탁수가 하천 제방보호 식물에 미치는 영향 분석

김종태* · 김은진 · 강준구 · 여흥구

한국건설기술연구원 하천실험센터

Impact of Turbidity on Protected Plants along River Levees

Jong-Tae Kim*, Eun-Jin Kim, Joon-Gu Kang, and Hong-Koo Yeo

River Experiment Center, Korea Institute of Construction Technology

본 연구에서는 대규모 하천이나 댐 조성 시 형성되는 인공 또는 자연 사면의 안정성 확보에 고려되는 제방보호 식물이 수위와 탁도의 변화에 따라 어떻게 영향을 받는지에 대해 분석하였다. 실험을 위하여 임하댐 상류 지천에서 채취한 토양을 이용하여 탁수를 재연하였으며 사면 내 식물은 국내 대표 버드나무속 식물인 갯버들, 버드나무, 왕버들을 사용하였다. 또한 하천식물이 비침수의 회복시간을 가질 경우 재성장 가능성을 단계별로 분석하여 집중호우로 인한 하천식물의 피해와 회복 가능성을 평가하였다. 연구 결과 국내 대표 하천식물인 버드나무속 3종은 고탁도 침수가 발생하면 줄기의 경우 심각한 피해로 인해 성장이 멈추었으며 20일 동안 비침수의 회복이 진행되어도 재성장 가능성은 낮은 것으로 나타났다. 그러나 엽수의 경우 침수로 인해 초기에는 감소했지만 비침수의 회복이 진행되면 갯버들은 초기상태 대비 59.3%까지 회복하였으며 버드나무와 왕버들도 초기상태 대비 각각 251.3%, 148.4%로 측정되어 재성장률이 높은 것으로 나타났다.

주요어 : 제방, 탁도, 버드나무속, 침수, 재성장률

We analyzed the effect of changing water level and turbidity on plants that serve to maintain slope stability on levees. In this experiment, soil collected from upstream of Imha Dam was placed in a water tank and planted with river plants of the *Salix* species: *Salix gracilistyla*, *S. koreensis*, and *S. glanduosa*. Plant regrowth was analyzed stage-by-stage during a recovery period. In addition, we assessed the tolerance of the plants to concentrated torrential rainfall and examined their recovery rates. The results indicate that in the case of these three *Salix* species, which are the most prevalent river plants in Korea, stem growth is arrested following serious damage and high turbidity. The possibility of regrowth was very low during the 20-day non-submerged recovery period. Although the number of leaves initially decreased during this period, subsequent regrowth was reasonably high: recovery in *S. gracilistyla*, *S. koreensis*, and *S. glanduosa* was up to 59.3%, 251.3%, and 148.4% respectively, compared with the initial condition.

Keywords: levee, turbidity, *salix* species, submersion, regrowth rate

*Corresponding author: kjt98@kict.re.kr

© 2013, The Korean Society of Engineering Geology

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.

서 론

퇴적암 지역에 위치하고 있는 하천 및 댐 저수지에서 는 태풍 및 국지성 폭우로 인해 탁수 발생 빈도가 크게 증가하고 있는 추세이며 이로 인해 다양한 문제들이 발생하고 있다. 국내에서 댐 저수지의 탁수가 사회적 문제로 대두된 것은 임하댐과 소양강댐이 대표적으로 낙동강 수계의 임하댐은 상류하천 유역의 암석 풍화물질이 원인이며 북한강 지류에 위치한 소양강댐의 탁수는 상류지역 고랭지 채소 재배가 원인인 것으로 나타났다(Hwang and Jeong, 2006; Kim and Jung, 2007). 특히 낙동강 상류에 위치하는 임하호는 태풍과 홍수 피해 복구공사 등으로 인해 심각한 탁수가 발생하였으며 상류하천 지질특성 및 침식은 탁수 장기화의 원인이 되었다. 임하호의 이러한 탁수 현상은 댐의 기능 저하와 인근 지역 자연경관의 훼손 및 관광지로써의 역할 감소 등 경제적 손실을 가져왔으며 침수와 비침수가 계속 반복되면서 수중 생태계 뿐만 아니라 제방 사면의 안정성에도 심각한 영향을 주고 있으므로 해결 방법 및 대책에 대한 연구가 반드시 필요한 실정이다.

