 제거율은 전반적으로 개선되는 양상을 보여주었다. 그러나 그 개선되는 정도는 전체 지체시간의 증가에 따른 제거효율의 개선정도 비해서는 의외로 둔감한 것으로 나타나 정체시간의 증대를 위해 늘어나는 저류지의 용량을 고려한다면 그 효과는 작은 것으로 판단된다.

5.3 자연침강실험과 자갈접촉실험의 비교

자연침강법과 자갈접촉법에 의한 두 모형실험에서 전반적으로 자갈접촉법에 의한 것이 자연침강법에 의한 것 보다 수질개선효과가 큼을 보여주었다. 특히 TP, TN의 경우에는 그 격차가 뚜렷하였다. 그러나, SS, BOD₅, COD 등의 오염성분에 대한 두 모형간의 수질개선효과의 격차는 그리 크지 않음으로써 자갈채움 저류조의 건설비 및 유지관리 등의 비용과 특히 채움재로 인한 유효 저류용량의 감소로 인한 저류효과의 저하를 고려하면 소비수구역 출구 등에 설치하는 저류조는 그 구조가 간단하고 유지관리가 용이하여 유효 저류용량의 확보차원에서라도 단순 자연침강 저류조의 설치가 오히려 바람직한 경우가 많을 것으로 판단된다. 그러나, 도로 및 하상에 설치하는 침투형 소형 저류조의 경우는 오히려 유지관리면에서도 자갈접촉법이 더욱 바람직한 선택일 수도 있겠다.

5.4 자갈의 종류와 제거효율

채움 재료로서 강자갈은 형상이 등골어서 상대적으로 접촉면이 쇄석보다 작은 반면 쇄석의 표면은 거칠어 넓은 접촉면을 가짐으로써 대체적으로 건기 및 우기시의 모든 경우에서 쇄석의 경우가 제거효율이 강자갈의 경우보다 높음을 알 수 있었다. 한편, 채움재의 접촉면적, 공극률 및 채움방법 등과도 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되어 이에 관한 추가적인 연구가 요망된다.

5.5 Froude 상사율의 적용과 문제점

SS 제거율에 큰 영향을 주는 요소는 침강과 이송으로 이러한 관점에서 Froude 상사율을 적용하여 모형실험 결과로부터 원형에서의 결과를 유추하기위한 노력을 시도하였다. 그러나, SS의 제거율에는 유체의 점성, 생화학적 반응 등이 영향을 주며 이를 상사율에 동시에 수용함에는 큰 어려움이 있으며, 모형실험의 한계이기도 하다. 이점에 관하여서는 각 영향요소에 대한 다양한 추가 연구가 필요하다.

6. 결 론

도시 홍수량의 저감과 도시하천 수질의 악화를 완화시키기 위하여 배수체계에 가상 저류지를 설치하는 방안을 서울 남가좌 제 1 배수구역의 중심으로 검토하였다. 본 연구를 통하여 소 배수구역의 출구에 소형저류지를 설치함으로써 효과적으로 침투홍수량과 오염물을 경감할 수 있음을 확인할 수 있었다. 저류지에 관한 모형실험으로부터 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 초기 강우 10mm에 의한 우수를 차단 저류함으로써 자연침강의 경우 약 6시간(모형) 전후의 저류로 약 55~60%, 24시간 저류로 약 70~75%의 SS 오염성분을 제거하는 수질개선효과를 보였다.
- (2) 저류시간의 변화에 따른 SS 제거율은 전반적으로 저류 시간의 증가에 따라 제거율의 증가를 보여주었으며, 초기 농도가 높은 우기시의 제거율이 초기 농도가 낮은 건기시의 제거율보다 전체적으로 높았으며 특히 저류초기에 뚜렷하게 나타났다.
- (3) 동일한 지체시간의 조건에서 일정량을 지속적으로 방류하는 것보다는 일정시간 조내에 정체 후 방류하는 경우에서 더 높은 제거율을 얻을 수 있었다.
- (4) 전반적으로 자갈채움 저류조의 경우가 자연침강

저류조에 비해 높은 제거율을 보였으나, TP와 TN을 제외한 오염성분에서는 그 격차가 크지는 않았으며, 유지관리와 유호저류용량의 축소가 문제점으로 남는다.

(5) 자갈점축 저류조의 경우 채움재료가 상대적으로 거친 쇄석의 경우에서 보다 높은 제거율을 나타냈으며 특히 TP 및 TN의 제거율에서 그 격차가 뚜렷하였다.

참 고 문 헌

송치홍(1997). 합류식 하수도에서의 저류지에 의한 수질개선 분석. 석사학위논문, 경기대학교, pp.39~92.

이시진(1996). 기흥 하수종말처리시설 기본 및 실시설계를 위한 수질분석 및 생물해성실험 보고서, 경기대학교 환경문제연구소, pp. 13~27.

이종태(1992). 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리시스템 분석 및 설계기법의 개발. 한국과학재단, pp. 3-82~3-92.

이종태, 강태호(1997). "도시 배수구역의 유출-수질 특성인자의 민감도 분석." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제30권 1호, pp. 83~93.

이종태, 송치홍, 서홍준(1998). "저류조에 의한 하수수질 개선효과에 관한 실험 연구." '98 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 512~517.

