

탁도 변화에 따른 어류의 이동 특성 모니터링

Monitoring of the Mobility of Fish on Turbidity Changes

강준구¹ · 이남주² · 남동호^{3*}¹한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 연구위원, ²경성대학교 토목공학과 교수,
³한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 박사후연구원Joon Gu Kang¹, Nam Ju Lee² and Dong Ho Nam^{3*}¹Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea²Professor, Department of Civil Engineering, Kyungsoo University, Busan 48434, Korea³Post Doctoral Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

Received 12 December 2023, revised 18 December 2023, accepted 18 December 2023, published online 31 December 2023

ABSTRACT: Suspended solid in river is resource serious contamination. Suspended solid have a pernicious influence to fish and aquatic ecosystem. Flood and sediment and land use in river are largely[mainly] responsible of suspended solid. Especially, resuspension phenomenon of sediment will be dangerous effect to aquatic ecosystem. Study of fish and aquatic ecosystem on suspended solidus slight in fresh water. This study was basic research to manage fish and aquatic ecosystem on turbidity. It was conducted to analyze and monitor fish response on turbidity. Result in this study was confirmed the insensitive and die of fish on reduction of oxygen supply.

KEYWORDS: Aquatic ecosystem, Fish, Fish response, Suspended solid, Turbidity

요 약: 하천내의 부유물질은 장기간 지속할 경우 심각한 오염원으로 어류 등 수중생태계에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 하천내 부유물질 발생원인은 홍수, 퇴적물, 하천변 이용도가 주원인으로 판단된다. 특히 퇴적물의 재부유는 심각한 수생태계 위험 영향이 될 수 있다. 부유로 인한 탁도에 대한 어류 연구는 담수의 경우 매우 미미한 수준이다. 본 연구는 탁도에 대한 하천내의 수생태계 관리 방안 제시를 위한 기초연구이다. 연구는 탁도에 대한 어류반응을 실험을 통해 모니터링하고 이에 대한 경향을 분석하였다. 실험결과 고탁도 구간에서의 수조에서 높은 농도의 부유물질로 인해 산소 공급이 방해되어 어류에 영향을 주는 것을 파악하였다.

핵심어: 수중생태계, 어류, 어류반응, 부유물질, 탁도

1. 서 론

하천내의 부유물질은 장기간 지속할 경우 심각한 오염원으로 어류 등 수중생태계에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 매년 발생하는 여름철 홍수는 하천 내 부유사를 발생시키고 이는 하천에서 부유사로 인한 탁도 증가의

주요 원인이 된다. Kim (2007) 등은 강우량에 따른 단위면적당 부유물질 유출은 대조하천에 비해 4-200배로 높은 연구결과를 제시하였다. 국내 132개 하천을 대상으로 부유물질의 농도와 어류의 종 다양성간 상관성을 조사한 결과, 부유물질의 농도가 15 - 20 mg/L 이상에서 종 다양도는 1.0 이하로 급감하는 경향을 보였다

*Corresponding author: ndh1228@kict.re.kr, ORCID 0009-0004-2043-5973

© 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.

(Choi and Kim 2004).

홍수 및 태풍 등 자연재해뿐만 아니라 하천내 수공구조물을 만드는 토목사업 등 인위적인 공사로 인해 부유사가 발생하기도 한다 (Park 2011, Bash et al. 2001). 하천에서 발생하는 부유사로 인한 탁도는 양, 빈도 및 지속시간에 따라 수중생태계에 피해를 줄 수 있다. 특히 대규모 하천공사나 수공 구조물 운영으로 인해 하천내 퇴적되어 퇴적물을 재부유시켰을 때 수환경은 심각한 영향을 받을 수 있다. 또한 부유물질은 하천 주변 이용에도 원인이 있는데 Ryu (2010) 등은 토지이용도에 따라 부유물질의 값의 차이를 보이며, 각종 하천 개발이나 토목공사, 농경지, 경작지 등의 객토 등으로 인해 매년 탁수의 발생이 크게 증가하고 있다고 하였다.