과거 탁수는 일시적인 현상이었으나 발생빈도가 증가하면서 생태계를 파괴하는 심각한 오염원으로 부각되고 있다(Tattersall et al., 2003; Choo et al., 2006; Moon et al., 2012). 이런 이유로 탁수 발생과 피해에 대한 보고서 및 논문들이 다수 발표되고 있지만 대부분 어류와 플랑크톤 중심의 연구가 이루어졌다(Park et al., 2005(b); Kim et al., 2007; Shin et al., 2008). Shin et al. (2004)은 하천식물에 대한 탁수의 영향은 부유물질이 앞에 퇴적되면서 발생하는 직접적인 영향과 빛을 차단하여 광합성을 방해하는 간접적인 영향으로 나누고 국내 주요하천과 저수지 생태계를 대상으로 탁수 발생 패턴과 수중 생태계의 지속가능한 유지를 위한 방안의 필요성을 제안하였으며 임하호에서 수치모델링을 통한 탁수거동에 대한 연구도 최근 발표되었다(Yi et al., 2004). 또한 Kim et al. (2012)은 고탁도 침수기간에 따른 하천식물의 성장 및 피해가능성을 실험을 통해 분석하였으며 Park et al. (2005(a))은 인공호에서 태풍발생과 고탁수층의 이동에 대해 발표하였다.

미국을 비롯한 주요 선진국에서는 탁도가 중요한 수질관리 대상 중 하나이며 탁수에 대한 생태계 영향은 농도에 따른 지속기간을 고려한 스트레스 지수(Stress Index, SI)로 표현되기도 한다(Newcombe and MacDonald, 1991). 또한 스트레스 지수는 생태계에 미치는

영향에 따라 영향이 없는 범위, 중간정도의 범위, 심각한 영향을 주는 범위로 나누어 연구가 다양하게 진행되었다(Alabaster, 1972; Hill, 1974). 하지만 대부분 생태계에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 하천 및 저수지 제방의 안전성을 확보할 수 있는 식생 조건 등에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 퇴적암 지역에서 발생한 탁수가 하천 제방보호 식물에 미치는 영향을 분석하기 위해 탁수를 재연하여 실험을 실시하였다. 탁수 발생은 세립질 토양을 이용해 재연하였으며 버드나무속 식물인 갯버들(*Salix gracilistyla*), 버드나무(*Salix koreensis*), 왕버들(*Salix glandulosa*)을 10일 동안 침수시킨 후 하천식물이 비침수의 회복시간을 가질 경우 재생장 가능성을 단계별로 분석하였다. 또한 재생장률 분석 결과를 바탕으로 하천과 저수지 제방의 안정성을 확보하기 위한 식물 조건 및 적합한 하천식물을 선정하였다.

재료 및 방법

토양시료 채취 및 특성

임하댐 상류하천은 경상북도 영양군에서 유입되는 반변천과 청송군에서 유입되는 용전천으로 구분되지만 임하호 탁수의 대부분은 반변천에서 발생한다. 따라서 본 연구를 위한 시료 채취는 탁수 지속시간이 가장 긴 반변천 상류 창하천에서 실시하였으며 강우로 인한 토양 유실 및 점토질 미세입자의 이동 등을 고려해 갈수기에 시료를 채취하였다.

시료 채취지역인 창하천 일대는 퇴적암 지역으로 적색의 세일과 실트암이 주를 이루고 있으며 특히 백악기 전후의 경상계 도계동층이 발달하면서 탁수 발생의 원인이 되고 있다. 또한 층 하부는 비교적 원마도가 발달한 작은 역을 함유하는 역암, 사암, 세일 및 이암 등이 주로 관찰되며 도계동층의 층후는 대체로 900 m 내외로 예상되고 있다(Kim and Park, 1970). 또한 하천 인근의 경작지로 활용되는 토양들이 홍수 발생 시 탁수를 발생시키고 있으며 태풍 피해 복구를 위해 진행되는 하천 복원 공사도 고탁수를 유발시키고 있는 현실이다. Fig. 1은 반변천 상류하천의 수계 및 시료채취 지역인 창하천을 나타내는 그림으로써 창하천은 반변천 우측인 영양을 무학리, 무창리 등에 걸쳐 위치하고 있다.

