

벚나무류 낙화가 인공 연못생태계의 물질순환에 미치는 영향

이보은·전영준*·장유림**·김재근†

서울대학교 생물교육과

*서울대학교 환경대학원 환경계획학과

**서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 산림환경학 전공

Effects of fallen blossoms of *Prunus* spp. on nutrient dynamics in an artificial pond ecosystem

Bo Eun Lee·Young Joon Jeon*·You Lim Jang**·Jae Geun Kim†

Department of Biology Education, Seoul National University

*Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

**Department of Forest Sciences, Seoul National University

(Received: 06 May 2015, Revised: 26 May 2015, Accepted: 26 May 2015)

요약

벚나무류가 식재된 인공 연못에서 벚나무류의 낙화가 연못생태계의 물질순환에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위해 벚꽃이 분해되는 기간을 달리하여 마이크로코즘 실험을 수행하였다. 벚나무류의 꽃잎을 넣은 망(mesh)의 크기가 1 mm²인 나일론 꽃잎주머니를 제작하였다. 플라스틱 통을 하나의 마이크로코즘 단위로 하여 인공 연못의 유입수를 채우고, 꽃잎주머니를 넣은 처리구와 넣지 않은 대조구를 설정하였다. 처리구에서 꽃잎주머니를 수거하는 시기를 달리한 결과, 실험이 끝난 후 벚꽃잎은 초기 건조량의 32.3%만이 남았으며, 분해율(k)은 $7.06 \times 10^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 나타났다. 벚꽃잎이 분해된 물의 NO₃-N 농도는 1.90 mg/L에서 처음 4일 후 급격히 감소하여 0.02 mg/L를 나타낸 반면, NH₄-N 농도는 0.03 mg/L에서 분해가 진행되는 동안 계속적으로 증가하여 2.85 mg/L를 나타냈다. PO₄-P 농도는 0.03 mg/L에서 꽃잎의 분해에 의해 2.39 mg/L까지 증가하여, 인이 질소에 비해 상대적으로 높은 비율이 무기 형태로 용탈되고 있음을 알 수 있다. 인공 연못에 쌓이는 벚꽃의 양을 추산하고 용탈되는 가용성 질소와 인의 양을 예상한 결과, 벚꽃잎이 분해되어 물에 녹아나온 가용성 인은(0.02 mg/L 증가) 인공 연못의 부영양화를 유발할 수 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 꽃잎, 부영양화, 분해율, 인 동태

Abstract

To identify the effect of fallen cherry blossom on the artificial pond ecosystem, microcosm experiment was conducted into the aquatic decomposition of *Prunus* species petals. Petals were put in 1mm² mesh nylon litter bags. For treatment group, one flower litter bag was placed into each pot microcosm (27 × 20 × 8 cm³) filled with influent water from the artificial pond, whereas control group microcosm contained pond water only. Decomposition time were set differently (4, 8, 12, 16 days) among treatment groups. At the end of experiment, most petals were decomposed and only 32.3% of initial dry weight remained with the decay rate (k) of $7.06 \times 10^{-2} \text{ day}^{-1}$. NO₃-N concentration of microcosm water decreased sharply from 1.90 mg/L at first to 0.02 mg/L, whereas NH₄-N concentration increased from 0.03 mg/L to 2.85 mg/L continually. PO₄-P concentration was 0.03 mg/L at first and increased to 2.39 mg/L by decomposition. Therefore, available phosphorus seems to have leached with higher rate than nitrogen from the petals litter. Increase about 0.02 mg/L in PO₄-P concentration could be estimated in artificial pond from the calculation on the total quantity of fallen blossoms. This result suggests that available phosphorus from the decomposed *Prunus* petals could cause eutrophication in the artificial pond.

Key words : Decey rate, Eutrophication, Petal, Phosphate dynamics

1. 서론

연못은 2 m 이하의 수심 또는 8 ha 이내의 면적을 보이

는 작고 얇은 소택형 습지(palustrine wetland)로 분류할 수 있다(Kim, 2003). 연못은 비교적 작은 면적임에도 불구하고 다양한 미소지형을 형성할 수 있는 이점이 있어 도심 내 경관 조성에 많이 활용되며, 여러 형태의 미소지형을 포함하는 경관은 연못생태계 내 다양한 생물종들의 서식을 가능하게 하여 일종의 비오톱(biotop)으로서 기능하게 한

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Biology Education, Seoul National University
E-mail: jaegkim@snu.ac.kr