한국건설기술연구원, 경남기업주식회사(1995), 하천수질 정화기술 개발연구(한국형 하천수질 정화기술의 개발), pp. 10~11.

한국수도협회(1998), 하수도 시설기준. pp. 4~20.

한국수자원공사(1995), 자갈점축 산화법을 이용한 덤저수지 유입수 처리방안에 관한 연구, pp. 37~43

Biggers, D.J., Hartigan, J.P. and Bonuccelli, H. A.(1980). "Urban Best Management Practices ; Transition from Single Purpose to Multipurpose Stormwater Management." *International Symposium on Urban Stormwater Runoff*, Lexington, pp. 249~274.

Cobb, E.D(1982). "Planning Consideration for Detention Basins." *Proc. Stormwater Detention Facilities*. New England College, New Hampshire, pp. 16~20.

Colyer, P.J.(1982). "Detention Storage as an Equivalent Rainfall Depth." *Proceeding*

Stormwater Detention Facilities, New England College. New Hampshire, pp. 86~93.

Driscoll, E.D.(1986). "Lognormality of Point and Non-point Source Pollutant Concentrations." *Urban Runoff Quality : Impact and Quality Enhancement Technology*, ASCE. New York

Geiger, W.F.(1987). "Prefilling of Detention Basins and Its Effect on Overflows". *Proceedings of 4th International Conference in Urban Storm Drainage*, IAHR, pp 119~120.

Grizzard, T.J., Randall, C.W., Weand, B.W., and Ellis, K.L.(1986). "Effective of Extended Retention Ponds." *Urban Runoff Quality : Impact and Quality Enhancement Technology*, ASCE, New York.

Hall, M.J., Hockin, D.L. and Ellis, J.B.(1993). *Design of Flood Storage Reservoirs*, CIRIA and Butterworth-Heinemann Ltd.

Hey, D.L.(1982). "Lake Ellyn and Urban Stormwater Treatment". *Proceedings of the Conference on Stormwater Detention Facilities*, ASCE, pp 220~235.

Huber, W.C., and Dickinson, R. E.(1988). "Storm Water Management Model : User's Manual(Ver 4.0)" E.P.A. pp. 59~494

Malcom, H.R.(1982). "Some Detention Ideas" *Proceedings of the Conference on Stormwater Detention Facilities*, ASCE. pp138~145.

Metropolitan Washington Council of Governments(MWCOG)(1987). "Urban Runoff in the \ Metropolitan Washington Area" Final Report, US E. P. A.

Northern Virginia Planning District Commission (1992). "Northern Virginia BMP Handbook." Annandale, Va.

Occoquan Watershed Monitoring Lab(OWML) (1986). "Report on the Commons Extended Detention Pond Monitoring Study." *Virginia Department of Conservation and*

- Recreation, Richmond, Va.*
- Ostrowski, T.J.(1994). *uantification of Urban Stormwater Pollutant Removal Efficiency of Detention Basins and Wetlands*. M.S.thesis, Department of Civil engineering, Penn State University, University Park, Pa.
- Randall, C.W., Ellis, K.L., Grizzard, T.J, and Knoke, W.R.(1982). "Urban Runoff Pollutant Removal by Sedimentation" *Proceeding of Stormwater Detention Facilities*, New England College, New Hampshire, Aug 2-6, pp. 205~219.
- Rushton, B.T. and Dye. C.W.(1990). "Hydrologic and water quality characteristics of a wet detention pond." *Symposium Proceedings on Urban Hydrology*, Monroe County, New York. American Water Resources Association.
- Schueler, T.B.(1987), *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Dasigning Urban BMP's*, Washington Metropolitan Water Resources Planning Board
- Tai, Y.L.(1991). *Physical and Chernal Characteristics of Street Dust and Dirt from Urban Areas*, M.S.thesis, Department of Civil Engineering, Penn State University, University Park, Pa.
- Wanielista, M.P., and Yousef, Y.A.(1993). *Stormwater Management*, Wiley Interscience, New York.
- Whipple, J.W., and Hunter, J.V (1981). "Settleability of Urban Runoff Pollution" *J.Water Pollution Control Federation*, Vol. 53, No. 1, pp. 1726~1732.
- Wisner, P.(1982). Implementation of Stormwater Management in Canada. *Proceedings of the Conference on Stormwater Detention Facilities*, ASCE, pp 21~31.
- Yu, S.L., Barnes, B.L., and Gerde. V.W.(1993). "Testing of Best Managemrnt Practices for Controlling Highway Runoff." *Virginia Transportation Research Council*. Charlottesville, Va.
- Yu, S.L., and Kaighn Jr., R.J.(1992). "VDOT Manual of Practice for Planning Stormwater Managment." *Virginia Transportation Research Council*, Charlottesville, Va
- Yu, S.L., Barnes, S.L., Kaighn Jr., R.L., and Liao, S.L.(1994) "Pond Modification to Improve Watwer Quality." *Proceeding of the Symposium on Stormwater Runoff and Quality Management*, Penn State University, University Park, Pa.
- Zarriello, P.J.(1990). "Effects of Increases retention time on storm-runoff quality in a Normally dry flow-detention basin" *Symposium Proceedings on Urban Hydrology*, American Water Resources Association, Monroe County, New York.

(논문번호:99-096/집수.1999 12 15/집사완료'2000.04.14)