하지만 하천내 부유사 및 탁도 증가에 대한 관리방안과 수생태계에 미치는 영향 자료는 매우 부족하다. 부유사 관련 국내 연구현황을 보면 해양 생물에 중심이며 담수 어류 생태계 관련 연구는 미미한 상태이다. 담수 어류에 대한 연구는 어류상 및 어류군집이 주를 이루고 있다.

외국의 경우 부유사 문제는 수질의 오염원으로서 뿐만 아니라 수생태계를 파괴하는 요인으로서 어류 및 저서생물을 중심으로 활발한 연구가 이루어지고 있다 (Abrahams and Kattenfeld 1997, Utne-Palm 1999). 특히 부유사에 민감한 송어와 연어를 대상으로 생리생태학적 측면과 서식지 파괴에 따른 군집의 변화상 등에 관한 연구를 통해 탁도에 대한 수질기준을 설정하는 근거 자료로 활용하고 있다.

미국의 경우 부유사가 포함된 탁수에 대해서 어류에게 미치는 생화학적 영향 (세포수준, 단백질, 형태 변이), 수생태 어류에 대한 수질기준 설정, 하천생태계에 미치는 영향, 무척추동물 및 수생생물에 미치는 영향, 대형무척추동물의 군집에 미치는 영향, 연어 서식지 기준, 산림 및 양식업, 패류에 미치는 영향 그리고 총설에 이르기까지 종합적인 관리방안을 제시하고, 이를 저감

하기 위해 노력하고 있다 (Moon 2014).

따라서 본 연구에서는 탁도 변화에 따른 어류의 반응을 파악하고 향후 어류의 서식 적합도를 평가를 위한 자료를 획득하고자 한다. 본 연구는 국내 토종어류인 돌고기를 대상으로 수행하였으며, 물고기는 10 - 15 cm 크기를 선별하여 실험에 사용하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 실험 방법

본 논문에서는 탁도 유발을 통한 어류 이동성 평가 및 탁도 농도에 따른 어류 폐사 실험을 진행하였으며, 실험 방법 및 조건은 다음과 같다 (Table 1). 탁도를 유발하기 위해 325 mesh 황토 분말을 사용하여 실험 수조의 물과 섞어 일정량의 탁도를 발생시켜 진행하였으며, 다항목 수질 측정기 (WQC-30)를 이용하여 5분 간격으로 탁도 및 온도, Do, pH를 측정하였다. 일정한 탁도를 유지하기 위해서는 수조 자체적으로 플러싱을 할 수 있는 기기 장치가 필요하나 해당 실험에서는 적용하기 어려움이 있었으므로 인위적으로 플러싱하여 실험을 진행하였다. 또한 시각적으로 어류의 이동 및 변화를 보기 위해 각 수조에 GoPro를 설치하여 다항목 수질 측정기와 동일하게 5분 간격으로 촬영을 실시하였다.

어류 방생의 경우 쇼크 및 스트레스를 최소화하기 위해 지하수를 이용하여 보관용 수조에 약 24시간 정도 적응시켜 실험 수조에 방생하였다.

1차 실험 조건은 돌고기를 이용하여 2023.07.13 - 2023.07.24까지 12일 동안 진행하였다. 1번 수조에 탁도 ± 100 NTU를 발생시켜 24마리의 돌고기를 방생하였으며, 2번 수조 ± 200 NTU 돌고기 24마리 방생, 3번 수조 ± 300 NTU로 돌고기 25마리를 방생하여 실험을 진행하였다.

2차 실험 조건은 댐 유량 방류 및 집중호우시 과도하

Table 1. Experiment Conditions

Experiment Period	Experiment Tank	Turbidity (NTU)	Fish Species	Release of Fish (Fish)
2023.07.13 ~ 2023.07.24	1 - 1	100	Pungtungia Herzi	33
	1 - 2	200		33
	1 - 3	300		33
2023.09.21 ~ 2023.10.15	2 - 1	880		30

계 발생하는 탁도에 대한 영향을 살펴보기 위해 1차 실험에 비해 물의 양을 절반으로 줄여 ± 880 NTU를 발생시켜 실험하였다. 실험은 2023.09.21 - 2023.10.15까지 25일간 돌고기 20마리를 방생하여 진행하였다 (Table 1).

