

수초·골재 하수처리장의 투수속도

정 동 양¹⁾

¹⁾ 한국교원대학교 기술교육과

The Infiltration Velocity of a Sewage Disposal System with Water Plant and Gravel Bed

Chung Dong Yang¹⁾

¹⁾ Dept. of Technology Education, Korea National University of Education.

ABSTRACT

This paper describes the effects of sewage amount, temperature, and years in operation on the infiltration rate of a sewage disposal system. The self-purifying sewage disposal system, which is typically used in rural areas, consists of reeds and fine gravel. Water plants are planted on the gravel bed which provides the habitat for microbes. The basic process is that the gravel bed filters incoming sewage. Thus this system requires the smooth flow of sewage through the gravel. However, the efficiency of the disposal system will be lowered if the gravel bed is clogged with sewage sludge. A three year study shows that infiltration rate slows down significantly until the 7th day, depending on the sewage amount and the temperature. After the 7th day, the infiltration rate remains almost constant. In addition, the infiltration rate decreases as the temperature falls. It also decreases as the number of years in operation increase. But there is no significant change in the infiltration rate after the 7th day, independent of the temperature, the sewage amount, and years in operation. In order to take advantage of high infiltration rate, which improves the efficiency of the disposal system in its early stages, having two gravel beds and using them alternatively will be efficient. This operation method is called intermittent load and makes the disposal system last longer. The water plant roots above the gravel bed make the effective filtration possible because they delay accumulation of the sewage sludge and stabilize the filtration ability.

Key words : *Sewerage, Water plant, Pore clogging, Infiltration rate, Self-purifying.*

I. 서 론

수초·골재 하수처리장은 자연정화공법(정동양, 1996)을 이용한 농어촌 마을 하수를 처리하

기 위하여 G7-환경기술 개발 사업의 성공 연구 과제(환경부, 2002)로서 현재 농어촌에 기술이 보급되고 있다. 이 기술은 1965년 독일의 생물학자 Seidel에 의하여 모래의 침상을 단계적으로

배열하여 생활하수를 처리하기 위하여 개발되어 수초하수처리장이라고 명하였다. 1970년대에는 Kassel 대학의 Kickuth 교수는 일반 토양에 갈대를 심어 하수를 수평을 흐르게 하여 처리하였으며, 그는 뿌리공간 하수처리장이이라는 명칭을 사용하였다. 이 공법은 부영양화 된 호소의 영양소를 섭취한 수초를 제거함으로써 수질을 개선하는 차원의 정화가 아니며, 생활하수를 골재침상에 유입시켜 하수를 처리하는 것이 특징이다 (ATV, 1989). 생활하수를 골재의 침상에 수직 및 수평 여과하는 과정에서 물리적으로나 생화학적 처리된다. 우리나라에 과거에 알려진 그리고 현재는 그 사용이 중단된 토양트렌치 공법과 대조적인 이 공법은 골재침상의 모래와 자갈의 입자표면에 서식하는 미생물에 의하여 대부분의 하수가 처리된다. 이 처리공법에서 갈대를 비롯한 수초의 역할은 크게 두 가지이다. 하수가 골재 층을 잘 통과하도록 공극을 유지하는 기능과 미생물의 서식을 용이하게 하는 것이다. 수초·골재 하수처리장의 갈대침상은 수직 여과조이며, 골재침상은 갈대와 미생물의 서식공간을 제공하는 것과 물리화학적인 정화기능을 갖는다 (Rönsch, 1985). 이와 같은 갈대와 골재가 추가되어 처리를 한다는 뜻에서 수초·골재 하수처리장이라고 연구자가 이름을 붙였다. 연구자(내무부, 1996)는 자연 정화 기술에 대하여 관련 당국에 이 공법의 연구와 검토를 건의 한 바, 이 공법에 사용되는 부지면적이 너무 크다는 것과 이 시설을 장기간 사용을 하게되면 처리장의 골재의 공극이 폐쇄되어 처리능률이 떨어질 우려와 함께 우리나라에 이 공법은 검증이 되지 않았다는 문제점을 지적되었다. 수초·골재 하수처리장은 독일어권 문화 국가들에 흔하게 사용하는 자연 정화 공법이며, 자연 친화적이며, 농어촌의 생활 하수를 안전하고 효과적으로 처리할 수 있는 공법으로 알려져 있으며, 설치하게 되면 30년 이상 사용할 수 있다고 하며, 일부 학자들은 영원히 사용할 수 있다고 주장하기도 한다. 본 연구는 이와 같은 3가지 문제점 중에서 가장 핵심적인 갈대가 서식하는 골재침상이 장기간 가동되었을 때 골재의 공극폐쇄로 인한 투수속도의

변화를 규명하는데 있다.

