고탁도 침수에 의한 하천식물의 성장을 변화 연구 - 버드나무속 3종을 대상으로 -

Variation on the Growth Rate of Plants by Submersion of High Turbidity - A Case Study on Salix Species -

김 종 태* / 김 은 진** / 강 준 구*** / 여 홍 구****

Kim, Jong Tae / Kim, Eun Jin / Kang, Joon Gu / Yeo, Hong Koo

Abstract

High turbidity submersion due to torrential downpour is one of the factors that influences the plant growth. This study is focused on analyzing the plant's growth rate for Salix species such as gracilisyla, koreensis, glandulosa when these trees are waterlogged. The length of shoots for this control group in the natural state is 33.4% (gracilisyla), 24.3% (koreensis), 23.9% (glandulosa), however, they stopped growing in submersion. Compared to the leaf number of Salix species of this control group in the natural state, 144.5% (gracilisyla), 77.3% (koreensis), 40.3% (glandulosa) in the natural state 30 days, in 30 days submersion, the number of leaves is zero except koreensis. In the results of this experiment, Salix species stopped growing quickly when submersed. This study concludes that it is necessary to plant eco-friendly plants around the slope of the reservoir and dam where flooding takes place frequently.

Keywords : high turbid water, submersion, Salix species, leaf number, shoot

요 지

집중호우에 의한 고탁도 침수는 식물 성장에 영향을 줄 수 있는 요소 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 버드나무속 식물인 갯버들, 버드나무, 왕버들을 이용하여 고탁도 침수 발생 시 식물 키 및 엽수를 파악하여 성장정도를 정량적으로 분석하였다. 식물 키에 대한 분석 결과 비침수 상태인 대조군에서는 30일 후 갯버들, 버드나무, 왕버들이 각각 33.4%, 24.3%, 23.9% 증가하였지만 고탁도의 침수가 시작되면 대부분 성장이 멈추었다. 엽수의 경우 대조군에서는 30일 후 갯버들, 버드나무, 왕버들이 각각 144.5%, 77.3%, 40.3% 증가하였지만 고탁도 침수가 30일 지속되면 버드나무를 제외한 식물의 엽수는 0개로 관찰되었다. 식물 성장에 대한 실험 결과 전반적으로 버드나무속 식물은 고탁도 침수가 지속되면 빠른 시간 내 성장이 멈추는 것으로 나타났다. 이 결과는 향후 침수가 빈번히 발생하는 임하호 및 상류하천 사면의 친환경적인 수목조성을 위한 기초자료가 될 것으로 판단한다.

핵심용어 : 고탁수, 침수, 버드나무속, 엽수, 식물 키

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천실험센터 연구원 (e-mail: kjt98@kict.re.kr, Tel: 054-843-1803)

Corresponding Author, Researcher, River Experiment Center, KICT, Andong 760-872, Korea

** 한국건설기술연구원 하천실험센터 연구원 (e-mail: ejkim@kict.re.kr)

Researcher, River Experiment Center, KICT, Andong 760-872, Korea

*** 한국건설기술연구원 하천실험센터 수석연구원 (e-mail: jgkang02@kict.re.kr)

Senior Researcher, River Experiment Center, KICT, Andong, 760-872, Korea

**** 한국건설기술연구원 하천실험센터 연구위원 (e-mail: yeo917@kict.re.kr)

Research Fellow, River Experiment Center, KICT, Andong, 760-872, Korea

1. 서 론

여름철 집중호우에 의한 고탁수는 인간뿐만 아니라 수생태계에 직접적인 영향을 줄 수 있다(Parker et al., 2000; Bibby and Webster-Brown, 2005). 집중호우는 시간당 3 cm 이상이거나 일일 8 cm 이상, 또는 연강수량의 10% 정도가 하루에 발생하는 경우를 의미하며 수체 내 물질의 빠른 이동을 통하여 심각한 수생태계의 교란을 발생시킨다(Oh and Moon, 2009). 특히 세일을 비롯한 세립질 퇴적암 지역의 홍수 및 집중호우는 장기간 탁수를 유발시키기도 한다.

안동 임하댐의 경우 국내 대표 모래하천인 낙동강에 위치하고 있으며 활착된 식생은 갯버들, 갈대, 달뿌리풀 등과 같은 전형적인 수변 식생이다(Woo et al., 2004). 또한 상류지역에 광범위하게 분포하는 백악기 세일층으로부터 풍화 침식된 다량의 점토물질이 댐에 유입된 후 쉽게 침강되지 않는 특성을 가지고 있으며 집중호우에 의한 침수와 비침수가 반복되면서 임하호 및 상류하천의 식생은 대부분 유실되고 사면 내 토양층은 물에 직접적으로 노출되어 침식이 증가되고 있다. 이런 이유로 임하호의 경우 2001년 이전까지는 고탁수의 기준인 30 NTU 이상 탁수 발생 일수는 매년 1~3개월 이내였으나 2002년과 2003년에 발생한 집중호우 및 태풍으로 인해 탁수 발생기간은 최대 315일간 지속되었고, 탁도는 1,221 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)까지 확인되었으며(Yum et al., 2007; Yum et al., 2008; Park et al., 2008) 임하댐 하류 하천식물 피해 및 생태계 변화 등 심각한 문제가 발생하였다.