기상 분석

본 연구에서는 반변천 유역의 강우일수 및 식물의 침

Fig. 1. Locations of the sampling site and Banbyeon-cheon.

Table 1. Yearly precipitation data at the sampling site.

Date (year)	Annual Precipitation (Sampling Area, mm/y)	Number of raining days (day)	Number of raining days (More than 30 mm/d)	Number of raining days (More than 50 mm/d)	Number of raining days (More than 70 mm/d)	Annual Precipitation (Korea, mm/y)
2003	1579.3	119	16	8	4	1907.7
2004	1305.0	107	13	5	3	1482.6
2005	881.7	97	5	3	1	1311.9
2006	1098.1	131	8	5	3	1465.2
2007	1122.0	116	13	4	2	1515.0
2008	737.9	86	7	2	1	1035.3
2009	1058.5	95	10	6	3	1324.5
2010	1073.8	112	11	1	1	1499.1
2011	1251.5	98	11	4	2	1622.6
2012	1046.9	110	11	3	1	1478.9
Ave.	1115.5	107.1	10.5	4.1	2.1	1464.3

수시간 결정 등을 파악하기 위해 기상분석을 실시하였다. 창하천이 위치한 영양읍 무창리 강우자료는 가장 인접한 안동기상대의 관측 자료를 참고하였으며 분석결과 최근 10년 평균(2003~2012) 강수량은 1,115.5 mm/y이며 강수횟수는 1년 평균 107.1일이며 30 mm 이상 강우일수는 10.5일인 것으로 나타났다(Table 1). 연구지역의 경우 전국 평균강수량에 비해 강수량이 적었지만 연평균 50 mm 이상 강우일수는 4.5일인 것으로 나타났으며

이런 집중호우가 임하호 탁수 지속시간에 영향을 주는 것으로 판단된다.

실험방법

강제탁수 발생을 위한 수조는 1 m³ 크기로 제작하였으며 하천식물은 임하호 상류하천에서 가장 많이 관찰되는 버드나무속 3종인 갯버들, 버드나무, 왕버들을 이용하여 고탁도 침수 및 재성장률을 분석하였다. 각 식물

Table 2. Change in turbidity in the water tank.

Water Tank (Plant species)	Temperature (°C)	Turbidity (NTU)			
		Condition of initial	3 days later	6 days later	10 days later
<i>Gracilistyla</i>	20~22	1,000	786	380	128
<i>Koreensis</i>		1,000	763	313	111
<i>Glandulosa</i>		1,000	752	368	119

(a) Initial.

(b) 3 days later.

(c) 6 days later.

(d) 10 days later.

Fig. 2. Change in turbidity over time during submersion.

의 침수기간은 연구지역 30 mm 이상 강우일수(Table 1)를 참고하여 10일로 정하였으며 침수 후 각각 10일, 20일 동안 회복 정도를 관찰하였다. 각 식물 재성장에 대한 정확성을 높이기 위해 총 5개체를 이용하였으며 성장분석을 위해 각 식물의 키(Length of Shoot) 및 엽수(Leaf Number)를 측정하였다. Fig. 2는 침수시간에 따른 탁도변화를 보여주는 사진이며 Table 2는 실험 시작에

서 종료까지 각 수조의 탁도 측정값으로써 탁도 감소율은 각 수조별로 유사하게 나타났다.

고탁도 침수 후 재성장률 분석

버드나무속 식물의 고탁도 침수에 대한 반응 분석을 위해 식물 키 및 엽수를 측정하였으며 측정은 4단계로 나누어 백분율(1단계 : 100%)로 분석하였다. 1단계는 침수 전 초기값이며 2단계는 10일간 침수 후 측정된 값이다. 3단계는 침수 후 10일 동안 회복 후 측정값이며 4단계는 침수 후 20일 동안 회복 후 측정값을 나타낸다.