다(Oertli et al., 2005). 다양한 동식물의 서식과 이동을 가능하게 하는 비오톱은 도시생태계를 개선하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Lee and Jang, 2000). 독일이나 일본과 같은 선진국의 경우 20 ~ 30년 전부터 비오톱의 생태적 가치와 기능에 관한 연구를 수행해 왔으며 우리나라 또한 1995년부터 비오톱 개념의 본격적인 도입을 시작으로(Lee, 1996), 최근에는 멸종위기 종의 서식지나 생물 종다양성 증가 등을 위한 공원 내 연못이나 습지 조성에 관한 연구가 활성화되고 있다(Byeon, 2010; Kim et al., 2014).

도시의 비오톱으로서 기능하는 연못의 조성 시, 연못 내부에는 다양한 동물들을 위한 서식처 제공 및 수질 정화 등의 목적으로 부엽식물, 정수식물, 침수식물 등의 다양한 수생 초본류가 식재된다(Kim, 2008). 여러 조경 수목 중에서도 뽕나무류(*Prunus* species)는 봄철 많은 수의 꽃을 피워 심미적·관상적 가치가 높아 가로수나 경관 조성 시 조경 수목으로 선호되고 있다. 전국적인 조경 수목의 식재 빈도를 분석한 결과, 왕벚나무(*P. yedoensis* Matsum.)는 81~90%, 꽃벚나무(*P. serrulata* var. *sontagiae* Nakai)는 31~40%를 차지하였다(Bang and Lee, 1995).

벚나무류가 짧은 개화기 동안 많은 양의 꽃을 생산하는 특징은 벚나무류의 관상 가치에 기여하는 반면, 그에 대한 관리가 필요함을 의미하기도 한다. 벚나무류 중 조경 수목으로서 활용 빈도가 높은 왕벚나무의 경우 20 cm 가지 당 약 110개의 꽃을 피우는데, 이렇게 핀 많은 수의 꽃은 약 10일 간의 짧은 개화기를 마치고 지게 된다(Park et al., 2000). 꽃은 식물의 다른 기관에 비해 인 함량이 상대적으로 높은 것으로 알려져 있다(Smith and Smith, 2012). 따라서 일시적으로 발생하는 많은 양의 낙화는 주변 생태계의 물이나 토양의 인 동태에 영향을 미칠 수 있다(Lee et al., 2011). 질소와는 달리 인의 주된 공급은 암석과 광물로부터의 용탈이나 침식에 의해 이루어지고, 물 순환을 통해 이동하여 회수되지 않기 때문에 자연 생태계에서 인 부족 현상을 쉽게 관찰할 수 있다. 특히 연못과 같은 비교적 작은 규모의 수생태계의 경우 일시적인 인 공급에 민감하게 반응할 수 있으며, 생태계 전반에까지 영향을 미칠 수 있다(Smith and Smith, 2012).

수생태계에서의 물질순환과 관련된 기존의 대부분의 연구들은 주로 식물의 잎이나 줄기와 같은 기관의 분해에만 초점을 두어 왔다(Day, 1983; Langhans and Tockner, 2006; Lee and Kim, 2014; Neckles and Neill, 1994). 잎이나 줄기와 같은 식물 고사체(litter)의 분해는 인 보다도 질소를 공급하는 차원에서 보다 의미를 갖는다. 반면, 벚나무류와 같이 다량의 낙화를 생성하는 경우, 떨어진 꽃(flower litter)의 분해는 연못생태계의 인 동태에 보다 큰 영향을 미칠 것으로 여겨진다. 이처럼 벚나무류는 연못생태계의 조경 수목으로서 중요할 뿐만 아니라 도시 비오톱의 양분 동태 차원에서의 관리를 필요로 하는 수목임에도 불구하고, 아직까지 그와 관련된 연구는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 주변에 벚나무류가 식재된 인공 연못에서 벚나무류의 낙화가 연못생태계의 물질순환에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위하여 벚꽃이 분해되는 기간을 달리하여 실험을 수행하였다. 또한 해당 인공 연못에 떨어지는 벚꽃의 양을 추산함으로써 연못의 질소와 인의 동태에 미치는 벚꽃의 영향을 보다 실질적으로 보고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상지 개황 및 벚나무류의 낙화량 추산

본 연구는 인공 연못인 자하연을 대상으로 하였다. 자하연은 서울특별시 관악구 대학동 서울대학교 내에 위치하며(N 37° 27' 39", E 126° 57' 07"), 면적이 약 1,000 m²(300평), 평균 수심은 약 1 m인 인공 연못이다(SNUNews, 2012). 자하연의 주변부에 식재된 조경 수목 중 벚나무류는 왕벚나무 8개체가 분포하였는데, 이들의 수고와 흉고직경을 조사하였다.

