

# 낙동강 수변 생태복원지 시공 후 4년간(2007~2010년) 식생구조 변화 모니터링<sup>1a</sup>

기경석<sup>2</sup> · 김종엽<sup>3\*</sup>

## Monitoring of Plant Community Structure Change for Four Years(2007~2010) after Riparian Ecological Restoration, Nakdonggang(River)<sup>1a</sup>

Kyong-Seok Ki<sup>2</sup>, Jong-Yup Kim<sup>3\*</sup>

### 요 약

본 연구는 낙동강수계 매수토지 생태복원지를 대상으로 2007년 복원 공사 직후부터 4년간의 식생구조 변화를 모니터링하고 식생 관리방안을 제시하고자 하였다. 연구대상지는 낙동강 수계 생태복원지 중 총 15개소(208,342m<sup>2</sup>)를 대상으로 하였고 조사는 2007년 11월, 2008년 9월, 2009년 10월, 2010년 9월에 각각 시행하였다. 식재종 및 개체수 변화 분석 결과 교목층은 당단풍나무, 상수리나무, 신나무, 갈참나무, 굴참나무 등은 비교적 개체수가 증가하거나 변화가 없었고 떡갈나무, 말채나무, 뽕나무, 쪽동백나무, 팔배나무는 100% 고사한 것으로 나타났다. 관목은 초본과 덩굴성 식물에 의한 피압으로 대부분 고사하였다. 식재밀도는 4년간 평균 28주/100m<sup>2</sup> → 20주/100m<sup>2</sup> → 16주/100m<sup>2</sup> → 16주/100m<sup>2</sup>로 감소하였다. 성장량은 복원 공사 직후 이식에 따른 스트레스로 다소 감소하였으나 이후 활착이 이루어짐에 따라 안정화되는 경향을 나타내었다. 흉고단면적 변화는 2007년 복원직후에 507.1cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>이던 것이 2008년에 301.8cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>로 감소하였으며 이후에는 324.9cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>(2009년), 372.7cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>(2010년)으로 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 수변 생태복원지의 식재구조 개선을 위해서는 토양습도를 고려한 수종의 선정과 대상지 여건을 고려한 적정 식재구조의 차별화가 필요하였다.

주요어: 수변구역, 매수토지, 흉고단면적, 식생복원, 하자보수

### ABSTRACT

This study was conducted to monitor 4 years of changes in the vegetation structure starting from 2007 when restoration began and propose vegetation management ideas for the riparian ecological restoration areas in the purchased land around Nakdonggang(River). The study was conducted in each of 15 locations (208,342m<sup>2</sup>) in the riparian ecological restoration areas in November 2007, September 2008, October 2009 and September 2010. The analysis results of the changes in planting species and population showed that, in the case of trees, *Acer pseudo-sieboldianum*, *Quercus acutissima*, *Acer ginnala*, *Quercus aliena*, *Quercus variabilis* indicated relatively little changes in their numbers and *Quercus dentata*, *Cornus walteri*, *Morus alba*, *Styrax obassia*, *Sorbus alnifolia* var. *macrophylla* indicated a 100% withering rate. Most shrubs withered due to the oppressive pressure of herbs and climbing plants. The planting density decreased over 4 years on average 28 plants/100m<sup>2</sup>

1 접수 2011년 12월 15일, 수정(1차: 2012년 8월 7일, 2차: 2012년 10월 18일), 게재확정 2012년 10월 19일

Received 15 December 2011; Revised(1st: 7 August 2012, 2nd: 18 October 2012); Accepted 19 October 2012

2 도시생태학연구센터 Urban Ecology Research Center, 124-22 Bangi-dong, Songpa-gu, Seoul(138-052), Korea(ecokks@gmail.com)

3 도시생태학연구센터 Urban Ecology Research Center, 124-22 Bangi-dong, Songpa-gu, Seoul(138-052), Korea(jongykim72@hanmail.net)

a 본 논문은 낙동강수계관리위원회 · 한국환경공단의 “2010년도 낙동강수계 매수토지관리 모니터링”의 지원으로 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author(jongykim72@hanmail.net)

to 20 plants/100m<sup>2</sup> to 16 plants/100m<sup>2</sup>. Shortly after the restoration, The the amount of growth was reduced by restoration stress. however as time goes on after the restoration tended to stabilize. The changes in the basal area showed a decrease from 507.1cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup> in 2007 right after restoration to 301.8cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup> in 2008 and afterwards showed an increasing trend by going to 324.9cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup> in 2009 and 372.7cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup> in 2010. To improve the planting structure of the riparian ecological restoration area, the selection of tree species that have been considered for soil moisture and the differentiation of suitable planting structures that have been considered for local conditions were needed.

**KEY WORDS: RIPARIAN ZONE, PURCHASED LAND, VEGETATION RESTORATION, DEFECT MAINTENANCE**

## 서론

수변구역은 하천 주변 토양 및 동·식물을 포함하는 지역으로 하천 흐름을 조절하고 물을 저장하며 오염물질을 정화할 뿐만 아니라 수중 및 육상식물과 동물을 위한 서식처를 제공하는 등, 수질과 수량, 그리고 생태계 측면에서 매우 중요한 지역이다(Choi, 2002). 수변구역의 식생은 밀생한 근경에 의하여 토양침식을 막고 그림자는 물고기의 피난처가 되며, 낙엽은 부니질의 소비자인 수서곤충이나 저서동물에게 먹이나 미소서식처를 제공한다. 수변구역은 양서류와 야생조류의 먹이 획득과 보금자리가 되고 온화한 수변경관을 형성하여 사람들에게 안정감을 주며(Lee et al., 1999) 범람원의 농지이용으로 인해 오염된 물을 제거하는 필터 역할을 수행한다(Pinay and Decamps, 1988).

정부에서는 수변구역의 중요성을 인식하여 1998년 ‘팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책’에서 상수원 수질을 보전하고 개선시키기 위한 예방대책의 일환으로 수변구역제도를 도입하였고 효율적 집행을 위해 1999년 ‘한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률’ 제정하여 수변구역 지정을 법제화하였다. 낙동강유역환경청은 2002년 낙동강수계의 수자원과 오염원을 적절하게 관리하고, 상수원 상류지역에서의 수질개선 및 주민지원사업을 효율적으로 추진하여 동 수계 수질개선을 목적으로 하는 ‘낙동강수계 물관리 및 주민지원등에 관한 법률’을 제정, 2003년 동법 제8조의 규정에 의한 토지 등의 매수사업을 효율적으로 추진하고 매수한 토지 등을 적정 유지 관리함을 목적으로 토지매수를 진행하고 점진적으로 생태복원 사업을 시행하고 있다.

하천 생태복원지에서 식생에 관한 연구를 살펴보면 Kim and Lee(2009)는 과주 갈대 셋강 생태적 복원을 위한 식생구조 모니터링 결과 연도별 식물상은 지속적으로 증가하였고, 돌콩, 환삼덩굴 등 관리대상 종들의 세력이 크게 확대되

어 이에 대한 관리가 필요하다고 하였다. 서울시 탄천을 대상으로 한 생태적 변화 연구에서도(Kang and Hong, 2010) 환삼덩굴에 의한 자연식생 피압 및 식생단순화가 진행되고 단풍잎돼지풀군락이 급속히 확산되었다고 보고하였다. Kim et al.(2008)은 국내 자연하천구역의 출현식물을 조사한 결과 우리나라 중북부지방 하천에서는 신갈나무군락, 물푸레나무군락이 주로 출현하고, 남부지방에서는 졸참나무, 뚝참나무, 굴참나무군락이, 중부지방에서는 졸참나무, 물푸레나무, 갈참나무군락이 주로 출현하다고 하였다. Han et al.(2009)은 수변구역의 홍수터 복원을 위한 참나무류 수종의 침수 내성은 졸참나무, 갈참나무, 떡갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 신갈나무 순으로 감소한다고 하였고, 복원시에는 졸참나무나 갈참나무 식재가 바람직하다고 하였다. 이상의 수변구역 식생에 관한 연구는 주로 도시 내 자연형 하천의 복원에 관점이 맞추어져 있거나 복원을 위한 수중에만 국한되어 수변구역의 식생복원에 따른 변화 연구는 미미한 실정이다.

최근 이루어지고 있는 수변구역 내 생태복원사업은 전국적으로 대면적에 걸쳐 진행되고 있으며 복원사업의 적정성을 판단하기 위해서는 생태복원이 완료된 지역에 대한 모니터링을 통해 문제점의 진단과 향후 관리방향의 제시가 필요하다. 따라서 본 연구는 낙동강수계 매수토지 생태복원지를 대상으로 2007년 복원초기부터 4년간의 식생구조 변화를 모니터링하고 식생 관리방안을 제시하는 그 목적이 있다.