2.2 실험 장치

2.2.1 실험 수조

실험 수조는 직경 1,000 cm, 높이 600 cm의 원형으로 기포 발생기와 물 순환 장치를 장착하였으며 작은 어류도 자유롭게 유형이 가능하도록 물 순환 장치의 강도 조절을 할 수 있는 조절 밸브를 포함하여 제작하였다 (Fig. 1).

2.2.2 실험 어종

대상 어종은 우리나라에 서식하는 대표적인 민물고기로 유영 영역이 주로 중하층인 돌고기를 선정하였다. 실험에 사용한 어류는 육안으로 상처나 이상이 없는 어류로서 주로 5 - 10 cm 정도 크기를 선별하여 사용하였다.

2.2.3 수질 측정기

탁도 및 온도 등의 측정을 위해 사용한 수질 측정기는 일본 TOADKK사의 다항목 수질측정기 WQC-30를 사용하였다 (Fig. 2). WQC-30은 pH, 온도, 탁도, 전기전도율, 염분, 용존산소 6개 항목에 대해 측정이 가능하며, 자체 소프트웨어를 이용하여 input과 output을 실시간으로 저장이 가능하다.

탁도 외 수질 관련 인자를 측정한 이유는 어류 이동(반응)에 대한 탁도의 영향을 파악하기 위한 실험이나, 탁도로 인해 외의 다른 인자의 영향이 동일한 조건을 유

지하는 것을 파악하기 위한 것이다.

3. 실험방법 및 장치

3.1 수조 내 수질 변화

1차 실험의 1번 수조(이하 1-1, 1-2, 1-3, 2-1) 수질 변화 결과 탁도의 경우 초기 ± 100 NTU 맞춰서 실험을 진행하였으나 황토 입자의 비중으로 인해 탁도가 감소하는 경향이 나타났다.

이는 황토의 입자가 무거워 수조 바닥에 가라앉거나 뭉쳐져서 발생한 것이므로 주기적으로 플러싱을 실시하였다. 1-1 수조의 평균 탁도는 101 NTU로 나타났으며, 피크값이 346 NTU까지 증가한 구간은 플러싱의 영향으로 일시적으로 증가한 것이다. pH는 약 8 정도로 중성에 가까웠으며, Do는 약 10 - 11, 온도의 경우 실험을 한 시기가 한 여름철이기 때문에 30 - 35°로 나타났다 (Fig. 3).

1-2 수조에서는 초기 ± 200 NTU로 진행하였으나 평균 169 NTU로 나타났으며, pH는 약 8로 나타났다. Do의 경우 약 16 정도로 나타났으나 감소하다가 증가하는 경향이 보이는 것은 인위적으로 플러싱을 함으로서 산소포화기의 영향으로 보인다. 온도는 약 33°로 나타났다 (Fig. 4).

1-3 수조의 경우 초기 ± 300 NTU로 진행했으나, 평균 260 NTU로 나타났으며, pH는 약 8로 나타났다. Do의 경우 이전 실험 결과와 동일하게 13에서 낮아지는 경향이 나타났으며, 온도 또한 35° 이상으로 나타났다 (Fig. 5).



Fig. 1. Experiment Tank.



Fig. 2. WQC-30.

