

부유사에 의한 하천 저서성 무척추동물의 영향 평가 - 조각갈따구 대상의 실험 -

강태욱¹ · 정철웅² · 김명철³ · 이남주^{4*}

¹경성대학교 산학협력단 학술연구교수, ²부경대학교 일반대학원 토목공학과 석사과정,

³SOKN 생태보전연구소 연구소장, ⁴경성대학교 토목공학과 교수

Impact Assessment of Suspended Sediment on Benthic Invertebrates in River - Experiments with *Glyptotendipes tokunagai*-

Taeuk Kang¹, Cheol Ung Jeong², Myoung Chul Kim³ and Namjoo Lee^{4*}

¹Research Professor, Industry-University Cooperation Foundation, Kyungsoong University, Pusan 48434, Korea

²Master Course, Department of Civil Engineering, Graduate School, Pukyong National University, Pusan 48513, Korea

³Research Director, SOKN Institute of Ecology & Conservation, Gyeonggi-do 12563, Korea

⁴Professor, Department of Civil Engineering, Kyungsoong University, Pusan 48434, Korea

Received 7 June 2024, revised 17 June 2024, accepted 20 June 2024, published online 30 June 2024

ABSTRACT: The aquatic ecosystem of rivers, where various biological groups inhabit, is influenced by suspended sediment. However, there is a lack of quantitative and objective methods and criteria for evaluating this impact. The purpose of this study is to analyze through experiments the effects of suspended sediment on *Glyptotendipes tokunagai*, a benthic invertebrate in rivers. Experiments were conducted to investigate the survival count of individuals exposed to varying suspended sediment concentrations (turbidity) and exposure durations. Various regression analysis methods were performed on the experimental results to propose a model for evaluating the impact of suspended sediment on *Glyptotendipes tokunagai*. The coefficient of determination (R-squared) of the proposed model was 0.903, indicating a high degree of fit. The findings of this study could serve as foundational data for assessing the influence of suspended sediment on various organisms inhabiting rivers.

KEYWORDS: Exposure duration, *Glyptotendipes tokunagai*, Regression analysis, Suspended sediment, Turbidity

요 약: 다양한 생물군이 서식하는 하천 수생태계는 부유사의 영향을 받는 반면, 이에대한 영향을 정량적이고, 객관적으로 평가할 수 있는 방법과 기준은 미비한 실정이다. 이 연구의 목적은 하천의 저서성 무척추동물인 조각갈따구에 대하여 실험을 통해 부유사의 영향을 분석하는 것이다. 실험은 부유사 농도(탁도)와 노출시간에 따른 생존 개체수를 조사하는 것으로 진행되었다. 그리고 해당 실험 결과에 대하여 다양한 회귀분석을 수행하여 조각갈따구의 부유사 영향평가모형을 제시하였다. 이 연구에서 제안된 부유사영향평가모형에 의한 결정계수는 0.903으로 높은 적합도를 보였다. 본 연구의 결과는 하천에 서식하는 다양한 생물에 대하여 부유사의 영향을 평가하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심어: 노출시간, 조각갈따구, 회귀분석, 부유사, 탁도

*Corresponding author: njlee@ks.ac.kr, ORCID 0000-0003-1599-846X

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derives (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

하천이나 호소에서 부유사 농도가 높은 상태가 장기간 지속될 경우 심각한 오염원으로 어류 등 수중생태계에 치명적인 영향을 줄 수 있다(Kang et al. 2023). 실제로, 수체에 유입된 과도한 부유성 및 침전성 토사는 광투과도를 떨어뜨려 호소 및 하천 내 수생식물의 성장을 저해시키고 하천의 저서생물과 어류의 서식지를 훼손 시킴으로써 먹이사슬의 순환을 교란시켜 전체 수생태계에 위해를 가져온다(Kim et al. 2007a). 또한, 고탁도 부유물질은 플랑크톤의 발생 및 부착성 어란의 폐사와 부화 자어의 서식환경을 악화시키는 등 하천 생태계 전반에 커다란 변화를 초래한다(Hong et al. 2004, Kim et al. 2007b).

자연 상태에서 고탁도의 부유물질은 주로 강우 시 발생하는 반면, 이러한 자연 현상에 의한 부유물질의 발생은 제어가 어렵다. 반면에, 댐, 보 등 수공구조물의 운영과 하천 공사와 같은 인위적인 인간 활동에 의한 부유물질의 발생은 어느 정도 제어될 수 있으므로 관리가 필요하다. 다만, 이러한 부유물질을 제어하기 위한 기준을 설정하기 위해서는 부유물질이 수생태계에 주는 영향을 정량적으로 분석할 수 있어야 한다.