II. 연구방법

1. 실험시설

한국교원대학교 내의 노천에 위치하고 갈대가 자라는 <그림 1>과 같이 골재 침상의 규모는 가로 30.0m, 세로 10.0m, 깊이 1.2m이다. 그 중에 골재의 깊이 80cm는 충북의 금강지류인 백천천 하상 골재이며, 이를 받치고 있는 나머지 40cm는 충남 연기군 금강의 자갈이다. <표 1>과 <그림 2>에서 자갈의 입경은 25mm 미만이며, 골재(모래)의 균등계수(d_{60}/d_{10})는 1.55/0.5로 3.1이다. 40cm의 자갈은 모래 80cm를 받치고 있으며 침상 바닥에 깔린 자갈층에는 자연적으로 통풍이 되도록 구조적인 개선을 한 것이 독일의 일반 처리장과 다른 점이다. 모래 위에는 인공적으로 재배한 갈대를 1m² 당 25포기를 심었다. 이 침상은 표면을 격자 식으로 6구역으로 나누었으며, 이 실험시설에 하수가 유입되면 수직으로 투수된다.

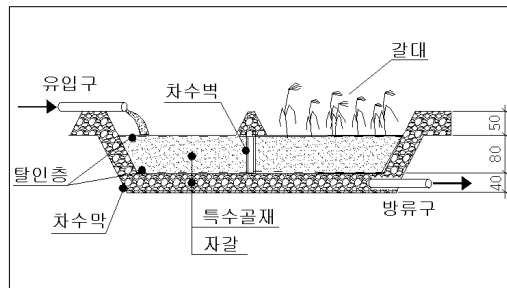


그림 1. 하수처리장 단면도

표 1. 갈대조의 공시골재 체가름 입경분포

입경 (mm)	0.1 이하	0.1~0.25	0.25~0.50	0.50~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0
%	0.4	1.8	7.6	22.2	33.4	34.6

2. 투수의 영향 변인과 실험방법

유입된 하수의 수직 투수속도는 처리장에 포설된 골재조건에 따라 다르다. 이 실험에

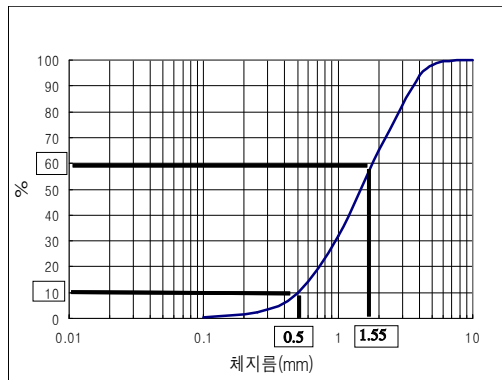


그림 2. 체가름 입경분포

사용된 골재를 매년 바꾸지 않고 계속 그대로 사용하였기 때문에 투수속도의 변인에서 제외하였다. 따라서 투수속도에 대한 영향인자는 대기온도변화(계절)와 하수의 유입량(부하량) 및 처리장의 가동 연도를 변인으로 정하였다. 대기온도는 자연적인 현상이므로 측정된 투수속도를 대기온도 띠에 따라 구분하였으며, $-10\sim 5^{\circ}\text{C}$, $10\sim 20^{\circ}\text{C}$, $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 의 온도 띠에 따라 분류하였는데 가변적인 기온을 통제변수로 확정하는 한계점이 있다고 할 수 있다. 유입하수량은 160mm, 320mm, 480mm로 양수펌프를 제어하여 그 양을 통제하였다. 하수의 부하량은 골재 침상에 하루에 유입된 하수량을 처리장면적으로 나눈 수치이다. 처리장 가동 연도는 0.5, 1.5, 3.0, 3.5년 등으로 구분하여 측정된 투수속도를 분류하여 비교였다.