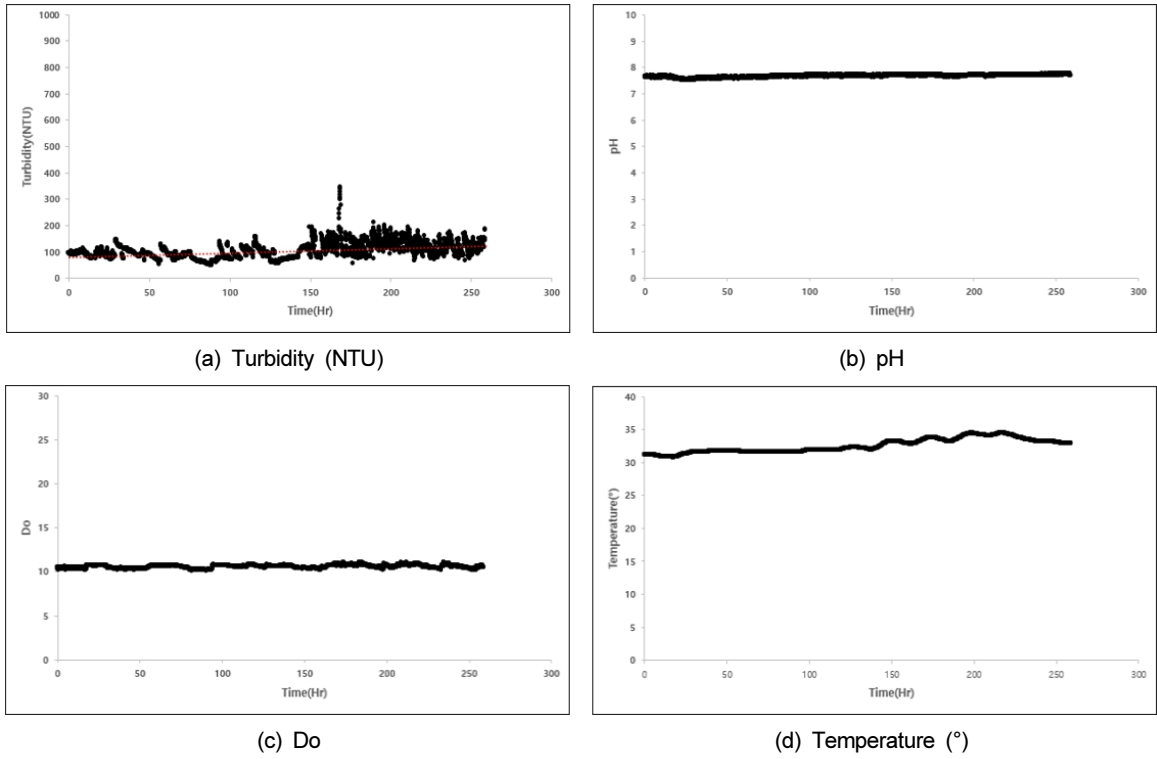


Fig. 3. Results of Change on Water Quality in 1-1 Tank.