갯버들

갯버들의 경우 키는 고탁도 침수가 10일간 지속되면 초기 상태에 비해 평균 3.0% 증가 후 성장이 멈추었으며 특히 GR-5의 경우 줄기가 침수로 인해 부러져 성장률이 감소하였다. 고탁도 침수 후 회복시간을 가진 갯버들의 성장률 분석 결과 키의 경우 4단계에서도 성장률의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 침수로 인해 성장이 멈춘 것으로 판단된다. 갯버들 엽수의 경우 고탁도 침수인 2단계에서 5개체 모두 100% 감소하였지만 3단계, 4단계에서 초기대비 각각 44.7%, 59.3%의 엽수가 관찰되었다. 그러나 5개체 중 2개체에서만 잎이 회복되어 재성장하였으며 재성장률은 개체에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. Table 3과 Fig. 3~Fig. 4는 갯버들의 각 단계별 측정값을 나타낸 표와 그래프이며 Fig. 5~Fig. 6은 갯버들의 단계별 변화 사진을 나타낸다.

버드나무

버드나무의 경우 키는 고탁도 침수가 10일간 지속되면 초기 상태에 비해 평균 3.1% 증가하여 갯버들과 비슷한 성장률을 보였으며 회복시간이 지나면 미세하지만 계속 성장하고 있는 것으로 나타났다. 엽수의 경우 2단계에서 초기 대비 82.3%로 고탁도 침수에 영향을 크게 받지 않았으나 개체별 경향의 차이는 있는 것으로 나타났다. 버드나무의 엽수는 3단계에서 초기 대비 169.6%

Table 3. Growth rate of *Salix gracilistyla* according to stage.

High Turbid water Group			1st Stage		2nd Stage		3rd Stage		4th Stage	
			Result	%	Result	%	Result	%	Result	%
<i>Gracilistyla</i>	Length of Shoot (cm)	GR-1	48.1	100.0	48.6	101.0	48.6	101.0	48.6	101.0
		GR-2	41.2	100.0	41.9	101.7	42.4	102.9	42.5	103.2
		GR-3	41.0	100.0	43.5	106.1	44.0	107.3	43.7	106.6
		GR-4	33.0	100.0	36.0	109.1	36.4	110.3	36.5	110.6
		GR-5	26.0	100.0	25.2	96.9	25.5	98.1	25.3	97.3
		Ave.	37.9	100.0	39.0	103.0	39.4	103.9	39.3	103.7
	Leaf Number	GR-1	20.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		GR-2	25.0	100.0	0.0	0.0	42.0	168.0	59.0	236.0
		GR-3	15.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		GR-4	25.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		GR-5	38.0	100.0	0.0	0.0	21.0	55.3	23.0	60.5
		Ave.	24.6	100.0	0.0	0.0	12.6	44.7	16.4	59.3

Fig. 3. Change in shoot length according to stage (*Salix gracilistyla*).

Fig. 4. Change in leaf number according to stage (*Salix gracilistyla*).

였으며 4단계에서는 251.3%로써 151.3% 증가하였다. 버드나무의 경우 고탁도의 침수가 10일 지속되면 광합성 부족 및 부유물질의 퇴적 등으로 인해 잎에 영향을 받아 엽수가 감소하지만 회복이 시작되면 빠른 시간 내

Fig. 5. *Salix gracilistyla* after submersion in high-turbidity water (2nd stage).

(a) 3rd stage.

(b) 4th stage.

Fig. 6. *Salix gracilistyla* after non-submersion recovery time (3rd stage, 4th stage).

Table 4. Growth rate of *Salix koreensis* according to stage.

High Turbid water Group			1st stage		2nd stage		3rd stage		4th stage	
			Result	%	Result	%	Result	%	Result	%
<i>Koreensis</i>	Length of Shoot (cm)	KO-1	52.1	100.0	54.2	104.0	54.6	104.8	55.0	105.6
		KO-2	61.0	100.0	61.3	100.5	63.8	104.6	63.8	104.6
		KO-3	54.6	100.0	54.3	99.5	54.5	99.8	55.0	100.7
		KO-4	51.7	100.0	54.0	104.4	55.5	107.4	55.9	108.1
		KO-5	40.1	100.0	42.9	107.0	43.1	107.5	44.1	110.0
		Ave.	51.9	100.0	53.3	103.1	54.3	104.8	54.8	105.8
	Leaf Number	KO-1	44.0	100.0	39.0	88.6	52.0	118.2	239.0	543.2
		KO-2	29.0	100.0	28.0	96.6	48.0	165.5	53.0	182.8
		KO-3	28.0	100.0	21.0	75.0	69.0	246.4	96.0	342.9
		KO-4	24.0	100.0	19.0	79.2	57.0	237.5	13.0	54.2
		KO-5	36.0	100.0	26.0	72.2	29.0	80.6	48.0	133.3
		Ave.	32.2	100.0	26.6	82.3	51.0	169.6	89.8	251.3

Fig. 7. Change in shoot length according to stage (*Salix koreensis*). **Fig. 8.** Change in leaf number according to stage (*Salix koreensis*).

