

하천 내 수질 개선을 위한 박층류 하도의 적용 및 평가

Application and Evaluation of the Sheet Flow Channel for Water Quality Improvement in the Stream

이두한^{1*} · 김명환² · 구정은³ · 김원⁴¹한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원, ²한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구원,³한국환경공단 물융합연구부 부팀장, ⁴한국건설기술연구원 국토보전연구본부 선임연구위원Du Han Lee^{1*}, Myounghwan Kim², Jung-Eun Gu³ and Won Kim⁴¹Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea²Researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea³Assistant Manager, Department of Water Industry Promotion, Korea Water Cluster, Korea Environment Corporation, Deagu, 43008, Korea⁴Senior Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea

Received 23 October 2019, revised 11 November 2019, accepted 18 November 2019, published online 31 December 2019

ABSTRACT: This study investigated design factors and removal efficiencies of a sheet flow channel as natural type water improvement techniques in the stream. The channel was designed considering the design factors, then constructed and monitored in the test bed of the Osan stream's floodplain. Water level, velocity, discharge, T-P, T-N, and NO₃-N were monitored and the removal efficiencies and design formula were suggested. Overall efficiencies of T-P, T-N, and NO₃-N range 10 - 20%, and they show consistent relations with residence times. Minimum velocity requirement is also suggested from the relation of algae conditions and velocities. Relation formula of residence time and removal efficiency will be applicable in the design and operation process of a sheet flow channel.

KEYWORDS: Algae formation and velocity, Design factor, Relation of residence time and removal efficiency, Removal efficiency, Sheet flow channel

요 약: 본 연구는 하천 내의 자연형 수질정화기법으로 박층류 하도의 설계방법과 효율에 대해서 연구하였다. 박층류 하도의 설계인자를 고려하여 설계를 수행하고 오산천 고수부지에 시험구간을 조성하여 모니터링을 수행하였다. 수위, 유속, 유량, T-N, T-P, NO₃-N 등에 대한 모니터링 결과를 이용하여 제거효율을 평가하고 설계식을 제시하였다. T-N, T-P, NO₃-N 등의 제거효율은 10 - 20%로 나타났으며 체류시간과 일정한 관계를 나타내고 있다. 또한 조류 형성과 유속 간의 관계를 통해 최소 유속 조건을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 체류시간과 제거효율의 관계식은 차집수로 설계와 운영에 유용할 것으로 기대된다.

핵심어: 조류형성과 유속, 설계인자, 체류시간과 제거효율 관계, 제거효율, 박층류 하도

*Corresponding author: dhlee@kict.re.kr, ORCID 0000-0002-0298-9508

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 4대강에서 발생하는 녹조현상으로 상수원과 수생태계 측면에서 하천의 수질개선에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으나 그 발생 양상과 정도가 매년 달라 녹조 대응 및 관리에 많은 어려움을 겪고 있다 (Lee et al. 2017). 녹조는 유속, 유량, 체류시간과 같은 수리학적 요인, 유입된 영양염류로 인한 오염부하량 증가, 박테리아, 빛 투과량, 온도 등 다양한 물리·화학·생물학적 인자들의 상호 작용에 의해 발생한다 (Paerl et al. 2001). 녹조를 방지하기 위해 많은 기법들이 적용되고 있으나 대규모 수역에는 효과가 떨어지거나 고비용이며 수생태계에 유해한 물질이 유입되는 등 하천에 적절한 수질관리 기법을 찾는 것이 매우 어려운 실정이다.

하천으로 유입되는 오염원은 일정한 지점에서 유입되어 유출 경로가 명확한 점오염원과 도로, 농지, 공장, 미처리 축산폐수 등 유출 및 배출 경로가 명확하지 않은 비점오염원으로 구분된다. 점오염원은 1996년 처음으로 질소와 인이 규제 대상이 되면서 하수·폐수처리장 등을 통해 관리되기 시작하였고 이후 하천의 수질 오염은 많이 개선되고 있다. 그럼에도 불구하고 최근 기후 변화와 함께 일부 처리되지 않는 오염물질과 비점오염원의 하천 유입으로 인한 녹조 발생은 종종 사회적 이슈로 부각되고 있다. 녹조는 질소와 인 등의 영양물질이 수체에 유입되어 부영양상태가 되고, 수온이 높은 여름철에 유속이 느려지면서 수중의 남조류가 대량으로 증식하여 물이 녹색을 띠는 현상을 말한다. 인과 질소는 조류의 먹이가 되는 물질로 총인 (T-P) 농도가 0.03 mg/l 이상에서 녹조 발생 가능성이 높는데 최근 4대강 평균 T-P 농도는 대략 0.07 - 0.13 mg/l 범위로 나타나고 있다. 강우시 하천으로 유입되는 비점오염원을 처리하기 위해 장치형 우수처리시설, 자연형 저류 시설 등이 설치·운영되고 있으나 상대적으로 적은 처리 용량, 홍수시 및 평수시의 유지관리, 기술적·비용적 문제로 인해 하천 현장에 적용하기에는 한계가 있다 (Yin et al. 2015).