위의 3가지 영향인자에 대한 투수속도의 측정은 1999년 3월부터 3년 반 동안 실험시설에 하수를 유입시킨 첫날부터 7일 째 되는 날까지 매일 3회 측정하였다. 하수가 유입되에 골재층을 스며드는 속도는 가변적이며, 그 속도가 매우 느리므로 측정시간 30~60분 동안에 낮아진 수위를 측정시간을 나누어 계산된 평균 속도를 해당 측정시점의 투수속도로 정하였다.

하수가 장기적으로 유입되면 골재층의 공극에 폐쇄현상이 나타나게 된다. 이러한 공극폐쇄의 과정을 파악하기 위하여 1년에 1회씩 골재층 깊이에 따라 공극변화를 측정하였다. 실험 직전의 자연 골재의 공극을 구하고 1L의 자연

건조된 시료를 씻어서 공극사이에 있는 미세한 물질의 부피 $V(t=0)$ 를 구하고 같은 방법으로 연차별 채취한 시료를 씻어서 얻은 슬러지의 부피 $V(t = 1, 2, 3\text{년})$ 를 비교 분석하였다. 공극폐쇄 현상은 처리장의 처리능률과 수명에 결정적인 요인이므로 하수가 처리되는 과정에서 침상의 공극폐쇄 현상을 자연적으로 극복하는 장치가 요구된다. 이러한 공극폐쇄를 저감하는 것이 갈대의 가장 중요한 역할이다. 갈대의 성장과 공극폐쇄의 상호관계를 파악하기 위하여 1년에 1회의 공극폐쇄 분석과 동시에 갈대의 뿌리부피의 증가를 층위별로 조사하였다. 매년마다 층위별로 채취한 뿌리의 부피는 1.5L의 물이 담긴 비커에 잠기게 하여 그 차이가 갈대뿌리의 용적이 된다. 이 용적을 골재의 초기 공극과 대비하였다. 투수속도는 아침, 점심, 저녁때의 값을 평균하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 골재 침상에 하수의 유입 방법과 투수속도의 변화

일반적으로 하수를 처리장에 유입하는 방법은 연속적인 방법과 간헐적인 방법으로 구분할 수 있다. 하수를 장기간 수직 여과되는 골재침상에 유입하게 되면 <그림 3>과 같이 유입 경과 일에 따라 투수속도가 떨어진다. 하수가 유입되는 첫날의 투수속도는 매우 높다. 첫날은 시간당 투수속도가 87.9cm이었던 것이 하수의 유입이 진행되는 과정에서 점차로 줄어들기 시작한다.

7일이 지나면 투수속도가 1.5cm/hr로 떨어지며, 연속하여 7일을 경과하게 되면 시간당 1.2cm까지 투수속도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 겨울철의 경우는 첫날과 14일째 날의 투수속도가 여름철 투수속도 차이보다 크지 않다. 처리수질은 첫날보다 14일 경이 약간 좋은 듯하다. 그러나, 투수량은 첫날과 14일은 큰 차이를 보인다. 따라서 하수의 유입을 간헐적으로 하게 되면 <그림 3>의 투수율이 반복된다. 그러므로 처리장을 설계할 때에 골재침상을 두 개로 설치하

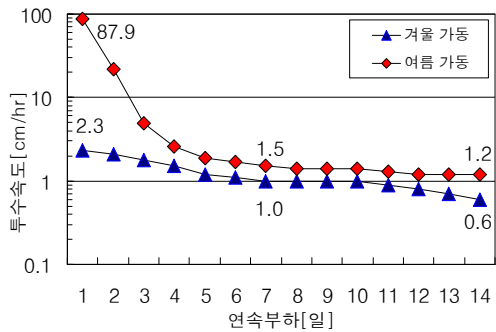


그림 3. 장기 하수부하에 따른 계절별 투수속도의 변화

고 교대(간헐적)하여 하수를 유입시키는 것이 효과적이다. 어느 시점이 하수를 교체하여 다른 침상에 유입시킬 것인가가 관심의 대상이며, 본 연구에서는 하수의 투수속도 분포곡선이 완만해지는 7일이 경과되면 그동안 쉬고있는 침상에 하수를 유입시키면서 실험하였다.

