

낙동강의 하천환경과 식생분포특성의 상관성 조사연구

The Study of Correlation between Riparian Environment and Vegetation Distribution in Nakdong River

김 은 진* / 조 강 현** / 강 준 구***

Kim, Eun Jin / Cho, Kang Hyun / Kang, Joon Gu

Abstract

This study was performed to investigate relation between riparian vegetation and environmental factor and to predict riparian vegetation succession in Nakdong river, which is typical sand river in Korea Peninsula. We searched 5 natural levee and installed 84 quadrats in Nakdong river near by Andong city. Also, We analyzed flora, vegetation cover degree, topography, soil moisture, organic content, pH, electrical conductivity and soil texture. According to the result of CCA (canonical correspondence analysis), which considered both investigated vegetation data and environmental factor, vegetation were divided down three groups, and each group was difference by height above ordinary water level, organic content and sand. In addition, the most powerful factor was indicated the height above ordinary water level.

Keywords : river environment, riparian vegetation, canonical correspondence analysis

요 지

본 연구는 국내를 대표하는 모래하천 낙동강에서 하안식생의 분포와 환경요인의 상관관계를 규명하기 위하여 수행하였다. 경상북도 안동시의 낙동강 일대에서 자연제방 5곳을 실험구간으로 선정하고 84개의 방형구를 설치하여 식물상, 식생피도, 평수위기준상대고도, 토양의 수분함량, 유기물함량, pH, 전기전도도 및 토성분석을 실시하였다. 식생단면조사의 피도값과 환경자료를 바탕으로 정준대응분석(Canonical correspondence analysis)을 실시한 결과 각 식물종은 평수위 기준상대고도, 유기물함량, 모래함량 등에 의하여 3개의 그룹으로 구분되었으며 하천의 식생분포에 가장 큰 영향력을 끼치는 환경인자는 평수위기준상대고도로 나타났다.

핵심용어 : 하천환경, 하안식생, 정준대응분석

1. 서 론

하천통로란, 하도(Stream channel), 범람원(Flood plain),

육상추이대(Transitional upland fringe) 위 3가지 주요소를 포함하는 생태계로서 물과 서로 다른 물질들, 에너지 및 생명체들이 만나고 상호작용하는 곳이다. 이러한 하천

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천실험센터 연구원 (e-mail: ejkim@kict.re.kr, Tel: 054-843-1812)

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

** 인하대학교 자연과학대학 생명과학과 교수 (e-mail: khcho@inha.ac.kr)

Professor, Dept. of Biological Sciences, University of Inha, Incheon, Korea

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

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

의 환경은 수역(水域), 육역(陸域) 및 공역(空域)이라는 서로 다른 세계가 접하는 장소이며 생물군집이 가장 다양한 추이대(Ecotone)를 포함하고 있다(Lee et al., 2003).

일반적으로 교란되지 않은 하천의 수변에는 식생이 동반되며 이를 하안식생이라 한다. 하안식생은 하천의 수체와 인접한 곳에서 주기적 혹은 영속적인 범람에 영향을 받는 식물군집으로서 육상생태계와 수중생태계의 전이대에 위치한다(Mitsch and Gosselink, 2000). 하안식생은 하천을 따라 선형구조를 가지며 에너지와 물질이 식생을 통과하여 흐르는 열린 체계이고 기능적으로 상류와 하류 및 육상과 수중생태계를 연결하는 주요한 특성을 가지고 있다(Naiman and Decamps, 1997). 특히, 하안식생은 하천 통로에서 생태통로(Ecological corridor)를 형성하며 하천 생태계의 중추적인 역할을 수행한다. 식생이 하도를 따라 수변에 띠모양으로 형성될 때 그 자체가 생태학적 코리도를 의미하며 다양한 생물군의 이동통로 및 생태서식처로서의 역할을 수행하고 생태학적 창발성의 원리를 기반으로 다양한 미소서식지를 구성한다. 그밖에도 수온의 상승을 방지하고 영양염류를 감소시키며 태양의 직사광선 차단 및 토양의 침식을 방지한다. 또한 제방의 안정성에 기여하고 경관생태학적 측면에서 점진적인 식생의 연속성은 심리적 안정감을 주는 역할을 수행한다(Simon and Collison, 2002; Sabater et al., 2000).

하안식생의 분포는 침수의 빈도, 기간, 강도에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 하천 지형의 침식 및 퇴적작용에도 크게 좌우되는 것으로 보고된바 있다(Hupp and Osterkamp, 1996). 또한 물의 흐름, 홍수, 가뭄 및 댐과 같은 물리적인 교란과 환경적 스트레스가 식물군집의 시-공간적인 분포를 결정한다(Shafroth et al., 2002). 최근까지 국내하천에서는 하천의 직강화, 댐 및 보의 설치, 골재채취 등과 같은 인위적 교란이 진행되었으며 이러한 교란은 홍수빈도와 유사이송을 현저하게 감소시키고 하상의 급격한 변화를 가져왔으며 결과적으로 하안식생의 비정상적인 변화를 초래하였다(Korea Institute of Construction Technology, 2008).

국내에서는 최근까지 4대강 살리기 사업의 일환으로 국가적인 하천 복원사업이 이루어진 가운데 하천의 복원에는 일반적으로 식생의 복원이 동반되며 이처럼 하안식생의 효율적인 복원 및 유지관리를 위하여 본 연구와 같은 하안식생의 생태학적 연구는 반드시 필요한 상황이다. 하지만 국내에서 하안식생과 환경자료를 이용한 생태학적 연구는 Kim et al. (2006)의 하천의 물리적 구조와 출현 저서생물 및 식물과의 상관성의 연구, Kim et al. (2002)의 만경강의 하안식생과 토양환경과의 상관성 연구 및 Ahn et

al. (2001)의 안성천수계의 버드나무과 식물의 분포와 지형 및 토양환경의 상관성 연구 등이 있었으며 상당히 제한적이고 단편적이었다. 따라서 이 연구에서는 하안식생에 대하여 다각적인 생태학적 연구 및 지속적인 생태자료의 축적을 위하여 국내를 대표하는 모래하천 낙동강에서 식생이 갖는 수리, 지형 및 토양특성을 분석하고 하안식생의 분포와 환경요인이 갖는 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상지역