박층류 (sheet flow) 하도는 1990년대 일본에서 적용된 자연형 수질 정화기법으로 수심이 얇은 수로를 조성하여 물이 흘러가는 과정에서 하상에 조성된 자갈층 표면의 생물막에 의하여 오염물질이 생물산화, 흡착, 침전, 제거되는 공법이다. 일반적으로 박층류 하도의 처

리효율은 장치형 시설에 비해서 낮으나 고유량 대응이 가능한 것으로 알려져 있다 (Park et al. 2013). 박층류와 유사한 자갈접촉산화공법은 1990년대에 일본과 우리나라에서 다수의 연구와 현장 적용이 수행되었으나 유입수에 대한 오염원 관리가 강화되면서 사후 관리의 비중이 현저히 낮아져 2000년대 이후에는 적용 사례를 찾기 힘들다 (Cho 2004).

그러나 최근 하상재료의 생물막 (Biofilm) 형성과 기능에 대한 관심이 높아지면서 수질정화 기능에 대한 재조명이 이루어지고 있다 (Fang et al. 2017, Moulin et al. 2001). 생물막은 자갈 표면에 붙어있는 미생물과 미생물이 생성한 점액질의 다당류 중합체인 세포외고분자물질 (Extracellular polymeric substance, EPS)로 구성되어 있다. 자갈표면에 부착된 미생물은 호기성 조건에서 유기물, 질소, 인 등의 영양분을 섭취하고 성장하면서 생물막을 형성한다. 자갈 표면에 부착된 미생물의 증식과 사멸에는 물리적, 화학적, 생물학적인 현상들이 복합적으로 작용하는데 유체의 마찰력 크기에 따라 생물막 형성 메커니즘이 결정될 수 있다 (Park et al. 2013).

박층류는 자연 하천에 비해서 수로 폭을 넓히고 수심을 낮춘 박층류 조건에서 여울은 자갈표면적당 또는 하상면적당 유량이 적고 상대적으로 느린 유속 조건이 형성되기 때문에 정화효과가 높은 편이다. 박층부에서 침전된 부유물질은 자갈층 표면에 형성된 생물막에 의해서 산화, 분해 되어 침전성이 개선된다. 박층류는 박층부를 확대하여 설치하여야 하므로 하천 부지 여건에 많은 영향을 받는다. 일반적으로 수심 10 cm, 유속 10 cm/sec 전후, 수질은 BOD 15-20 mg/l 이하의 조건이 요구된다고 알려져 있다 (Cho 2004).

박층류 하도의 효과는 수질, 하상재료, 유하시간, 유속 등에 의해 달라지는 것으로 알려져 있다. 일본의 박층류 조성 사례를 살펴보면 Table 1과 같다. 사쿠라시 (佐倉市), 야치요시 (八千代市), 토목연구소 (PWRI) 등에 설치된 사례를 보면 수심은 0.2 m 이하로 얇게 설정하였으며 유속은 0.13 m/sec 이하 등으로 설정하고 길이는 수백미터에서 4 km까지 설치하였다. 제거율은 야치요시 사례에서 46%로 높게 나타나고 있다.