부유물질에 의한 수생태계 영향을 검토한 국내 연구는 대부분 어업 피해와 관련하여 해양 생태계에 대하여 다양하게 수행되었다. Yoon and Park (2011)은 실험을 통해 저서성 요각류 성체, 참전복 치패 및 넙치 치어의 최저 영향 농도, 반수 치사농도 등을 제시하였다. 그리고 Kang et al. (2017)과 Ahn et al. (2017)은 각각 넙치 수정란 부화율과 전복 수정란 발생률에 부유사가 미치는 영향을 실험을 통해 분석하였다. 유사하게, Maeng et al. (2021)은 붕장어, 흰다리새우, 넙치에 대하여 부유사 농도와 노출시간에 따른 생존율을 조사하였다. 또한, Park et al. (2022)은 다양한 문헌과 보고서를 검토하여 어류, 새우류, 이미패류, 복족류, 미세조류 등에 대한 최소 영향 부유사 농도를 제시하였다. 한편, 상대적으로 하천 생태계에 대한 부유물질의 영향을 분석한 국내 연구는 상대적으로 희소하다. Shin et al. (2009)과 Yu et al. (2009)는 각각 임하호와 임하호 유입지천에 서식하는 어류의 탁수의 영향을 아가미와 신장 등의 조직, 생리적 변화 관점에서 관찰하였다. Kang et al. (2023)은 탁도 농도에 따른 어류의 이동성과 폐사를 관

찰한 바 있다.

상기의 연구들은 부유물질에 의한 수생태계 영향을 검토한 연구들이지만, 부유물질에 의한 수생태계 영향을 직관적으로 판단하기 어렵다. 이와 관련하여 Newcombe and MacDonald (1991)는 수생 생물에 영향을 평가하는 도구로서 부유사의 농도와 지속기간의 곱에 자연로그를 취하여 스트레스지수(stress index; SI)를 제시한 바 있다. 그리고 Newcombe and Jensen (1996)은 스트레스지수를 발전시켜 유해 영향 심각도 산정식으로 개선하였다.

이 연구는 하천의 저서성 무척추동물에 대한 부유사의 영향을 평가하는 모형을 제안하는데 목적이 있다. 이 연구에서 대상으로 한 저서성 무척추동물은 조각갈따구이고, 탁도와 노출시간에 따른 조각갈따구의 생존율을 실험을 통해 관찰하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 모형은 Newcombe and Jensen (1996)의 유해영향심각도 산정식을 기반으로 구성하되, 실험 결과와 적합도를 높이기 위해 개선된 모형을 제시하였다.

2. 저서성 무척추동물에 대한 탁도 영향 실험

2.1 실험 방법론

이 연구에서는 저서성 무척추동물에 대한 탁도의 영향을 분석하기 위해 실험을 수행하였다. 실험은 화학물질의 시험방법에 관한 규정, 환경생물 독성 시험기준과 방법 등을 활용하고, 기존 실험 연구 사례를 참고하였다.

이 연구에 시행한 실험은 부유사 농도가 다른 실험 수조에 저서성 대형무척추동물을 투입하고, 각각의 실험 수조에 대하여 노출시간에 따른 폐사 정도(치사율)를 조사하는 것이다. 부유사의 적절한 농도 범위를 알기 위하여 예비실험을 실시하여 본실험 조건 하에서 급적 0~100%의 치사율이 발생하도록 하였다. 부유사를 제외한 다른 환경 조건은 실험 개체의 생존에 필요한 조건을 유지시켰다. 수조 내의 부유사 농도를 장기간 일정하게 유지하기 위해 수중펌프, 폭기장치 등을 이용하여 침전되는 부유사의 재부상 유도가 필요하다(Fig. 1 참조).

