

생장량 분석을 기반으로 한 수변지역 식재수목의 집중관리시기 설정 연구¹

- 낙동강 수변생태벨트의 식재 소나무를 중심으로 -

이수동² · 강현경^{3*} · 송광섭⁴

Setting of Intensive Management Timing for Planting Trees in the Riverine Zone

Based on Growth Analysis¹

- Focusing on Planting of *Pinus densiflora* in the Nakdong River's Riverine Ecobelt -

Soo-Dong Lee², Hyun-Kyung Kang^{3*}, Kwang-Seop Song⁴

요약

식재된 수목이 활착되기 위해 소요되는 시간은 수종별로 차이가 있기 때문에 개별 수종에 대한 성장량 변동 추이 분석을 통해 관리 기간을 설정할 필요가 있다. 이에 본 연구는 수변생태벨트 조성 지역에 식재된 소나무의 연간 성장량 변화 분석 자료를 바탕으로 관리 기간을 제안하고자 하였다. 성장량을 분석한 결과, 식재 전에는 평균 0.6cm, 식재 후 1~2년차 0.3cm, 3~4년차 0.5cm, 5년차 이후에는 약 0.7cm 내외였다. 식재된 소나무의 성장량은 1~2년차 성장 불량, 3~4년차 회복 단계를 거쳐, 5년차부터 정상 성장 단계가 확인되었기 때문에 활엽수와는 달리 최소 4년은 집중관리가 필요한 기간으로 판단되었다. 수목별 활착에 필요한 기간은 차이가 있을 수 있기 때문에 성장량 연구를 통해 수종별 관리 기간을 설정해야 할 것이다.

주요어: 관리 기간, 연간 성장량 분석, 정상 성장 단계, 성장량 연구

ABSTRACT

It is necessary to set a management period by analyzing growth trends for individual species because the time taken for planted trees to become established differs by species. The purpose of this study was to suggest an appropriate management period through the analysis of the annual growth of *Pinus densiflora* planted in the riverine eco belt. The average annual growth before planting was 0.6cm. The growth after planting showed an increase of 0.3cm in the 1st and 2nd year, 0.5cm in the 3rd and 4th year, and 0.7cm after the 5th year. Since *P. densiflora* was confirmed to go through poor growth stages in the 1st and 2nd year, a recovery stage in the 3rd and 4th year, and a normal growth stage in the 5th year, management should pay more attention to improve inappropriate environmental conditions until at least the 4th year, unlike the growth of hardwood. Since the

1 접수 2021년 2월 4일, 수정 (1차: 2021년 3월 5일), 게재확정 2021년 3월 12일

Received 4 February 2021; Revised (1st: 5 March 2021); Accepted 12 March 2021

2 경상국립대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Gyeongsang National University, 52725, Korea (ecoplan@gnu.ac.kr)

3 상명대학교 그린스마트시티학과 부교수 Dept. of Green Smart City, Sangmyung University, 31066, Korea (hkkang@smu.ac.kr)

4 스페이스웨어(주) 팀장 Spaceware Inc., 34028, Korea (space.kssong@gmail.com)

* 교신저자 Corresponding author: hkkang@smu.ac.kr

period required for activation by species may vary, the management period of each species will need to be set through growth research.