## 연구방법

### 1. 연구대상지

모니터링 대상지는 낙동강 수변구역 매수토지 중 생태복원 공사를 시행한 곳으로 낙동강 본류 2개소, 낙동강 지류 6개소, 하천과 인접한 산림 지역 7개 지역으로 총 15개소(208,342m<sup>2</sup>)를 선정하였다(Figure 1). 모니터링 대상지 선

정은 토지매수 및 생태복원에 의한 오염물질 저감효과가 높은 지역으로, 복원 이전 토지이용 유형은 논, 밭, 과수원,

축사, 농가, 상업지, 공업지 등으로 다양한 유형을 선정하였다(Table 1). 조사 시기는 2007년은 최초 복원 직후인 11월에 시행하였고 2008년 9월, 2009년 10월, 2010년 9월에 각각 모니터링을 시행하였다.

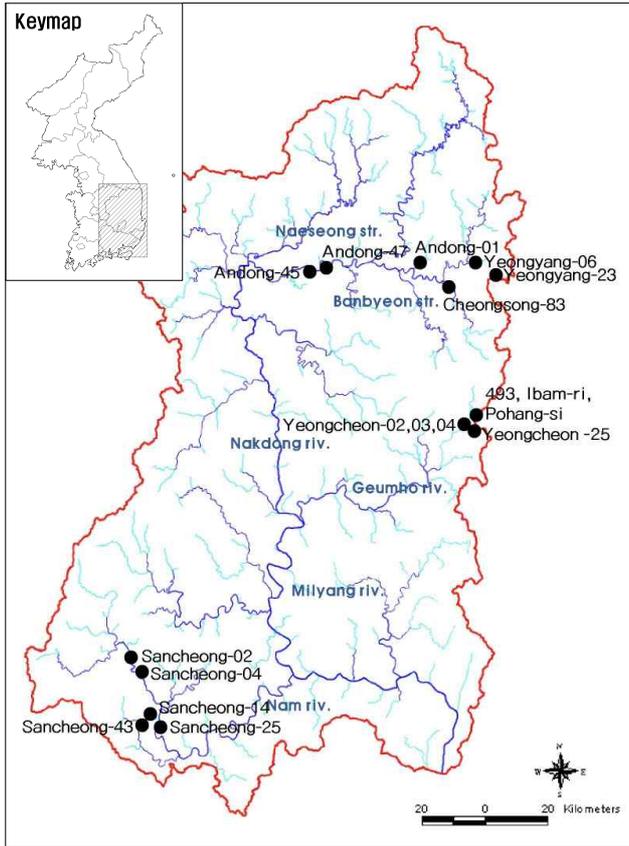


Figure 1. The location of the survey site

## 2. 조사 및 분석방법

생태복원지 모니터링을 위한 고정조사구는 방형구법(quadrat method)을 사용하여 조사구를 설정하였다. 조사구는 대상지 복원 유형을 고려하여 낙엽활엽수식재지와 관목식재지가 파악될 수 있도록 조사구 개수와 면적을 설정하였다(Table 1). 고정조사구는 방형구 모서리에 말뚝을 박고 철라벨을 부착한 후 조사구 고유번호를 기입하여 지속적으로 모니터링이 가능하도록 설치하였다. 토양환경 중 토양 물리성은 고정조사구에서 A<sub>0</sub> 층을 걷어내고 코어를 이용하여 채취하였고, 토양 화학성은 식생유형에 따라 소량의 토양시료를 채취하여 실내에서 음건하여 식물생육관 관련 있는 토양이화학적 특성을 분석하였다(Han et al., 2011). 식생조사는 Monk et al.(1969)의 방법을 참조하여 각 조사구 내에 출현하는 목본 수종을 대상으로 고목·아고목층은 흉고직경 2cm 이상 되는 수목의 수고, 흉고, 지하고, 수관폭을 조사하고, 관목층은 흉고직경 2cm이하 또는 수고 2m 이하의 수목에 대하여 수관투영면적(장축×단축)을 조사하였다. 식재종 및 개체수 변화는 조사구별 식재종의 고사목 발생현황을 파악하여 종별 변화량을 분석하였다. 식재밀도는 조사구별 면적 대비 식재량을 분석하여 변화량을 분석하였다. 생장량은 고정조사구내 대표 식생의 표본목을 선정하여 지

Table 1. The summary of monitoring site

| Site division                            | Site name               | Land use before restoration | Restoration area(m <sup>2</sup> ) | Plot area(m <sup>2</sup> ) |       | Restoration time |
|--|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------|------------------|
|  |                         |                             |                                   | Tree                       | Shrub |                  |
| Near the Nakdonggang (River)             | Andong-45               | Paddy field                 | 10,387                            | 700                        | 420   | 2007             |
|  | Andong-47               | Orchard                     | 23,568                            | 1,000                      | 100   | 2007             |
| Near a branch of the Nakdonggang (River) | Yeongyang-23            | Paddy field                 | 13,053                            | 400                        | 400   | 2007             |
|  | Yeongcheon-25           | Orchard                     | 13,798                            | 800                        | 425   | 2007             |
|  | Sancheong-04            | Cowhouse                    | 13,113                            | 200                        | -     | In early 2008    |
|  | Cheongsong-83           | Paddy field                 | 6,964                             | 400                        | -     | In late 2008     |
| Forest                                   | 493, Ibam-ri, Pohang-si | Orchard                     | 12,145                            | 400                        | -     | In late 2008     |
|  | Sancheong-02            | Industrial complex          | 68,749                            | 800                        | -     | In late 2008     |
|  | Sancheong-14            | Farmhouse                   | 9,209                             | 700                        | -     | 2007             |
|  | Sancheong-43            | Commercial zone             | 3,835                             | 300                        | -     | 2007             |
|  | Yeongcheon-02           | Paddy field                 | 9,067                             | 400                        | -     | In early 2008    |
|  | Yeongcheon-03           | Field                       | 1,332                             | 50                         | 25    | In early 2008    |
|  | Yeongcheon-04           | Orchard                     | 14,288                            | 800                        | -     | In early 2008    |
|  | Andong-01               | Cowhouse                    | 4,090                             | 400                        | -     | 2009             |
|  | Sancheong-25            | Cowhouse                    | 4,744                             | 200                        | -     | 2009             |
| Total                                    |                         |                             | 208,342                           | 7,550                      | 1,370 | -                |

상부로부터 1.2m 높이에서 생장추(increment borer)를 이용하여 목편을 추출한 뒤 실내에서 수령과 생장상태를 분석하여 그래프화하였다. 흉고단면적 변화는 조사구별 모든 수목의 흉고직경(cm)을 측정하여 흉고단면적( $cm^2$ )을 산출한 후 이를 합산하여 연차별 변화량을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토양환경 변화

#### 1) 토양 물리성

낙동강 수변 생태복원지의 토양 물리성을 파악하기 위해 2009년부터 2010년까지 토양삼상을 분석하였다. 생태복원지의 고상, 액상, 기상의 평균 비율은 각각 47%, 26%, 27%로 밭토양 및 산림토양과 비교할 때 액상의 비율은 서로 유사하였지만 기상의 비율이 낮고 고상의 비율이 매우 높은 경향이였다. 이러한 결과는 해당 대상지 토양의 공극량이 매우 적거나 석력함량이 높음을 보여주는 것이며 빗물의 토양 내 침투능력과 토양함수능이 높지 않다는 것을 의미한다. 이와 같은 대상지 토양환경은 식재수목의 뿌리(세근) 발달 및 양분흡수에도 영향을 주어 이식 적응성을 떨어뜨릴

수 있다.

식재식물의 생육과 가장 관련이 깊은 수분함량을 분석한 결과 청송-83, 산청-03, 산청-02지역은 과거 논이 분포하고 있던 지역으로 토양 수분함량이 매우 높게 나타나고 있었다. 반면 과거 모텔을 철거하고 복원한 안동-01은 수분함량이 전체 대상지 중 가장 낮게 나타났다. 이외에 대상지는 뚜렷한 경향을 나타내고 있지 않았는데 이는 복원 이후 토양환경 및 지형구조의 변화로 인해 수분함량이 변화된 것으로 판단된다.

따라서 과거 논이었던 지역은 물이 고이는 지역이었기 때문에 복원 이후에도 수분함량이 높아 수목을 식재할 경우 수분과다 및 배수불량에 의한 식재목의 고사와 관련이 있으며, 반면 건폐지를 철거하고 복원한 지역은 토양환경이 매우 척박하여 이로 인한 생육불량 피해와 관련이 있는 것으로 판단되었다.