2. 수리적 부하에 따른 투수속도

투수속도에 영향을 주는 3가지 변인 중에서 수리적 부하 외의 것은 통제하였다. 이 때 기온은 20~30°C의 범위 내에서 통제하고 하수 유입 양만 160~480mm/d로 조절하여 하루에 3번, 아침, 점심, 저녁때에 투수속도를 측정하여 평균값을 취하였다.

<그림 4>의 투수속도는 하수가 유입된 뒤 하루에서 6일이 경과한 뒤에 측정한 투수속도이다. 실제로 하수를 처리하고 난 뒤에 다른 침상을 교체하여 하수를 유입시키는 것은 처리장의

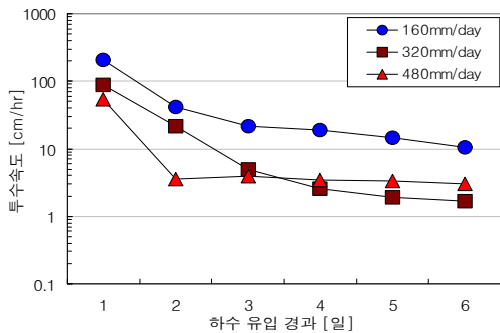


그림 4. 하수 부하량에 따른 투수속도의 변화

투수율을 높이기 위함인데 간헐적인 하수유입 방법에서는 하수가 유입하는 첫날은 투수속도가 매우 크므로 정확한 투수속도를 측정하기 어렵다. 따라서 하수가 유입 된 뒤 하루가 경과한 뒤의 투수속도를 측정하여 <그림 4>에 나타내었다. 하수의 부하량이 160mm/d일 때의 투수속도는 부하량이 320, 480mm/d보다 높게 나타나고 있다. 초기의 투수속도는 부하량이 클수록 낮으며, 480mm/d의 부하량의 경우는 3일 경과하면 투수속도가 점차적으로 높아지고 있다. 이 경우는 하수가 골재 침상 표면에 약 20cm가량 고여진 상태이며, 침상표면에 쌓이는 하수의 깊이가 커질수록 그 수압이 투수속도에 영향을 미치고 있음을 짐작할 수 있다.

3. 기온과 투수속도

3가지 외재 변인 중에서 수리적 부하는 320mm/d로 통제하고 역시 1일 3회 3주간 봄·가을(10~20°C), 여름(20~30°C), 겨울(-10~5°C) 구분하여 간헐적인 하수부하에 따른 투수속도를 측정하였다. <그림 5>에는 실험이 시작된 첫째 처리장의 봄·가을, 여름, 겨울의 투수속도를 측정한 값을 도시화 한 것이다. 수초·골재 하수 처리장의 수직 여과 골재침상에서 하수의 투수속도는 유입 첫날은 기온에 큰 영향을 받고 있다. 경과일이 하루 지난 뒤의 투수속도는 기온이 높은 여름에는 기온이 낮은 겨울 보다 약 45배 높다. 그러나 하수의 유입 경과일이 지속되면서 투수속도는 점점 일정한 값으로 접근하는 현상을 나타내고 있다. 이 것은 처리장의 표면

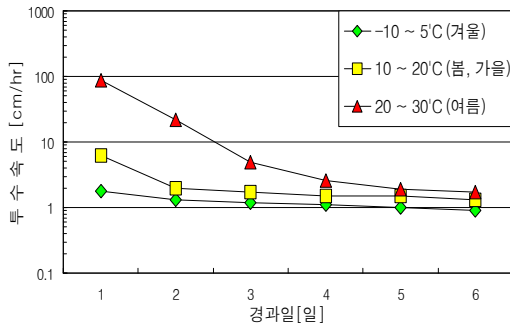


그림 5 기온변화와 투수속도 분포

과 골재내부에서 하수를 처리하는 미생물의 환경이 일정한 조건에 접근함을 의미하고 있다. 따라서 겨울이나 여름이나 하수의 처리는 특별한 차이가 없다는 것을 의미하고 있다.