KEY WORDS: MANAGEMENT PERIOD, ANALYSIS OF THE ANNUAL GROWTH, NORMAL GROWTH STAGE, GROWTH RESEARCH

서론

기상관측 기간이 짧은 경우 장기적인 기후 변동을 이해하기 위해서는 다른 방법이 필요하다고 하였는데(Köse *et al.*, 2017), 나이트는 기후와 성장량과의 관계를 분석하는 연륜연대학에서 핵심 요소로서 대기후의 맥락을 해석할 실마리를 제공할 수 있다(Allena *et al.*, 2018). 장기적인 기후 변동을 이해하기 위해서 다른 방법도 적용할 수 있으나 나이트를 기후 대체물로 활용할 수 있다(Köse *et al.*, 2017). 지난 40년 동안 북반구 고위도에서 온도에 대한 수목의 성장 감수성 감소는 대기 구성과 지구 온난화의 인위적인 변화와 관련이 있다고 밝힌 바 있다(Schneider *et al.*, 2013). 또한, 연륜 성장량은 건조, 습윤, 토양 조건 등 외부 환경 조건에 대한 적응 정도를 평가할 수 있으므로(Lee *et al.*, 1993; Jo *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2018), 20세기 동안의 환경 변화에 대한 근거를 충분히 제공할 수 있을 것이다(Köse *et al.*, 2017). 따라서, 생태 복원지에 식재된 수목의 성장량을 파악함으로써 환경 변화 뿐만 아니라 변동 추이를 기초로 관리 기간도 제시할 수 있을 것으로 판단되었다.

한편, 수목 성장에 악영향을 미치는 요인으로는 식재 부적기의 공사, 환경적 요인, 생리적 요인, 인위적인 피해, 관리 부실 등으로 구분할 수 있다(Ahn and Kim, 1984). 수목 피해는 수관변형, 가지 및 수피 고사 등 수목건강도와 수세를 통해 판단할 수 있는데, 토양 환경 중에서는 답압, 습도가 수세와 높은 상관관계를 나타내기 때문에 생육 저하는 토양과의 연관성이 높다(Lee *et al.*, 2013). 답압으로 인해 발생하는 토양 경화는 미생물의 활동을 저해하여 성장불량을 초래할 수 있다(Shin *et al.*, 2014). 그 외에 고밀도의 식재는 물질생산 및 분배를 악화시켜 생육이 불량하게 될 수 있고 장기적으로는 수관이 겹칠 수 있기 때문에 저밀도가 성장에 유리하다고 하였다(Lee *et al.*, 2009). 결과적으로 식재된 수목을 효율적으로 관리하기 위해서는 수종, 규격, 상태, 훼손 여부에 대한 기준을 제시하는 것이 필요하다고 하였는데(Lee *et al.*, 1993), 나이트는 기후 및 토양 환경 조건을 반영하는 대체물로서의 가치 뿐만 아니라 성장량 분석을 통해 수종별 관리 시기를 제안하는 분야에서도 활용 가능할 것으로 판단된다.