또한 연구 대상지에 미치는 벚꽃의 영향을 보다 실질적으로 확인하기 위하여 자하연에 떨어지는 벚꽃의 양을 추산하고자 하였다. 왕벚나무의 개화기는 약 10일로(Park et al., 2000), 이 중 4일에 걸쳐 대부분의 벚꽃이 떨어지는 것을 관찰하였다. 많은 양의 벚꽃이 떨어진 5월 2일, 벚꽃이 쌓인 자하연 주변의 3 지점에서 20 cm × 20 cm 방형구를 설치하고, 하루 동안 쌓인 방형구 내의 꽃잎을 전량 수거하였다. 수거한 꽃잎은 60°C에서 48시간 이상 건조하여 건조량을 측정하였다. 대략적인 자하연의 부피와 방형구 조사를 통한 단위 면적 당 왕벚나무 꽃잎의 건조량 및 왕벚나무의 개화기간을 이용하여 연구 대상지 전체에서 분해되는 벚꽃의 양을 산출하였다.

2.2 마이크로코즘 실험(Microcosm Experiment)

: 꽃잎의 분해를 위한 준비

본 실험에 사용된 벚나무류의 꽃잎은 2013년 5월 2일에 비교적 채집이 용이한 꽃벚나무(*Prunus serrulata* var. *sontagiae*)에서 꽃잎만을 채취하였다. 채취한 꽃잎은 밀봉하여 실험실로 운반한 뒤, 60°C에서 72시간 이상 건조시킨 후 망(mesh)의 크기가 1 mm²인 나일론 꽃잎주머니(nylon litterbag of 20 cm × 20 cm)에 2 g 씩 넣었다.

실험은 플라스틱 통(27 cm × 20 cm × 8 cm)을 하나의 마이크로코즘 단위로 하여 진행하였다. 각 플라스틱 통에 꽃잎주머니(flower litterbag)를 1개씩 넣은 후, 1.5 L의 자하연 유입수를 채워 꽃잎주머니가 물에 잠기도록 하였다. 꽃잎을 넣은 처리구와 넣지 않은 대조구를 설정하고, 처리구는 꽃잎주머니를 수거하는 시기를 달리하였다. 인공 연못에서 벚꽃이 분해되는 기간에 따른 변화를 확인하고자 2013년 5월 15일부터 16일 동안 빗물의 유입을 방지하기 위한 차단막이 있는 야외에서 실험을 진행하였는데, 실험 기간 동안 평균 기온은 18.7°C, 평균 강수량은 5.7 mm로 관측되었다

(KMA, 2013). 각 마이크로코즘의 위치 배열에 따른 일조량 차이를 최소화하기 위해 4일마다 위치를 순환시켰고, 모든 마이크로코즘은 실험 기간 동안 호기성 상태로 유지하였다.

꽃잎주머니는 처리구에서 3반복으로 4회 회수하기 위하여 12개를 만들어 12개의 마이크로코즘에 각각 넣어 실험을 실시하였고, 설치 시점의 데이터를 얻기 위해 3개를 추가로 준비하여 총 15개를 제작하였다.

2.3 꽃잎주머니의 회수 및 화학분석

꽃잎주머니는 설치 시점 및 처리구에서 설치 후 4일, 8일, 12일, 16일에 3반복씩 회수하였다. 꽃잎주머니의 회수 시, 물도 함께 채수하여 물속의 양분 변화를 분석하였다.

벚꽃잎의 분해 정도를 확인하기 위해 건중량과 유기물 함량을 분석하였다. 건중량은 수거한 꽃잎주머니를 60°C에서 48시간 이상 건조하여 측정하였다. 분해 과정에 따른 건중량 감소는 처음 무게에 대한 잔존량으로 나타내었다. 분해 상수(k)는 Olson (1963)의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$k = -\ln(X_t/X_0)/t$$

여기서 t 는 시간(본 연구에서는 일 단위를 사용), X_0 는 꽃잎의 처음 무게, X_t 는 시간 t 가 경과된 후에 잔존하는 꽃잎의 무게를 의미한다.