#### 2) 토양 화학성

낙동강 매수토지 생태복원지의 2007~2010년간 토양 이 화학적 특성을 분석하였다. 토양의 평균 pH는 6.8로 높게 나타났는데 갈습과 마그네슘의 농도가 높은 지역에서 pH의 수치가 높게 나타나고 있었다. 안동-47, 영천-03, 청송-83 일부 지역에서 pH 5.11~5.58의 산성을 나타내기도 하였

Table 2. Soil physical characteristics of Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Site division                            | Site          | Plot Number   | Three phases of soil    |          |            | Bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | Water content (%) | Land use before restoration |                    |
|--|---------------|---------------|-------------------------|----------|------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|
|  |               |               | Solid(%)                | Water(%) | Gaseous(%) |                                   |                   |                             |                    |
| Near the Nakdonggang (River)             | Andong-45     | 1             | 45.65                   | 23.97    | 30.38      | 1.21                              | 19.81             | Paddy field                 |                    |
|  |               | 2             | 36.76                   | 19.93    | 43.31      | 0.97                              | 20.46             |                             |                    |
|  | Andong-47     | 1             | 49.18                   | 16.63    | 34.20      | 1.30                              | 12.76             | Orchard                     |                    |
|  |               | 2             | 43.03                   | 29.92    | 27.05      | 1.14                              | 26.24             |                             |                    |
| Near a branch of the Nakdonggang (River) | Yeongyang-23  | 1             | 58.20                   | 25.27    | 16.53      | 1.54                              | 16.39             | Paddy field                 |                    |
|  |               | 2             | 52.47                   | 21.57    | 25.96      | 1.39                              | 15.51             |                             |                    |
|  | Yeongcheon-25 | 1             | 42.39                   | 21.06    | 36.55      | 1.12                              | 18.75             | Orchard                     |                    |
|  |               | 2             | 47.63                   | 25.62    | 26.76      | 1.26                              | 20.30             |                             |                    |
|  |               | 3             | 40.42                   | 20.35    | 39.22      | 1.07                              | 19.00             |                             |                    |
|  | Sancheong-04  | 1             | 45.51                   | 23.68    | 30.80      | 1.21                              | 19.64             | Cowhouse                    |                    |
|  |               | Cheongsong-83 | 1                       | 50.95    | 36.50      | 12.56                             | 1.35              | 27.03                       | Paddy field        |
|  |               |               | 493, Ibam-ri, Pohang-si | 1        | 46.04      | 28.70                             | 25.26             | 1.22                        | 23.52              |
|  |               | Sancheong-02  | 1                       | 47.62    | 23.13      | 29.25                             | 1.26              | 18.33                       | Industrial complex |
|  |               | Sancheong-14  | 1                       | 36.00    | 35.56      | 28.44                             | 0.95              | 37.27                       | Farmhouse          |
| Forest area                              | Sancheong-43  | 1             | 51.83                   | 32.28    | 15.89      | 1.37                              | 23.50             | Commercial zone             |                    |
|  |               | 2             | 44.41                   | 25.29    | 30.30      | 1.18                              | 21.49             |                             |                    |
|  | Yeongcheon-02 | 1             | 45.49                   | 31.09    | 23.42      | 1.21                              | 25.79             | Paddy field                 |                    |
|  | Yeongcheon-03 | 1             | 46.53                   | 29.39    | 24.08      | 1.23                              | 23.83             | Field                       |                    |
|  | Yeongcheon-04 | 1             | 46.11                   | 38.50    | 15.39      | 1.22                              | 31.51             | Orchard                     |                    |
|  | Andong-01     | 1             | 50.78                   | 8.97     | 40.25      | 1.35                              | 6.66              | Cowhouse                    |                    |
|  | Sancheong-25  | 1             | 55.30                   | 27.67    | 17.03      | 1.47                              | 18.88             | Cowhouse                    |                    |
| Average                                  |               |               | 46.68                   | 26.25    | 27.07      | 1.24                              | 21.54             | -                           |                    |