본 연구의 현장조사는 2010년 5월부터 9월까지 경상북도 안동시 일대의 낙동강 본류에서 수행하였다(Fig. 1). 조사 대상 하천인 낙동강은 강원도 태백시 함백산에서 발원하여 부산 강서구 명지동 낙동강 하구둑을 통하여 남해로 흘러 들어가는 국가하천이다. 낙동강의 유로연장은 510 km, 유역면적은 23,384 km²로서 남한에서는 가장 규모가 큰 하천이다. 낙동강은 하상이 대부분 모래인 우리나라의 대표적인 모래하천으로 문순기후의 특성상 계절적인 홍수가 일어나며 연평균강수량 1,166 mm, 하상계수 1:372로 외국 하천에 비해 크게 나타난다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009). 조사구간에서 가장 인접한 안동수위표는 지난 20년간 매년 7월경에 홍수위를 기록하고 있으며 1988년 이후의 가장 큰 홍수위는 4.8m, 갈수위는 0.2m를 유지하고 있다(Fig. 2).

본 연구의 조사구간은 안동시 남후면 개곡리 낙동강 본류의 풍산대교 상류 2km 지점부터 하류 방향으로 풍천면 광덕리의 광덕교 하류 0.5km 구간까지 총 25km 구간이다. 본 구간은 조절하천 구간으로서 상류 15km, 27km에 각각 안동댐과 임하댐이 위치하고 있으며 안동댐과 임하

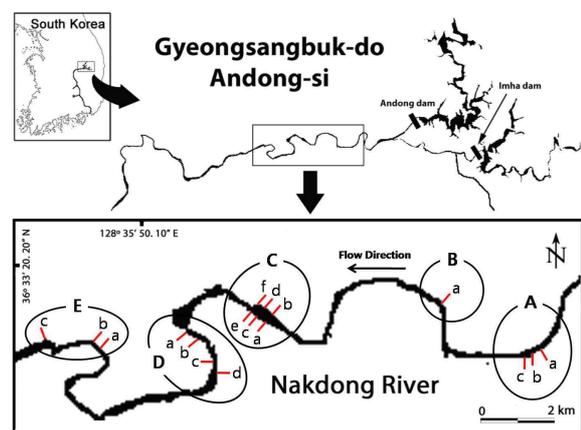


Fig. 1. Map Showing the Study Sites in Nakdong River

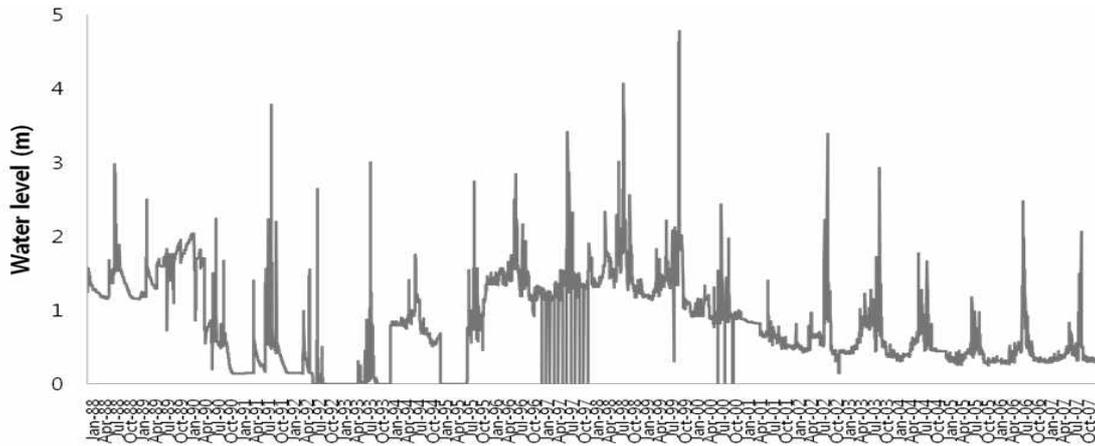


Fig. 2. The Water Level-diagram of Nakdong River for 20 Yaers from 1988 to 2007

댐은 각각 1976년과 1992년에 완공된 다목적 댐이다. 전체 하천구간에서 하안대를 거쳐 육상의 산림까지 식생의 연속성이 유지되고 자연상태에 가까운 5곳을 조사구간으로 선정하였으며 조사구간의 명칭은 상류로부터 A, B, C, D 및 E로 나타내었다(Fig. 1).

조사구간 A, B, C, D 및 E의 위치는 각각 안동시 남후면 계평리 풍산대교의 상류 1.5km 지점의 좌안, 안동시 남후면 계평리 풍산대교의 하류 2km 지점의 우안, 안동시 남후면 단호리의 단호교 하류 2km 지점의 양안, 안동시 풍천면 병산리의 병산서원 상류 1.5km 지점의 양안, 안동시 풍천면 광덕리의 광덕교 상류 0.7km 및 하류 0.5 km 지점 우안의 하안대이다.

2.2 조사 및 분석방법

저수로에서부터 육상 삼림까지 식생의 보존이 양호한 곳을 찾아서 같은 방향으로 트랜섹트(transsect)를 설치하였다. 각 조사구간에서 설치된 트랜섹트는 조사구간 A에서 3개, B에서 1개, C에서 6개, D에서 4개 및 E에서 3개로 총 17개이다(Fig. 1). 각 트랜섹트에서 우점식생을 기준으로 구분하여 식생이 왜곡되지 않는 곳에 방형구를 설치하였고 트랜섹트당 방형구의 수는 최소 1개부터 최대 10개까지 총 84개의 방형구를 설치하였다. 방형구의 크기는 식생의 유형에 따라서 달리하였으며 교목군집에서는 20×10 m, 관목군집에서는 10×5 m, 장경초본군집에서는 2×2 m, 단경 초본군집에서는 1×1 m의 방형구를 사용하였다.