수목 성장량과 관련된 연구는 식재된 수목과 자연림을 대상으로 연간 성장량, 관리 시기, 성장 위해 요인 등을 파악하기

위하여 수행된 바 있다. 성장량 연구로는 주요 조경수종인 느티나무, 단풍나무, 왕벚나무, 은행나무, 소나무 및 잣나무를 대상으로 연평균 성장량을 분석한 결과 0.84cm라고 제시하였다(Jo and Ahn, 2012; Jo *et al.*, 2013). 낙엽활엽수와 상록 침엽수를 구분하여 접근한 연구에서 전자에 속하는 단풍나무, 이팝나무, 은행나무, 살구나무, 느티나무 등은 연평균 0.72cm, 후자에 속하는 전나무, 소나무, 잣나무 등은 연평균 0.83cm 성장하는 것으로 나타났다(Jo and Park, 2017). 굴취한 수목의 연간 성장량은 느티나무 0.99cm, 왕벚나무 0.91cm, 은행나무 0.72cm, 단풍나무 0.64cm 등이었고 산림에 자생하는 낙엽활엽목종은 0.67cm인 것으로 분석한 바 있다(Jo and Ahn, 2012). 강원도 양구, 인제 및 경기도 광릉시험림, 충남 서천, 예산, 경북 영덕, 울진 등의 10개 지역에서 조사된 소나무의 연간 성장량은 0.17~0.35cm(Chung *et al.*, 2017)이었으며 Shin and Chun(1996)에 의하면 소나무의 연간 성장량은 0.32~0.41cm로 나타났는데 4-5월 강수량의 증가가 성장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 밝힌 바 있다. Seo *et al.*(2009a; 2009b)의 경우 충북지방의 소나무는 0.15cm, 충남지역은 0.19cm로 분석한 바 있는데, 3영급에서 성장이 가장 좋은 반면, 장령림(5-9영급)에서는 큰 변동없이 일정한 상태를 유지하다가 노령림으로 갈수록 성장량이 줄어드는 패턴을 보인다고 하였다. 수목의 연간 성장량은 수종과 지역에 따라 달라지는 것으로 나타났는데, 이는 수목의 성장은 외부 환경 조건에 영향을 받는다고 한 Allena *et al.*(2018), Köse *et al.*(2017), Schneider *et al.*(2013)의 연구 결과에서도 확인할 수 있다. 수변녹지와 관련해서는 본연의 기능 증진을 위해서는 조성 후에도 식재 수목 성장 추이, 위해 식물 유입 및 경합 등을 관찰하는 것이 필요하다고 하였다(Jo and Park, 2016). 성장 불량의 외적인 원인으로 과잉 복토에 따른 뿌리 호흡 장애, 뿌리분의 진흙 보토, 뿌리분 과소 및 세균 부족 등을 지적한 바 있는데(Jo and Park, 2016), 외부 조건이 양호함에도 각각의 식재된 수목은 적응하는데 일정 시간이 소요되는 것이 일반적이다. 식재된 수목이 활착되기 위해 소요되는 시간은 수종별로 차이가 있기 때문에 개별 수종에 대한 성장 변동 추이 분석을 통해 관리 기간을 설정할 필요가 있다. 이에 본 연구는 수변생태벨트 조성 지역에 식재된 소나무의 연간 성장량 변화 분석을 통해 적절한 관리기간을 제안하고자 한다.

연구내용 및 방법

낙동강수계 수변생태벨트에 대한 토지매수는 2006년 4,517 m²를 시작으로 매년 105~2,512m²씩 매수하였으며, 2016년까지 매수된 토지 14.373km² 중 2018년까지 7.198km²가 생태적으로 복원되었다(www.me.go.kr). 수변생태벨트 조성사업은 상수원 수질관리에 직접적인 영향을 미치는 공장·축사·식당 등 오염물질 배출원을 매입하여 녹지대를 조성하고 오염물질을 정화시키는 등, 완충지대로서의 역할을 수행하는 것을 말한다. 이용을 고려한 도심형을 제외하면 수질 정화 및 생물다양성 증진에 기여하기 위해 습지, 숲 등으로 복원되고 있다.

수계관리를 위한 토지매수는 2004년부터 이루어졌으며 복원은 2005년부터 진행되었다. 초기에 조성된 부지는 시범 사업으로서의 가치는 지녔으나 생장 불량, 고사 등 수종 선택의 문제점이 노출되어 연구대상지로서는 적정하지 않아 2006년 이후 조성된 복원지에 식재된 소나무를 대상으로 표본목을 선정하고자 하였다. 표본 식물종으로서 우리나라 역사, 문화의 주요한 식생경관요소로 문화경관(Cho *et al.*, 2012)을 형성해 온 소나무를 대상으로 하였다. 숲으로 복원한 대상지 중 산청군 단성면 사월리 1271-2번지 일원(2006년), 산청읍 내리 78번지 일원(2007년), 산청군 단성면 호리 478-4번지 일원(2008년) 등이 조성된 지 약 10년 이상인 부지로 파악되었으나 습윤지성

Table 1. Results of growth analysis by year

(unit : cm)

Classification	Before planting					After planting							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Min.	0.21	0.22	0.09	0.08	0.16	0.13	0.19	0.16	0.37	0.45	0.38	0.48	0.30
1st Qu.	0.44	0.37	0.16	0.14	0.30	0.35	0.50	0.27	0.52	0.57	0.60	0.58	0.43
Median	0.60	0.54	0.21	0.26	0.44	0.52	0.72	0.44	0.77	0.75	0.70	0.76	0.57
Mean	0.60	0.58	0.31	0.35	0.51	0.58	0.75	0.50	0.74	0.83	0.81	0.82	0.65
3rd Qu.	0.76	0.74	0.24	0.56	0.73	0.79	1.00	0.67	0.98	1.17	1.00	0.96	0.82
Max.	1.11	0.97	1.69	1.02	1.14	1.14	1.34	1.25	1.22	1.30	1.39	1.42	1.31