본 연구에서는 하천수질개선의 대안으로 박층류 하도를 적용하기 위해서 설계, 시공, 평가를 수행하였으며 이를 통해 주요 설계인자를 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 박층류 하도 설계인자

박층류는 수심이 얇은 수로를 조성하여 물이 흘러가는 과정에서 하상에 조성된 자갈층과 그 표면의 생물막에 의하여 오염물질이 생물산화, 흡착, 침전 제거되는 자연정화공법이다(Fig. 1). 생물막과 오염물질의 접촉면적이 크고 접촉시간, 즉 체류시간이 길수록 처리효율이 높으므로 충분한 하폭과 하도연장 확보가 중요하다. Godlilot et al. (2003)은 자갈 하상에서 생물막 형성의 최적 흐름 조건이 있으며 이를 생물막의 바이오매스와 레이놀즈수의 관계로 제시하였다. 이 연구에 의하면 레이놀즈수 20,000 - 30,000에서 생물막의 바이오매스가 최대로 나타난다(Fig. 2). Fang et al. (2017)에 의하면 생물막의 미생물 다양성과 풍부도는 하상재료의 크기와 관련이 있으며 유속에 영향을 받으나 그 차이가 크지는 않다. 일본의 사례와 기존 연구를 참고하면 자갈 입경, 수심, 유속 등의 권장값은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 자갈 입경 30 cm 이하, 포설 두께 30 cm 내외
- 수심 0.30 m 내외, 유속 0.3 m/sec 내외

일본 토목연구소에서는 실험을 통해 다음과 같은 BOD₅의 체류시간과 효율 관계식을 제시하였다(Park 2000).

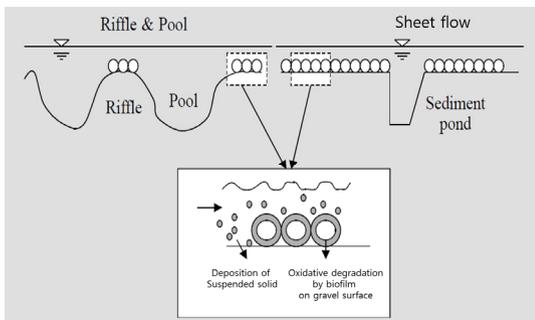


Fig. 1. Schematic diagram of sheet flow (Park 2000).

$$E = \frac{T}{70 + T} \left[0.4 + 0.6 \left(\frac{C}{20} \right) \right] (39.3 + 8.0S) \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서 E는 제거효율(%), T는 체류시간(분), C는 수온, S는 유수면적접촉비 등이다. 이 식은 체류시간 증가에 따라 처리효율이 특정값에 근접하는 형태로 나타나는데 체류시간 500분에서는 처리효율이 40% 이상이 된다. 본 연구에서는 박층류 하도에서 항목별 체류시간과 효율이 토목연구소 식과 유사하다고 가정하고 다음과 같은 형태의 식을 제안하여 분석하였다.

$$E = \frac{aT}{T + b} \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서 a와 b는 측정값을 이용하여 최소자승법으로 추정하였다.

체류시간과 효율 관계식은 박층류 하도 설계에서 핵심적인 설계인자이다. 체류시간은 유량과 수로의 형태(평면형, 종단형, 횡단형)에 의해 결정된다. 즉 수로의 형태에 의해 목표유량에 대한 수심과 평균유속이 결정되며 평균유속에 의해 수로전체의 체류시간이 결정된다. 체류시간이 결정되면 관계식에 의해 수로의 제거효율을 결정할 수 있는 것이다. 실제 설계에서는 시행착오에 의해 수로형태, 체류시간, 처리효율, 목표유량, 목표수질 등을 계산할 필요가 있다.

박층류 하도의 하상재료는 일반적으로 30 cm 이하가 적정한 것으로 권장되고 있으나 홍수시 유실 등의 안



Fig. 2. Formation of biofilm in artificial material (Golliot et al 2003).

Table 1. Application cases of sheet flow channels in Japan (Cho 2004)

Site	BOD (mg/L)	Depth (m)	Velocity (m/sec)	Length (m)	Residence Time (min)	Removal Efficiency (%)	Bed Material
Sakura city	15	0.20	0.036	250	116	27	Gravel
Yachiyo city	18	0.20	0.13	4,000	512	46	-
PWRI	6-24	0.10	-	290	280-310	10-30	Artificial turf, etc.



Fig. 3. The test bed of sheet flow channel in the Osan stream.