4. 처리장의 가동기간과 투수속도

수초·골재 하수처리장이 지속적으로 그 기능을 유지하는지에 대하여 확인할 수 있는 방법은 투수속도의 측정이다. 만약 공극이 폐쇄되어 하수가 투수 되지 않으면 그 처리장의 골재는 교체하여야 할 것이다. 본 연구는 처리장을 건설하여 3년 반 동안 가동하면서 투수속도를 측정하여 가동기간별로 분류하여 <그림 6>에 도시화하였고, 여름철(1.5년과 3.5년)은 20~30℃의 기온과 겨울철(0.5년과 3년)은 -10~5℃의 기온에서 측정된 투수속도이며, 여름철의 투수속도를 가동연한에 따라 비교하기 위하여 사용된 처리장의 가동연한은 1.5와 3.5년 된 처리장의 측정치를 비교하였다. 하수가 유입한 하루 뒤부터는 처리장의 가동 연한에 관계없이 거의 같은 투수속도분포를 나타내고 있다.

겨울철의 경우는 처리장의 가동 연한이 0.5년과 3.0년 된 뒤의 투수속도는 유입 경과 일이 6일이 될 때까지 차이를 보이고 있다. 그러나 역시 하수가 유입 된지 7일이 지나면서 투수속도는 일정한 값으로 접근하고 있음을 알 수 있다.

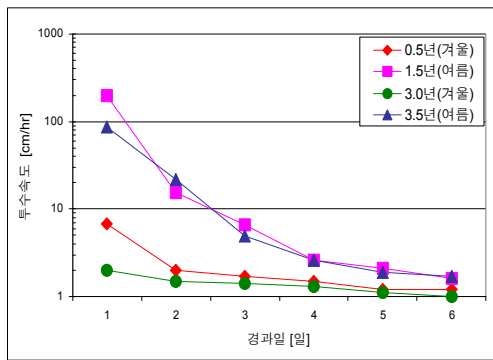


그림 6. 여름과 겨울의 가동기간 동안의 투수속도 분포

5. 공극폐쇄와 갈대의 뿌리활착

지금까지 제시된 자료에 의하면 간헐적인 하

수유입 방법에서의 투수속도는 가동연한이나 물리적 부하는 물론 기온의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타나고 있다. 전술한 바와 같이 토양 모관 침윤 트렌치 공법은 사용하는 동안에 공극의 폐쇄로 인하여 처리장의 기능이 마비되어 전국에 보급된 처리장이 대부분 사용이 중지된 상태이다. 그러나 본 연구에서 제시하는 수초·골재 하수처리장에는 하수의 모든 슬러지를 그대로 처리장에 유입시키고 있음에도 하수의 투수특성이 3년이 지나도 특별한 변화가 없이 그 수준을 유지하고 있다.

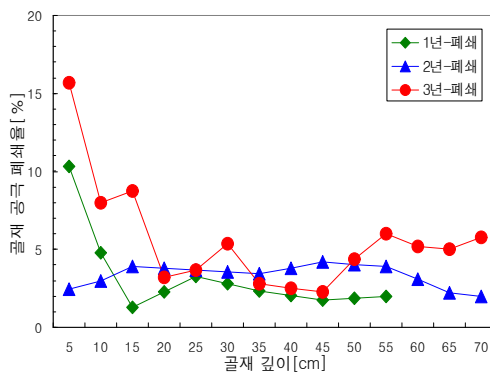


그림 7. 골재 공극폐쇄 추이

<그림 7>에는 골재의 공극 폐쇄율을 골재침상 표면에서 5cm 간격으로 70cm 깊이까지 분석하여 도시화하였다. 골재침상의 공극폐쇄 현상이 높은 곳은 표면이며, 깊이로 내려 갈수록 그 폐쇄율이 미미해 지고 있다. 골재침상의 표면에서 깊이 70cm까지 형성된 갈대의 뿌리공간은 공극폐쇄율 보다 높게 나타나고 있다. 이 뿌리공간은 골재의 기존 골재공극에 포함되지 않았다.