Figure 1. The location map of study site

낙엽활엽수림대를 조성하기 위하여 갈참나무, 귀룽나무, 느릅나무, 이팝나무, 팽나무, 버드나무 등을 식재하였고 소나무는 식재하지 않았다. 따라서 비슷한 시기인 2008년에 면적 약 28,479㎡로 조성한 산청군 단성면 중촌리 839-1번지 일원에 갈참나무, 느릅나무, 소나무 등이 식재되어 있어 이 지역을 대상으로 성장추를 활용하여 소나무 32주의 목편을 추출하였다. 본 연구는 2018년 7월에 목편 채취를 실시하였으며, 수목의 성장 상태를 측정·분석하였다. 식재 수목의 조성 당시 규격은

근원직경 4~10cm인 소나무 뿐만 아니라 갈참나무, 느릅나무 등 낙엽활엽수를 혼합하여 식재하였는데, 성장 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 조성된 지 약 10년이 경과하여 식재 후 소나무의 성장 상태를 분석하기에는 적합한 것으로 판단되었다. 식재 수종 중 생장이 불량한 일부 개체목의 경우 복원지 환경에 적응하지 못한 도태목으로 판단하여 표본에서 제외한 후, 평균 흉고직경급 이상에 해당되는 교목층 수목에 대해서만 목편을 채취하였다. 식재한 수목으로 수고가 낮아 8m까지 측