엽수가 증가하는 것으로 나타나 고탁도 침수에 가장 강한 것으로 나타났다. Table 4와 Fig. 7~Fig. 8은 버드나무의 각 단계별 측정값을 나타낸 표와 그래프이며 Fig. 9~Fig. 10은 갯버들의 단계별 변화 사진을 나타낸다.

Fig. 9. *Salix koreensis* after submersion in high-turbidity water (2nd stage).

(a) 3rd stage.

(b) 4th stage.

Fig. 10. *Salix koreensis* after non-submersion recovery time (3rd stage, 4th stage).

Table 5. Growth rate of *Salix glandulosa* according to stage.

High Turbid water Group			1st stage		2nd stage		3rd stage		4th stage	
			Result	%	Result	%	Result	%	Result	%
<i>Glandulosa</i>	Length of Shoot (cm)	GL-1	47.0	100.0	47.3	100.6	46.3	98.5	47.0	100.0
		GL-2	38.3	100.0	38.0	99.2	37.1	96.9	37.4	97.7
		GL-3	37.0	100.0	37.2	100.5	37.8	102.2	37.8	102.2
		GL-4	53.0	100.0	53.6	101.1	52.1	98.3	52.6	99.2
		GL-5	54.1	100.0	54.1	100.0	52.0	96.1	52.1	96.3
		Ave.	45.9	100.0	46.0	100.3	45.1	98.4	45.4	99.1
	Leaf Number	GL-1	59.0	100.0	45.0	76.3	75.0	127.1	94.0	159.3
		GL-2	67.0	100.0	25.0	37.3	0.0	0.0	0.0	0.0
		GL-3	42.0	100.0	29.0	69.0	48.0	114.3	59.0	140.5
		GL-4	53.0	100.0	33.0	62.3	48.0	90.6	72.0	135.8
		GL-5	32.0	100.0	16.0	50.0	73.0	228.1	98.0	306.3
		Ave.	50.6	100.0	29.6	59.0	48.8	112.0	64.6	148.4

Fig. 11. Change in shoot length according to stage (*Salix glandulosa*).

Fig. 12. Change in leaf number according to stage (*Salix glandulosa*).

왕버들

왕버들의 경우 키는 고탁도 침수가 10일간 지속되면 초기 상태에 비해 평균 0.3% 증가하여 성장이 멈춘 것

Fig. 13. *Salix glandulosa* after submersion in high-turbidity water (2nd stage).

(a) 3rd stage.

(b) 4th stage.

Fig. 14. *Salix glandulosa* after non-submersion recovery time (3rd stage, 4th stage).

Fig. 15. Change in shoot length according to stage (*gracilistyla*, *koreensis*, *glandulosa*).

으로 판단되며 5개체 중 3개체는 4단계에서도 줄기가 부러져 성장률이 감소한 값을 보이고 있다. 엽수의 경우 2단계에서 초기 대비 59.0%로 나타났지만 3단계에서 초기 대비 112.0%로써 12.0% 증가했으며 4단계에서는 초기 대비 48.4% 증가하여 재성장한 것으로 나타났다. GL-2의 경우 엽수가 2단계에서 초기 대비 37.3%가 관찰되었지만 3단계에서는 0개로 측정되어 회복시간이 더 필요한 것으로 나타났다. Table 5와 Fig. 11~Fig. 12는 왕버들의 각 단계별 측정값을 나타낸 표와 그래프이며 Fig. 13~Fig. 14는 갯버들의 단계별 변화 사진을 나타낸다.