식생의 군집조사는 트랜섹트를 따라 설치된 방형구에서 종조성 및 피도를 조사하였다. 피도의 기준은 +(<0.5%), 1 (0.5~1%), 5 (1~5%), 10 (5~15%), 20 (15~25%), 30 (25~35%), 40 (35~45%), 50 (45~55%), 60 (55~65%), 70 (65~75%), 80 (75~85%), 90 (85~95%), 100 (>95%)로 구분

하였다. 현장에서 동정이 어려운 식물은 채집 후에 연구실로 가져와 Lee (2003), Park (2009) 및 Choi (2000)을 참고하여 동정하였으며 출현식물의 생활사, 생활형 및 외래종 여부는 산림청에서 제공하는 국가생물종지식정보시스템(www.nature.go.kr)을 토대로 분류하였다.

조사 구간의 수리특성분석에는 지보수위표(경상북도 예천군 지보면 매창리 풍지교)의 1988년부터 2009년까지 수위 일자료를 이용하였다(국가수자원관리종합정보시스템, www.wamis.go.kr). 조사대상 하안의 지형은 가상기준점측량체계(Virtual reference station system: Hyper GB, TOPCON)를 이용하여 정밀하게 측량 하였다. 각 방형구의 절대 해발고도, 평수위기준상대고도 및 사면경사각은 측량에서 얻어진 X, Y, Z 점(point)자료를 입력하여 GIS 소프트웨어인 ArcGIS (Ver. 9.3)를 이용하여 산출하였다.

토양시료는 각 방형구의 중심에서 열십자 모양으로 중앙부와 2m 떨어진 끝부분에서 5군데의 표토를 채취하여 하나로 합하였다. 표토는 낙엽층을 걷어내고 지표로부터 10cm까지의 토양을 꽃삽으로 채취하였다. 실험실로 운반한 토양시료는 즉시 수분함량을 측정하고 나머지 토양은 음건하여 보관한 후 유기물함량, 전기전도도, pH 및 토성 분석에 이용하였다. 전기전도도 pH는 각각 전기전도도계(Model 162, Orion)와 pH 측정기(Model 920A, Orion)를 사용하였으며 토성은 비중계법을 이용하였다(Sheldrick and Wang, 1993). 종다양성지수(Shannon and Wiener, 1949) 분석 및 상관회귀분석은 조사된 식생 및 환경자료를 토대로 하였으며 Seibert (1968)를 토대로 하안대를 Aquatic plant zone (AZ), Marginal and emergent zone (MZ), Damp seasonally flooded zone (DSZ), Dry occasionally flooded zone (DOZ)으로 구분하여 식생분포특성 및 환경특성 자료를 나타내었다(Fig. 3). 또한 식생분포와 환경요인과의

상관관계를 알아보기 위하여 CANOCO (ver. 4.5)를 이용하여 정준대응분석을 실시하였다.

3. 식생분포특성 및 환경특성 분석

3.1 식생분포특성

전체 조사구간에서 총 125종류의 식물종이 출현하였다. 이중 초본류가 79종류, 관목류가 17종류, 교목류가 29종류 출현하였으며 1년생 및 2년생은 각각 16종류, 다년생은 93종류가 출현하였고 외래종은 17종류가 출현하였다. 우점종으로는 저수로에서 제방방향으로 달뿌리풀, 선버들, 왕버들, 시무나무, 굴참나무, 소나무가 출현하였다.

식물상은 AZ, MZ, DSZ, DOZ에서 각각 23종, 33종, 69종, 88종이 출현하였다. 구분된 지형에 따라서 식물상이 다양해지는 경향을 보였다(Fig. 4). 생활사 백분율에서 다년생식물의 출현 비율은 AZ에서 58%, DOZ에서 80%를 넘어서면서 출현 비율이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). 이것은 다년생의 특성상 수변의 홍수교란이 반복되는 환경에서 생활사를 마치기 어렵기 때문에 물과 인접한 수변에서는 하천 활동에 적응한 일부 다년생 및 1·2년생 식물이 나타나는 것으로 판단된다. 출현 식물의 생활형 백분

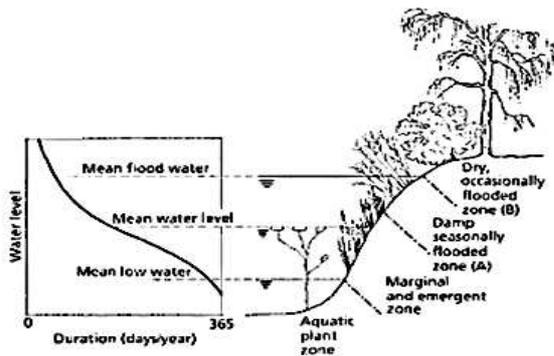


Fig. 3. Vegetation Horizons along a Riverbank (Seibert, 1968)

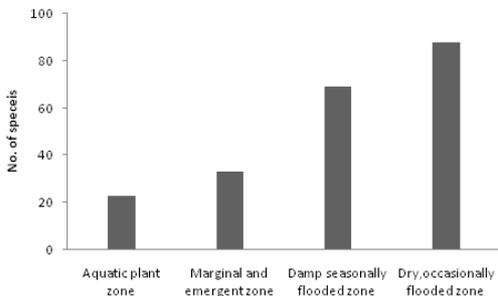


Fig. 4. Comparisons of Number of Plant Species in each Distinguished Geomorphology

율은 생활사 백분율의 결과와 마찬가지로 구분된 지형에 따라서 교목 및 관목의 출현 비율이 증가하였다(Fig. 6). 출현 식물의 귀화율은 구분된 지형에 따라서 AZ에서 28%의 다년생 식물이 DOZ에서는 10% 이하로 낮아지면서 출현 비율이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 7). 이는 수변에서 가까울수록 전체 종수가 적는데 반하여 외래종이 차지하는 비율이 크기 때문에 높게 나타나는 것으로 사료되며 교란지역 및 기타 외래종의 분포지에서 유수에 의한 종자반입이 쉽기 때문에 이 같은 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