Table 3. Soil chemical characteristics of Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Site                                     | Date                        | Plot Division               | pH(1:5)                     | E.C.(dS/m) | O.M.(%) | Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg/kg) | Exch. Cation(cmol/kg) |                  |                |                 | Soil texture |            |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|---------|---|-----------------------|------------------|----------------|-----------------|--------------|------------|
|  |                             |                             |                             |            |         |   | Ca <sup>++</sup>      | Mg <sup>++</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> |              |            |
| Andong-45                                | 2007.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.85                        | 0.02       | 0.00    | 29.22   | 8.88                  | 3.22             | 0.33           | 0.11            | loam         |            |
|  |                             | Grassland                   | 7.06                        | 0.04       | 0.07    | 9.02  | 8.20                  | 2.67             | 0.63           | 0.11            | silt loam    |            |
|  |                             | Shrub                       | 7.62                        | 0.04       | 0.61    | 28.69   | 7.58                  | 2.55             | 0.45           | 0.06            | loam         |            |
|  | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.22                        | 0.05       | 1.36    | 80.76   | 6.32                  | 2.53             | 0.79           | 0.10            | loam         |            |
|  |                             | Shrub                       | 7.46                        | 0.05       | 0.82    | 76.93   | 6.59                  | 2.10             | 0.70           | 0.08            | loam         |            |
|  |                             | Wetland                     | 7.08                        | 0.02       | 0.82    | 13.22   | 7.50                  | 2.79             | 0.59           | 0.11            | silt loam    |            |
|  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.24                        | 0.04       | 1.29    | 72.05   | 5.69                  | 2.52             | 0.57           | 0.12            | loam         |            |
|  |                             | Wetland                     | 7.19                        | 0.02       | 1.36    | 10.34   | 6.69                  | 2.64             | 0.23           | 0.12            | silt loam    |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.48                        | 0.03       | 1.16    | 27.09   | 6.32                  | 3.11             | 0.58           | 0.08            | sandy loam   |            |
|  |                             | Shrub                       | 7.27                        | 0.03       | 2.38    | 18.12   | 7.90                  | 3.81             | 0.56           | 0.18            | silt loam    |            |
|  |                             | Wetland                     | 6.45                        | 0.02       | 1.57    | 5.11  | 5.37                  | 2.83             | 0.59           | 0.08            | silt loam    |            |
|  | Andong-47                   | 2007.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.27       | 0.03    | 0.48  | 173.79                | 3.27             | 0.96           | 0.63            | 0.05         | loamy sand |
| Shrub                                    |                             |                             | 6.99                        | 0.02       | 0.00    | 45.28   | 4.26                  | 1.37             | 0.90           | 0.02            | sandy loam   |            |
| 2008.09                                  |                             | Deciduous broad-leaved tree | 6.63                        | 0.05       | 0.27    | 135.52  | 3.88                  | 0.83             | 0.79           | 0.08            | loamy sand   |            |
|  |                             | Shrub                       | 5.37                        | 0.08       | 1.63    | 154.79  | 4.97                  | 1.24             | 0.94           | 0.13            | silt loam    |            |
| 2009.10                                  |                             | Deciduous broad-leaved tree | 7.76                        | 0.04       | 5.44    | 125.39  | 4.06                  | 0.96             | 0.84           | 0.11            | loamy sand   |            |
|  |                             | Shrub                       | 6.62                        | 0.02       | 1.29    | 31.40   | 2.22                  | 0.53             | 0.33           | 0.09            | loamy sand   |            |
| 2010.09                                  |                             | Deciduous broad-leaved tree | 6.60                        | 0.02       | 0.82    | 74.56   | 2.19                  | 0.89             | 1.28           | 0.04            | loamy sand   |            |
|  |                             | Shrub                       | 6.27                        | 0.02       | 1.16    | 40.51   | 3.15                  | 0.86             | 0.44           | 0.04            | loamy sand   |            |
| Yeong yang-23                            |                             | 2007.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.96       | 0.02    | 1.16  | 26.92                 | 6.98             | 2.75           | 0.21            | 0.06         | silt loam  |
|  |                             |                             | Shrub and Grassland         | 7.00       | 0.05    | 2.04  | 42.20                 | 11.13            | 1.76           | 0.52            | 0.14         | loam       |
|  |                             | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.64       | 0.03    | 1.43  | 29.30                 | 7.70             | 2.17           | 0.57            | 2.58         | loam       |
|  |                             | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.66       | 0.01    | 1.02  | 25.42                 | 5.50             | 1.53           | 0.25            | 0.14         | loam       |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.60                        | 0.03       | 2.93    | 83.71   | 4.28                  | 2.27             | 1.73           | 0.09            | silt loam    |            |
| Shrub                                    |                             | 6.68                        | 0.02                        | 1.16       | 10.08   | 7.16  | 1.80                  | 0.36             | 0.10           | sandy loam      |              |            |
| Yeong cheon-25                           | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.44                        | 0.04       | 2.52    | 118.12  | 6.41                  | 1.22             | 0.82           | 0.11            | silt loam    |            |
|  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.79                        | 0.04       | 3.40    | 161.51  | 6.88                  | 1.04             | 0.53           | 0.14            | silt loam    |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.43                        | 0.04       | 3.81    | 82.71   | 6.61                  | 1.40             | 1.29           | 0.10            | silt loam    |            |
|  |                             | Wetland                     | 5.96                        | 0.01       | 2.72    | 4.48  | 2.12                  | 0.48             | 0.17           | 0.12            | sandy loam   |            |
| Sancheong-04                             | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.36                        | 0.03       | 2.04    | 5.16  | 5.27                  | 0.81             | 0.39           | 0.24            | Loam         |            |
|  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 8.45                        | 0.04       | 0.44    | 40.36   | 13.62                 | 1.74             | 0.48           | 0.64            | Loamy sand   |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.25                        | 0.00       | 0.48    | 1.39  | 9.37                  | 3.82             | 0.12           | 0.03            | loamy sand   |            |
| Grassland                                |                             | 7.76                        | 0.05                        | 0.48       | 0.00    | 7.67  | 1.32                  | 0.50             | 0.03           | sandy loam      |              |            |
| Cheong song-83                           | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.56                        | 0.02       | 1.77    | 49.02   | 4.16                  | 0.77             | 0.19           | 0.16            | loam         |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.11                        | 0.04       | 2.93    | 0.00  | 4.85                  | 1.24             | 0.52           | 0.11            | loam         |            |
| 493, Ibam-ri, Pohang-si                  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.24                        | 0.04       | 4.15    | 1155.19   | 5.07                  | 2.00             | 0.52           | 0.14            | loam         |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.74                        | 0.03       | 4.97    | 140.77  | 6.54                  | 1.06             | 0.76           | 0.08            | sandy loam   |            |
| Sancheong-02                             | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.39                        | 0.01       | 0.54    | 9.90  | 2.42                  | 0.48             | 0.51           | 0.31            | loamy sand   |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.25                        | 0.01       | 1.36    | 9.26  | 4.68                  | 1.25             | 1.00           | 0.03            | sandy loam   |            |
| Grassland                                |                             | 7.21                        | 0.02                        | 1.57       | 9.94    | 6.94  | 0.84                  | 0.46             | 0.04           | sandy loam      |              |            |
| Sancheong-14                             | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.64                        | 0.02       | 1.36    | 16.73   | 3.98                  | 0.32             | 0.14           | 0.07            | sandy loam   |            |
|  |                             | Shrub                       | 7.19                        | 0.13       | 2.72    | 109.58  | 8.28                  | 0.06             | 0.08           | 0.33            | silt loam    |            |
|  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.42                        | 0.01       | 0.82    | 5.16  | 4.15                  | 0.80             | 0.46           | 0.66            | Sandy loam   |            |
|  |                             | Shrub                       | 7.55                        | 0.02       | 0.88    | 4.91  | 4.28                  | 0.65             | 0.48           | 0.67            | loam         |            |
|  | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.94                        | 0.01       | 1.22    | 1.38  | 3.66                  | 1.94             | 0.22           | 0.04            | loam         |            |
| Wetland                                  | 7.15                        | 0.02                        | 0.75                        | 7.28       | 7.33    | 1.72  | 0.45                  | 0.04             | sandy loam     |                 |              |            |
| Sancheong-4                              | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 5.84                        | 0.02       | 0.82    | 2.51  | 4.88                  | 0.38             | 0.28           | 0.15            | Loam         |            |
|  |                             | Shrub                       | 6.40                        | 0.01       | 1.57    | 42.30   | 2.81                  | 0.16             | 0.34           | 0.07            | sandy loam   |            |
|  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.09                        | 0.03       | 1.57    | 88.81   | 7.67                  | 1.33             | 0.90           | 0.22            | sandy loam   |            |
|  |                             | Deciduous broad-leaved tree | 6.04                        | 0.01       | 0.75    | 61.61   | 8.24                  | 2.08             | 0.91           | 0.04            | sandy loam   |            |
| 2010.09                                  | Grassland                   | 7.23                        | 0.02                        | 1.02       | 13.11   | 6.88  | 0.38                  | 0.46             | 0.02           | sandy loam      |              |            |
| Yeong cheon-03                           | 2008.09                     | Shrub                       | 6.05                        | 0.01       | 1.43    | 18.06   | 3.16                  | 0.62             | 0.55           | 0.08            | sandy loam   |            |
|  | 2009.10                     | Shrub                       | 6.00                        | 0.02       | 1.36    | 33.35   | 2.22                  | 0.76             | 0.43           | 0.11            | silt loam    |            |
|  | 2010.09                     | Grassland                   | 5.77                        | 0.02       | 1.97    | 3.85  | 2.19                  | 0.61             | 0.49           | 0.09            | sandy loam   |            |
| Yeong cheon-04                           | 2008.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.95                        | 0.06       | 1.70    | 190.29  | 7.41                  | 1.28             | 0.74           | 0.09            | silt loam    |            |
|  | 2009.10                     | Deciduous broad-leaved tree | 6.31                        | 0.09       | 2.04    | 246.46  | 5.07                  | 1.08             | 0.66           | 0.13            | silt loam    |            |
|  |                             | Deciduous broad-leaved tree | 6.88                        | 0.05       | 2.18    | 770.39  | 6.24                  | 2.08             | 0.69           | 0.13            | loam         |            |
| 2010.9                                   | Deciduous broad-leaved tree | 6.68                        | 0.05                        | 4.22       | 73.26   | 8.98  | 1.33                  | 1.33             | 0.11           | silt loam       |              |            |
| Andong-01                                | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 8.80                        | 0.06       | 0.68    | 2.66  | 11.12                 | 1.43             | 0.16           | 0.07            | loamy sand   |            |
| Sancheong-25                             | 2010.09                     | Deciduous broad-leaved tree | 7.79                        | 0.03       | 1.22    | 1.95  | 5.64                  | 0.29             | 0.55           | 0.04            | sandy loam   |            |
|  |                             | Grassland                   | 7.90                        | 0.02       | 0.68    | 0.27  | 4.51                  | 0.50             | 0.51           | 0.03            | sandy loam   |            |
| Average                                  |                             |                             | 6.80                        | 0.03       | 1.59    | 100.29  | 6.42                  | 1.67             | 0.63           | -               | -            |            |
| Soil of Field(Kim <i>et al.</i> , 1995)  |                             |                             | 5.80                        | 0.14       | 1.90    | 216.00  | 4.60                  | 1.40             | 0.59           | -               | -            |            |
| Soil of Forest(Kim <i>et al.</i> , 1995) |                             |                             | 4.80                        | 0.04       | 6.40    | 5.60  | 2.27                  | 0.70             | 0.25           | -               | -            |            |

다. 토양 pH가 강한 산성을 띠면 수목으로  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  등의 흡수가 저하되고 토양 내  $Al^{3+}$ 이 활성화되어 수목에 흡수됨으로써 수목의 생장에 영향을 미친다. 또한 pH 5.0이하에서 유효인산은 불용성이 되어 수목에 흡수되지 못하고 인산 결핍으로 인한 물질대사가 약화되어 생장이 불량해진다 (Keefer, 2000).

전기전도도는 0.01~0.13dS/m로 나타났으며 평균 0.03dS/m로 낮았다. 이는 미경작 산림토양 0.04dS/m(Suh *et al.*, 2003)와 유사한 값으로 염류에 의한 식물생장의 영향은 낮은 것으로 판단되었다. 유기물 함량은 평균 1.59%로 산림토양에 비해 매우 낮은 상태이었다. 한편 토양에 공급되는 질소의 경우 주로 유기물의 분해로 생성되는데 이처럼 대상지의 낮은 유기물 농도는 질소의 결핍을 초래할 수 있다. 질소는 식물체 내 아미노산, 단백질, 특히 엽록소의 주요 구성성분으로 부족하면 황화현상이 발생한다(Keefer, 2000). 유효인산은 100.29mg/kg로 산림토양보다 높게 나타났으며 치환성 양이온 함량은 산림토양에 비해 갈슘, 마그네슘의 농도가 높은 경향을 나타내었다.

## 2. 식재종 및 개체수 변화

### 1) 교목

생태복원지의 조사구별 교목 식재지 식재종의 개체수를 파악하여 종별 변화량을 종합하였다. 분석결과 100% 감소한 수종은 떡갈나무, 말채나무, 뽕나무, 쪽동백나무, 팔배나무 등이었고 50~100% 미만은 꽃사과, 느릅나무, 복자기, 귀룽나무, 편참나무이었다. 10~50% 미만은 물푸레나무, 때죽나무, 아그베나무, 버드나무, 졸참나무, 층층나무, 참느릅나무, 단풍나무 등이었고 10% 미만으로 감소한 수종은 뽕나무, 신갈나무, 이팝나무, 느티나무, 팽나무 등이었다. 개체수의 변화가 없는 수종은 굴참나무, 은행나무 등이었고 개체수가 증가한 수종은 당단풍나무, 상수리나무, 신나무, 갈참나무이었다.

식재종 중에는 외래종이 일부 포함되어 있었다. 편참나무의 경우는 원래 계획수종인 참나무류를 식재했어야 하나 잘못 식재하여 하자보수를 통해 정정 식재하였기 때문에 2007년 20주에서 2010년 1주로 대폭 감소하였다. 반대로 2009년 이후 꽃사과, 노무라단풍, 세로티나벚나무 등 외래종이 일부 식재된 것을 볼 수 있는데 이는 목표했던 자생종 수목과 유사한 외래종을 식재하였기 때문으로 판단된다.