일반적으로 수생식물의 경우 영양소 공급, 수압, 난류 등의 다른 요인이 아주 제한적이지 않다면 주로 빛 이용도(light availability)에 의하여 성장이 결정되므로 탁수의 지속 정도는 식물에 직접·간접적으로 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 태풍, 홍수, 준설 등에 의하여 탁수가 주기적으로 발생하는 댐 및 호수에서는 식물의 잎에 토사 등의 부유물질이 침강, 퇴적하여 광합성을 저해하고 영양소 교환에 문제를 발생시키며 부유물질로 인한 무게가 증가하여 물리적인 피해를 줄 수 있다(Havens, 2003; NIER, 2007). 또한 수층 내 탁도의 증가는 빛의 투과율을 감소시켜 플랑크톤이나 부착조류 광합성의 감소를 가져오며 이로 인해 대규모 침수식물의 감소는 부유토사에 의한 광합성 저해를 가져온다(Batiuk et al., 1992). 이런 이유로 현재 강우와 유량의 변화에 따른 담수생태계 연구는 계속 진행되어 왔으며, 특히 홍수 발생 시 하천의 수질 변화, 녹조와 같은 조류 발생에 기인한 탁수 연구 등은 다양하게 진행되고

있다(Pringle et al., 1988; Park et al., 2002; Farve et al., 2004; Choo et al., 2006). 그러나 탁수 발생이 수생태계에 미치는 직접적인 영향 및 관계에 대한 연구는 미흡하며 주로 탁수 발생원인 및 저감대책과 지질 분석 등에 대한 연구들이 이루어지고 있다. 또한 고농도의 탁수발생이 하천 및 호수 내 수생태계에 미치는 직접적인 영향에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있지만 수질에 따른 플랑크톤 및 어류에 대한 반응 분석이 대부분이며 강제 탁수 발생 및 식물환경 재연의 어려움 등으로 대부분 소규모로 연구가 진행되고 있다.

낙동강 대표 하천식물인 버드나무속 식물은 정수상태의 침수가 일정기간 지속되어도 성장에 큰 지장이 없는 식물이지만 탁도에 의한 빛의 투과량 감소 및 광합성 저해는 식생의 성장에 영향을 줄 수 있으며 부유토사가 식물체에 퇴적되면 물리적인 이유로 성장률의 감소를 가져오기도 한다. 따라서 본 연구에서는 기후변화가 동반된 집중호우에 의한 고탁도 침수 발생 시 하천식물의 성장 가능성을 정량적으로 파악하는 것이 목적이며 이를 위해 장기간 탁수가 발생한 임하댐 상류 하천에서 토양시료를 채취하여 대형 수조에서 강제 탁수를 발생시킨 후 식물을 침수시켜 10일, 20일, 30일 동안 침수가 식물에 미치는 영향에 대해 관찰하였다. 실험을 위한 식물은 우리나라 주요 버드나무속 3종인 갯버들(*Salix gracilistyla*), 버드나무(*Salix koreensis*), 왕버들(*Salix glandulosa*)로 선정하였으며 탁수 발생 시 성장정도를 침수시간에 따라 분석하였으며 비침수의 대조군(Control Group)과 성장률을 비교하였다.

2. 시료채취 및 실험방법

2.1 시료채취

임하호의 상류하천은 경상북도 영양에서 유입되는 반변천과 경상북도 청송에서 유입되는 용전천으로 나누어지며 탁수 발생을 위한 시료 채취는 탁수 지속시간이 가장 긴 반변천 상류 창하천에서 실시하였다. 시료채취 지역인 창하천 일대는 토양발달 및 풍화대에 의해 충적층 및 경작지가 발달하고 있으며 특히 도계동층의 세일과 실트암이 적색 탁수 발생원으로 판단된다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 집중호우로 인한 토양 유실 및 점토질 미세입자의 이동 등을 방지하기 위해 갈수기에 시료를 채취하였다. 강제탁수 발생을 위한 수조는 1 m³ 크기로 제작하였으며 하천식물은 우리나라 대표 버드나무속 식물인 갯