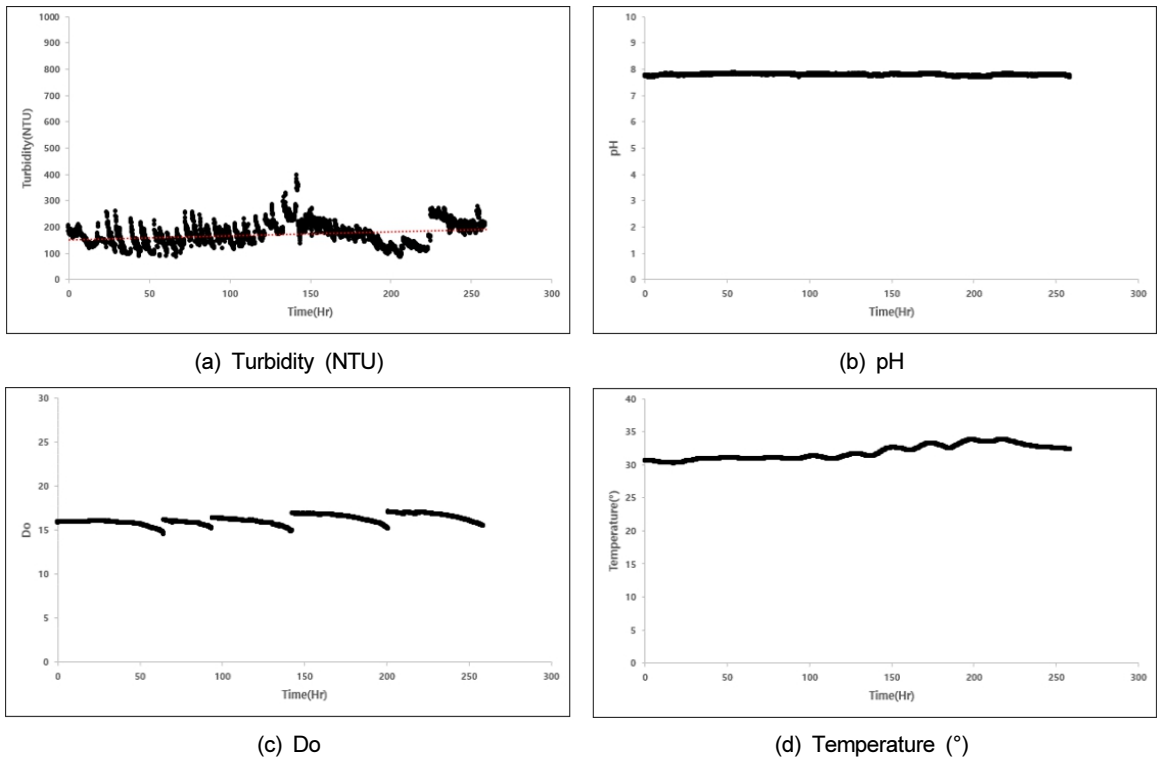


Fig. 4. Results of Change on Water Quality in 1-2 Tank.

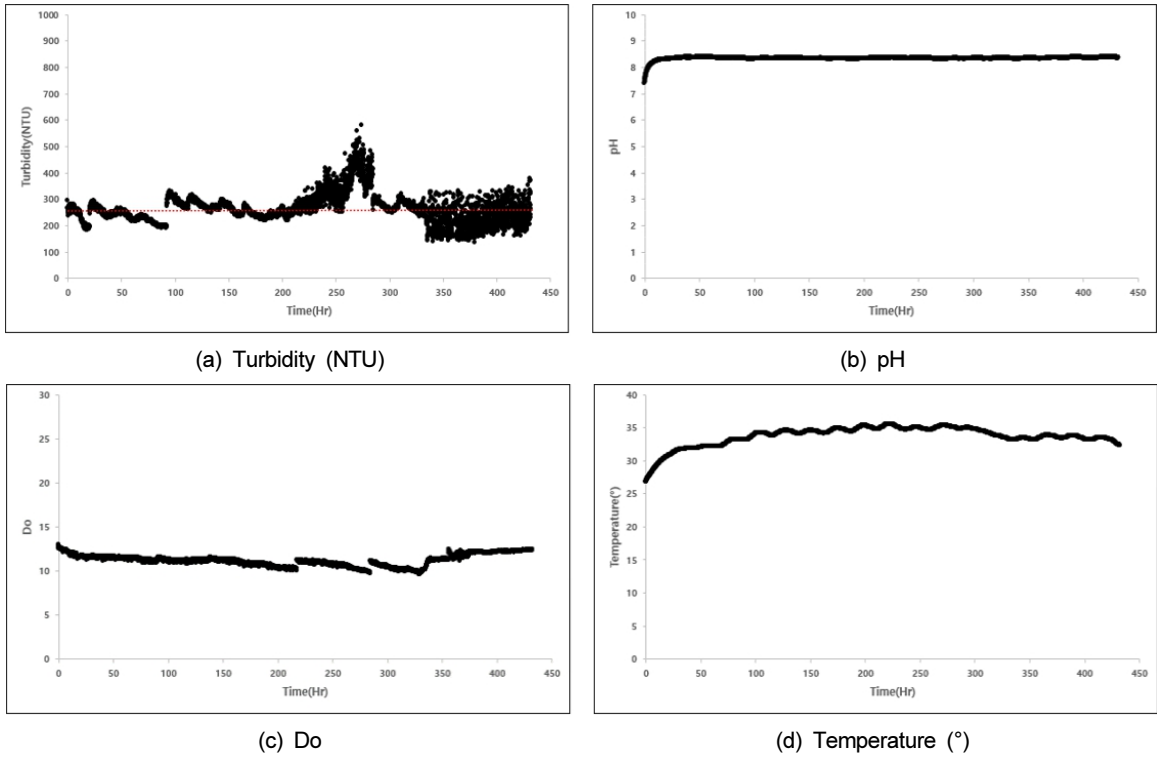


Fig. 5. Results of Change on Water Quality in 1-3 Tank.