자연제방구간 A의 단면 a에서는 저수로에서 제방방향으로 모래사주, 시무나무군집, 족제비싸리군집, 굴참나무

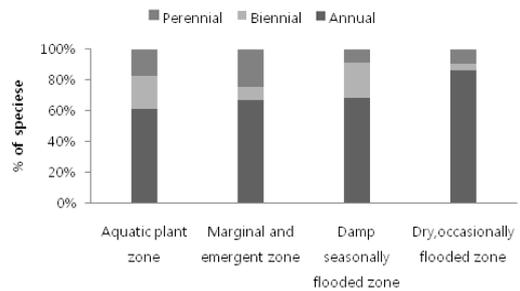


Fig. 5. Comparisons of Percentage of Life form in each Distinguished Geomorphology

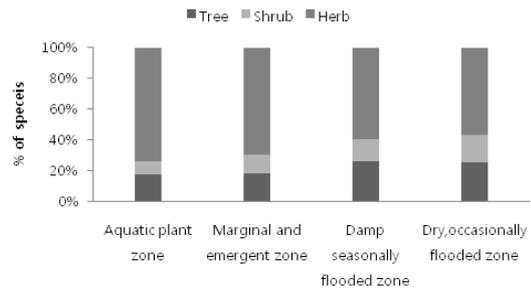


Fig. 6. Comparisons of Percentage of Growth form in each Distinguished Geomorphology

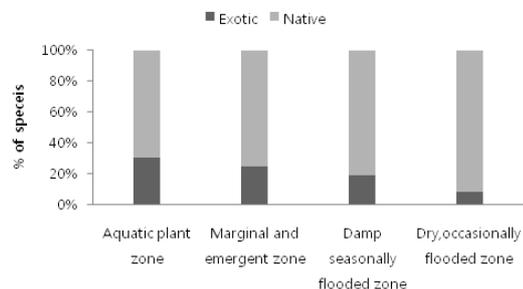


Fig. 7. Comparisons of Percentage of Exotic Plants in each Distinguished Geomorphology

군집, 소나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Aa). 단면 b에서는 저수로에서 제방방향으로 하중도의 모래사주에 흰여뀌가 소군집으로 분포하며 선버들군집, 왕버들군집 순으로 식생이 분포하였고 좁은 수로를 지나 다시 저수로부터 갯버들군집, 족제비싸리군집, 쇠물푸레나무군집, 생강나무군집, 소나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Ab). 단면 c에서는 저수로에서 제방방향으로 왕버들군집, 소나무군집, 밤나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Ac). 자연제방구간 B의 단면 a에서는 저수로에서 제방방향으로 왕버들군집, 시무나무군집, 쇠물푸레나무군집, 다시 시무나무군집, 굴참나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Ba). 자연제방구간 C의 단면 a에서는 저수로에서 제방방향으로 왕버들군집, 달뿌리풀군집이 분포하였고 고수부지에 넓게 모래사주가 이어지고 제방에 시무나무군집이 분포하였다(Fig. 8Ca). 단면 b에서는 저수로에서 제방방향으로 달뿌리풀군집, 선버들군집,

왕버들군집, 물억새군집이 분포하였다(Fig. 8Cb). 단면 c에서는 저수로에서 제방방향으로 모래사주, 신나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Cc). 단면 d에서는 저수로에서 제방방향으로 왕버들군집, 달뿌리풀군집, 달맞이꽃군집, 아까시나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Cd). 단면 e에서는 저수로에서 제방방향으로 달뿌리풀군집, 신나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Ce). 단면 f에서는 저수로에서 제방방향으로 왕버들군집, 달뿌리풀군집, 달맞이꽃군집, 족제비싸리군집, 아까시나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Cf). 자연제방구간 D의 단면 a에서는 저수로에서 제방방향으로 시무나무군집이 폭넓게 분포하였으며 쇠물푸레나무군집, 갈참나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Da). 단면 b에서는 저수로에서 제방방향으로 개망초가 소군집으로 분포하였고 시무나무군집, 졸참나무군집, 굴참나무군집, 소나무군집, 팽나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Db). 단면 c