정성을 고려하면 하상재료의 크기는 클수록 유리하다. 즉, 하상재료의 크기는 홍수시 안정성이 확보되는 최소 크기가 유리할 수 있지만 현실적으로 30 cm 이하의 하상재료가 홍수시 유속에 안정한 경우는 많지 않다. 하상재료의 크기를 결정하기 위해서는 설계홍수량에 대한 해당구간의 설계유속을 결정하여야 한다. 일반적인 하천설계에서는 단면의 평균유속을 적용하나 고수부지가 넓게 발달된 경우에는 단면 평균유속을 적용하는 것은 과대설계가 될 수 있으므로 고수부지의 국부적인 유속을 산정하여 적용하는 것이 적절하다. 그럼에도 불구하고 하상재료의 크기가 과도하게 큰 경우에는 하상재료를 하상에 고정하는 시공방법을 적용하거나 설계빈도를 낮추는 대안을 검토할 필요가 있다.

2.2 박층류 하도의 적용 및 모니터링

경기도 용인시 일산리 소재의 오산천 하류부 고수부지에 박층류가 발생할 수 있는 사행형태의 테스트베드를 조성하였다 (Fig. 3). 이 지역은 주변에 비닐하우스

농가가 집중되어 있어 농수로로 유입되는 물의 오염도가 높을 것으로 예상되어 농수로 배출수를 박층류 하도의 유입수로 이용하였다. 전체하도의 직선 연장 길이는 50 m, 하폭은 2 m이며 사행도는 1.2로 설계하였다. 하도의 평면 사행 선형은 자연하천의 사행 특성을 재현하기 위하여 코사인 생성 곡선 (Cosine generated curve) 를 이용하였다. 하상 재료는 입경 2 - 3 cm의 잡석으로 구성하였다.

박층류 하도의 효율을 평가하기 위하여 수위와 유속을 현장에서 측정하였으며 총인 (T-P), 총질소 (T-N), 질산성 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 등을 분석하였다. 모니터링은 수로 측정 1번에서 8번 지점에서 수행하였으며 각 항목별 제거 효율은 1번 지점과 8번 지점의 항목별 차이로 평가하였다 (Fig. 4).

모니터링 수행시기는 2017년 10월 부터 2019년 10월까지 약 2년이다. 전체모니터링 기간 동안 평균유속은 0.03 - 0.594 m/sec, 평균수심은 0.086 - 0.300 m, 체류시간은 5 - 46분이었다. 모니터링 결과에 의하면 유입수질, 흐름상태, 하상상태, 계절적 요인 등에 의해서 변동이 나타나기는 하지만 일정 정도 이상의 제거효율을 확인할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 T-P 제거효율 평가

모니터링 기간의 운영 케이스별 T-P의 유입과 유출

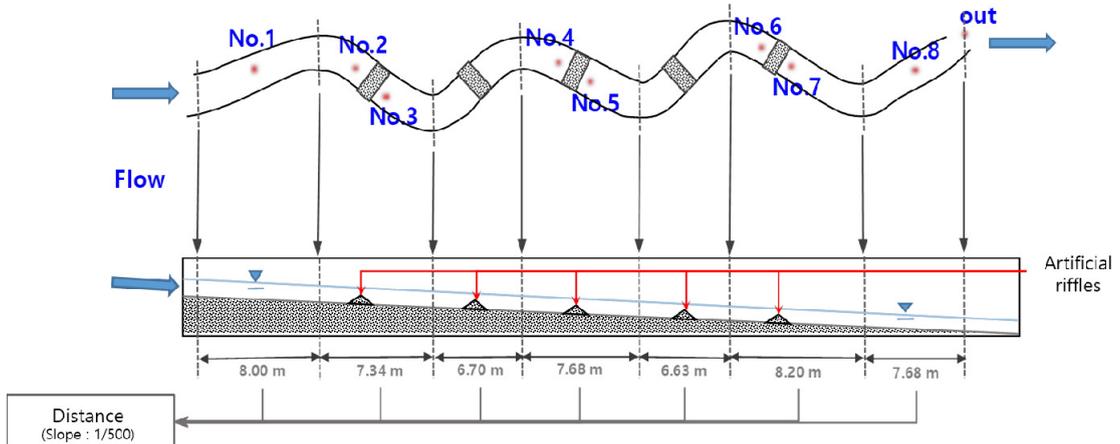


Fig. 4. Schematic diagram and monitoring stations in the test bed.