건조된 꽃잎을 Willy Mini-Mill (3380L10, THOMAS, USA)로 분쇄한 후 standard No. 60 sieve를 통과한 것만 분석에 사용하였다. 유기물 함량(loss of ignition, LOI)은 105°C에서 24시간 이상 건조하여 수분을 제거하고, 가마(muffle furnace)에서 550°C로 4시간 이상 태워 작열소실량을 통해 분석하였다(Dean, 1974). 설치 시점의 꽃잎의 일부는 무기염류를 확인하기 위하여 총 질소(T-N)와 총 인(T-P) 함량을 분석하였다. T-N과 T-P는 서울대학교 농

생명과학공동기기원(NICEM)에서 각각 Elemental Analyzer (Flash EA 1112, Thermo Electron, USA)와 Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer (730 ES, VARIAN, Australia)를 이용하여 분석하였다.

채수한 물은 glass fiber filter로 걸러 particulate organic matter (POM)를 제거한 후 분석에 이용하였다. 물에 녹아있는 양분으로는 가용성 질소 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$, 가용성 인 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 함량을 분석하였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 Indophenol Method (Liddicoat et al., 1975), $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 Hydrazine method (Kamphake et al., 1967), $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 농도는 Ascorbic acid reduction method (Solorzano, 1969)를 이용하여 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 꽃잎의 분해를

실험 개시 16일 후, 벚꽃잎은 초기 건중량의 $32.3 \pm 2.3\%$ 만이 남아 많은 양이 분해되어 있었다(Fig. 1a). 4일 후의 잔존률은 $43.2 \pm 5.4\%$ 로, 초기 4일 동안 분해가 빠르게 일어남을 알 수 있다. 이후 실험 기간 동안에는 약 11%가 천천히 분해되어 이 시기까지 지속적인 분해가 이루어짐을 관찰하였다. 벚꽃잎의 분해상수(k)는 $7.06 \times 10^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로, 수환경에서 잎의 분해에 비해 분해 속도가 매우 빠른 것으로 나타났다. 기존의 수생태계에서 수행된 낙엽 분해 실험에서 분해상수(k)는 0.02 year^{-1} 에서 $9.36 \times 10^{-3} \text{ day}^{-1}$ 까지 관찰되어 수환경에서 꽃잎의 분해가 상대적으로 빠른 것을 알 수 있다(Day, 1983; Kim and Kim, 2009; Lee and Kim, 2014; Mun et al., 2001).

벚꽃잎의 초기 유기물 함량은 $92.1 \pm 0.1\%$ 로, 처음 8일까지는 $97.5 \pm 0.7\%$ 로 증가하나 이후 분해가 진행되는 동안 계속 감소하여 $93.6 \pm 0.4\%$ 를 나타내었다(Fig. 1b). 분해 과

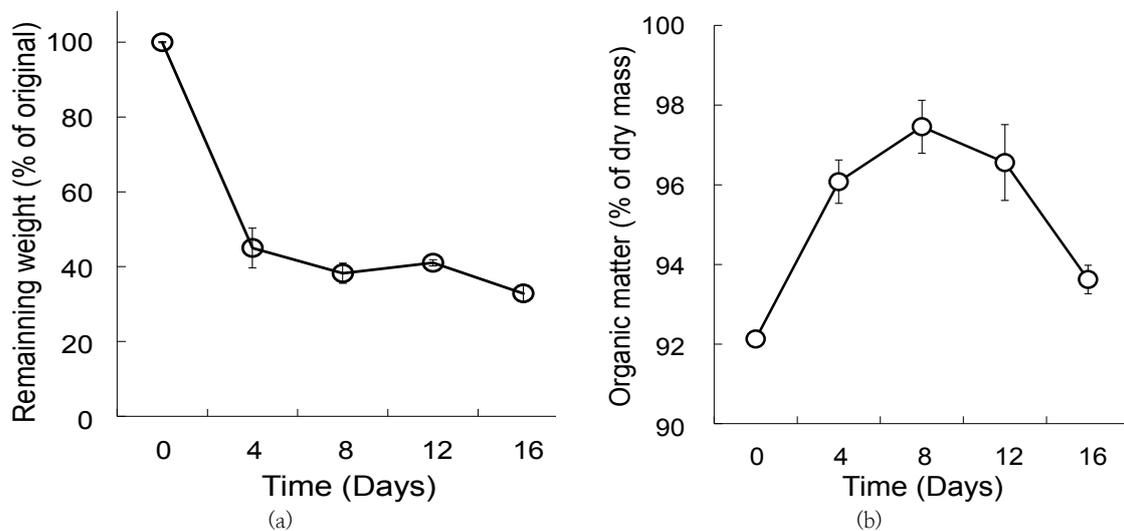


Fig. 1. Changes of dry weight (a) and organic matter content (b) in petals of *Prunus serrulata* var. *sontagiae*. Vertical bars indicate ± 1 SE (n = 3).