버들, 버드나무, 왕버들을 선택하여 고탁도 침수에 대한 반응을 분석하였다(Fig. 1). 강제탁수는 체분석(#100) 후 각 수조별 토양 20 kg을 이용해 발생시켰으며 초기 탁도는 1,000 NTU로 측정되었다. 탁도는 침전에 의해 감소하였으며 시간별 탁도 변화 및 평균은 Table 1과 같다. 실험에 사용한 모든 식물은 2년생 가지를 30 cm 크기로 절단하여 삼목 및 정착기간 후 실험에 사용하였다. 연구지역인 임하호 상류하천의 경우 30 mm 이상 강우 시 하천식물이 침수되는 경우가 발생하므로 10년 동안 강수량을 분석하여 30 mm 이상 강우일수를 계산하여 각 식물의 침수기간을 10일, 20일, 30일로 결정하였으며 정확한 결과 분석을 위해 각 침수기간별 5개체를 이용하였다. 각 식물의 10일 침수 후 측정값은 이전 연구사례(Kim et al., 2013)를 참고하였으며 고농도 탁수에 침수되기 전과 각 기간별 침수 후로 나누어 식물 키(length of shoot)와 엽수(leaf number)를 분석하여 비침수의 대조군과 비교하였다.

3. 고탁도 침수실험

3.1 갯버들 침수실험

갯버들의 경우 고탁도 침수는 성장에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Tables 2 and 3, Fig. 2). Table 2의 경우 고탁도의 침수가 각각 10일(T10), 20일(T20), 30일(T30) 지속되었을 경우 갯버들의 성장 정도를 나타내며 Table 3은 비침수 상태인 대조군에 대한 결과로써 비침수 상태에서 각각 10일(C10), 20일(C20), 30일(C30) 후 갯버들의 성장에 대한 결과이다. 갯버들은 고탁도 침수가 30일 지속

되면 식물 줄기 끝부분이 약해져 부러지는 현상이 모든 개체에서 관찰되었다. 측정 결과 식물 키의 경우 초기상태 대비 평균 95.7%였으며 특히 T30-2의 경우 줄기 끝부분이 부러져 키의 10.7%가 감소하였다. 잎의 경우 침수시간이 10일 이상 지속되면 빛 부족 및 잎에 퇴적되는 침전물 무게 등으로 인해 모두 떨어진 것으로 나타났다(Fig. 2). 고탁도 침수 그룹에 비해 같은 크기로 절단 후 정착기간을 가진 갯버들 대조군의 경우 키 및 엽수가 30일 후 각각 33.4%, 144.5% 성장한 것으로 나타났다. 특히 엽수의 경우 최대 230.8%(초기 대비 330.8%) 증가하는 개체(C30-1)도 관찰되었으며 잎의 길이도 크게 성장하는 것으로 나타났다.

3.2 버드나무 침수실험

버드나무의 경우 고탁도의 침수가 성장에 영향을 미치는 것으로 관찰되었지만 갯버들에 비해 적은 것으로 나타났다(Tables 4 and 5, Fig. 3). Table 4의 경우 고탁도의 침수가 각각 10일(T10), 20일(T20), 30일(T30) 지속되었을 경우 버드나무의 성장 정도를 나타내며 Table 5는 대조군에 대한 결과로써 비침수 상태에서 각각 10일(C10), 20일(C20), 30일(C30) 후 버드나무의 성장에 대한 결과이다. 고탁도의 침수가 30일 지속되면 버드나무 키의 경우 T30-3에서 줄기가 부러져 3.4%감소하였으나 나머지 4개체에서는 미세한 성장을 보여 전체 평균 성장률은 초기상태 대비 100.5%로 나타났다. 엽수의 경우 침수가 10일 지속되면 초기상태 대비 82.3%로써 17.7% 감소하였으며 20일 지속되면 80.6% 감소하였다. 침수가 30일 지속되면 빛 부족 및 잎에 퇴적되는 침전물 무게 등으로 인해 83.6%

Fig. 1. Photograph of Water Tank by Submersion Periods

Table 1. Change of Turbidity in Water Tank

Turbidity (NTU)	Initial	6 Days later	10 Days later	20 Days later	30 Days later
<i>Salix gracilistyla</i>	1,000	380	128	75	22
<i>Salix koreensis</i>	1,000	313	111	61	15
<i>Salix glandulosa</i>	1,000	368	119	64	19
Ave.	1,000	353.67	119.33	66.67	18.67

Table 2. Comparison between Initial Value and Experimental Result of *Gracilistyla* (High Turbidity Group)