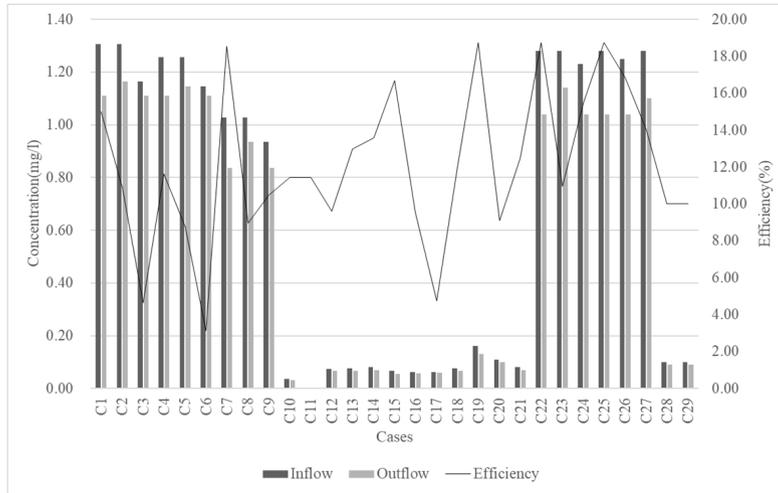


Fig. 5. Removal Efficiency of T-P.

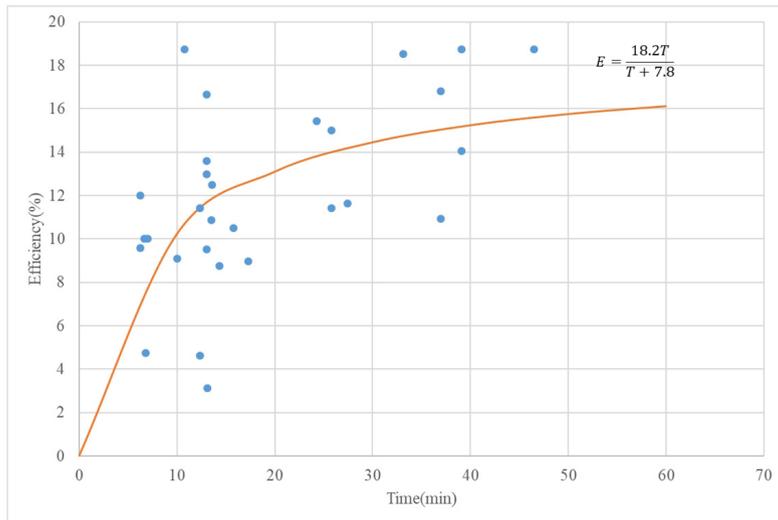


Fig. 6. Relation of residence time and T-P removal efficiency.

농도, 제거 효율 등을 도시하면 Fig. 5와 같다. 유입농도는 0.0035 - 1.31 mg/L 이며 제거효율은 3.14 - 18.75% 이며 평균제거효율은 12.04%이다. T-P 유입농도는 0.20 mg/L 이하의 저농도 조건과 0.90 mg/L의 고농도 조건으로 크게 구분할 수 있는데 고농도 조건에서 평균 처리효율은 12.45%이며 저농도 조건에서 평균 처리효율은 11.59%로 큰 차이는 없었다. 즉, 농도 조건보다는 체류시간이 보다 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

T-P의 체류시간과 제거효율과의 관계를 일본토목연구소 설계식 형태로 추정된 결과는 Fig. 6과 같다. 동일한 체류 시간에 제거효율의 편차가 어느 정도 있지만

체류 시간 증가에 따른 제거효율 증가의 경향을 확인할 수 있다. 설계식에 의하면 체류시간 10분에 T-P 제거 효율 10% 정도를 기대할 수 있다. 체류시간이 증가함에 따라 제거효율은 20%에 접근한다.

3.2 T-N 제거효율 평가

모니터링 기간의 운영 케이스별 T-N의 유입과 유출 농도, 제거 효율 등을 도시하면 Fig. 7과 같다. 유입농도는 0.96 - 7.64 mg/L 이며 제거효율은 1.06 - 14.40%이며 평균제거효율은 7.42%이다. T-N 유입농도는 2.0