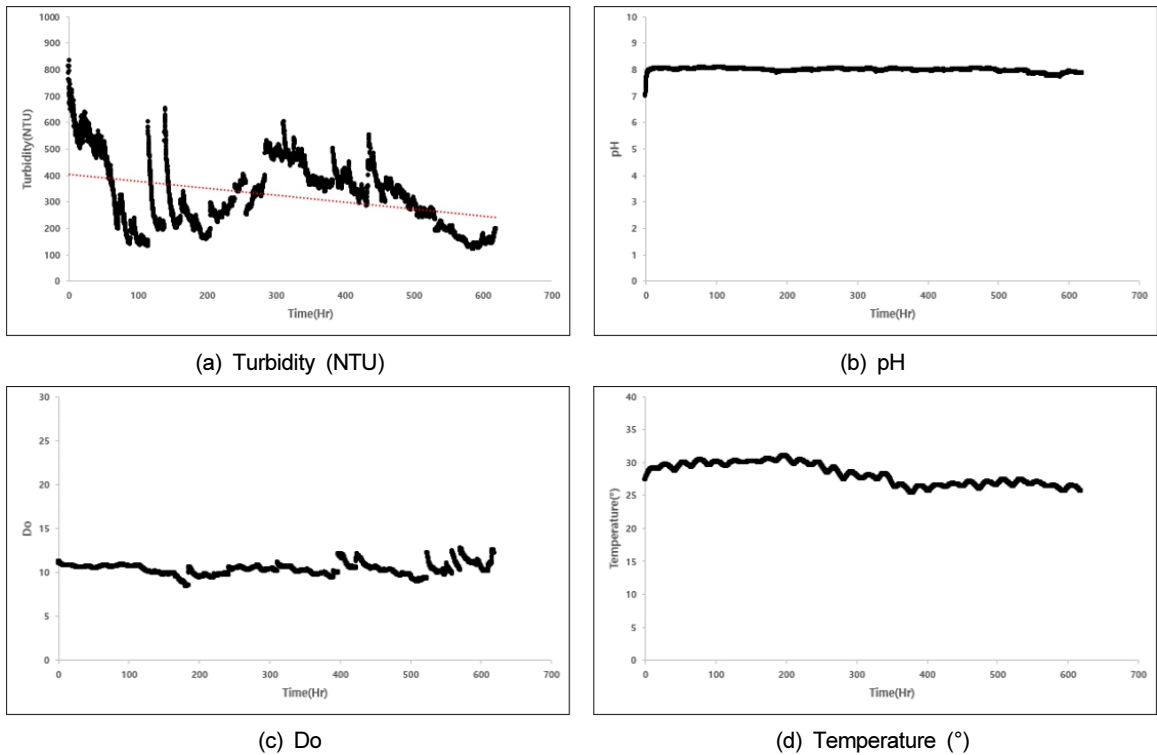


Fig. 6. Results of Change on Water Quality in 2-1 Tank.

2-1 수조에서는 초기 ± 880 NTU로 진행하였으나, 플러싱을 지속적으로 함에도 불구하고 평균 322 NTU로 나타났다. pH는 약 8로 나타났으며, Do의 경우 13 이하로 낮아지는 경향이 나타났으며, 온도의 경우 30도 이하로 나타났다 (Fig. 6).