	Length of Shoot				Leaf Number			
	Initial (cm)	Experimental result (cm)	Initial (%)	Experimental result (%)	Initial	Experimental result	Initial (%)	Experimental result (%)
T10-1	48.1	48.6	100.0	101.0	20.0	0.0	100.0	0.0
T10-2	41.2	41.9	100.0	101.7	25.0	0.0	100.0	0.0
T10-3	41.0	43.5	100.0	106.1	15.0	0.0	100.0	0.0
T10-4	33.0	36.0	100.0	109.1	25.0	0.0	100.0	0.0
T10-5	26.0	25.2	100.0	96.9	38.0	0.0	100.0	0.0
Ave.	37.9	39.0	100.0	103.0	24.6	0.0	100.0	0.0
T20-1	35.0	36.0	100.0	102.9	34.0	0.0	100.0	0.0
T20-2	37.2	36.2	100.0	97.3	19.0	0.0	100.0	0.0
T20-3	25.0	24.7	100.0	98.8	28.0	0.0	100.0	0.0
T20-4	38.1	37.5	100.0	98.4	34.0	0.0	100.0	0.0
T20-5	37.4	37.5	100.0	100.3	32.0	0.0	100.0	0.0
Ave.	34.5	34.4	100.0	99.5	29.4	0.0	100.0	0.0
T30-1	33.3	32.2	100.0	96.7	27.0	0.0	100.0	0.0
T30-2	30.0	26.8	100.0	89.3	31.0	0.0	100.0	0.0
T30-3	38.1	36.7	100.0	96.3	12.0	0.0	100.0	0.0
T30-4	38.4	37.4	100.0	97.4	23.0	0.0	100.0	0.0
T30-5	36.0	35.5	100.0	98.6	43.0	0.0	100.0	0.0
Ave.	35.2	33.7	100.0	95.7	27.2	0.0	100.0	0.0

Table 3. Analysis of *Gracilistyla* in Control Group

	Length of Shoot				Leaf Number			
	Initial (cm)	Experimental result (cm)	Initial (%)	Experimental result (%)	Initial	Experimental result	Initial (%)	Experimental result (%)
C10-1	32.5	37.7	100.0	116.0	13.0	22.0	100.0	169.2
C10-2	38.0	38.6	100.0	101.6	18.0	46.0	100.0	255.6
C10-3	36.0	39.4	100.0	109.4	28.0	39.0	100.0	139.3
C10-4	30.7	32.7	100.0	106.5	28.0	39.0	100.0	139.3
C10-5	28.1	36.7	100.0	130.6	32.0	36.0	100.0	112.5
Ave.	33.1	37.0	100.0	112.8	23.8	36.4	100.0	163.2
C20-1	32.5	41.2	100.0	126.8	13.0	41.0	100.0	315.4
C20-2	38.0	41.4	100.0	108.9	18.0	55.0	100.0	305.6
C20-3	36.0	42.3	100.0	117.5	28.0	45.0	100.0	160.7
C20-4	30.7	37.5	100.0	122.1	28.0	68.0	100.0	242.9
C20-5	28.1	42.9	100.0	152.7	32.0	39.0	100.0	121.9
Ave.	33.1	41.1	100.0	125.6	23.8	49.6	100.0	229.3
C30-1	32.5	44.2	100.0	136.0	13.0	43.0	100.0	330.8
C30-2	38.0	43.8	100.0	115.3	18.0	57.0	100.0	316.7
C30-3	36.0	42.5	100.0	118.1	28.0	47.0	100.0	167.9
C30-4	30.7	40.2	100.0	130.9	28.0	79.0	100.0	282.1
C30-5	28.1	46.8	100.0	166.5	32.0	40.0	100.0	125.0
Ave.	33.1	43.5	100.0	133.4	23.8	53.2	100.0	244.5

Fig. 2. Comparison of *Gracilistyla* on High Turbidity Group and Control Group

Table 4. Comparison between Initial Value and Experimental Result of *Koreensis*(High Turbidity Group)

	Length of Shoot				Leaf Number			
	Initial (cm)	Experimental result (cm)	Initial (%)	Experimental result (%)	Initial	Experimental result	Initial (%)	Experimental result (%)
T10-1	52.1	54.2	100.0	104.0	44.0	39.0	100.0	88.6
T10-2	61.0	61.3	100.0	100.5	29.0	28.0	100.0	96.6
T10-3	54.6	54.3	100.0	99.5	28.0	21.0	100.0	75.0
T10-4	51.7	54.0	100.0	104.4	24.0	19.0	100.0	79.2
T10-5	40.1	42.9	100.0	107.0	36.0	26.0	100.0	72.2
Ave.	51.9	53.3	100.0	103.1	32.2	26.6	100.0	82.3
T20-1	49.3	51.2	100.0	103.9	22.0	11.0	100.0	50.0
T20-2	59.5	60.7	100.0	102.0	29.0	1.0	100.0	3.4
T20-3	47.1	48.8	100.0	103.6	29.0	0.0	100.0	0.0
T20-4	47.6	48.1	100.0	101.1	26.0	0.0	100.0	0.0
T20-5	62.0	63.0	100.0	101.6	32.0	14.0	100.0	43.8
Ave.	53.1	54.4	100.0	102.4	27.6	5.2	100.0	19.4
T30-1	63.0	64.5	100.0	102.4	32.0	7.0	100.0	21.9
T30-2	55.9	56.1	100.0	100.4	43.0	0.0	100.0	0.0
T30-3	55.7	53.8	100.0	96.6	24.0	0.0	100.0	0.0
T30-4	49.6	50.0	100.0	100.8	23.0	0.0	100.0	0.0
T30-5	60.2	61.5	100.0	102.2	20.0	12.0	100.0	60.0
Ave.	56.9	57.2	100.0	100.5	28.4	3.8	100.0	16.4