식재수종의 개체수 감소는 주로 생육불량에 의한 고사로 인해 해당 수목을 제거했기 때문이었다. 전반적으로 개체수가 감소한 수종은 고사율이 높은 수종으로 볼 수 있는데 수종별로는 떡갈나무, 쪽동백나무, 팔배나무 등이 다수 고

사하였다. 떡갈나무와 팔배나무는 건조하고 척박한 토양에서 잘 자라며 쪽동백나무는 반음지에서 잘 자라는 생육특성을 가지고 있다(Kim *et al.* 2000). 고사가 많이 발생한 수종은 식재지가 배수불량으로 토양이 습하고, 양지의 조건을 가지고 있어 생육특성에 적합하지 않게 식재된 종들이었다. 고사 원인은 이식 당시 수급된 수목의 생육상태, 토양조건, 사후관리 등의 원인이 종합적으로 작용한 것으로 판단되었다. 특히 기존 논경작지, 집수구역, 습지 등의 습한 토양조건과 배수가 어려운 지역에 식재한 수목들이 다수 고사하였고, 건물을 철거하고 난 이후의 척박한 토양에서 영양부족으로 고사가 발생하는 것으로 판단되었다.

### 2) 관목

생태복원지 고정조사구 내 관목 개체수를 조사하여 수종 변화를 파악하였다. 관목식재지는 감소율 100%인 수종이 개취망나물, 고광나무, 병꽃나무, 생강나무, 수국류, 철쭉류 등이었고, 50~100% 미만인 수종은 꼬리조팝나무, 붉나무, 수국류, 조팝나무 등이었다. 감소율 50% 미만 수종은 찔레꽃, 국수나무 등이었다. 관목의 경우 전체적으로 초기 식재한 수종이 모니터링 당시 대부분 발견되지 않았다. 이는 수고가 낮은 관목을 저밀도로 식재한 이후 초장이 긴 초본들의 급속한 성장으로 인해 관목을 피압하여 세력감퇴로 인해 전면 고사한 것으로 판단되었다.

찔레꽃, 국수나무 등 관목 식재종 중 감소율이 낮은 수종들은 선구수종이면서 이식에 강하고, 척박한 토양에서 잘 자라기 때문에(Kim *et al.* 2000) 초본과의 경쟁에서 세력을 유지할 수 있었던 것으로 판단되며 수국류, 조팝나무류는 이식은 보통이나 초본과의 경쟁에서 피복당한 후 세력이 급속히 약해져 고사한 것으로 판단된다. 관목류에 비해 수고가 높은 붉나무는 초본에 의한 피압은 거의 받지 않았으나 복원지 전체적으로 전면 고사가 진행되어 이식에 매우 취약한 것으로 판단되었다.

## 3. 식재밀도 변화

생태복원지의 식재밀도 변화는 2007년 복원 초기에는 20~38주/100m<sup>2</sup>, 평균 28주/100m<sup>2</sup>의 높은 식재밀도를 나타내고 있었다. 이후 2008년에는 전년도 복원지에서 고사목 발생으로 인한 개체수가 감소되었다. 또한 2차 사업대상지의 식재밀도가 10~21주/100m<sup>2</sup>로 전년대비 주수가 감소하여 평균 20주/100m<sup>2</sup>로 나타났다. 2009년은 고사목의 발생 및 하자보수로 인해 대상지별 개체수의 증감이 나타나고 있었고 신규로 조성된 청송-83, 포항시 입암리-493, 산청-02지역의 식재밀도가 10주/100m<sup>2</sup> 이하로 식재되어 평균 16주/100m<sup>2</sup>로 감소되었다. 2010년에는 신규대상지가 10~15주/100

Table 4. Change by species of tree planting-site in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Specific name                                   | Restoration time | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Rate of change(%) | Exotic species |
|---|------------------|------|------|------|------|-------------------|----------------|
| <i>Quercus aliena</i>                           | 1st              | 26   | 12   | 7    | 10   | -61.5             | -              |
|   | 2nd              | -    | 25   | 22   | 18   | -28.0             | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 1    | 2    | 100.0             | -              |
| <i>Q. variabilis</i>                            | 2nd              | -    | -    | -    | 2    | 0.0               | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 2    | 2    | 0.0               | -              |
| <i>Prunus padus</i>                             | 1st              | 152  | 104  | 96   | 66   | -56.6             | -              |
|   | 2nd              | -    | 5    | -    | -    | -100.0            | -              |
| <i>Malus prunifolia</i>                         | 1st              | -    | -    | 2    | 1    | -50.0             | ○              |
| <i>Acer palmatum</i> var. <i>sanguineum</i>     | 1st              | -    | -    | 3    | 5    | 66.7              | ○              |
| <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>     | 1st              | 86   | 78   | 59   | 73   | -15.1             | -              |
|   | 2nd              | -    | 14   | -    | 1    | -92.9             | -              |
| <i>Zelkova serrata</i>                          | 1st              | 31   | 28   | 27   | 29   | -6.5              | -              |
| <i>A. palmatum</i>                              | 1st              | 132  | 104  | 72   | 68   | -48.5             | -              |
| <i>A. pseudo-sieboldianum</i>                   | 1st              | 54   | 48   | 69   | 75   | 38.9              | -              |
| <i>Pittosporum tobira</i>                       | 2nd              | -    | -    | -    | 1    | 0.0               | -              |
| <i>Pyrus pyrifolia</i>                          | 1st              | 2    | 2    | 3    | 10   | 400.0             | -              |
| <i>Styrax japonica</i>                          | 1st              | 43   | 34   | 29   | 36   | -16.3             | -              |
| <i>Q. dentata</i>                               | 1st              | 5    | 2    | 1    | -    | -100.0            | -              |
| <i>Cornus walteri</i>                           | 1st              | 8    | 8    | 2    | -    | -100.0            | -              |
|   | 1st              | 19   | 18   | 16   | 17   | -10.5             | -              |
|   | 2nd              | -    | 26   | 26   | 20   | -23.1             | -              |
| <i>Fraxinus rhynchophylla</i>                   | 3rd              | -    | -    | 2    | 2    | 0.0               | -              |
|   | 2nd              | -    | 59   | 51   | 33   | -44.1             | -              |
| <i>Salix koreensis</i>                          | 3rd              | -    | -    | 49   | 50   | 2.0               | -              |
|   | 1st              | 20   | 19   | 18   | 21   | 5.0               | -              |
| <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i>       | 2nd              | -    | 31   | 28   | 26   | -16.1             | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 20   | 22   | 10.0              | -              |
|   | 1st              | 261  | 207  | 197  | 206  | -21.1             | -              |
| <i>A. triflorum</i>                             | 2nd              | -    | 3    | -    | -    | -100.0            | -              |
|   | 1st              | 1    | 1    | -    | -    | -100.0            | -              |
| <i>Morus alba</i>                               | 1st              | 3    | 2    | 1    | 7    | 133.3             | -              |
|   | 2nd              | -    | 2    | 2    | -    | -100.0            | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 6    | 6    | 0.0               | -              |
| <i>P. serotina</i>                              | 1st              | -    | -    | -    | 51   | 0.0               | ○              |
| <i>Q. mongolica</i>                             | 1st              | 1    | -    | 1    | 1    | 0.0               | -              |
|   | 2nd              | -    | -    | -    | 1    | 0.0               | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 25   | 22   | -12.0             | -              |
| <i>A. ginnala</i>                               | 1st              | 49   | 47   | 49   | 51   | 4.1               | -              |
| <i>M. sieboldii</i>                             | 1st              | 34   | 29   | 21   | 21   | -38.2             | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 5    | 5    | 0.0               | -              |
| <i>Ginkgo biloba</i>                            | 3rd              | -    | -    | -    | 4    | 0.0               | ○              |
| <i>Chionanthus retus</i>                        | 2nd              | -    | -    | 27   | 27   | 0.0               | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 9    | 8    | -11.1             | -              |
| <i>Q. serrata</i>                               | 1st              | 36   | 19   | 12   | 32   | -11.1             | -              |
|   | 2nd              | -    | 30   | 21   | 21   | -30.0             | -              |
|   | 3rd              | -    | -    | 18   | 10   | -44.4             | -              |
| <i>S. obassia</i>                               | 1st              | 25   | 9    | 2    | -    | -100.0            | -              |
| <i>U. parvifolia</i>                            | 1st              | -    | -    | 16   | 10   | -37.5             | -              |
| <i>C. controversa</i>                           | 1st              | 39   | 16   | 23   | 26   | -33.3             | -              |
| <i>Sorbus alnifolia</i> var. <i>macrophylla</i> | 2nd              | -    | 57   | 44   | -    | -100.0            | -              |
| <i>Celtis sinensis</i>                          | 1st              | 27   | 23   | 28   | 25   | -7.4              | -              |
| <i>Q. palustris</i>                             | 1st              | 20   | 19   | 22   | 1    | -95.5             | ○              |

m<sup>2</sup>의 식재밀도를 나타내었고 기존 복원지는 개체수의 증감이 다양하게 나타나고 있었다. 평균 주수는 전년도와 동일한

16주/100m<sup>2</sup>로 나타났다.