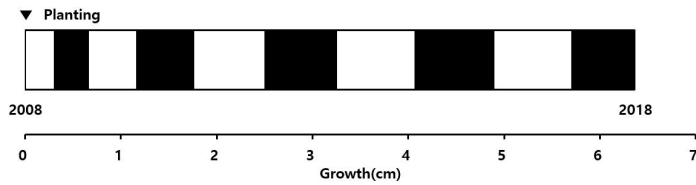


Figure 2. Annual growth graph of *Pinus densiflora*

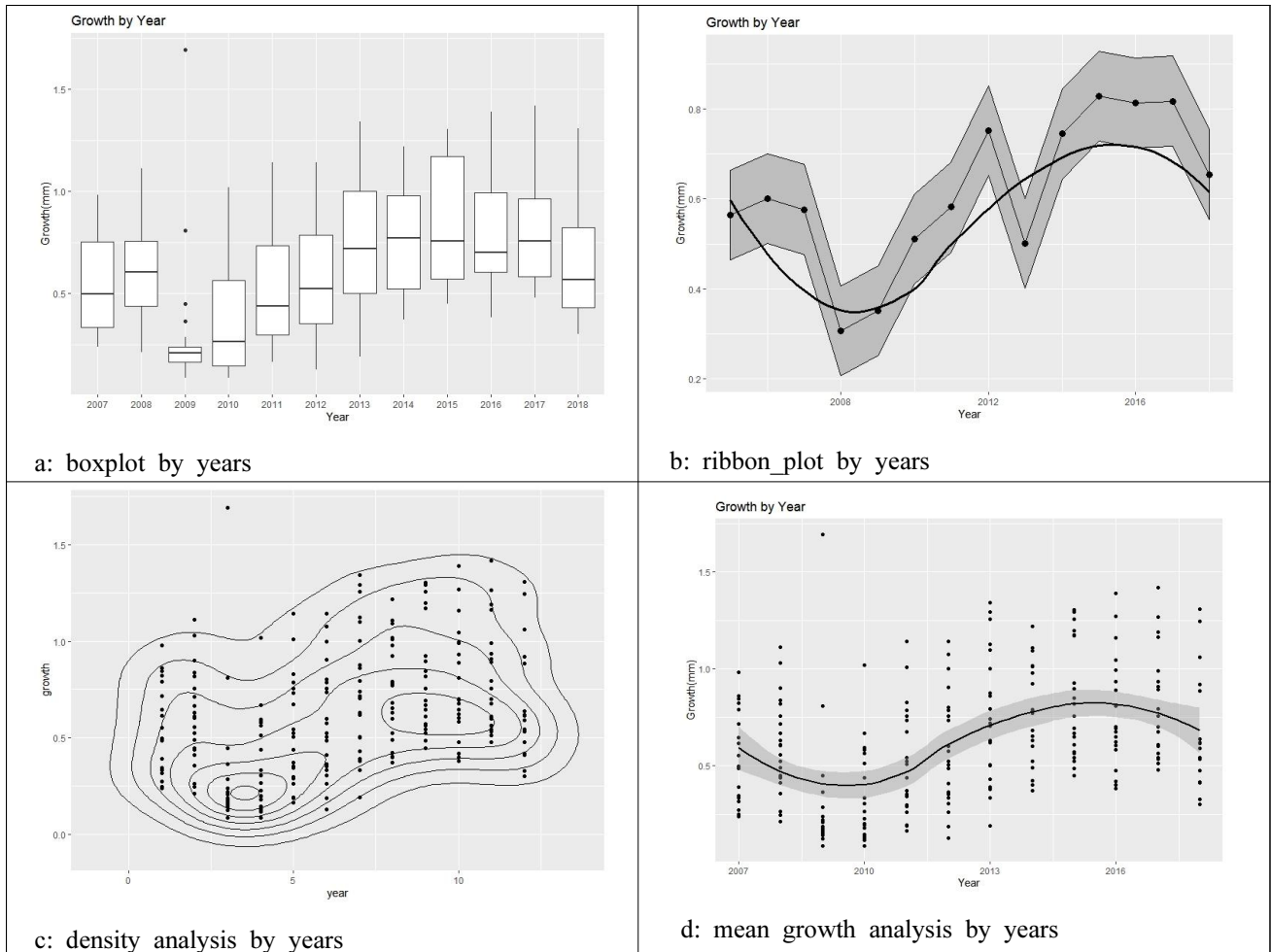


Figure 3. Graph of changes in growth volume for 2 years before planting and 10 years after planting

정할 수 있는 수고측정기(SK逆目盛檢測桿)를 사용하였고 흉고직경은 직경테이프를 활용하였다. 성장량 측정을 위해 지상 1.2~1.5m의 가슴높이에서 직경 5.15mm인 하그로프 성장추(MORA Sweden Haglof Tree Core)를 이용하여 목편을 추출하였는데, 정확한 수령 파악이 가능하도록 수(pith)를 관통하도록 채취하였다. 수령 측정은 정확한 생육 연도를 파악하고자 크로스 데이팅(cross-dating)을 실시하였으며, 인위적 간섭이 수목의 성장에 미치는 영향을 파악하기 위해 연륜연대학기법을 활용하였다(Fritts, 1976). 소나무의 경우 춘재와 추재의 구분이 용이하여 이들의 결합을 1년 성장한 것으로 판단할 수 있다. 이를 바탕으로 채취한 목편을 모눈종이에 표기한 후, AutoCAD LISP 프로그램을 이용하여 연도별 성장량을 숫자로 변환하여 통계분석에 활용하였다. 식재 전과 식재 후의 성장량 차이가 통계적으로 유의한지를 확인하고자 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 성장량 차이가 통계적으로 유의한 경우 연도별 성장량이 상이해지는 구간을 확인하고자 사후분석(PostHocTest)을 실시하였다. 통계분석은 R3.6.1 프로그램을 활용하여 분석하였다. 성장량 차이, 통계 분석 자료 등을 바탕으로 식재 후 관리시기를 제안하고자 한다.