감소하였으며 5개체 중 3개체에서 엽수는 0개로 나타났다 (Fig. 3). T30-1과 T30-5의 경우 엽수가 각각 7개, 12개로 관찰되었지만 대부분 심각한 스트레스를 받은 상태인 것으로 나타났다. 고탁도 침수 그룹에 비해 같은 크기로 절

단 후 정착기간을 가진 버드나무 대조군의 경우 키 및 엽수가 30일 후 각각 24.3%, 77.3% 성장하였으며 엽수의 경우 30일 후 최대 124.0% 증가한 개체(C30-1)도 관찰되었다.

Table 5. Analysis of *Koreensis* in Control Group

	Length of Shoot				Leaf Number			
	Initial (cm)	Experimental result (cm)	Initial (%)	Experimental result (%)	Initial	Experimental result	Initial (%)	Experimental result (%)
C10-1	55.0	64.6	100.0	117.5	25.0	33.0	100.0	132.0
C10-2	44.2	53.3	100.0	120.6	17.0	28.0	100.0	164.7
C10-3	53.1	61.9	100.0	116.6	27.0	35.0	100.0	129.6
C10-4	55.4	65.1	100.0	117.5	25.0	34.0	100.0	136.0
C10-5	55.7	63.4	100.0	113.8	26.0	33.0	100.0	126.9
Ave.	52.7	61.7	100.0	117.2	24.0	32.6	100.0	137.9
C20-1	55.0	66.0	100.0	120.0	25.0	51.0	100.0	204.0
C20-2	44.2	54.9	100.0	124.2	17.0	30.0	100.0	176.5
C20-3	53.1	63.4	100.0	119.4	27.0	36.0	100.0	133.3
C20-4	55.4	68.5	100.0	123.6	25.0	38.0	100.0	152.0
C20-5	55.7	67.7	100.0	121.5	26.0	37.0	100.0	142.3
Ave.	52.7	64.1	100.0	121.7	24.0	38.4	100.0	161.6
C30-1	55.0	68.0	100.0	123.6	25.0	56.0	100.0	224.0
C30-2	44.2	55.6	100.0	125.8	17.0	34.0	100.0	200.0
C30-3	53.1	64.0	100.0	120.5	27.0	39.0	100.0	144.4
C30-4	55.4	70.5	100.0	127.3	25.0	43.0	100.0	172.0
C30-5	55.7	69.2	100.0	124.2	26.0	38.0	100.0	146.2
Ave.	52.7	65.5	100.0	124.3	24.0	42.0	100.0	177.3

Fig. 3. Comparison of *Koreensis* on High Turbidity Group and Control Group

3.3 왕버들 침수실험

왕버들의 경우 고탁도의 침수가 성장에 영향을 미치는 것으로 관찰되었지만 갯버들에 비해 적은 것으로 나타

났다(Table 6 and 7, Fig. 4). Table 6의 경우 고탁도의 침수가 각각 10일(T10), 20일(T20), 30일(T30) 지속되었을 경우 왕버들의 성장 정도를 나타내며 Table 7은 대조군에 대한 결과로써 비침수 상태에서 각각 10일

Table 6. Comparison between Initial Value and Experimental Result of *Glandulosa* (High Turbidity Group)