Table 5. The number of individuals change synthesis of main planting species in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Number of individuals          |                           | Specific name  | Remarks               |
|--------------------------------|---------------------------|--|-----------------------|
| No change                      |                           | <i>Q. variabilis</i> , <i>G. biloba</i>  | -                     |
| Number of individuals increase |                           | <i>A. pseudo-sieboldianum</i> , <i>Q. acutissima</i> , <i>A. ginnala</i> , <i>Q. aliena</i>  | Modification planting |
| Number of individuals decrease | Under 10%                 | <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> , <i>Q. mongolica</i> , <i>C. retus</i> , <i>Z. serrata</i> , <i>C. sinensis</i>   | -                     |
|                                | More than 10%, Under 50%  | <i>F. rhynchophylla</i> , <i>S. japonica</i> , <i>M. sieboldii</i> , <i>S. koreensis</i> , <i>Q. serrata</i> , <i>C. controversa</i> , <i>U. parvifolia</i> , <i>A. palmatum</i> | -                     |
|                                | More than 50%, Under 100% | <i>M. prunifolia</i> , <i>U. davidiana</i> var. <i>japonica</i> , <i>A. triflorum</i> , <i>P. padus</i> , <i>Q. rubra</i>  | -                     |
|                                | All decrease              | <i>Q. dentata</i> , <i>C. walteri</i> , <i>M. alba</i> , <i>S. obassia</i> , <i>S. alnifolia</i> var. <i>macrophylla</i>   | -                     |

Table 6. Rate of change by planting species of shrub planting-site in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Specific name                                       | Restoration time | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | Rate of change(%) |
|---|------------------|------|------|------|------|-------------------|
| <i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i>   | 1st              | 349  | 65   | 31   | -    | -100.0            |
| <i>Philadelphus schrenckii</i>                      | 1st              | 75   | 17   | 5    | -    | -100.0            |
| <i>Stephanandra incisa</i>                          | 1st              | 377  | 173  | 133  | -    | -100.0            |
|   | 2nd              | -    | 25   | 25   | 18   | -28.0             |
| <i>Spiraea salicifolia</i>                          | 1st              | 123  | 84   | 53   | 10   | -91.9             |
| <i>Weigela subsessilis</i>                          | 1st              | 6    | -    | 1    | -    | -100.0            |
|   | 2nd              | -    | 31   | 30   | -    | -100.0            |
| <i>Rhus chinensis</i>                               | 1st              | 131  | 59   | 27   | 54   | -58.8             |
| <i>Lindera obtusiloba</i>                           | 1st              | 735  | 313  | 116  | -    | -100.0            |
|   | 2nd              | -    | 208  | 146  | 38   | -81.7             |
| <i>Hydrangea</i> spp.                               | 1st              | 709  | 46   | 33   | -    | -100.0            |
| <i>Spiraea prunifolia</i> for. <i>simpliciflora</i> | 1st              | 495  | 211  | 145  | 86   | -82.6             |
|   | 2nd              | -    | -    | 1    | -    | -100.0            |
| <i>Rosa multiflora</i>                              | 1st              | 117  | 60   | 60   | 60   | -48.7             |
| <i>Rhododendron</i> spp.                            | 1st              | 879  | 214  | 266  | -    | -100.0            |
| <i>Corylopsis coreana</i>                           | 2nd              | -    | 6    | -    | -    | -100.0            |

#### 4. 성장량 변화

표본목의 선정은 복원 이후 연차별 성장량을 확인할 수 있는 1차 사업 대상지에 한해 선정하였고 목편의 추출이 용이한 흉고직경 8cm 이상의 수목을 선정한 결과 팽나무 1주, 느티나무 2주, 느릅나무 1주, 물푸레나무 1주로 총 5주를 선정하였다. 성장량 분석결과 표본목은 2010년 현재 17~22년생으로 나타나 복원 당시에는 14~19년생 수목을 식재한 것으로 나타났다. 수목의 연차별 성장상태를 살펴보면 복원 사업 전의 성장량은 대체로 양호한 성장상태를 보이고 있었다. 안동 45-2의 느티나무는 복원 이후 1년 경과시 까지 매우 양호한 생육상태를 보이다가 2008년부터 성장량이 감소하였으며, 안동 45-1의 팽나무는 복원 직후 성장량이 다소 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내었다. 이외에 3개 수목은 모두 복원 이후 유사한 성장량을 유지하였는데, 복원 직후에는 성장량이 다소 감소하였다가 2008년 이후

다시 증가하는 경향을 나타내었다. 5개 수목의 성장량을 종합해보면 복원 사업 직후에는 이식에 따른 스트레스로 성장량이 다소 감소했다가 활착이 이루어짐에 따라 성장량이 안정화되고 있는 것으로 판단되었다.

#### 5. 흉고단면적 변화

생태복원지 수립대의 전체적인 성장변화량을 파악하기 위해 조사구별 모든 수목의 흉고직경(cm)을 측정하여 흉고단면적( $cm^2$ )을 산출한 후 이를 합산하여 연차별 변화량을 분석하였다. 대상지별로 살펴보면 1차 복원사업지는 조사구별로 증감이 다양하게 나타나고 있었으며 2, 3, 4차 복원사업지는 영천지역은 감소추세를 이외의 지역은 증가추세를 나타내고 있었다. 전체적으로는 2007년 복원직후에  $507.1 cm^2/100m^2$ 이던 것이 2008년에  $301.8 cm^2/100m^2$ 로 감소하였으며 이후에는  $324.9 cm^2/100m^2$ (2009년),  $372.7 cm^2/100m^2$ (2010

Table 7. Change of Planting density in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Site division                 | Site                                      | Plot No.                | Number of tree |      |      |      | Plot area (m <sup>2</sup> ) | Planting density (individual/100m <sup>2</sup> ) |      |      |      | Rate of change(%) (Comparison with the initial planting) | Restoration time |      |
|-------------------------------|---|-------------------------|----------------|------|------|------|-----------------------------|--|------|------|------|--|------------------|------|
|                               |   |                         | 2007           | 2008 | 2009 | 2010 |                             | 2007   | 2008 | 2009 | 2010 |  |                  |      |
| Near the Nakdong gang (River) | Andong-45                                 | 1                       | 121            | 90   | 92   | 106  | 500                         | 24   | 18   | 18   | 21   | -12.4  | 2007             |      |
|                               |   | 2                       | 40             | 39   | 39   | 38   | 200                         | 20   | 20   | 20   | 19   | -5.0   |                  |      |
|                               | Andong-47                                 | 1                       | 114            | 90   | 74   | 90   | 500                         | 23   | 18   | 15   | 18   | -21.1  | 2007             |      |
|                               |   | 2                       | 125            | 107  | 108  | 107  | 500                         | 25   | 21   | 22   | 21   | -14.4  |                  |      |
|                               | Near a branch of the Nakdong gang (River) | Yeongyang-23            | 1              | 112  | 103  | 64   | 61                          | 400  | 28   | 26   | -    | 15   | -45.5            | 2007 |
|                               |   | Yeongcheon-25           | 1              | 118  | 108  | 99   | 116                         | 400  | 30   | 27   | 25   | 29   | -1.7             | 2007 |
| 2                             |   |                         | 105            | 89   | 86   | 92   | 400                         | 26   | 22   | 22   | 23   | -12.4  |                  |      |
| Sancheong-04                  |   | 1                       | -              | 16   | 14   | 15   | 100                         | -  | 16   | 14   | 15   | -6.3   | In early 2008    |      |
|                               |   | 2                       | -              | 10   | 13   | 15   | 100                         | -  | 10   | 13   | 15   | +50.0  |                  |      |
| Cheongsong-83                 |   | 1                       | -              | -    | 30   | 27   | 400                         | -  | -    | 8    | 7    | -10.0  | In late 2008     |      |
|                               |   | 493, Ibam-ri, Pohang-si | 1              | -    | -    | 30   | 30                          | 400  | -    | -    | 8    | 8  |                  | 0.0  |
| Sancheong-02                  |   | 1                       | -              | -    | 37   | 32   | 400                         | -  | -    | 9    | 8    | -13.5  | In late 2008     |      |
|                               |   | 2                       | -              | -    | 40   | 44   | 400                         | -  | -    | 10   | 11   | +10.0  |                  |      |
| Forest area                   |   | Sancheong-14            | 1              | 115  | 81   | 57   | 60                          | 400  | 29   | 20   | 14   | 15   | -47.8            | 2007 |
|                               | 2   |                         | 115            | 93   | 76   | 83   | 300                         | 38   | 31   | 25   | 28   | -27.8  |                  |      |
|                               | Sancheong-43                              | 1                       | 101            | 87   | 81   | 89   | 300                         | 34   | 29   | 27   | 30   | -11.9  | 2007             |      |
|                               | Yeongcheon-02                             | 1                       | -              | 85   | 65   | 33   | 400                         | -  | 21   | 16   | 8    | -61.2  | In early 2008    |      |
|                               |   | 1                       | -              | 48   | 41   | 33   | 400                         | -  | 12   | 10   | 8    | -31.3  |                  |      |
|                               | Yeongcheon-04                             | 1                       | -              | 51   | 44   | 29   | 400                         | -  | 13   | 11   | 7    | -43.1  | In early 2008    |      |
|                               |   | 2                       | -              | -    | -    | -    | -                           | -  | -    | -    | -    | -  |                  |      |
|                               | Andong-01                                 | 1                       | -              | -    | -    | 61   | 400                         | -  | -    | -    | 15   | -  | 2009             |      |
|                               | Sancheong-25                              | 1                       | -              | -    | -    | 10   | 100                         | -  | -    | -    | 10   | -  | 2009             |      |
|                               |   | 2                       | -              | -    | -    | 12   | 100                         | -  | -    | -    | 12   | -  |                  |      |
| Average                       |   |                         | -              | -    | -    | -    | -                           | 28   | 20   | 16   | 16   | -16.0  | -                |      |