분석 및 고찰

버드나무속 식물 3종의 고탁도 침수 후 재성장률 분석 결과 개체별 차이는 있었지만 전반적인 흐름은 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 15~Fig. 16). 식물 키의 경우 버드나무속 식물은 고탁도 침수인 2단계에서 성장을 멈추거나 줄기가 부러져 감소하는 경향이 나타났으며 회복단계에서도 거의 성장이 없는 것으로 확인되었다. 이는 식물 키의 경우 고탁도 침수에 취약하며 재성장을 위한 회복 시간도 20일 이상인 것을 의미한다. 식물 엽수의 경우 단계에 따라 뚜렷한 경향을 보이는 것으로 나타나 고탁도 침수 및 회복에 민감한 것으로 판단된다. 모든 식물이 2단계 고탁도 침수로 인해 엽수의 급격한 감소가 나타났으나 회복기간인 3단계부터 재성장을 보였으며 특히 버드나무의 경우 침수로 인해 엽수가 초기대비 17.7% 감소했지만 3단계에서는 초기대비 169.6%였으며 4단계에서는 251.3%로 분석되어 재성장률이 가장 높은 것으로 나타났다. 반면 갯버들

Fig. 16. Change in leaf number according to stage (*gracilistyla*, *koreensis*, *glandulosa*).

은 고탁도 침수에 가장 취약했으며 재성장률도 가장 낮은 것으로 나타났다.

따라서 고탁도의 침수가 빈번히 발생하는 지역에서 토양 침식 방지 및 제방사면 안정성 확보를 위한 식생 고려 시 하천식물 중 버드나무가 가장 적절하며 10일 동안 침수 환경이 지속되어도 성장이 가능한 것으로 나타났다.

결론

하천이나 댐 제방의 식물은 사면 안정성에 영향을 줄 수 있는 인자 중 하나이므로 사면 내 식물 성장에 대한 연구가 필요하다. 특히 고탁도 침수는 하천식물의 성장에 심각한 영향을 주기 때문에 식물 종류에 따라 반응 정도를 분석하는 것이 필요하며 침수 후 식물의 재성장률에 대한 연구가 반드시 수행되어야 한다. 본 연구에서는 퇴적암 지역에서 10일 동안 고탁도 침수 후 비침수의 회복기간을 가질 경우 키와 엽수의 변화를 통해 재성장률을 정량적으로 분석하였으며 사면 안정성 확보에 가장 적합한 하천식물을 선정하였다.

키(Length of Shoot)에 대한 분석 결과 버드나무속 식물 3종은 고탁도 침수가 10일 동안 지속되면 개체별 차이는 있지만 전반적으로 성장이 멈춘 것으로 판단되며 20일 동안 비침수의 회복기간에도 재성장률은 낮은 것으로 나타났다. 이는 고탁도 침수가 하천식물의 키 성장에 심각한 영향을 미치는 것과 재성장을 위해 20일 이상의 시간이 필요하다는 것을 의미한다.

엽수(Leaf Number)에 대한 분석 결과 고탁도 침수가 10일 지속되면 급격히 감소하지만 비침수가 진행되면 식물에 따라 미세한 차이는 있지만 빠른 시간 내 엽수를

회복하는 것으로 나타났다. 갯버들의 경우 10일 동안 침수 후 염수는 0개였으며 버드나무와 왕버들도 초기상태에 비해 많이 감소한 것으로 나타났다. 그러나 비침수의 회복기간이 10일 지속되면(3단계) 모든 식물에서 급격히 염수가 증가하는 것으로 나타나 재성장 가능성이 높았으며 침수 후 회복기간이 20일 지속되면(4단계) 갯버들의 경우 초기상태 대비 59.3%까지 회복하였으며 버드나무와 왕버들도 초기상태 대비 각각 251.3%, 148.4%로 측정되어 버드나무의 재성장률이 가장 높은 것으로 나타났다.

향후 고탁도 침수가 반복되는 지역 제방사면의 안정성 확보를 위해 재성장률이 가장 높은 버드나무의 분포도 및 식생조건이 중요할 것으로 판단되며 탁수 외에 식물 성장에 영향을 주는 제한인자에 대한 실험도 필요하다. 또한 식물과 친환경을 고려한 다기능 사면보호공법과 연계된 연구가 수행되어야 하며 장기적인 실험 데이터 및 사면 안정성 관련 모니터링이 이루어지면 고탁도 침수에 의한 피해 저감 및 제방의 친환경적인 사면조성이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유 연구사업(13주요) 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

Alabaster, J. S., 1972, Suspended solids and fisheries, *Proceedings of the Royal Society of London Biological Sciences*, 180, 395-406.