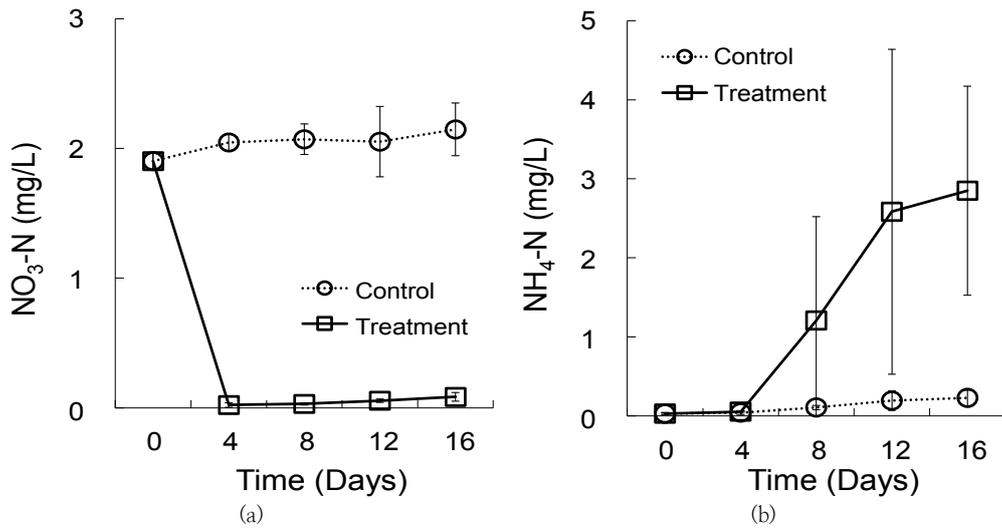


Fig. 2. Changes of available nitrogen concentration in the water.

(a) Changes of NH₄-N concentration. (b) Changes of NO₃-N concentration. Vertical bars indicate ± 1 SE (n = 3).

정 초기에 유기물 함량의 증가는 무기물의 급격한 용탈 (leaching)에 의한 것으로 여겨진다. 이후 분해 과정에서 유기물 함량의 감소는 분해 기간 동안 물에 녹아나온 양분 및 미생물의 축적에 의해 유기물이 빠르게 분해된 것으로 판단된다(Howard and Howard, 1974; Lee and Kim, 2014).

3.2 영양염류의 변화

벚꽃잎이 분해되는 환경의 화학 분석을 위해 꽃잎주머니를 회수하는 시기마다 마이크로코즘의 물에 녹아나온 가용성 질소와 인의 농도를 측정하였다(Fig. 2~3). 꽃잎주머니를 넣지 않은 대조구의 경우 분해가 진행되는 동안 초기 농도가 크게 변하지 않고 유지되어, 처리구에서의 대부분의 농도 변화가 꽃잎의 분해로부터 기인한 것임을 확인할 수 있었다.

대조구의 NO₃-N 농도는 1.90 ± 0.07 mg/L로, 처리구에서 처음 4일 후 0.02 ± 0.02 mg/L로 감소하여 대조구에 비해 현저히 낮아진 것을 관찰하였다(Fig. 2a). 처리구의 NO₃-N 농도가 감소한 현상은 분해 작용을 하는 세균이 생존을 위해 질산을 소비한 결과로 보인다(Kim and Chang, 1989). 꽃잎의 유입으로 인해 미생물의 양분가용성이 높아지고, 이로 인해 미생물의 활동이 증가한다. 미생물의 작용으로 무기 형태의 영양소가 유기물질로 고정되는 부동화(immobilization) 현상은 처리구의 질산 농도가 낮아지는 결과를 설명해 준다(White, 2009).