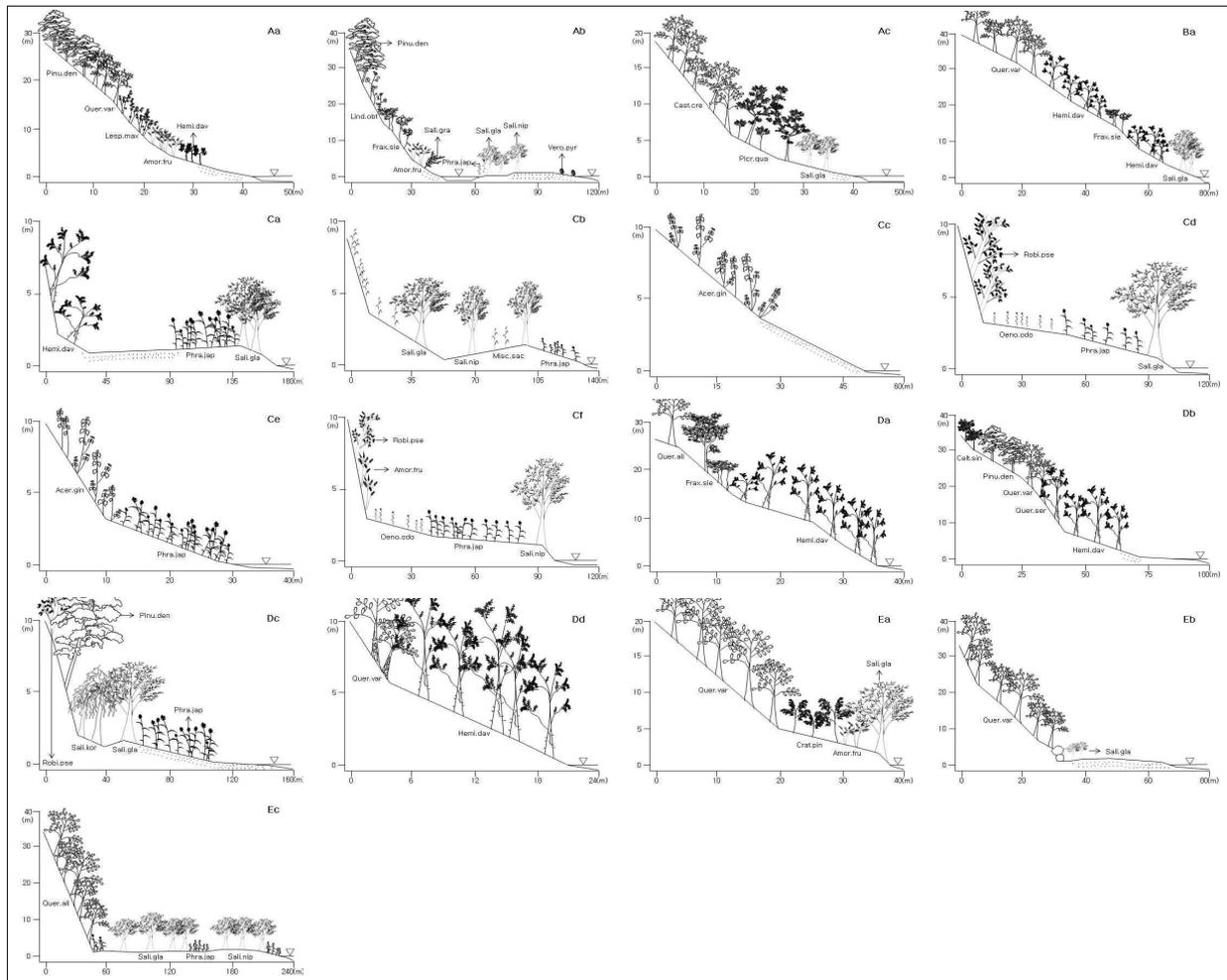


Fig. 8. Vegetation Profile Diagram of the Transect

에서는 저수로를 시작으로 모래사주, 달뿌리풀군집, 왕버들군집, 버드나무군집, 소나무군집, 아까시나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Dc). 단면 d에서는 저수로서 제방방향으로 시무나무군집, 굴참나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Dd). 자연제방구간 E의 단면 a에서는 저수로서 제방방향으로 왕버들군집, 죽제비싸리군집, 산사나무군집, 굴참나무군집 순으로 식생이 분포하였다(Fig. 8Ea). 단면 b에서는 저수로를 시작으로 폭넓은 모래사주가 이어지고 다시 지형이 낮아지는 지역에 왕버들 유식물이 분포하고 있으며 암벽이 드러난 구간을 지나서 굴참나무군집이 분포하였다(Fig. 8Eb). 단면 c에서는 경사가 완만한 고수부지에 달뿌리풀군집과 왕버들군집, 선버들군집이 분포하며 제방에는 갈참나무군집이 분포하였다(Fig. 8Ec).

출현 식물의 종다양도지수는 AZ에서 2.24, MZ에서 2.41, DSZ에서 3.26, DOZ에서 3.39를 나타내면서 구분된 지형에 따라서 증가하는 경향을 보였다(Fig. 9). 이것은 저지대 일수록 직접적인 유수와 침수의 영향을 받기 때문에 낮은 곳일수록 종다양도지수가 낮고 상대적으로 침수의 영향이 덜한 고지대는 종다양도지수가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

3.2 환경특성

각 트랜섹트의 저수위, 평수위 및 홍수위의 최소값은

각각 63.1, 63.6, 66.6m이며 최대값은 각각 77.7, 78.2, 81.1m로 나타났다. 또한 저수위와 평수위의 수위 차는 0.5m로 나타났으며 저수위와 홍수위의 차는 3.4m였다(Table 1). 따라서 각 조사구간에서 저수위를 기준으로 높이 3.4m 이하의 식생까지는 때때로 직접적인 유수의 영향을 받을 것으로 예상되었다. 연평균침수기간은 AZ에서 43일, MZ에서 28일, DSZ에서 14일로 나타났으며 DOZ은 침수되지 않았다(Fig. 10). 평수위 기준의 상대고도와 연평균침수기간의 회귀분석 결과 결정계수가 0.57로 나타났으며 두 요인이 지수함수 관계에 있어서 57% 정도의 설명력을 갖췄다. 따라서, 상대고도가 증가할수록 연평균침수기간이 급격하게 감소함을 확인할 수 있다(Fig. 11).

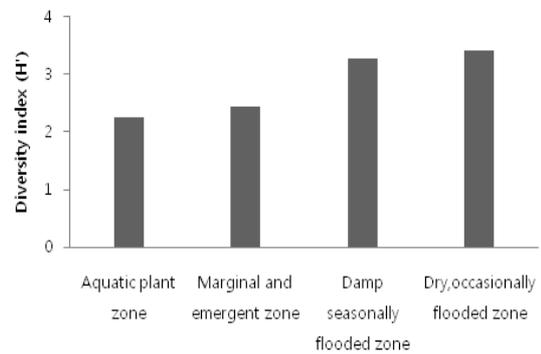


Fig. 9. Comparison of Shannon's Species Diversity Index in each Distinguished Geomorphology

Table 1. Water Level Feature in Study Area

Transect name	Mean low water level	Mean water level	Mean flood water level
Aa	77.7	78.2	81.1
Ab	77.4	77.9	80.8
Ac	77.4	77.9	80.8
Ba	74.4	74.9	77.8
Ca	70.9	71.4	74.3
Cb	70.9	71.4	74.3
Cc	70.8	71.3	74.2
Cd	70.8	71.3	74.2
Ce	70.8	71.3	74.3
Cf	70.8	71.3	74.3
Da	68.5	69.0	71.9
Db	68.2	68.7	71.6
Dc	68.0	68.5	71.4
Dd	67.9	68.4	71.3
Ea	63.7	64.3	67.2
Eb	63.7	64.3	67.2
Ec	63.1	63.6	66.6