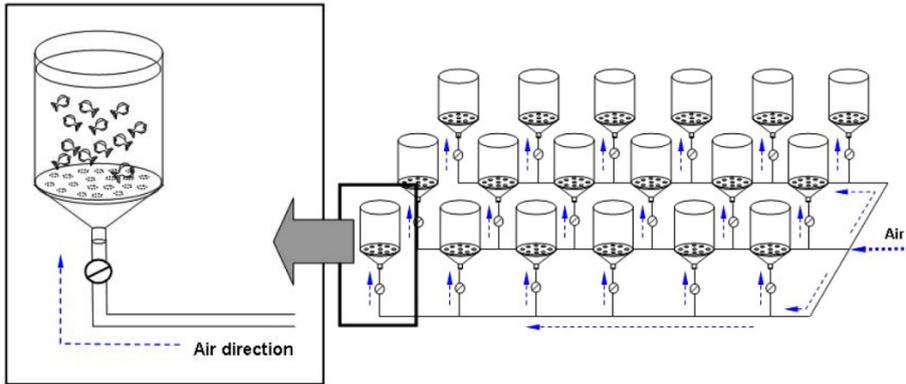


Fig. 1. Example of refloating device for sediment (Yoon and Park 2011).

Table 1. Breeding condition for experiment

Classification	Contents
Breeding species	- <i>Glyptotendipes tokunagai</i> (Diptera: chironomidae) - 10 individuals per tank
Breeding cage	- Clear glass (W250xL250xH250 mm)
Environmental conditions	- Temperature: 28±0.5°C - DO: 6.5±0.3 mg/L - PH: 7.5±0.3 - Electrical conductivity 158±0.2 µS/cm - Photoperiod: 16:8 h (L:D)
Other conditions	- Suspended sediment: Bentonite (insoluble mineral components) - Larval habitat substrate: sterile fine sand (<0.5 mm) - Food: TetraMin (<0.2 mm) (TetraWerke, Melle, Germany) - Flow generator: two for 3W

2.2 실험 내용

2.2.1 유충 사육

조각갈따구는 평균적으로 2~3일이 지나면 알에서 부화한다. 부화 직후, TetraMin을 사육수에 녹여준 후 일회용 스포이드를 이용하여 소량(1~2 방울) 투여하였다. 조각갈따구 사육은 매일 일정한 시간에 진행하였고, 사육수는 1~2령기에는 교체하지 않았다. 실험에 사용된 조각갈따구 유충은 3령기에 해당하는 개체들을 대상으로 하였으며, 실험 수조마다 동일한 양의 먹이를 투여하였다. 유충의 먹이는 TetraMin (<0.2 mm) (TetraWerke, Melle, Germany)을 작게 갈아서 제공하였고, 1차 증류수를 배양액으로 사용하였다. Table 1은 실험에 사용된 조각갈따구의 주요 사육 조건을 나타낸다.

2.2.2 실험 내용

실험 대상인 조각갈따구를 일정한 부유사 농도(탁도)에 노출시키고, 노출 지속기간별 생존 개체수를 관

찰하여 기록하였다. 실험에 사용한 탁도는 0(대조구), 100, 500, 1,000, 5,000 NTU의 다섯 가지로 구분하였고, 각각의 탁도에 대하여 3개의 수조에서 실험하였다. 조각갈따구 실험 시 각 수조에는 개체 밀도가 너무 높지 않게 10개체씩 넣어 관찰하였고, 부유사의 노출 지속기간은 최대 10일로 하였다. Fig. 2는 부유사 농도(탁도)별 실험 수조를 촬영한 사진이다. 탁도측정센서는 TU-2016(측정범위: 0.00~50.00 NTU, 50~1,000 NTU)를 사용하였으며, 5,000 NTU 용액은 1,000NTU 탁도에 해당하는 벤토나이트 중량의 5배 벤토나이트 분말을 넣어 탁도를 맞추었다.

2.3 실험 결과

Table 2는 조각갈따구를 농도가 다른 부유사에 10일간 노출시키면서 관찰한 개체수를 나타낸다. 실험 결과, 노출 지속기간이 길어질수록 생존 개체수가 줄어드는 경향이 뚜렷하게 보였다. 또한, 탁도가 높아질수록