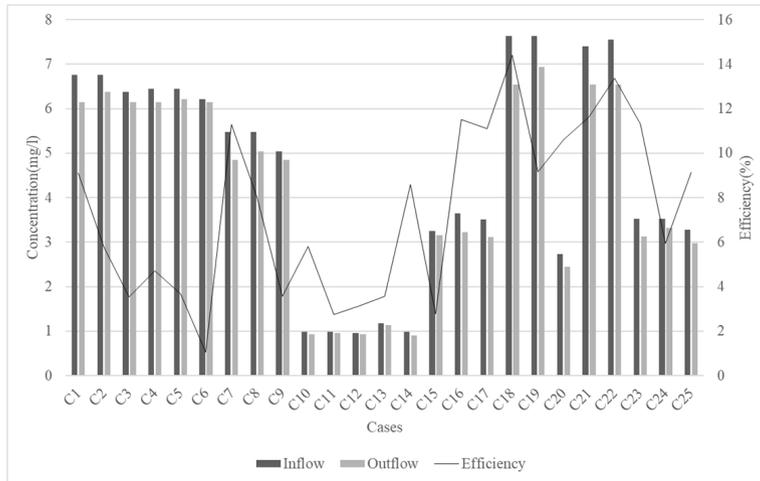


Fig. 7. Removal Efficiency of T-N.

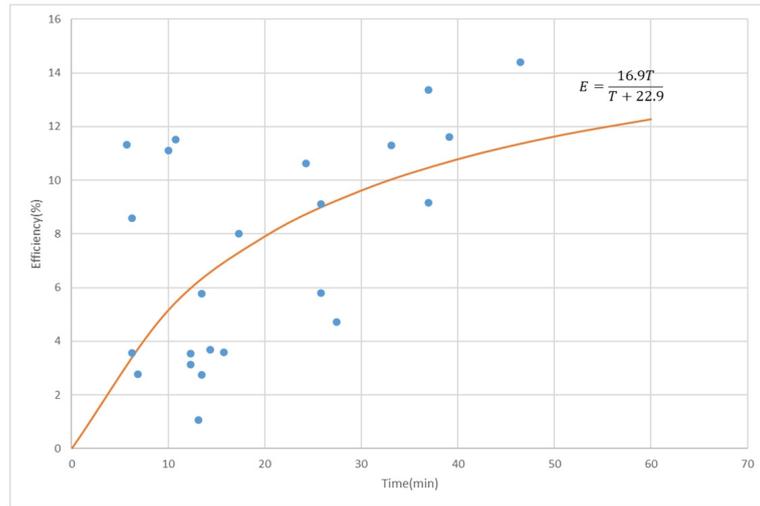


Fig. 8. Relation of residence time and T-N removal efficiency.

mg/L 이하의 저농도 조건과 2.0 - 4.0 mg/L의 중간농도 조건, 4.0 mg/L 이상의 고농도 조건으로 구분할 수 있는데 저농도 조건에서 평균 처리효율은 4.77%, 중간농도 조건에서는 8.64%, 고농도 조건에서는 7.85%로 나타났다. 저농도 조건에서는 효율이 낮게 나타나며 중간농도와 고농도 조건에서는 유사하게 높은 효율을 보이고 있다.

T-N의 체류시간과 제거효율과의 관계를 일본토목연구소 설계식 형태로 추정된 결과는 Fig. 8과 같다. T-P 설계식과 마찬가지로 동일한 체류 시간에 제거효율의 편차가 어느 정도 있지만 체류 시간 증가에 따른 제거효율 증가의 경향을 확인할 수 있다. 설계식에 의

하면 체류시간 35분 정도에 T-N 제거효율 10% 정도를 기대할 수 있으며 체류시간이 증가함에 따라 제거효율은 16%에 접근하여 T-P에 비해서 제거효율은 전체적으로 낮게 나타난다.

3.3 NO₃-N 제거효율 평가

모니터링 기간의 운영 케이스별 NO₃-N의 유입과 유출농도, 제거 효율 등을 도시하면 Fig. 9와 같다. 유입농도는 0.61 - 2.44 mg/l 이며 제거효율은 1.84 - 18.48%이며 평균제거효율은 9.08%이다. 유입농도의 범위가 넓지는 않으며 유입농도에 따른 제거효율의 특별한 상