토양수분함량의 평균값은 AZ, MZ, DSZ, DOZ에서 각각 11%, 14%, 15%, 21%를 나타내었으며 구분된 지형에 따라서 토양의 수분함량이 높아지는 추세를 보였다(Fig. 12). 이러한 토양의 수분함량은 토양 채집 시의 깊이 제한과 토양입경의 크기가 컸기 때문에 AZ의 경우 수변으로부터의 거리가 가까운 것에 비하여 수분함량이 적게 나타났다. 구분된 지형에 따라서 pH의 평균값은 각각 pH 6.0, pH 6.1, pH 5.9, pH 5.8을 나타내었다. 지형이 높아지는 무관하게 토양의 pH가 변동하였다(Fig. 13). 전기전도도의 평균값은 구분된 지형에 따라서 각각 5, 4, 3, 6 mS/m를

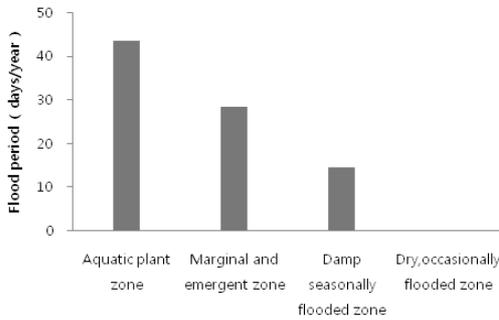


Fig. 10. Comparison of Mean Flood Period in each Distinguished Geomorphology

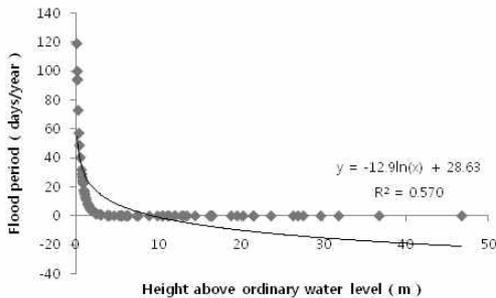


Fig. 11. Regression analysis of Height above Ordinary Water Level and Flood Period

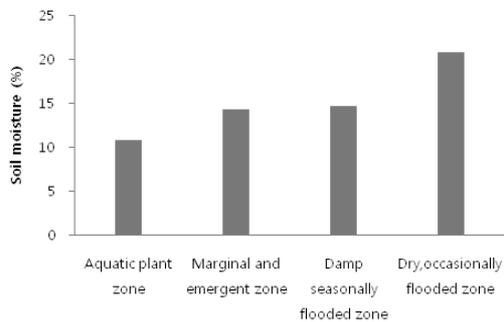


Fig. 12. Comparison of Soil Moisture in each Distinguished Geomorphology

나타내었으며 지형의 높이는 무관하게 전기전도도의 값이 변동하였다(Fig. 14).

유기물함량의 평균값은 구분된 지형에 따라서 각각 2.1%, 3.5%, 2.8%, 5%를 나타내었다. 지형이 높아지면서 토양의 유기물함량이 대체로 높아지는 추세를 보였다(Fig. 15). AZ의 유기물은 계절적인 홍수에 의해서 유수의 영향으로 떠내려가기 때문에 유기물의 농축이 어렵고 그에 따라 토양의 유기물 함량이 적게 나타난 것으로 사료된다. 반대로 DOZ의 토양 유기물함량은 강우에 의해서 소량만 탈락되기 때문에 유기물함량이 다른 지형에 비하여 월등히 높게 조사되었다.

토양의 모래함량 평균값은 구분된 지형에 따라서 각각

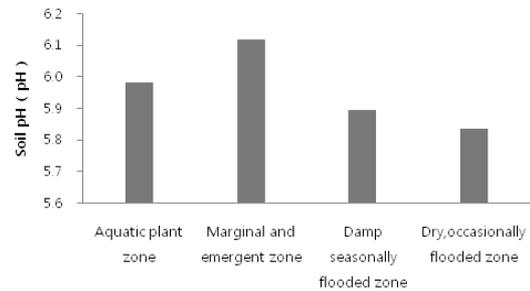


Fig. 13. Comparison of Soil pH in each Distinguished Geomorphology

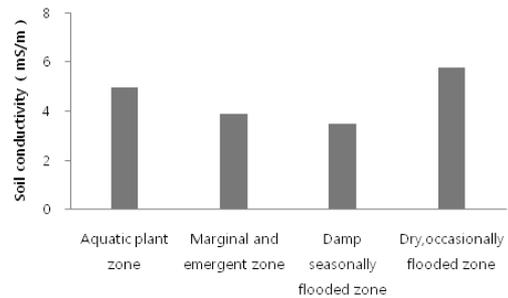


Fig. 14. Comparison of Soil Electrical Conductivity in each Distinguished Geomorphology

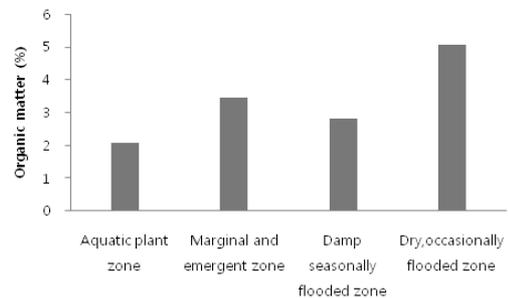


Fig. 15. Comparison of Organic Matter Content in each Distinguished Geomorphology

72.4%, 73.7%, 73.7%, 59.5%를 나타내었으며 대체로 낮아지는 추세를 보였다(Fig. 16). 미사함량의 평균값은 구분된 지형에서 각각 18.0%, 15.2%, 16.5%, 25.5%를 나타내었고 지형의 높이와는 무관하게 토양의 미사함량이 변동하였다(Fig. 17). 또한 구분된 지형에서 점토함량의 평균값은 각각 9.6%, 11.1%, 9.7%, 15%를 나타내었으며 지형이 높이와 무관하게 토양의 점토함량이 변동하였다(Fig. 18). 특히 AZ의 경우 입자가 가는 미사나 점토가 유수의 영향으로 쉽게 떠내려가기 때문에 미사와 점토의 함량이 비교적 적은 것으로 사료된다.