결과 및 고찰

1. 일반적 개황

소나무 표본목 32주의 규격 및 수령, 성장량을 살펴보면 (Table 1, Figure 2), 흉고직경급(DBH)은 평균 17.1(11~27)cm, 수고는 평균 6.8(4.5~10)m, 수령은 평균 15.7(14~20)년인 것으로 분석되었다. 2007년 식재 전 연간 성장량은 약 0.6(0.21~1.11)cm이었으며 식재 후 1~2년차에는 약 0.3(0.08~1.69)cm, 3~4년차에는 약 0.5(0.13~1.14)cm, 5년차 이후 부터는 약 0.7(0.16~1.42)cm 이상 직경 성장한 것으로 분석되었다. 식재된 소나무의 연간 성장량을 0.8cm 이상이라고 제시한 Jo and Ahn(2012), Jo *et al.*(2013), Jo and Park(2017)의 연구결과와 비교하면 식재 후 4년차까지는 미치지 못하였으나 식재 전과 식재 후 5년이 지난 시점의 연간 성장량은 약 0.7cm로 유사하였다. 자연 상태에서 생육하는 소나무의 연륜 생장은 연간 0.17~0.35cm(Chung *et al.*, 2017), 0.32~0.41cm(Shin and Chun, 1996), 0.15~0.19cm(Seo *et*

al., 2009a) 등으로 제시된 바 있으며, 유령목일수록 생장이 양호하다고 하였는데 식재 후 1년차와 유사하였으나 그 외의 기간과는 차이가 있었다. 이는 자연상태에서 다른 수종 또는 개체목과의 경쟁이 심한 것과는 달리 복원지는 초기에 토양 환경 및 수목의 밀도 관리가 어느 정도 이루어졌기 때문에 자연림보다는 식재한 소나무의 생장이 양호한 것으로 분석되었다. 이러한 현상은 자연 상태와는 달리 외부 환경 조건의 영향을 덜 받기 때문인 것으로 판단되었다(Allena *et al.*, 2018).

Figure 3(a~d)은 식재 전 2년과 식재 후 10년간의 성장량 변화 추이를 그래프로 표현한 것이다. 대부분이 30년 이내의 수령으로 흉고직경은 최대 17.5cm, 수고는 최대 9.0m로 생육 초기 상태의 수목인 것으로 분석되었다. 연간 평균 성장량의 경우 식재 전후를 비교한 것을 살펴보면, 1~2년차에서 가장 생장이 불량하였으나 3년차 부터는 양호해지기 시작하여 5년차에는 완전히 회복되는 것으로 나타났다. 밀도를 분석한 그림 3(b~d)에서도 1~2년차에 생장이 불량하였다가 3~4년차에 어느 정도 회복한 이후 5년차에는 정상적인 생육을 하는 것으로 확인되었다.

2. 식재 전과의 성장량 비교

소나무의 식재 전후 성장량 차이가 유의미한지를 확인하고자 ANOVA 분석을 실시하였다. 유의미한 결과가 도출된 이후 연도별 차이를 확인하고자 사후분석(PostHocTest)을 실시하였다. 식재한 직후인 2009년과 식재전과의 성장량을 비교한 결과(Table 2), 95% 신뢰수준에서 p-value가 0.0092로 집단 간 평균의 차이가 없다는 가설을 기각할 수 있는 것으로 나타나 사후분석을 실시하여 차이를 확인하였다.

사후분석을 실시한 결과(Table 3), 연도별 차이는 식재 직후인 2009년(X_04)과 식재 전인 2007년(X_02)과는 99% 신뢰수준에서 0.00076, 2008년(X_03), 2006년(X_01)과는 p-value가 각각 0.00189, 0.00795로 성장량의 차이가 없다는 가설을 기각할 수 있는 것으로 나타났다. 반면에, 식재 전 1~3년간인 2007년(X_02)과 2006년(X_01), 2008년(X_03)과 2007년(X_02)간의 성장량은 0.48991~0.77219로 차이가 없다는 가설을 기각할 수 없으므로 동일한 것으로 나타났다. 결과적으로 소나무는 식재 전까지 묘포장에서 양호한 생육 상태를 나타내었으나 이식한 직후에 생장이 불량해진 것으로 확인되었다.