	Length of Shoot				Leaf Number			
	Initial (cm)	Experimental result (cm)	Initial (%)	Experimental result (%)	Initial	Experimental result	Initial (%)	Experimental result (%)
T10-1	47.0	47.3	100.0	100.6	59.0	45.0	100.0	76.3
T10-2	38.3	38.0	100.0	99.2	67.0	25.0	100.0	37.3
T10-3	37.0	37.2	100.0	100.5	42.0	29.0	100.0	69.0
T10-4	53.0	53.6	100.0	101.1	53.0	33.0	100.0	62.3
T10-5	54.1	54.1	100.0	100.0	32.0	16.0	100.0	50.0
Ave.	45.9	46.0	100.0	100.3	50.6	29.6	100.0	59.0
T20-1	35.0	35.2	100.0	100.6	40.0	0.0	100.0	0.0
T20-2	46.2	46.7	100.0	101.1	44.0	0.0	100.0	0.0
T20-3	51.0	49.0	100.0	96.1	51.0	0.0	100.0	0.0
T20-4	49.8	52.1	100.0	104.6	27.0	0.0	100.0	0.0
T20-5	51.8	52.0	100.0	100.4	31.0	0.0	100.0	0.0
Ave.	46.8	47.0	100.0	100.6	38.6	0.0	100.0	0.0
T30-1	42.3	42.1	100.0	99.5	24.0	0.0	100.0	0.0
T30-2	46.0	46.0	100.0	100.0	26.0	0.0	100.0	0.0
T30-3	25.0	25.4	100.0	101.6	51.0	0.0	100.0	0.0
T30-4	42.8	43.7	100.0	102.1	27.0	0.0	100.0	0.0
T30-5	42.0	42.2	100.0	100.5	24.0	0.0	100.0	0.0
Ave.	39.6	39.9	100.0	100.7	30.4	0.0	100.0	0.0

Table 7. Analysis of *Glandulosa* in Control Group

	Length of Shoot				Leaf Number			
	Initial (cm)	Experimental result (cm)	Initial (%)	Experimental result (%)	Initial	Experimental result	Initial (%)	Experimental result (%)
C10-1	40.3	47.0	100.0	116.6	27.0	32.0	100.0	118.5
C10-2	59.7	67.0	100.0	112.2	31.0	40.0	100.0	129.0
C10-3	42.2	55.3	100.0	131.0	32.0	39.0	100.0	121.9
C10-4	42.0	48.0	100.0	114.3	28.0	33.0	100.0	117.9
C10-5	44.4	52.0	100.0	117.1	24.0	30.0	100.0	125.0
Ave.	45.7	53.9	100.0	118.2	28.4	34.8	100.0	122.5
C20-1	40.3	48.6	100.0	120.6	27.0	35.0	100.0	129.6
C20-2	59.7	72.0	100.0	120.6	31.0	45.0	100.0	145.2
C20-3	42.2	56.8	100.0	134.6	32.0	40.0	100.0	125.0
C20-4	42.0	49.1	100.0	116.9	28.0	38.0	100.0	135.7
C20-5	44.4	54.7	100.0	123.2	24.0	31.0	100.0	129.2
Ave.	45.7	56.2	100.0	123.2	28.4	37.8	100.0	132.9
C30-1	40.3	49.0	100.0	121.6	27.0	36.0	100.0	133.3
C30-2	59.7	72.0	100.0	120.6	31.0	45.0	100.0	145.2
C30-3	42.2	57.0	100.0	135.1	32.0	43.0	100.0	134.4
C30-4	42.0	49.3	100.0	117.4	28.0	40.0	100.0	142.9
C30-5	44.4	55.5	100.0	125.0	24.0	35.0	100.0	145.8
Ave.	45.7	56.6	100.0	123.9	28.4	39.8	100.0	140.3

(C10), 20일(C20), 30일(C30) 후 왕버들의 성장에 대한 결과이다. 고탁도의 침수가 30일 지속되면 왕버들 키의 경우 T30-1에서 줄기가 부러져 0.5% 감소하였으나 나머지 4개체에서는 미세한 성장을 보여 전체 평균 성장률은 초기상태 대비 100.7%로 나타났다. 엽수의 경우 10일이 지나면 5개체 평균 초기 대비 59.0%로써 41.0%가 감소했지만 20일 이상 침수가 지속되면 빛 부족 및 앞에 퇴적되는 침전물 무게 등으로 인해 모든 개체에서 0개로 나타났다(Fig. 4). 고탁도 침수 그룹에 비해 같은 크기로 절단 후 정착기간을 가진 왕버들 대조군의 경우 키 및 엽수가 30일 후 각각 23.9%, 40.3% 성장한 것으로 나타났다.

4. 분석 및 고찰

4.1 고탁도의 침수가 버드나무속 식물 키에 미치는 영향

우리나라 대표 버드나무속 3종인 갯버들, 버드나무, 왕

버들의 비침수 상태에서 평균 키 성장률은 30일 경과 후 각각 33.4%, 24.3%, 23.9% 증가하여 갯버들의 성장률이 가장 높았으며 버드나무와 왕버들은 비슷한 것으로 나타났다.