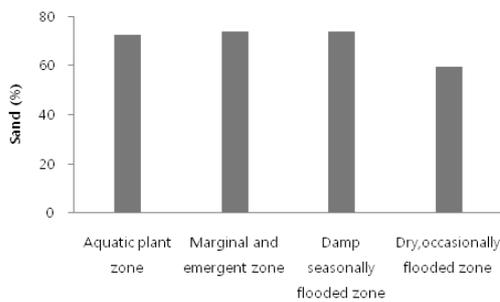


Fig. 16. Comparison of Sand in each Distinguished Geomorphology

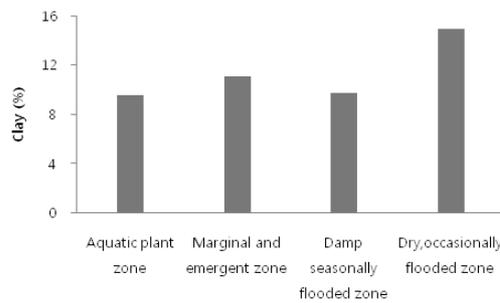


Fig. 17. Comparison of Clay in each Distinguished Geomorphology

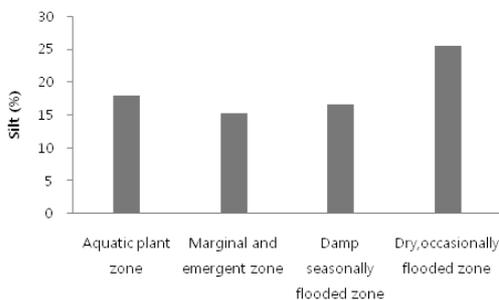


Fig. 18. Comparison of Silt in each Distinguished Geomorphology

4. 식생분포와 환경요인의 상관성

평수위기준상대고도, 사면경사각, 유기물함량, 모래함량의 환경인자와 출현빈도 5회 이상의 식물 51종을 대입하여 정준대응분석(canonical correspondence analysis)을 적용하였다. 분석결과 제 1축과 2축의 고유값(eigenvalue)의 비율은 각각 65.3%와 17.7%이며, 이 두 축으로 총변이의 83%를 설명하였다(Fig. 19). 분석에 대입된 식물종은 3개의 그룹으로 나눌 수 있었다(Fig. 19). A그룹은 토양에 모래함량이 많고 유기물함량이 적으며 평수위기준상대고도가 낮고 사면의 경사가 완만한 환경특성을 나타내었다. A그룹의 분포종으로는 달뿌리풀, 환삼덩굴, 머느리배꼽, 물썩 등이었으며 주로 수변의 모래사주에서 달뿌리풀 군집에 동반되는 식물종들이 분포하였다. B그룹은 A그룹에 비해서 토양의 모래함량과 유기물함량이 적으며 평수위기준상대고도가 낮고 사면의 경사가 완만한 환경특성을 나타내었다. B그룹의 분포종으로는 왕버들, 선버들, 소리쟁이, 가시박 등이었으며 주로 고수부지의 왕버들 및 선버들림에서 동반되는 식물종들이 분포하였다. C그룹은 모래의 함량이 적고 유기물함량이 비교적 많으며 평수위기준상대고도가 높고 사면의 경사가 급한 환경특성을 나타내었다. C그룹의 분포종은 소나무, 굴참나무, 생강나무, 시무나무, 짚레꽃, 소태나무 등으로 산지 또는 산지로 연결되는 장소에 생육하는 식물종들이 분포하였다.

제 1축을 기준으로 상부의 식생은 평수위기준상대고도 및 모래함량의 영향력이 큰 것으로 나타났으며 하부의 식생은 사면의 경사각과 유기물함량의 영향력이 큰 것으로 나타났다. 제 2축을 기준으로 우측의 식생은 평수위기준상대고도, 사면의 경사각 및 유기물함량의 영향력이 큰 것으로 나타났으며 좌측의 식생은 토양의 모래함량이 큰 영향력을 끼치는 것으로 나타났다. 또한 사면의 경사각과 토양의 유기물함량이 서로 양의 상관성을 보였고 유기물함량과 모래함량은 음의 상관성을 나타냈다. 분석에 대입된 환경요인 중에서는 평수위기준상대고도가 가장 강한 영향력을 나타내었으며 유기물함량과 모래함량이 비교적 낮은 영향력을 나타내었다.

5. 결 론

하천생태계에서 홍수는 하상 변화를 일으키고 식물을 뿌리째 뽑거나 부러뜨린다. 따라서 큰 홍수 후에는 새로운 식생정착이 발생하고 새로운 식물군집이 발달한다(Cronk and Fennessy, 2001). 즉, 유수면과 인접한 저지대