<그림 8>에서 보면 갈대의 뿌리공간 형성은 표면에서 높게 나타나며, 골재의 공극폐쇄 또한 골재침상의 표면에서 나타나고 있다. 갈대뿌리공간 증가는 골재의 공극폐쇄를 상쇄하는 역할을 하고있다. 이와 같이 갈대는 서식하면서 그 뿌리가 골재층에 형성되면서 하수의 지속적인 투수를 가능하게 하는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 갈대는 또한 바람에 흔들리면서 골재의

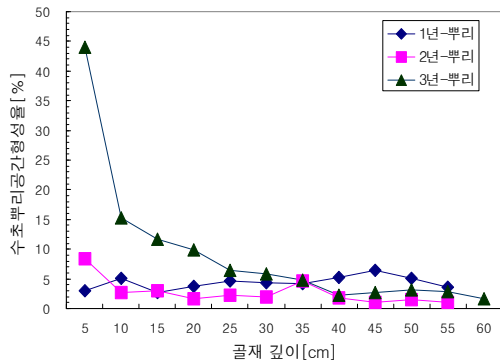


그림 8. 갈대 뿌리공간형성 추이

표면에 형성된 미생물 막의 변화를 가져오게 되며, 고온과 저온으로부터 골재침상을 보호하는 역할도 하고 있다.

IV. 처리장의 하수처리효과

수초·골재 하수처리장의 처리효과분석은 본 논문의 주요 연구대상은 아니지만 연구기간동안에 분석된 자료는 <표 2>와 같다.

표 2. 수초·골재 하수처리장의 처리효율

항 목	BOD	COD	T-N	T-P	SS
%	96.3	87.6	52.3	86.7	96 :

하수가 처리되어 방류되는 지점에서 3년 동안 조사된 농도는 BOD는 2~5mg/L, COD는 15~20mg/L, T-N은 20~36mg/L, T-P는 0.5~1.0mg/L, SS는 거의 잡히지 않을 정도로 처리율이 높았다. 이 처리장의 가장 두드러진 처리분야가 인(P) 제거라고 볼 수 있으며 일반적으로 사용된 골재의 광물질 함유량에 영향을 받는다고 알려져 있다(환경부, 2002). 하수 처리효과는 투수속도와 무관하며, 골재층을 그러하기 때문에 충격부하나 혹은 오랜 휴지후에 하수가 유입하여도 처리율이 정상적으로 나오고 있다.

V. 결 론

수초·골재 하수처리장은 농어촌 외딴 지역에서 발생하는 생활하수를 정화하기 위한 자연 정화 공법 중의 하나이며, 이 처리장을 장기간 사용할 때 발생할 수 있는 골재의 공극 폐쇄에 관한 것이 본 연구에서 중점적으로 연구된 분야이다. 장기간의 노천 실험장의 갈대가 자라는 골재 침상에서는 기온의 변화와 하수의 물리적 부하량 및 처리장의 가동연한에 관계없이 일정한 투수속도를 유지하고 있음을 확인 할 수 있었다. 그리고 하수가 골재 침상에 유입하는 일수가 경과하면서 투수속도가 떨어지는 것은 표면의 미생물 막과 쌓여진 슬러지 때문인데 이를 극복하기 위하여 하수를 주기적으로 교체하여 다른 침상에 유입하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

인 용 문 헌

환경부. 2002. 자연친화형 농어촌 수초·골재하수처리장 모델개발, G7-환경공학기술 개발사업 최종보고서.

정동양. 1996. 농어촌 주거환경개선사업, 지자체 담당공무원 직무교육교재(내무부).

Seidel, K. Abwasserreinigung auf bio-logischer Grundlage. 24. Diskussions-tagung, Forschungskreis der Ernährungs-industrie, 5-13. Hannover 1965.

Seidel. K. Gewasserreinigung durch höhere Pflanzen, Garten und Landschaft 88, 1978, S. 9-17.

Kikuth, R. Ökonomische Leistungen höhere Pflanzen, Die Naturwissenschaft 57, 1970, S. 55-65.

ATV H262, Behandlung von häuslichem Abwasser in Pflanzenbeeten, 1989.

Ronsch, B., Wurzelraumklaranlagen nach Kickuth, Spenge-Wallenbruck, 1985. 2. Auflage.

*본 논문은 G7-연구과제연구 결과와 이 과제의 연장선에서 장기간 관찰하는 과정에서 분석된 자료를 이용하였다.

接受 2003年 4月 12日