반면 NH₄-N 농도는 실험 초기에 0.03 ± 0.01 mg/L로 미량이 존재하였으나, 분해가 진행되는 동안 계속적으로 증가하여 16일 이후 2.85 ± 1.32 mg/L를 나타냈다(Fig. 2b). 대조군에서도 NH₄-N 농도가 증가하였으나, 증가량은 0.20 mg/L로 상대적으로 미미하였다. 이러한 NH₄-N 농도의 증가는 꽃잎의 분해가 진행되면서 일어나는 미생물의 활발한 암모니아화 작용(ammonification)에 의한 것으로 여겨진다(Molles, 2012).

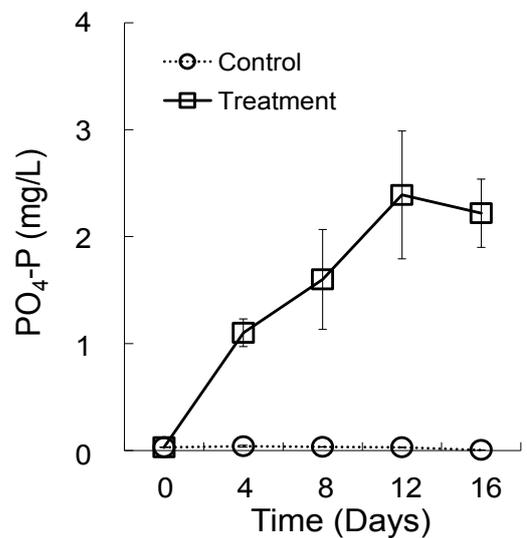


Fig. 3. Changes of PO₄-P concentration in the water.

Vertical bars indicate ± 1 SE (n = 3).

PO₄-P 농도는 실험 초기의 0.03 ± 0.00 mg/L에서 꽃잎의 분해에 의해 2.39 ± 0.60 mg/L까지 증가하였다(Fig. 3). 가용성 인은 가용성 질소에 비해 상당히 안정하여 기체 형태의 전환이 잘 일어나지 않아(Mitsch and Gosselink, 2007), 대조군의 PO₄-P 농도는 초기 농도에 비해 ± 0.03 mg/L 수준으로 거의 변화가 없었다. 따라서 처리구의 PO₄-P 농도 증가는 대기 중으로부터의 유입이 일부 관찰된 가용성 질소에 비해 오히려 벚꽃잎의 분해에 의한 결과임을 알 수 있다.

벚꽃잎의 총 질소(T-N)와 총 인(T-P) 함량은 각각 27.3 mg/g, 3.08 mg/g로, 총 질소 함량은 총 인에 비해 약 8.8 배 높은 결과를 보였다. 반면 벚꽃잎이 분해되어 물에 녹아나온 가용성 질소와 인의 농도는 각각 2.93 mg/L, 2.22 mg/L로 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 꽃잎의 인이 질소에 비해 상대적으로 높은 비율이 무기 형태로 용탈되고 있음을 보여주는 결과이다.

3.3 적용

자하연 주변 왕벚나무 개체군은 총 8개체로, 평균 수고는 14 m, 평균 흉고직경(DBH)은 31 cm로 조사되었다. 이들은 주로 자하연의 남동쪽에 분포하고 있으며, 수관의 일부가 자하연에 겹쳐져서 분포하고 있음을 확인하였다 (Fig. 4). 수관투영도를 바탕으로 자하연에 벚꽃이 쌓이는 면적은 약 300 m²으로 추정하였다. 또한 방형구 조사를 통해 20 cm × 20 cm의 방형구 내에 하루 동안 떨어진 벚꽃잎의 건조량은 약 0.35 g이었다. 대부분의 꽃잎은 4일에 걸쳐 떨어졌으므로, 이를 통해 자하연에 쌓이는 벚꽃의 양을 약 1.05 × 10⁴ g으로 추산하였다. 따라서 자하연의 용적은 약 1,000 m³이므로, 자하연에서 분해되는 벚꽃잎은 10.5 mg/L로 도출되었다.

본 연구에서는 2 g의 벚꽃잎이 1.5 L의 자하연 유입수에서 분해되었으므로, 마이크로코즘의 벚꽃잎의 농도는 1.3 g/L이다. 따라서 자하연에서 분해되는 벚꽃잎의 농도와 비교할 때, 실험은 약 124배 높은 농도로 진행되었음을 알 수 있다. 즉, 자하연에서 벚꽃잎이 분해되어 물에 녹아나온 가용성 질소는 0.02 mg/L로, 그 농도가 연못생태계의 수질을 변화시킬 정도로 높지 않다. 반면 가용성 인의 농도는 0.02 mg/L가 증가하여 2등급이었던 자하연의 수질을 3등급으로 오염시킬 수 있는 가능성을 보여준다(WAMIS, 2015).