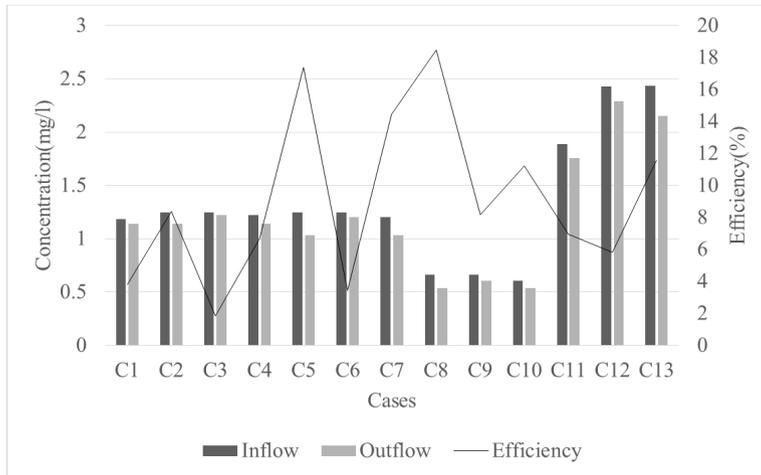


Fig. 9. Removal Efficiency of NO₃-N.

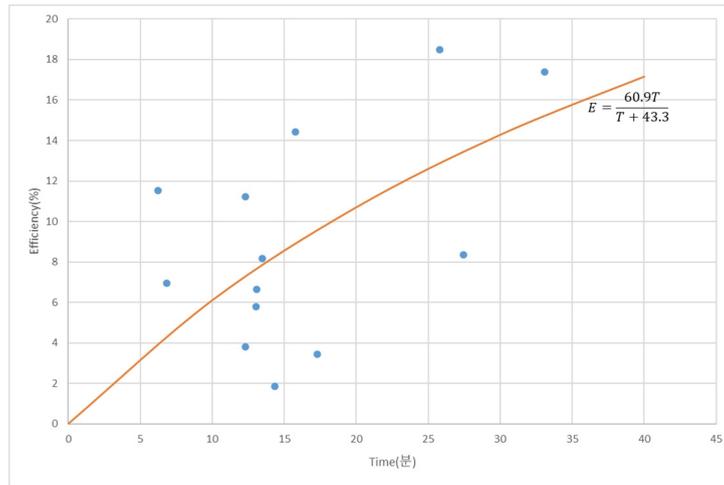


Fig. 10. Relation of residence time and NO₃-N removal efficiency.

관은 나타나지 않았다.

NO₃-N의 체류시간과 제거효율과의 관계를 일본토 목연구소 설계식 형태로 추정한 결과는 Fig. 10과 같다. T-P 설계식과 마찬가지로 동일한 체류 시간에 제거효율의 편차가 어느 정도 있지만 체류 시간 증가에 따른 제거효율 증가의 경향을 확인할 수 있다. 설계식에 의하면 체류시간 18분 정도에 NO₃-N 제거효율 10% 정도를 기대할 수 있으며 체류시간이 증가함에 따라 제거효율은 점진적으로 증가하는 형태로 나타났다. 본 연구가 체류시간이 충분히 긴 조건에 대해서 수행되지 못했으므로 체류시간-처리효율 관계식의 외삽을 통한 적용은 주의가 필요하다. T-P와 T-N의 경우에는 체류시간

증가에 따라 일정한 값에 근접하는 형태이나 NO₃-N의 경우에는 외삽 적용시 처리효율을 과대산정할 수 있으므로 최대 처리효율을 20% 정도로 제한하는 것이 타당하다고 판단된다.

3.4 유속과 조류 (algae) 형성 관계

현장 모니터링 과정에서 봄과 초여름에는 조류가 식물형태로 길게 번성하여 생물막에 의한 정화기능을 방해하는 현상이 나타났다. 여름 조성부하류에는 유속이 다소 빠른 구간이 형성이 되는데 이 지점에서는 조류의 형성이 현저히 저하되는 것을 확인할 수 있다. 이를 정

Table 2. Algae conditions with velocities

Measuring No.	Conditions	Depth(cm)	Velocity(m/s)	Vertical location
1	D	7.0	0.130	0.6D
2	D	6.8	0.139	0.6D
3	D	7.4	0.078	0.6D
4	B	7.5	0.228	0.6D
5	B	8	0.153	0.6D
6	D	-	0.094	0.6D
7	B	8.8	0.302	Free surface
8	C	11.4	0.126	0.6D
9	C	12.0	0.043	0.6D
10	B	9.9	0.233	0.6D
11	B	10.2	0.220	0.6D
12	B	8.3	0.185	0.6D