Table 2. The analysis of One-way ANOVA for testing the difference in growth before and after planting

Division	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
layer	1	0.565	0.5647	7.125	0.0092**
Residuals	80	6.341	0.0793		

3. 식재 후 성장량 변화 비교

식재한 당해 연도부터 10년간의 연도별 성장량 차이가 유의미한지를 확인하고자 일원배치분산분석(Oneway ANOVA)을 실시한 결과가 Table 4이다. 식재한 직후인 2009년과 식재 후의 성장량을 비교한 결과 99% 신뢰수준에서 p-value가 3.27e-05로 집단 간 평균의 차이가 없다는 가설을 기각할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 식재 후 5년차 이후의 성장량을 비교한 결과 95% 신뢰수준에서 p-value 0.005 이하로 성장량의 차이가 없다는 가설을 기각할 수 있는 것으로

분석되어 결과적으로 성장량의 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 5은 식재 연도인 2009년과 2010~2013년간의 성장량 차이에 대한 ANOVA 검증 결과이다. 식재 후 1년차와 2년차는 p-value 0.6329로 차이가 없다는 가설을 기각할 수 없었으나 3~5년차까지는 각각 신뢰수준 95% 이상에서 0.0319~7.4e-06로 차이는 있는 것으로 나타났다. 2년차와 비교해보면 3년차와는 p-value 0.0927로 차이가 없다는 가설을 기각할 수 없었으나 4~5년차까지는 각각 신뢰수준 95% 이상에서 0.0161~4.8e-05로 차이는 있는 것으로 분석되었다.

Table 3. Posthoc multiple comparisons of means for the difference in growth between 2009 and 2006~2008 : Fisher LSD 95% family-wise confidence level

Classification	diff	lwr.ci	upr.ci	p_val
X_02-X_01	0.05966850	-0.1115651	0.23090211	0.48991
X_03-X_01	0.03531319	-0.1359204	0.20654680	0.68251
X_04-X_01	-0.23430312	-0.4055367	-0.06306952	0.00795**
X_03-X_02	-0.02435531	-0.1912532	0.14254256	0.77219
X_04-X_02	-0.29397163	-0.4608695	-0.12707376	0.00076***
X_04-X_03	-0.26961632	-0.4365142	-0.10271845	0.00189**

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.05 X_01: 2006, X_02: 2007, X_03: 2008, X_04 : 2009

Table 4. The analysis of One-way ANOVA for testing the difference in growth by year for 10 years from the year of planting

Division	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
layer	4	2.716	0.6789	7.32	3.27e-05***
Residuals	100	9.275	0.0928		

Table 5. Posthoc multiple comparisons of means for the difference in growth between 2009 and 2010~2013 : Fisher LSD 95% family-wise confidence level

Classification	diff	lwr.ci	upr.ci	p-val
Y_02-Y_01	0.04502534	-0.14144050	0.2314912	0.6329
Y_03-Y_01	0.20456163	0.01809579	0.3910275	0.0319*
Y_04-Y_01	0.27510510	0.08863926	0.4615709	0.0042**
Y_05-Y_01	0.44459891	0.25813307	0.6310648	7.4e-06***
Y_03-Y_02	0.15953629	-0.02692956	0.3460021	0.0927
Y_04-Y_02	0.23007976	0.04361392	0.4165456	0.0161*
Y_05-Y_02	0.39957357	0.21310773	0.5860394	4.8e-05***
Y_04-Y_03	0.07054348	-0.11592236	0.2570093	0.4547
Y_05-Y_03	0.24003729	0.05357144	0.4265031	0.0122*
Y_05-Y_04	0.16949381	-0.01697203	0.3559597	0.0743

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 Y_01 : 2009, Y_02 : 2010, Y_03 : 2011, Y_04 : 2012, Y_05 : 2013