인은 자연 상태에서 대체로 공급이 부족하여, 수생태계는 질소에 비해 인 함량의 변화에 더 민감하게 반응한다 (Smith and Smith, 2012). 또한 꽃잎의 인 함량은 식물의 다른 기관에 비해 상대적으로 높아(Lee et al., 2011), 수질의 인 농도 변화에 크게 영향을 미치는 것으로 보인다.

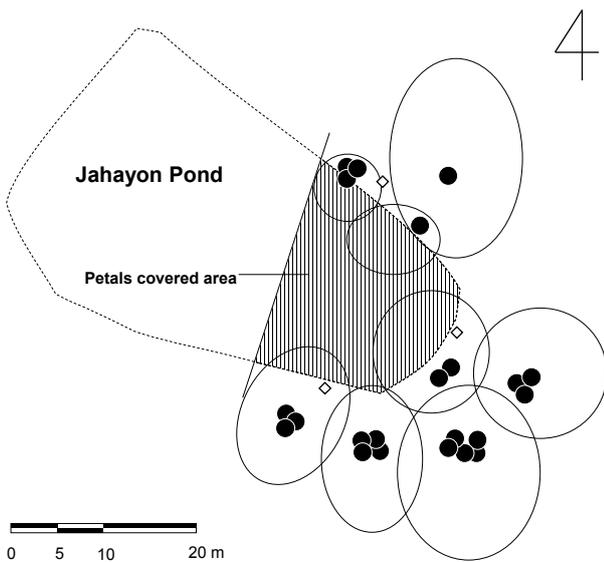


Fig. 4. A crown projection diagram of *Prunus yedoensis* at Jahayon Pond. Solid circles indicate the location that diameter at breast height (DBH) of stems are measured. Open diamonds indicate locations of 3 quadrats. The hatched area in the southeast of the Jahayon Pond shows the petals covered area.

이러한 인의 농도 증가로 인해 수질이 악화될 가능성이 있으나, 인과 질소는 식물의 성장에 있어서 필수적인 양분이기도 하다. 식물이 분해되면서 주위 환경으로 방출되는 가용성 인과 질소는 성장기 식물의 양분 공급원의 역할을 한다(Carpenter, 1980; Hobbie and Vitousek, 2000). 빛나무류와 같이 다량의 낙화를 생성하는 경우, 떨어진 꽃잎의 분해는 가을 이후 진행되는 다른 식물 고사체의 분해와는 달리, 많은 식물들이 왕성한 성장을 하는 시기에 일어난다. 또한 상대적으로 평균 기온과 습도가 높은 시기에 일어나 분해가 빠르게 진행된다(Anderson and Swift, 1983). 따라서 인의 급격한 증가로 인한 부영양화를 방지하기 위해서 해당 시기에 이를 이용할 수 있는 수생식물을 식재한다면 인공 연못생태계의 관리에 보다 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

사 사

실험 설계와 수행 전반에 도움을 주신 이도원 교수님께 감사의 말을 전합니다. 본 연구는 환경부 차세대에코이노베이션기술개발사업(416-111-010)의 지원을 통해 수행되었습니다.

References

- Anderson, JM and Swift, MS (1983). *Decomposition in terrestrial ecosystems*, Tropical rainforest: Ecology and management, Special publication II, Blackwell Scientific Publications, Oxford : 287-309.
- Bang, KJ and Lee, JS (1995). Studies on planting distribution status of landscaping plants in Korea, *J. of Korean Institute of Landscape Architecture*, 23(1), pp. 67-94. [Korean Literature]
- Byeon, CW (2010). Water purification and ecological restoration effects of sustainable structured wetland biotop (SSB) system established in the habitat of the endangered species - Exemplified by An-teo reservoir ecological park in the habitat of the Gold-spotted pond frog -, *J. of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 13(6), pp. 145-159. [Korean literature]
- Carpenter, SR (1980). Enrichment of Lake Wingra, Wisconsin, by submersed macrophyte decay, *Ecology*, 61(5), pp. 1145-1155.
- Day, FP (1983). Effects of flooding on leaf litter decomposition in microcosms, *Oecologia*, 56, pp. 180-184.
- Dean, WE (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods, *J. Sedimentary Petrology*, 44(1), pp. 242-248.
- Hobbie, SE and Vitousek, PM (2000). Nutrient limitation of