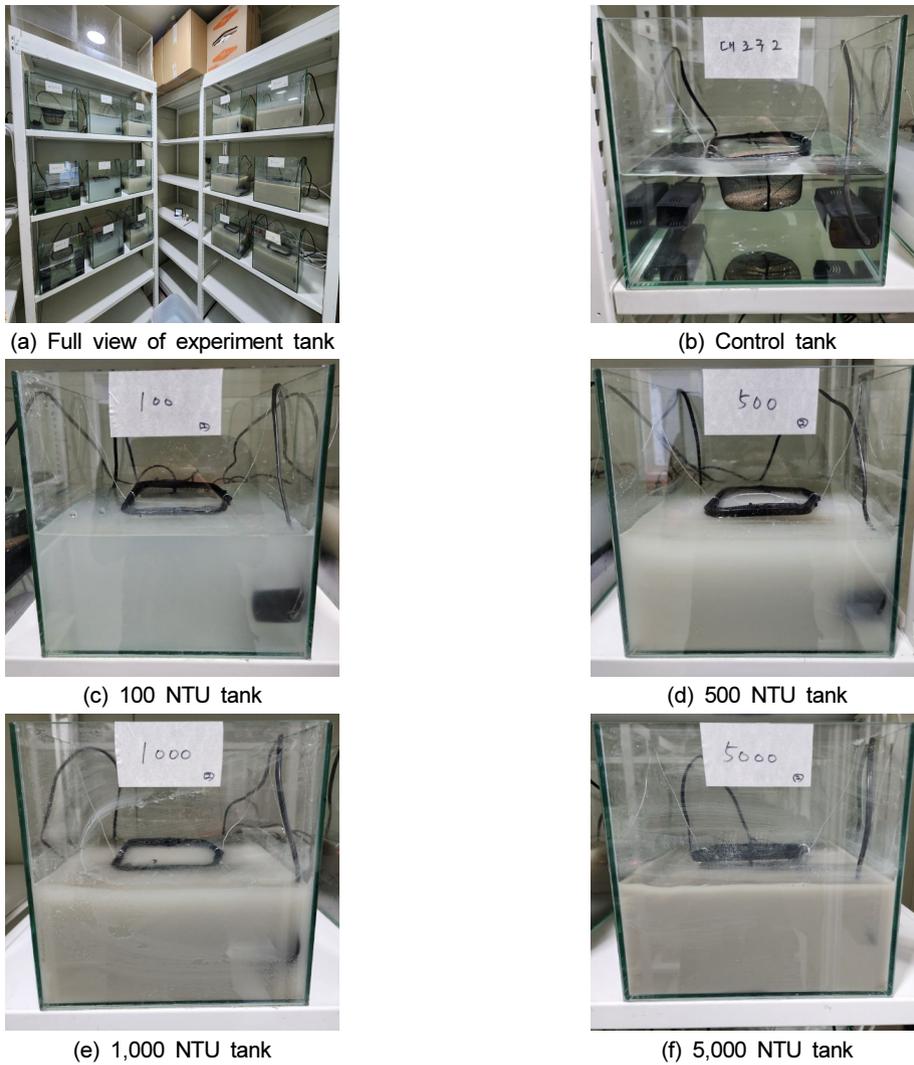


Fig. 2. Experiment tanks.

Table 2. Experimental results according to turbidity and duration

Duration (days)	Experimental case according to turbidity											
	100 NTU			500 NTU			1000 NTU			5000 NTU		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10	10	10	9	8	7	6	5	8	3	6	4
2	10	9	10	6	5	3	3	2	6	2	3	1
3	10	9	10	5	3	2	2	1	4	2	2	1
4	10	9	10	5	2	2	2	1	3	2	2	1
5	9	9	10	3	2	1	2	-	3	-	2	1
6	7	9	8	3	1	1	-	-	3	-	2	1
7	7	9	7	-	1	-	-	-	1	-	2	-
8	7	9	7	-	-	-	-	-	1	-	-	-
9	7	9	7	-	-	-	-	-	1	-	-	-
10	7	8	7	-	-	-	-	-	1	-	-	-

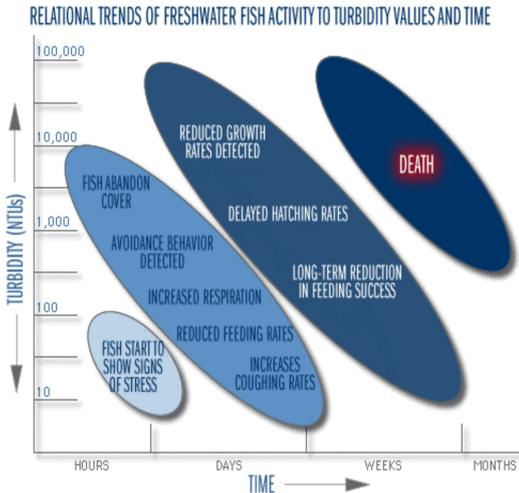


Fig. 3. Effects of suspended sediment on freshwater fishes with respect to concentration and duration (Capper, 2006).