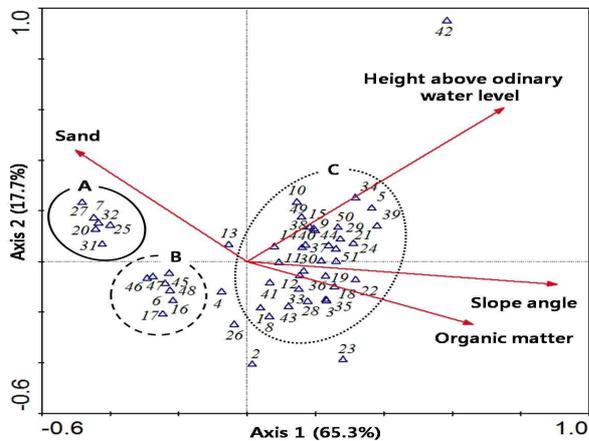


Fig. 19. CCA ordination graph for 51 plant species and 4 environmental factor. (Species number and their scientific name: 1: *Acer ginnala*, 2: *Achyranthes japonica*, 3: *Alnus japonica*, 4: *Amorpha fruticosa*, 5: *Ampelopsis brevipedunculata* var. *heterophylla*, 6: *Artemisia princeps* var. *orientalis*, 7: *Artemisia selengensis*, 8: *Boehmeria spicata*, 9: *Carex lanceolata*, 10: *Celtis sinensis*, 11: *Chelidonium majus* var. *asiaticum*, 12: *Clematis apiifolia*, 13: *Crataegus pinnatifida*, 14: *Dicamtannus dasycarpus*, 15: *Dioscorea batatas*, 16: *Erigeron annuus*, 17: *Erigeron canadensis*, 18: *Fraxinus sieboldiana*, 19: *Hemiptelea davidii*, 20: *Humulus japonicus*, 21: *Lespedeza bicolor*, 22: *Lespedeza maximowiczii*, 23: *Ligustrum obtusifolium*, 24: *Lindera obtusiloba*, 25: *Metaplexis japonica*, 26: *Miscanthus sacchariflorus*, 27: *Oenothera odorata*, 28: *Oplismenus undulatifolius* var. *undulatifolius*, 29: *Parthenocissus tricuspidata*, 30: *Pueraria thunbergiana*, 31: *Persicaria perfoliata*, 32: *Phragmites japonica*, 33: *Picrasma quassioides*, 34: *Pinus densiflora*, 35: *Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum*, 36: *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*, 37: *Smilax sieboldii*, 38: *Quercus aliena*, 39: *Quercus variabilis*, 40: *Robinia pseudo-acacia*, 41: *Rosa multiflora*, 42: *Rubia akane*, 43: *Rubus crataegifolius*, 44: *Rubus parvifolius*, 45: *Rumex crispus*, 46: *Salix glandulosa*, 47: *Salix nipponica*, 48: *Sicyos angulatus*, 49: *Spiraea chinensis*, 50: *Stephanandra incisa*, 51: *Zanthoxylum schinifolium*)

수변의 경우 유수에 의한 교란이 빈번하게 발생한다. 따라서 식생이 정착하기 어렵게 되는데 본 연구의 정준대응 분석(canonical correspondence analysis) 결과는 이를 뒷받침한다. 또한 실제로 유수의 교란이 빈번한 저지대에 생육하는 달뿌리풀과 버드나무류 등은 생존에 특화된 능력을 지니고 있다. 달뿌리풀은 포복지(runner)를 갖으며 빠른 번식과 회복으로 주기적인 교란에 적응하였고 버드나무류는 식물체가 손상을 입었을 때 맹아를 내는 능력과

매몰되었을 때 부정근을 내는 능력이 탁월하다. 또한 매년 바람이나 물로 운반되는 막대한 수의 종자를 생산하며 종자 자체의 발아율도 90% 이상으로 높다(Lee et al., 2003). 위와 같이 수리적 환경요인에 특화된 전략이 있는 식생을 제외한 나머지 식생들은 평수위로부터 높게 격리되어 분포하게 되는 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유 연구사업인 “(13주요) 보하류부 세굴방지를 위한 Multi-Baffle Energy Dissipator 개발”의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, Y.H., Yang, Y.C., and Chun, S.H. (2001). “A Study on the Distribution Patterns of Salicaceae species at the An-sung Stream - Referred to Woldongcheon, Yokjungcheon, Joyoungcheon and Gisolcheon -.” *Kor. J. Env. Eco.*, Vol. 15, No. 3, pp. 221-223.
- Allan, J.D. (2007). *Stream Ecology*, Kluwer Academic, The Netherlands, pp. 75-102.
- Choi, H.K. (2000). *Aquatic vascular plants, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology*, Daejeon.
- Cronk, J.K., and Fennessy, M.S. (2001). *Wetland plants*, Lewis Publishers, Boca Raton, p. 237.
- Hupp, C.R., and Osterkamp, W.R. (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, Vol. 14, pp. 277-295.
- Kim, H.J., Kim, S.Y., and Kim, C.W. (2006). “Correlation between Biotic Factor and Abiotic Factor - Focus on the Case Streams in Kyonggi District -.” *Kor. J. Env. Eco.*, Vol. 20, No. 4, pp. 374-390.
- Kim, Y.S., Kim C.H., and Lee, K.B. (2002). “Canonical Correspondence Analysis of Riparian Vegetation in Mankyeong River, Jeollabuk-do.” *J. of the Environmental Sciences*, Vol. 11, No. 10, pp. 1031-1037.
- Korea Institute of Construction Technology. (KICT) (2008). *River Disturbance White Paper*, Seoul, pp. 17-23.
- Lee, C.B. (2003). *Illustrated Flora of Korea*, Hyangmunsa, Seoul.

- Lee, C.S., Oh, J.M., and Lee, N.J. (2003). *River Environment and Wetland Plants*, Donghwa, Seoul, pp. 146-167.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2009). *Korea River List*, Seoul, pp. 17-21.
- Mitsch, W.J., and Gosselink, J.G. (2000). *Wetland*, John Wiley and Sons, New York, p. 920.
- Naiman, R.J., and Decamp, H. (1997). "The ecology of interfaces: riparian zones." *Annual Reviews of Ecological and Systematics*, Vol. 28, pp. 621-658.
- Park, S.H. (2009). *Naturalized Plants of Korea*, Ilchokak, Seoul.
- Sabater, F., Butturini, A., Marti, E., Munoz, I., Romani, A., Wray, J., and Sabater, S. (2000). "Effects of riparian vegetation removal on nutrient retention in a mediterranean stream." *The North American Benthological Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 609-620.
- Seibert, P. (1968). *Importance of natural vegetation for the protection of the banks of streams, rivers, and canals*, Nature and Environment Series (Volume Freshwater), Council of Europe, pp. 35-67.
- Shafroth, P.B., Stromberg, J.C., and Patten, D.T. (2002). "Riparian vegetation response to altered disturbance and stress regimes." *Ecological Applications*, Vol. 12, No. 1, pp. 107-123.
- Shannon, C.E., and Wiener, W. (1949). *The mathematical theory of communication*, Univ. Illinois Press, Urbana, p. 117.
- Sheldrick, B.H., and Wang, C. (1993). *Particle size distribution*. In: Carter MR (ed.), *Soil sampling and methods of analysis*, Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 499-518.
- Simon, A., and Collison, A.J.C. (2002). "Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability." *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 27, pp. 527-546.

논문번호: 13-087	접수: 2013.10.28
수정일자: 2014.02.14/02.26	심사완료: 2014.02.26