년)으로 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

수목의 생장은 시간이 경과함에 따라 직경, 수고, 흉고단면적 및 재적의 변화가 나타난다. 일반적으로 모든 수종은 직경이 증가함에 따라 직경생장은 양의 상관을 갖는다(Choi, 2011). 이러한 시간에 따른 수목의 생장은 일반적으로 S자형 곡선 형태를 나타낸다(Kim, 2004). 그러나 생태복원지의 경우 복원 직후 식재수목의 생장으로 흉고단면적이 증가하는 한편 고사목의 발생으로 개체수가 감소하는 등의 원인이 동일 대상지 내에서도 혼재되어 있기 때문에 자연상태의 수목 생장과는 차이가 나고 있었다. 따라서 향후 생태

복원 사업은 식재수목의 고사율을 최대한 낮추고 정상적인 생육이 이루어질 수 있도록 적극적 사후관리를 실시해야 할 것으로 판단되었다.

Table 8. Present condition of sample tree in Nakdonggang (River) riparian ecological restoration area

| Site          | Specific name                            | Height (m) | DBH (cm) | Age of tree |
|---------------|--|------------|----------|-------------|
| Andong-45-1   | <i>C. sinensis</i>                       | 4.7        | 8.5      | 17          |
| Andong-45-2   | <i>Z. serrata</i>                        | 5.5        | 14       | 18          |
| Andong-47     | <i>Z. serrata</i>                        | 6          | 10       | 16          |
| Yeongyang-23  | <i>U. davidiana</i> var. <i>japonica</i> | 5.5        | 10       | 17          |
| Yeongcheon-25 | <i>F. rhynchophylla</i>                  | 6.5        | 8        | 22          |

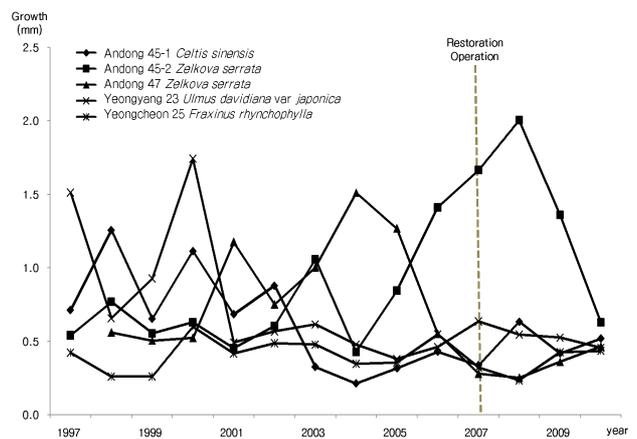


Figure 2. The growth change of the major tree in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

Table 9. The basal area change synthesis by target area in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

| Site                    | Plot | Basal area per plot(cm <sup>2</sup> ) |        |        |        |       | Plot area(m <sup>2</sup> ) | Basal area(cm <sup>2</sup> )/100m <sup>2</sup> |       |       |  |
|-------------------------|------|---------------------------------------|--------|--------|--------|-------|----------------------------|--|-------|-------|--|
|                         |      | 2007                                  | 2008   | 2009   | 2010   | 2007  |                            | 2008   | 2009  | 2010  |  |
| Andong-45               | 1    | 1934.4                                | 1592.4 | 2267.2 | 3448.3 | 500.0 | 386.9                      | 318.5  | 453.4 | 689.7 |  |
|                         | 2    | 895.8                                 | 835.2  | 997.9  | 1180.1 | 200.0 | 447.9                      | 417.6  | 498.9 | 590.0 |  |
| Andong-47               | 1    | 2008.0                                | 1608.7 | 1165.1 | 1874.1 | 500.0 | 401.6                      | 321.7  | 233.0 | 374.8 |  |
|                         | 2    | 1643.3                                | 1421.0 | 1556.3 | 2637.2 | 500.0 | 328.7                      | 284.2  | 311.3 | 527.4 |  |
| Yeongyang-23            | 1    | 2078.8                                | 1842.6 | 1201.4 | 1288.9 | 400.0 | 519.7                      | 460.6  | 300.3 | 322.2 |  |
| Yeongcheon-25           | 1    | 2081.2                                | 1608.2 | 1488.9 | 2242.0 | 400.0 | 520.3                      | 402.0  | 372.2 | 560.5 |  |
|                         | 2    | 2152.7                                | 1279.0 | 1180.1 | 1587.4 | 400.0 | 538.2                      | 319.7  | 295.0 | 396.9 |  |
| Sancheong-04            | 1    | -                                     | 213.1  | 342.3  | 361.9  | 100.0 | -                          | 213.1  | 342.3 | 361.9 |  |
|                         | 2    | -                                     | 111.5  | 401.1  | 416.1  | 100.0 | -                          | 111.5  | 401.1 | 416.1 |  |
| Cheongsong-83           | 1    | -                                     | -      | 781.3  | 856.8  | 400.0 | -                          | -  | 195.3 | 214.2 |  |
| 493, Ibam-ri, Pohang-si | 1    | -                                     | -      | 781.3  | 856.8  | 400.0 | -                          | -  | 195.3 | 214.2 |  |
| Sancheong-02            | 1    | -                                     | -      | 1515.9 | 1439.6 | 400.0 | -                          | -  | 379.0 | 359.9 |  |
|                         | 2    | -                                     | -      | 813.4  | 2024.3 | 400.0 | -                          | -  | 203.3 | 506.1 |  |
| Yeongcheon-02           | 1    | -                                     | 1434.0 | 1344.1 | 690.4  | 400.0 | -                          | 358.5  | 336.0 | 172.6 |  |
| Yeongcheon-03           | 1    | -                                     | -      | -      | -      | -     | -                          | -  | -     | -     |  |
| Yeongcheon-04           | 1    | -                                     | 959.5  | 760.9  | 673.0  | 400.0 | -                          | 239.9  | 190.2 | 168.2 |  |
|                         | 2    | -                                     | 625.4  | 571.3  | 358.8  | 400.0 | -                          | 156.4  | 142.8 | 89.7  |  |
| Sancheong-14            | 1    | 3147.0                                | 1187.7 | 781.9  | 955.9  | 400.0 | 786.7                      | 296.9  | 195.5 | 239.0 |  |
|                         | 2    | 1888.5                                | 1482.9 | 1204.2 | 1261.9 | 300.0 | 629.5                      | 494.3  | 401.4 | 420.6 |  |
| Sancheong-43            | 1    | 1535.6                                | 398.2  | 422.3  | 726.9  | 300.0 | 511.9                      | 132.7  | 140.8 | 242.3 |  |
| Andong-01               | 1    | -                                     | -      | -      | 1377.9 | 400.0 | -                          | -  | -     | 344.5 |  |
| Sancheong-25            | 1    | -                                     | -      | -      | 148.6  | 100.0 | -                          | -  | -     | 148.6 |  |
|                         | 2    | -                                     | -      | -      | 196.8  | 100.0 | -                          | -  | -     | 196.8 |  |
| Total                   |      | -                                     | -      | -      | -      | -     | 507.1                      | 301.8  | 324.9 | 372.7 |  |

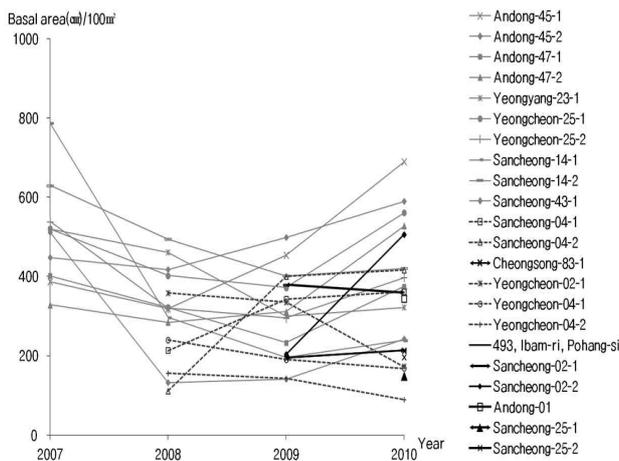


Figure 3. The basal area change by target area in Nakdonggang(River) riparian ecological restoration area

6. 종합고찰 및 식생관리 방안

1) 종합고찰

낙동강 수변 생태복원지의 복원 직후 4년간 모니터링을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 토양환경은 복원 이전 논이었던 지역은 복원 이후에도 수분함량이 높고 배수가 불량한 것으로 판단되었다. 반면 건폐지를 철거하고 복원한 지역은 토양이 매우 척박하여 이로 인한 생육불량 피해와 관련이 있는 것으로 판단되었다.