생존 개체수는 빠르게 감소하는 것으로 관찰되었다. 즉, 조각갈따구는 탁도의 농도가 커지고, 지속시간이 길어짐에 따라 생존율이 낮아지는 결과를 보였다. 이러한 결과는 과거 여러 연구의 결과와 일치하는데, 대표적으로 Fig. 3은 부유사 농도(탁도)와 노출시간에 따른 어류의 영향을 나타낸 모식도이다(Capper 2006).

10일 기준의 반수치사량(LC50; Lethal Concentration 50%)의 농도는 100~500 NTU 사이인 것으로 나타났고, 1,000 NTU ~ 5,000 NTU에서는 1일차 이후 대부분의 개체들이 사멸되었다. 이는 부유사에 내재된 독성(toxicity)에 의한 영향보다는 고농도의 저질 밀도에 의한 호흡 저해가 원인으로 판단된다. 따라서 하천에 고농도의 부유사가 유입될 경우, 조각갈따구를 포함한 저서성 대형무척추동물은 서식하기 어려운 환경이 될 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 하천의 저서성 대형 무척추동물은 부유사 농도가 지속되는 시간에도 영향을 받는 것을 확인할 수 있다.

3. 저서성 무척추동물에 대한 탁도 영향 분석

3.1 유해 영향 심각도에 근거한 분석

3.1.1 유해 영향 심각도 평가 모형

Newcombe and Jensen (1996)은 하천과 하구의 부유사에 의한 어류의 반응을 조사한 많은 자료를 분석하

Table 3. Construction of a multiple regression model

Classification	Newcombe and Jensen (1996)	This study
Independent variable	Concentration of suspended sediment (mg/L)	Turbidity (NTU)
	Duration of exposure (hour)	
Dependent variable	Severity (SEV)	Survival rate (%)
Decision variable	a, b, c	

여 유해영향심각도(severity of ill effect; SEV)를 평가하는 수식을 제시하였다. Newcombe and Jensen (1996)에 의한 유해 영향 심각도는 Eq. 1과 같이 부유사의 농도와 노출시간에 의해 결정된다.

$$SEV = a + b(\ln C) + c(\ln D) \tag{1}$$

여기서 a, b, c 는 계수이며, C 는 부유사 농도(mg/L), D 는 노출시간(hr)이다. 참고로, Newcombe and Jensen (1996)은 6가지 그룹의 어류에 대하여 해당 유해영향 심각도의 계수를 결정하여 수식을 결정하였고, SEV의 크기에 따라 어류에 대한 영향을 15단계로 평가하였다.

3.1.2 다중회귀분석

Newcombe and Jensen (1996)가 제안한 Eq. 1은 다중회귀모형의 형태이다. 즉, 다중회귀분석을 통해 Eq. 1과 같은 형태의 수식을 유도할 수 있다. 이 연구에서는 금회 실험에 의해 도출된 부유사 농도(탁도)와 노출시간에 따른 조각갈따구의 생존율을 Eq. 1의 형태로 분석하였다. 다만, Eq. 1과 이 연구에서 수행한 실험의 독립변수와 종속변수가 일부 상이하므로 수정하여 활용하였다. Table 3은 Newcombe and Jensen (1996)의 연구와 이 연구의 분석에 사용된 다중회귀분석의 독립변수와 종속변수의 차이를 나타낸 표이다.

이 연구에서는 다중회귀분석을 통해 부유사 농도(탁도)와 노출시간에 따른 조각갈따구의 생존율에 관한 관계를 분석하였다. 조각갈따구의 생존율은 동일 조건 하에서 3개의 수조에 대하여 실험된 평균값을 이용하였다(Table 2 참조). Table 4는 다중회귀분석을 통해 결정된 모형의 통계분석 결과와 결정계수를 나타낸다. 다중회귀분석을 통한 부유사 농도(탁도)와 노출시간에 따른 조각갈따구 생존율분석모형의 결정계수는 0.779로

Table 4. Results of multiple regression analysis

Classification		Statistics value
Multiple correlation coefficient		0.882
Coefficient of determination		0.779
Significance F		7.6E-13
Decision variable	a	263.8715
	b	-22.7296
	c	-18.6278

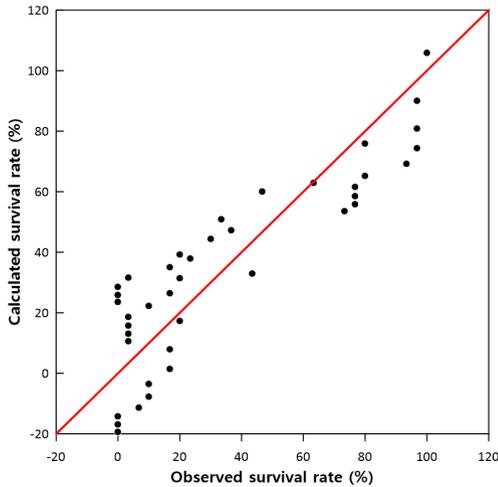


Fig. 4. Observed data and data calculated by multiple regression model.