- decomposition in Hawaiian forests, *Ecology*, 81, pp. 1867-1877.
- Howard, PJA and Howard, DM (1974). Microbial decomposition of tree and shrub leaf litter. 1. Weight loss and chemical composition of decomposing litter, *Oikos*, 25, pp. 341-352.
- Kamphake, LJ, Hannah, SA and Cohen, JM (1967). Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction, *Water Research*, 1(3), pp. 205-216.
- Kim, DS, Kang, JH, Lee, SJ, Lim, HS and Kim, NR (2014). The faunae before and after creating the Solbanguik wetland ecological park located in Jecheon-city were compared, *J. of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 42(3), pp. 35-49. [Korean Literature]
- Kim, GS (2008). Evaluation of native hydrophytes suitable for artificial pond, *Flower Research J*, 16(1), pp. 63-70. [Korean Literature]
- Kim, JG and Chang NK (1989) Litter production and decomposition in the *Pinus rigida* plantation in Mt. Kwan-ak, *Korean J. of Ecology*, 12(1), pp. 9-20. [Korean Literature]
- Kim, KG (2003). *Wetland and Environment*, Academy Book. [Korean Literature]
- Kim, SR and Kim, JG (2009). Humulus japonicus accelerates the decomposition of *Miscanthus sacchariflorus* and *Phragmites australis* in a floodplain, *J. of Plant Biology*, 52(5), pp. 466-474.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2013). <http://www.kma.go.kr/>.
- Langhans, SD and Tockner, K (2006). The role of timing, duration, and frequency of inundation in controlling leaf litter decomposition in a river-floodplain ecosystem (Tagliamento, northeastern Italy), *Oecologia*, 147, pp. 501-509.
- Lee, BE and Kim JG (2014). The effect of water turnover time on decomposition of wild rice (*Zizania latifolia*) and nutrient dynamics in an artificial wetland system, *J. of Ecology and Environment*, 37(1), pp. 13-19.
- Lee, EH and Jang HK (2000). A theoretical study for the construction of eco-pond and evaluation of some existing ponds, *J. of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 3(2), pp. 10-23. [Korean Literature]
- Lee, MC (1996). A conceptual study on biotope mapping in the city, *J. of Korea Planners Association*, 31(6), pp. 6197-6211. [Korean Literature]
- Lee, YC, Nam, JM and Kim, JG (2011). The influence of black locust (*Robinia pseudoacacia*) flower and leaf fall on soil phosphate, *Plant and Soil*, 341(1-2), pp. 269-277.
- Liddicoat, M, Tibbits, S and Butler, E (1975). The determination of ammonia in seawater. *Limnology and Oceanography*, 20(1), pp. 131-132.
- Molles, MC (2012). *Ecology: Concepts and Applications*, (6th edn.), McGraw Hill Education, New York.
- Mitsch, WJ and Gosselink, JG (2007). *Wetlands*, (4th edn.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Mun, HT, Namgung, J and Kim, JH (2001). Decay rate and changes of nutrients during the decomposition of *Zizania latifolia*, *Korean J. of Ecology*, 24(2), pp. 81-85.
- Neckles, HA and Neill, C (1994). Hydrological control of litter decomposition in seasonally flooded prairie marshes, *Hydrobiologia*, 286, pp. 155-220.
- Oertli, B, Biggs, J, Cereghino, R, Grillas, P, Joly, P and Lachavanne, JB (2005). Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), pp. 535-540.
- Olson, JS (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems, *Ecology*, 44, pp. 322-331.
- Park, HS, Lee, JH, Ahn, CY and Kim, HE (2000). Morphological and phenological comparisons of new Prunus species, *J. of Korean Institute of Landscape Architecture*, 28(1), pp. 48-53. [Korean Literature]
- Seoul National University News (SNUNews) (2012). <http://www.snunews.com/>.
- Smith, TM and Smith, RL (2012). *Elements of Ecology*, (8th edn.), Benjamin Cummings, San Francisco.
- Solorzano, L (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method, *Limnology and Oceanography*, 14(5), pp. 799-801.
- Water Resources Management Information System (WAMIS) (2015). <http://www.wamis.go.kr/>.
- White, RE (2009). *Principles and Practices of Soil Science, the soil as a natural resource*, (4th edn.), Blackwell Publishing, Malden.