량적으로 파악하기 위하여 유속에 따른 조류 형성 형태를 파악하기 위하여 현장 유속을 측정하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 조류형성 상황은 생물막이 전혀 형성되지 않은 상태를 A, 표면에 생물막만 형성된 상태는 B, 조류가 수 cm 단위로 형성된 경우는 C, 조류가 10 cm 이상 길게 형성된 경우는 D 등으로 구분하였다. 시험기간에서 육안 상으로 조류와 생물막이 모두 형성되지 않는 지점은 없었다. Table 2의 측정결과에 의하면 유속 0.15 m/sec 이상에서는 조류의 형성이 현저히 억제되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 하천 내 자연형 수질정화인 박층류 하도의 설계인자를 검토하여 오산천 현장에 적용하여 효율을 평가하였다. 하도 길이가 50 m로 비교적 소규모임에도 불구하고 처리효율은 10 - 20% 내외로 나타나 적용가능성이 있다고 판단된다. 현장 모니터링 결과에 의해 T-P, T-N, NO₃-N 등에 대하여 체류시간과 제거효율 관계식을 제시하였으며 이는 박층류 하도의 핵심적인 설계인자로 활용될 것으로 기대된다.

박층류 하도의 자갈 입경은 최대 30 cm 이하로 권장하고 있는데 주수로에서는 이와 같은 큰 입경의 적용이 타당하나 고수부지 등에 소규모로 설치하는 경우에는 5 cm 내외의 입경을 적용하는 것이 현실적이다. 이 경우에는 홍수시 유실 등의 가능성이 있으므로 안정성을 위한 설계유량 설정에 주의가 필요하다.

조류가 수 cm 이상 번성하는 경우에는 자갈표층의 생물막에 의한 수질개선기능이 저하되므로 지나친 조류의 번성을 방지할 필요가 있다. 대략 0.15 m/sec 이상의 유속의 확보되는 경우에는 조류의 번성을 방지할 수 있으므로 현장 여건을 고려하여 적절한 설계유속을 설정할 필요가 있다.

본 연구에서는 수로 연장의 한계로 체류시간이 충분하지 않은 경우의 효율을 제시하지 못한 한계가 있으며 생물막에 의한 오염물질 처리와 분해 후의 잔존물질의 영향에 대해서 분석이 이루어지지 못한 한계가 있으므로 이에 대한 후속 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 환경부 한국환경산업기술원의 물관리연구사업 (과제번호 98633)으로 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Cho, H.M. 2004. Application and performance evaluation of river water purification facilities. Seoul Development Institute, In Korean.
- Fang, H., Chen, Y., Huang, L., and He, G. 2017. Analysis of biofilm bacterial communities under different shear stresses using size-fractionated sediment, Scientific reports 7:1299. DOI:10.1038/s41598-017-01446-4. www.nature.com.
- Godillot R., Ameziane T., Caussade B. and Capblanc J. 2003. Interplay between turbulence and periphyton in

- rough open-channel flow. *Journal of Hydraulic Research*, 39(3): 227-239.
- Lee, Hangu, Kim, Hojun, and Choi, Kwangsun. 2017. Cause and monitoring of algal bloom in 4 major rivers. *Water for future*, 50(7): 16-21.
- Moulin, F.Y., Peltier, Y., and Eiff, O. 2001. Experimental study of the interaction between a turbulent flow and a river biofilm growing on macrorugosities, *J. of Hydraulic Research*, Vol 39, p. 227-239.
- Paerl, H.W., Fulton III, R.S., Moisander, P.H., and Dyble, J. 2001. Harmful freshwater algal blooms, with and emphasis on cyanobacteria, *The Scientific World*, 1: 76-113.
- Park, J.R. 2000. Real application cases of sheet flow improving stream water quality. *Brief of construction techniques*. No.9. pp. 26-27.
- Park, N.B., Park, M.S., Lee, J.H., and Myeong, J.I. 2013. A study of nitrification kinetics in the biofilter process for aquaculture water treatment: A review, *Kor. J. Fish Aquat. Sci.* 46(6): 675-681.
- Yin, Z., Koo, Y., Lee, E., and Seo, D. 2015. Development of integrated management system of stormwater retention and treatment in waterside land for urban stream environment, *J.Korean Soc. Environ. Eng.*, 37(2): 126-135.