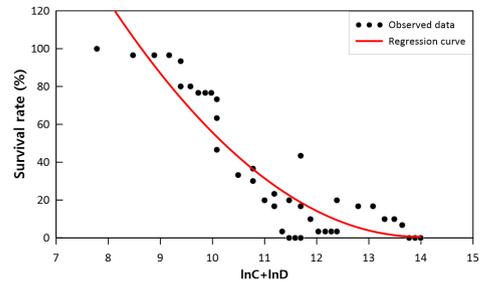
분석되었다. Fig. 4는 이 연구의 실험 결과와 다중회귀 모형에 의해 분석된 결과를 도시한 그림이다.

3.2 회귀분석의 개선

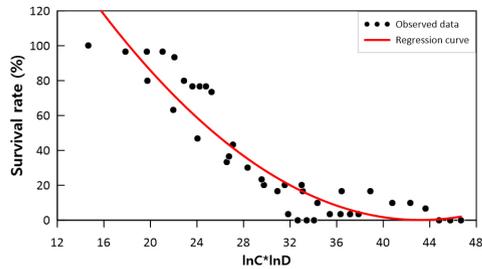
3.2.1 회귀식의 구성

이 연구에서는 3.1절의 유해영향심각도모형에 근거한 분석을 개선하기 위해 새로운 회귀식의 구성 방안을 검토하였다. 독립변수인 부유사 농도(탁도)와 노출 지속기간은 모두 저서성 무척추동물의 생존율에 반비례하는 특징을 가진다. 따라서 이 연구에서는 두 독립변수를 하나의 변수로 구성하는 방안을 고려하였다.

탁도와 노출시간은 단위가 상이하고, 값의 차이가 크므로 Newcombe and Jensen (1996)가 제안한 유해영향심각도평가모형에서 고려한 바와 같이 자연로그를 취하는 방안을 선택하였다. 그리고 탁도와 노출시간을 하나의 독립변수로 구성하기 위해 탁도와 노출시간을 더하는 방법과 곱하는 방법을 각각 적용하여 평가하였다.



(a) Regression curve 1 (addition)



(b) Regression curve 2 (multiplication)

Fig. 5. Regression curves according to independent variable composition.

3.2.2 회귀식 산정

부유사 농도(탁도)와 노출 지속기간의 조합에 따른 생존율의 관계에 대하여 회귀분석을 수행하였다. 회귀 분석에는 선형, 비선형(2~6차 다항식) 함수와 로그함수 등을 이용하였고, 결정계수가 가장 높은 회귀식을 도출하였다. 그 결과, 두 관계 모두 2차식에서 가장 적합도가 높은 것으로 검토되었다.

Fig. 5는 자연로그를 취한 탁도와 자연로그를 취한 노출시간의 합과 곱에 따른 회귀분석의 결과를 나타낸 결과이다. 두 관계 모두 강한 음의 상관성을 보이는 것을 확인할 수 있고, 2개의 회귀곡선은 이러한 관계를 대체로 잘 반영하여 결정된 것으로 판단되었다. Table 5는 결정된 회귀식과 결정계수를 나타낸다. 두 회귀식에 의한 결정계수는 각각 0.851과 0.878로 분석되어, 3.1절의 다중회귀분석에 의해 결정된 결정계수(0.779)보다 개선된 것으로 분석되었다. 또한, 상대적으로 탁도와 노출시간의 곱으로 구성된 회귀식이 합으로 구성된 회귀식에 비해 적합도가 높은 것으로 확인되었다.