3.2 탁도 농도에 따른 어류 이동성 평가 및 폐사

탁도 유발 초기에는 탁도의 영향으로 인해 어류들이 수면에 모여 있는 경향이 나타났으나 실험 진행 3일 이후부터는 황토 분말이 수조 바닥으로 침전되어 자유롭게 수영하는 것을 볼 수 있다. 황토 분말을 이용하여 탁도를 유발했을 때 육안으로 이동을 확인하기 어렵기 때문에 향후 연구에서는 육안으로 어류 이동성을 살펴볼 수 있도록 비교적 무색인 시료를 찾아 진행해야 될 것으로 판단된다 (Fig. 7).

탁도 농도에 따른 어류 폐사 결과를 보면 1-1 수조의 경우에는 ± 100 NTU일 때 3마리가 폐사하였으며, 1-2 수조 5마리 폐사, 1-3 수조에서는 24마리가 폐사하여 발생한 어류의 절반 이상이 폐사하였다. 2-1 수조에서는 상대적으로 1차 실험에 비해 농도가 굉장히 높은 반면에 1-3 수조보다 적은 18마리가 폐사하였다. 이는 아래 실험 사진과 같이 2-1 수조가 1-3 수조에 비해 황토의 양이 많고 탁도값이 더 높은 것에 반해 황토가 묻쳐져 가라앉아 있었기 때문에 어류에 영향이 덜 한 것으로 판단된다.

4. 결론

탁도가 없는 대조군 수조에서는 심도 구분 없이 자유로운 수영을 보여주는 반면, 중탁도 구간과 고탁도 구간에서는 중하층에서 활발한 수영을 보여주었다. 탁도



(a) 1-1 Tank



(b) 1-2 Tank



(c) 1-3 Tank



(d) 2-1 Tank

Fig. 7. Effect of Turbidity Changes on the Mobility of Fish.

를 발생하는 점토 입자가 수조 바닥에 점차적으로 쌓이기 때문에 이를 피해 유평하는 것으로 생각되었다. 또한, 실험 기간 동안 고탁도 구간의 수조에서 높은 농도의 부유물질로 인해 산소 공급이 방해되어 사망하는 물고기가 수가 가장 많았다. 고탁도의 조건은 퇴적물의 갑작스러운 재부유나 수공구조물 붕괴 등 대량의 토사 유입으로 발생할 수 있다. 이런 이상 현상은 짧은 시간 내에 어류의 폐사가 발생할 수 있어, 향후 어류 서식을 위한 조건으로의 고려가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2020003050002).

References

- Abraham, M., and Kattenfeld, M. 1997. The role of turbidity as a constraint on predator-prey interactions in aquatic environments. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 40: 169-174.
- Bash, J., Berman, C., and Bolton, S. 2001. Effects of turbidity and suspended solids on Salmonids, University of Washington Water Center.
- Choi, J.S. and Kim, J.K. 2004. Ichthyofauna and Fish Community in Hongcheon river, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* 22(3): 446-455. (in Korean)
- Kim, J.K., Choi, J.S., Jang, Y.S., and Kim, B.C. 2007. Effects of Turbid Water on Fish Community: Case Studies of the Daegi Stream and the Bong-san Stream”, *Korean Journal of Ecology and Environment* 40(3): 459-467. (in Korean)
- Moon, S.D., Kang, S.K., Lee, C.H., Sung, C.G., An, K.G., and Choi, T.S. 2014. Effect on Early Life Stage of Three Freshwater Fish (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Oryzias latipes*) Exposed to Suspended Solids. *Korean Journal of Ecology and Environment* 47(2): 82-90. (in Korean)
- Park, J.K., Park, J.H., and Na, S.C. 2011. Estimation of Suspended Solid Concentration Variation in Daechung Reservoir using Satellite Imagery. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference* 5a. pp. 203-203. (in Korean)
- Ryu, T.H., Kim, Y.P., Kim, J.K., and An, K.G. 2010. Analysis of Ecological Health Using a Water Quality and Fish in Bocheong Stream. *Korean Journal of Ecology and Environment* 43(2): 255-262. (in Korean)
- Utne-Palm, A.C. 1999. The effect of prey mobility, prey contrast, turbidity and spectral composition on the reaction distance of *Gobiusculus flavescens* to its planktonic prey. *Journal of Fish Biology* 54: 1244-1258.