고탁수 침수상태에서의 평균 키 성장률의 경우 전반적으로 미세한 성장을 보였으나 초기상태와 비교해 변화가 거의 없는 것으로 관찰되어 성장이 멈춘 것으로 판단된다(Table 8). 특히 갯버들의 경우 침수기간이 30일이 지나면 모든 개체의 줄기 끝부분이 부러져 키가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 하천 식물이 고탁도의 침수가 발생할 경우 심각한 스트레스를 받게 되는 것을 의미하며 침수상태가 지속적으로 유지된다면 식물에 심각한 피해를 줄 수 있을 것으로 판단한다. Figs. 5 and 6은 대조군과 고탁도 침수시간 및 탁도에 따른 버드나무속 식물들의 키 성장률을 보여주는 그래프로써 갯버들은 대조군인 비침수 상태에서 성장률이 가장 높았지만 고탁도 침수가 지속되면 줄기의 성장률이 가장 낮은 것으로 관찰되어 침수에 가장 민감한 것으로 나타났다.

Fig. 4. Comparison of Glandulosa on High Turbidity Group and Control Group

Table 8. Variation of Length of Shoot in the Control Group and High Turbidity Group

Days	Control Group (%)			High Turbidity Group (%)		
	<i>Gracilistyla</i>	<i>Koreensis</i>	<i>Glandulosa</i>	<i>Gracilistyla</i>	<i>Koreensis</i>	<i>Glandulosa</i>
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	112.8	117.2	118.2	103.0	103.1	100.3
20	125.6	121.7	123.2	99.5	102.4	100.6
30	133.4	124.3	123.9	95.7	100.5	100.7

4.2 고탁도의 침수가 버드나무속 식물 염수에 미치는 영향

염수의 경우 키와 마찬가지로 식물 종류와 침수시간에 따라 결과가 다른 것으로 나타났다(Table 9). 대조군의 경우 30일 경과 후 갯버들, 버드나무, 왕버들은 각각 144.5%, 77.3%, 40.3% 증가한 것으로 관찰되었다. 고탁수 침수상태에서의 갯버들 염수는 침수기간이 10일 이상이 되면 모든 개체에서 0개였으며 왕버들은 10일 침수

후 초기상태 대비 59.0%의 염수가 확인되었지만 20일 후 염수는 0개였다. 버드나무는 고탁도 침수 30일 후에도 초기 대비 16.4 %가 남아있는 것으로 나타나 실험식물 중 탁수에 가장 강한 것으로 나타났다. Figs. 7 and 8은 대조군과 고탁도의 침수시간 및 탁도에 따른 식물들의 염수변화를 보여주는 그래프로써 대조군에서는 갯버들의 염수 증가율이 초기대비 244.5%로써 최대였으며 고탁도 침수에 대한 피해는 버드나무가 가장 적은 것으로 나타났다.

Fig. 5. Change of Length of Shoot on High Turbidity Group and Control Group

Fig. 7. Change of Leaf Number on High Turbidity Group and Control Group

Fig. 6. Relationship between the Growth Rate and Turbidity (Length of Shoot)

Fig. 8. Relationship between the Growth Rate and Turbidity (Leaf Number)

Table 9. Variation of Leaf Number in the Control Group and High Turbidity Group

Days	Control Group (%)			High Turbidity Group (%)		
	<i>Gracilistyla</i>	<i>Koreensis</i>	<i>Glandulosa</i>	<i>Gracilistyla</i>	<i>Koreensis</i>	<i>Glandulosa</i>
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	163.2	137.8	122.5	0.0	82.3	59.0
20	229.3	161.6	132.9	0.0	19.4	0.0
30	244.5	177.3	140.3	0.0	16.4	0.0

5. 결 론

태풍 및 집중호우는 고탁도의 침수를 발생시켜 저수지 및 하천 제방 식물의 성장에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 하천식물인 갯버들, 버드나무, 왕버들을 이용하여 비침수의 대조군과 고탁도의 침수가 발생하였을 경우 키 및 엽수를 관찰하여 성장률을 비교하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 침수기간은 10일, 20일, 30일로 나누었으며 초기상태와 각각 비교하였다. 식물 키에 대한 분석결과 대조군에서는 30일 후 갯버들, 버드나무, 왕버들은 각각 33.4%, 24.3%, 23.9% 증가하였지만 30일 동안 고탁도의 침수가 발생하면 갯버들은 모든 개체에서 줄기가 부러져 초기 대비 4.3% 감소하였다. 버드나무와 왕버들은 각각 1개체의 줄기가 부러져 감소하였으며 초기 대비 평균 0.5%, 0.7%의 증가를 보였지만 성장률이 매우 낮은 것으로 나타났다. 특히 갯버들의 경우 비침수의 대조군에서는 성장률이 가장 높았지만 고탁도의 침수가 발생하면 식물 줄기가 약해져 부러지는 경우가 대부분이며 이로 인해 키 성장률의 감소가 나타났다.
- 2) 엽수에 대한 분석결과 대조군에서는 30일 후 갯버들, 버드나무, 왕버들은 각각 144.5%, 77.3%, 40.3% 증가하였지만 고탁도의 침수가 30일 진행되면 버드나무의 경우 83.6% 감소하였으며 갯버들과 왕버들의 엽수는 0개로 나타났다. 갯버들과 왕버들은 대조군에서는 성장률이 매우 높았지만 고탁도의 침수가 발생하면 빠른 시간 내 엽수가 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 실험 결과 탁수가 지속적으로 30일 이상 유지되면 버드나무속 식물의 경우 경엽부에 부유물질이 쌓이고 빛 투과를 막아 광합성이 저해되어 식물의 성장에 심각한 피해를 주는 것으로 판단된다.