3.3 부유사에 의한 조각갈따구의 영향평가모형

3.2절에서 대수화된 탁도 및 노출시간의 곱을 이용하여 구성된 2차 회귀식이 조각갈따구의 생존율을 잘 묘사하는 것으로 분석되었다. 하지만 해당 회귀식을 이

Table 5. Regression analysis results according to independent variable composition

Classification		Regression Eq. 1	Regression Eq. 2	Remark
Independent variable (X)		$\ln C + \ln D$	$\ln C \times \ln D$	C: turbidity (NTU) D: duration (hour)
Dependent variable (Y)		SR		SR: survival rate (%)
Equation		$Y = ax^2 + bx + c$		
Decision variable	a	3.4885411	0.1594286	
	b	-97.505892	-13.770328	
	c	681.92990	297.43324	
Determination coefficient		0.851	0.878	

Table 6. An impact assessment model according to independent variable values

Domain of Independent variables	Models
$\ln C \times \ln D \leq 18.15$	$SR(\%) = 100\%$
$18.15 < \ln C \times \ln D \leq 43.2$	$SR(\%) = 0.159x^2 - 13.77x + 297.43$
$\ln C \times \ln D > 43.2$	$SR(\%) = 0\%$

용하여 조각갈따구의 생존율을 예측할 경우, 생존율이 100% 이상인 값을 도출하거나, 탁도와 노출시간의 곱이 커짐에도 오히려 생존율이 증가하는 현상이 나타날 수 있다. 따라서 이 연구에서는 Table 6과 같이 독립변수의 값에 따른 회귀식의 적용범위를 설정하여 부유사에 의한 조각갈따구의 영향평가모형을 구성하였다. 해당 모형을 이용할 경우, 결정계수는 0.903까지 개선되는 것으로 분석되었다. 참고로 Table 5의 회귀식을 이용할 경우 결정계수는 0.878이다.

Fig. 6은 이 연구의 실험 결과와 Table 6에서 정의한 모형에 의한 결과를 나타낸 그림이다. Fig. 6은 다중회귀분석에 의한 결과를 동일하게 나타낸 Fig. 4와 비교할 때, 개선된 결과를 제공하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

하천에 서식하는 다양한 생물군은 부유사에 의한 영향을 받는다. 반면에, 이를 정량적이고, 객관적으로 평가할 수 있는 기준은 부재하다. 이 연구에서는 하천의 저서성 무척추동물에 대한 부유사의 영향을 평가하기 위해 실험을 진행하였다. 실험은 조각갈따구를 대상으로 하였고, 0(대조구), 100, 500, 1,000, 5,000 NTU의 부유사 농도(탁도)에 대하여 노출시간에 따른 생존 개체수를 조사하였다. 실험 결과, 탁도의 농도가 높아지고, 지속시간이 길어질수록 조각갈따구의 생존율이 낮아지는 것으로 분석되었다.

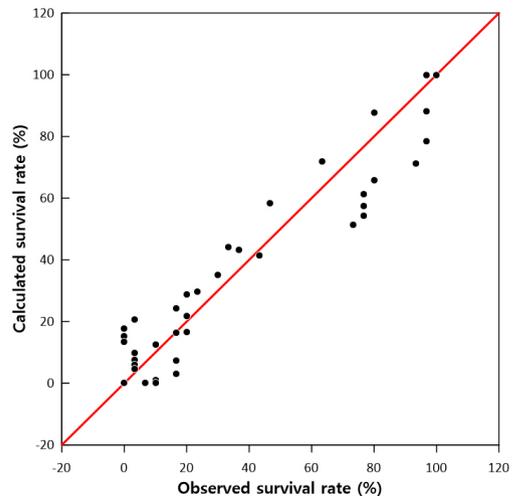


Fig. 6. Observed data and data calculated by the model proposed in the study.

이 연구에서는 실험 결과를 이용하여 부유사 농도와 노출시간에 따른 조각갈따구의 영향평가모형을 구성하고자 하였다. 우선, Newcombe and Jensen (1996)이 제시한 유해영향심각도평가식을 참조하여 다중회귀분석을 수행하였다. 다중회귀분석의 독립변수는 2개로서, 각각 자연로그를 취한 부유사 농도(탁도) 및 노출시간이고, 종속변수는 조각갈따구의 생존율이다. 분석 결과, 다중회귀분석에 의한 결정계수는 0.779로 분석되었다. 이 연구에서는 개선된 결과를 도출하기 위해 두 독립변수를 더하거나 곱하여 하나의 독립변수로 구

성한 후, 다양한 함수에 대하여 회귀분석을 수행하였다. 그 결과, 자연로그를 취한 탁도와 자연로그를 취한 노출시간의 곱을 독립변수로 구성한 2차식에 의한 결정계수가 0.878로 분석되어 가장 적합도가 높았다. 한편, 해당 회귀식에서 독립변수의 적용범위를 설정하여 최종적인 부유사 농도 및 노출시간에 따른 조각갈따구의 영향평가모형을 구성하였는데, 해당 모형에 의한 결정계수는 0.903으로 분석되었다.