Choo, C. O., Koh, E. Y., Oh, S. J., Lee, S. W., Kim, B. K., Lee, J. E. and Kim, Y. K., 2006, Environmental Geological Characteristics of Suspended Matter and Turbidity Water at Gachang Dam in 2004, *J. Miner. Soc. Korea*, 19(1), 49-61.

Hill, R. D., 1974, Mining impacts on trout habitat, 57 in *proceedings of a symposium on trout habitat research and management*, North Carolina, 47-57.

Hwang, S. K. and Jeong, G. Y., 2006, Geology in Drainage Field of the Imha Dam and Origins of High Turbid Water in the Imha Lake, *Andong, Journal of*

Econ. Environ. Geol., 39(6), 771-786.

Kim, B. C. and Jung, S. M., 2007, Turbid storm runoffs in lake Soyang and their environmental effect, *Journal of KSEE*, 29(11), 1185-1190.

Kim, J. H., Seo, J. W., Na, Y. E. and An, K. G., 2007, Ecological health assessments on turbidwater in the downstream after a construction of Yongdam dam, *Korean J. Limnology*, 40(1), 130-142.

Kim, J. T., Kim, E. J., Kang, J. G. and Yeo, H. K., 2012, Analysis of Growth of Plant by Turbid Water, *Proceeding of KSEG 2012 Fall Conference*, 213-215.

Kim, S. W. and Park, B. S., 1970, Explanatory text of the geological map of Yeong Yang sheet (1 : 50,000), *Geological Survey of Korea*, 5-20.

Moon, W. K., Bae, D. Y., Jung, M. S., Lee, S. D. and Kim, J. K., 2012, Comparison of Larval Fish Survival of Pale chub (*Zacco platypus*) Exposed to Different Levels Turbidity, *Korean J. Limnology*, 45(3), 314-321.

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

Park, J. C., Park, J. W., Shin, J. K. and Lee, H. M., 2005(a), Dynamics of High Turbid Water Caused by Heavy Rain of Monsoon and Typhoon in a Large Korean Reservoir (Andong Reservoir), *Korean J. Limnology*, 38(1), 105-117.

Park, J. W., Lee, K. L., Choi, J. S. and Kim, H. S., 2005(b), Dynamics of Phytoplankton Community after Formation of Turbid Water in Lake Imha, *Korean J. Limnology*, 38(3), 429-434.

Shin, J. K., Yi, H. S., Chong, S. A. and Hwang, S. J., 2004, Development and Impacts of Turbid-water in the Freshwater Ecosystem, Korea, *Korean Society on Water Environment proceeding*, DaeJeon, 37-40.

Shin, M. J., Kim, J. S., Hwang, Y. H., Lee, J. E. and Seo, E. W., 2008, Effect of Turbidity Changes on Tissues of *Zacco koreanus*, *Korean J. Limnology*, 41(1), 73-80.

Tattersall, G. R., Elliott, A. J. and Lynn, N. M., 2003, Suspended sediment concentrations in the Tamar estuary, *Estuar. Coast. and Shelf Sci.*, 57, 679-688.

Yi, Y. K., Kim, Y. D., Kim, D. H. and Park, K. Y., 2004, Movement of High Turbid Water in Imha Reservoir, *Korean Society of Civil Engineers Proceeding*, 786-791.

원고접수일 : 2013년 5월 28일

수정본채택 : 2013년 6월 24일

게재확정일 : 2013년 6월 25일

김종태

한국건설기술연구원 하천실험센터

760-872 경상북도 안동시 남후면 아곡길 942

Tel : 054-843-1803

E-mail : kjt98@kict.re.kr

강준구

한국건설기술연구원 하천실험센터

760-872 경상북도 안동시 남후면 아곡길 942

Tel : 054-843-1810

E-mail : jgkang02@kict.re.kr

김은진

한국건설기술연구원 하천실험센터

760-872 경상북도 안동시 남후면 아곡길 942

Tel : 054-843-1812

E-mail : ejkim@kict.re.kr

여흥구

한국건설기술연구원 하천실험센터

760-872 경상북도 안동시 남후면 아곡길 942

Tel : 054-843-1800

E-mail : yeo917@kict.re.kr