따라서 이 결과는 대부분 식생의 유실로 인해 침수가 빈번히 발생하는 임하호 및 상류하천 등의 사면에 친환경적인 수목조성을 위한 식물 선정 시 탁수에 강한 버드나무가 활용되어야함을 의미한다. 향후 식물 성장에 영향을 미치는 수질조건과 영향인자에 대한 비교뿐만 아니라 탁도 변화에 따른 빛의 투과량과 식물 성장의 상관관계를 분석하면 기후변화에 대응하는 식물생존을 위한 대책 수립이 될 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유 연구사업

(13주요) 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Batiuk, R.A., Orth, R., Moore, K., Stevenson, J.C., Dennison, W., Staver, L., Carter, V., Rybicki, N.B., Hickman, R., Kollar, S., and Bieber, S. (1992). "Chesapeake Bay Submerged Aquatic Vegetation Habitat Requirements and Restoration Targets: A Technical Synthesis." *U.S. EPA Chesapeake Bay Program*, pp. 235-249.
- Bibby, R.L., and Webster-Brown, J.G. (2005). "Characterization of urban catchment suspended urban particulate matter." *Sci. Total Environ.*, Vol. 343, pp. 177-197.
- 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*, Vol. 19, No. 1, pp. 49-61.
- Farve, M., Harriss, W., Dierberg, F., and Portier, K. (2004). "Association between phosphorus and suspended solids in everglades treatment wetland dominated by submerged aquatic vegetation." *Wetland Ecology and Management*, Vol. 12, pp. 365-375.
- Havens, K.E. (2003). "Submerged aquatic vegetation correlations with depth and light attenuating materials in a shallow subtropical lake." *Hydrobiol.*, Vol. 493, pp. 173-186.
- Kim, J.T., Kim, E.J., Kang, J.G., and Yeo, H.K. (2013). "Impact of Turbidity on Protected Plants along River Levees." *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 23, No. 2, pp. 161-170.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2007). Effects of turbid water on aquatic ecosystem and control measure, NIER, Report 3, pp. 125-149.
- Oh, T.S., and Moon, Y.I. (2009). "An Evaluation of Extreme Precipitation based on Local Downpour using Empirical Simulation Technique." *J. of Civil Engineering B*, Vol. 29, No. 2, pp. 141-153.
- Park, J.W., Yu, S.H., Kim, S.Y., Lee, J.E., and Seo, E.W. (2008). "Effect of Turbid Water on the Phytoplankton Community in Imha Reservoir." *J. of Life Science*, Vol. 18, No. 12, pp. 1671-1678.

Park, S.B., Lee, S.K., Chang, K.H., Jeong, K.S., and Joo, G.J. (2002). "The Impact of Monsoon Rainfall (Changma) on the Changes of Water Quality in the Lower Nakdong River (Mulgeum)." *Korean J. Limnol*, Vol. 35, No. 3, pp. 160-171.

Parker, J.T., Fossum, K.D., and Ingersoll, T.L. (2000). "Environmental audition-chemical characteristics of urban stormwater sediment and implications for environmental management." *Maricopa County Environ, Arizona*, Vol. 26, pp. 99-115.

Pringle, C.M., Naiman, R.J., Bretschko, G., Karr, J.R., Oswood, M.W., Webster, J.R., Welcomme, R.L., and Win-terbourn, M.J. (1988). "Patch dynamics in lotic systems." *J. N. Am. Benthol*, Vol. 7, pp. 503-524.

Woo, H.S., Rhee, D.S., Ahn, H.K., and Lee, C.S. (2004), "Basic Investigation about Hydro-Geomorphologic

and Vegetation Cover Changes on the Regulated River." *Proceeding of Korea Water Resources Association*, Korea, pp. 1335-1339.

Yum, K.T., Park, E.S., Song, S.J., and Lee, G.S. (2007), "Consideration on the status and improvement factors of the turbid-water management in multi-purpose dam." *J. Kor. Soc. Civil Engineers*, Vol. 55, No. 12, pp. 123-131.

Yum, K.T., Ban, Y.J., and Kim, Y.W. (2008), "Improve-ment and management condition of turbidity in dam." *Water for future, Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 7, pp. 35-42.

논문번호: 13-044	접수: 2013.05.07
수정일자: 2013.07.12/07.22/08.05	심사완료: 2013.08.05