이 연구에서는 저서성 무척추동물의 하나인 조각갈따구를 대상으로 부유사의 농도와 노출시간에 따른 영향평가모형을 실험과 회귀식 구성을 통해 제시하였다. 하천에는 다양한 생물군이 서식하고 있으므로 이 연구의 결과는 여러 생물군에 대한 부유사의 영향을 평가하는데 활용될 수 있다. 또한, 하천 공사와 수공구조물의 운영 등 인위적인 부유사 발생의 규제를 위한 기초자료로 활용되어 건강한 하천 수생태계 관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 이 연구에서 제시한 회귀식은 실험을 통해 가상적 조건을 고려하여 도출된 결과로서, 실제 현장에 적용되기 위해서는 자연적, 인위적 탁도 발생의 농도와 노출시간에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

감사의 글

This work was supported by the Korea Environmental Industry & Technology Institute(KEITI) through the Aquatic Ecosystem Conservation Research Program, funded by the Korea Ministry of Environment (MOE) (2020003050002).

References

Ahn, J.A., Moon, S.D., Kang, M.H., Lee, J., and Lee, J.S. 2017. Effect of suspended sediment on the abalone, *Haliotis discus hannai*. 2017 Conference of The Korean Society of Environmental Health and Toxicology 236. (in Korean)

Capper, N.A. 2006. The effects of suspended sediment on the aquatic organisms *Daphnia magna* and *Pimephales promelas*. Ph.D. dissertation, Clemson University, Clemson, South Carolina, USA.

Hong, J.S., Seo, I.S., Yoon, K.T., Hwang, I.S., and Kim, C.S. 2004. Notes on the Benthic Macrofauna During September 1997 Namdaecheon Estuary, Gangneung, Korea. *The Korean Journal of Environment Biology* 22(2): 341-350. (in Korean)

Kang, J.G., Lee, N.J., and Nam, D.H. 2023. Monitoring of the mobility of fish on turbidity changes. *Ecology and Resilient Infrastructure* 10(4): 201-207. (in Korean)

Kang, M., Moon, S., Kim, S., and An, J. 2017. Effect of suspended sediment on hatching rate of *Paralichthys olivaceus*. 2017 Conference of The Korean Society of Environmental Health and Toxicology 238. (in Korean)

Kim, I.J., Lee, B.K., Choi, J.Y., and Han, D.H. 2007a. Sediment management plans for protecting aquatic ecosystem. Research Report, KEI 2007 RE-11, Korea Environment Institute. (in Korean)

Kim, J.K., Choi, J., Jang, Y., Lee, K., and Kim, B. 2007b. Effects of turbid water on fish community: case studies of the Daegi Stream and the Bong-san stream. *Korean Journal of Limnology* 40(3): 459-467. (in Korean)

Maeng, J.H., Kim, S.D., Park, C.W., and Sung, C.G. 2021. Evaluation of Marine organisms effects of suspended sediment through the Bioassay. *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy* 24(4): 300-311. (in Korean)

Newcombe, C.P. and Jensen, J.O.T. 1996. Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management* 16: 693-727.

Newcombe, C.P. and MacDonald, D.D. 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management* 11: 72-82.

Park, S.Y., K, I., Lee, J., Yoon, S.J., Lee, C., and Khim, J.S. 2022. Range of the biological effects and threshold concentrations on marine organisms by suspended solid. *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy* 25(1): 29-40. (in Korean)

Shin, M.J., Lee, J.E., and Seo, E.W. 2009. Effect of muddy water on the fishes in Imha reservoir. *Journal of Life Science* 19(8): 1112-1118. (in Korean)

Yoon, S.J. and Park, G.S. 2011. Ecotoxicological effects of the increased suspended solids on marine benthic organisms. *Journal of the Environmental Sciences* 20(11): 1383-1394. (in Korean)

Yu, S.H., Kim, J.S., Shin, M.J., Lee, J.E., and Seo, E.W. 2009. Effect of turbid water on fishes in the streams of Imha Reservoir. *Journal of Life Science* 19(10): 1410-1416. (in Korean)