식재종 및 개체수 변화 분석 결과 당단풍나무, 상수리나무, 신나무, 갈참나무, 굴참나무, 은행나무는 비교적 개체수가 증가하거나 변화가 없었고 떡갈나무, 말채나무, 뽕나무, 쪽동백나무, 팔배나무는 100% 고사한 것으로 나타났다. 고사 원인은 이식 당시 수급된 수목의 생육상태, 토양조건, 사후관리 등의 원인이 종합적으로 작용한 것으로 판단되었다. 특히 기존 논경작지, 집수구역, 습지 등의 습한 토양조건과 배수가 어려운 지역에 식재한 수목들이 다수 고사하였고, 건물을 철거하고 난 이후의 척박한 토양에서 영양부족으로 고사가 발생하는 것으로 판단되었다. 관목 식재종은 대부분 고사하였는데 이는 관목의 수고가 낮아 식재 초기에 초본과의 경쟁에서 밀려 피압으로 인해 고사한 것으로 판단되었다.

식재밀도는 4년간 평균 28주/100m<sup>2</sup> → 20주/100m<sup>2</sup> → 16주/100m<sup>2</sup> → 16주/100m<sup>2</sup>로 감소하였다. 생장량은 복원

사업 직후 이식에 따른 스트레스로 생장량이 다소 감소하였으나 이후 활착이 이루어짐에 따라 안정화되는 경향을 나타내었다. 흉고단면적 변화는 2007년 복원직후에 507.1cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>이던 것이 2008년에 301.8cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>로 감소하였으며 이후에는 324.9cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>(2009년), 372.7cm<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>(2010년)으로 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

2) 식생관리 방안

낙동강수계 매수토지 생태복원지는 수질개선을 위한 복원사업이라는 특수성으로 인해 수질에 악영향을 주는 요인을 최소화하는 방향으로 복원을 수행하고 있었다. 생태복원지의 취지는 오염원의 제거 및 양호한 수립대의 형성을 통한 점진적인 수질개선 효과 증진에 있으므로 수목의 고사율을 낮추고 안정적인 세력을 확보할 수 있도록 관리가 필요한 것으로 판단되었다.

생태복원지 식재수목의 고사율을 낮추기 위해서는 우선 토양습도를 고려한 수종의 선정과 대상지 여건을 고려한 적정 식재구조의 선택이 필요하다. 생태복원지는 실시설계 과정에서 정밀한 기반환경에 대한 조사가 이루어져야 하는데 특히 토양층위구조를 조사하여 수목생육 유효토심 여부를 파악하고 토양습도 파악을 통한 적정 식재수종의 선정이 이루어져야 한다. 토양습도에 따른 수종의 선정은 토양이 건조할 경우 졸참나무, 상수리나무 등 건조지성 낙엽활엽수를 식재하고 습윤할 경우에는 물푸레나무, 갈참나무 등 습윤지성 낙엽활엽수 식재가 필요하다(Han et al., 2009).

낙동강 생태복원지는 낙엽활엽수 식재지 하부에 관목을 저밀도로 식재하는 형태와 대면적의 저밀도 관목식재지, 초본식재지의 유형으로 주로 조성되었다. 그러나 교목 이외의 관목과 초본식재지는 초본에 의한 피압으로 대부분이 고사하는 문제점이 발생하고 있었다. 또한 토지매수의 특성상 경작지 내부의 소규모 토지들이 점적으로 매수되는 경우가 빈번하여 경작지로 둘러싸인 지역의 교목 식재지 주변 경관과 어울리지 않는 상황이었다. 이상의 문제점을 고려하였을 때 생태복원 시 낙엽활엽수 식재지는 대상지 경계부로 관목을 고밀도로 식재하고 내부는 교목만을 식재할 필요가 있다. 이는 대상지의 초본관리를 효율적으로 할 수 있게 함과 동시에 관목의 세력형성을 도모할 수 있다. 밭과 논으로 둘러싸인 매수토지는 교목 수립대를 조성할 경우 주변과 이질적인 경관을 형성하므로 교목식재는 지양하도록 한다. 밭 내부의 매수토지는 대상지 경계부로 관목을 식재하고 내부는 초지로 유지하되 주기적인 초본관리를 시행하도록 한다. 논 내부 지역은 수목 식재시 배수불량으로 인한 고사가 발생하므로 습지성 초본식생지로 유지할 수 있도록 관리해야 한다.

생태복원지 식재종 중에는 일부 외래종이 식재되어 있었

는데 이는 복원의 근본 취지와 맞지 않으므로 기존 외래종 수목은 자생종으로 교체하고 향후 수목 식재시에도 정확한 수종의 식재가 이루어져야 필요하다. 생육상태가 양호한 수목의 선정을 위해서는 수목 수급시 전문인력이 계약이 체결된 묘포장을 직접 방문하여 생육상태 및 수형이 양호한 수종을 선택하는 과정이 반드시 이루어져야 한다. 생태복원 사업 시행 시 다양한 자생수종을 다량 확보할 수 없어 계획 수종이 변경되어 계획의 취지가 저감되고 있으며 이를 매수토지 내에서 자체적으로 해결할 수 있는 방안의 모색이 필요하다. 따라서 급증하고 있는 생태복원지의 원활한 복원을 위해서는 자생종 수목을 효율적으로 공급할 수 있는 자체 양묘장을 조성해야 할 것으로 판단되었다.

인용문헌

Choi, J.K.(2011) Development of Allometry and Individual Basal Area Growth Model for Major Species in Korea. Journal of Forest Science 27(1): 47-54. (in Korean with English abstract)

Choi, J.Y.(2002) Water Environmental Management of Ecological restoration - A Case of Riparian Green Buffer Zone -. Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering 20: 21-23. (in Korean with English abstract)

Han, S.J., H.J. Kim and Y.H. You(2009) Selection on Tolerant Oak Species to Water Flooding for Flood Plain Restoration. Journal of Wetlands Research 11(2): 1-7. (in Korean with English abstract)

Han., B.H., S.C. Park, J.I. Kwark, B.H. Kim and K.J. Lee(2011) Biotope Mapping of *Pinus densiflora* Based on Growth Environment of *Tricholoma matsutake* - A Case Study of Yangyang-gun, Kang Won-do -. Kor. J. Env. Eco. 25(2): 211-226. (in Korean with English abstract)

Kang, H.K. and S.H. Hong(2010) A Study of Ecological Change Aspects in Tancheon Ecological Landscape Conservation Area, Seoul. J. Kor. Soc. People Plants Environ. 13(4): 23-32. (in Korean with English abstract)

Keefer, R.F.(2000) Handbook of Soils for Landscape Architects. Oxford University Press, 240pp.

Kim, H.(2004) Developing Stand Growth Models for *Chamaecyparis obtusa* Stands. Graduate School, College of Agriculture Chonbuk National University, 47pp. (in Korean with English abstract)

Kim, H.J., B.K. Shin, Y.H. You and C.H. Kin(2008) Selection on Tolerant Oak Species to Water Flooding for Flood Plain Restoration. Kor. J. Env. Eco. 22(5): 564-594. (in Korean with English abstract)

Kim, J.H. and K.J. Lee(2009) Monitoring on vegetation structure for ecological restoration of small stream in paju. Journal of the Environmental Sciences 18(1): 99-111 (in Korean with

## English abstract)

- Kim, K.H., J.Y. Yun and S.H. Yoo(1995) Distribution of Cs-137 and K-40 in Korean Soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 28(1): 33-40.
- Kim, Y.S., K.J. Song, Y.H. An, K.K. Oh, K.J. Lee and Y.M. Lee(2000) Handbook of Korean Landscape Woody Plants. Gwangil Publisher, 382pp. (in Korean)
- Lee, C.S., S.K. Hong, H.J. Cho and J.M. Oh(1999) The Technology of Restoring the Natural Environment. Donghwagisul, 287pp. (in Korean)
- Monk, C.D., G.I. Chil and S.A. Nicholson(1969) Species Diversity of a Stratified Oak-hickory Community. *Ecology* 50(3): 468-470.
- Park, J.H.(2011) Investigation on the Enhancement of Water Purification Functions in Forest Watershed. The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology 4(4): 72-81. (in Korean with English abstract)
- Pinay, G. and H. Decamps(1988) The role of riparian woods in regulating nitrogen fluxes between the alluvial aquifer and surface water a conceptual model. *Regulated River* 2: 507-516.
- Suh., J.S., J.S. Kwon and G.H. Chon(2003) Effects of Parent Rocks on soil Microbial Diversity. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(3): 127-133. (in Korean with English abstract)