3년차와 비교해보면 4년차와는 p-value 0.4547로 차이가 없다는 가설을 기각할 수 없었으나 5년차와는 신뢰수준 95%에서 0.0122로 차이가 있는 것으로 확인되었다. 4년차와 비교해보면 5년차와는 p-value 0.0743으로 차이가 없다는 가설을 기각할 수 있는 것으로 나타났다. Table 6은 던칸(Duncan's) 다중비교검정을 통해 성장시기를 그룹화한 결과, 식재 후 1~3년차는 5년차와 다른 그룹으로 묶인 것으로 나타났다. 다만 4년차는 각각 3년차와 5년차와 그룹으로 묶인 것으로 확인되었는데 이는 회복되는 단계로 인해 나타난 결과로 판단되었다. 결과적으로 식재 후, 3년차까지는 적극적인 관리 행위가 이루어져야 할 것이며 4년차의 경우 성장에 대한 모니터링을 통해 관리여부를 결정해야 할 것이다.

Table 6. Duncan's new multiple range test for growth

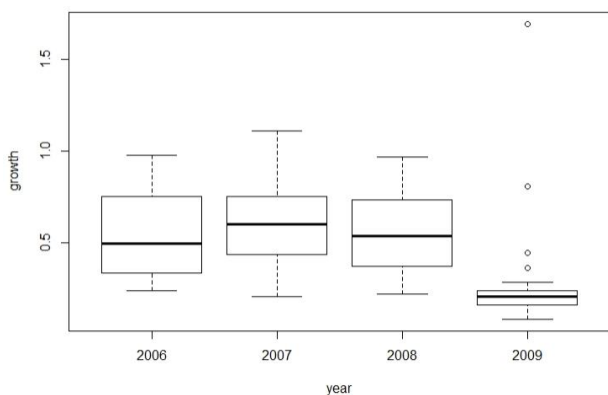
Classification	Mean growth	Groups
Y_01(2009)	0.3068561	d
Y_02(2010)	0.3518814	cd
Y_03(2011)	0.5114177	bc
Y_04(2012)	0.5819612	ab
Y_05(2013)	0.7514550	a

이상을 종합해보면 낙동강수변 생태벨트복원시 식재한 소나무의 경우 식재한 연도에 성장량이 가장 불량한 것으로 나타났으나 시간이 흐를수록 회복되는 것으로 나타났다. 식재 후 2년차까지는 생장이 상당히 불량한 것으로 나타났으며 3년차부터 회복되는 것으로 분석되었으나 5년차에 가서야 정상적인 회복을 보이는 것으로 판단되었다.

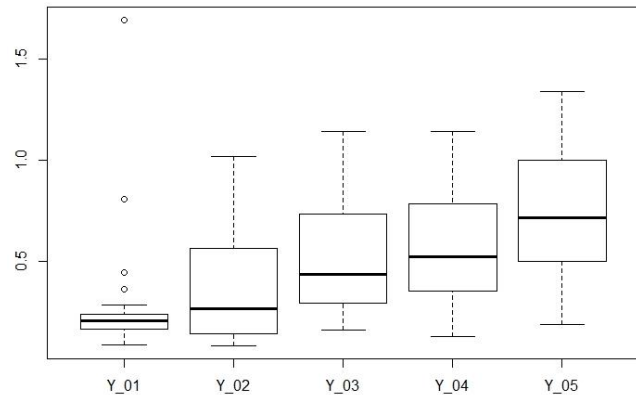
4. 결론 및 제언

조성된 녹지 본연의 기능을 발휘할 수 있도록 하기 위해서는 조성 후에도 수목의 성장, 외래종 유입, 수종별 경쟁 등을 면밀히 관찰한 후 적절한 관리를 실행해야 할 뿐만 아니라 실질적인 조성 및 관리방안도 지속적으로 제시할 필요가 있다(Jo and Park, 2016). 식재종의 생육을 양호하게 할 수 있는 방법으로는 토양 개량, 성장지반에 부합하는 수종선정, 멀칭과 다층 식재를 통한 건조 및 경합 초본 제어 등이 있으며, 소나무의 경우 인접 수종보다 큰 수목을 식재하거나 성장속도가 상대적으로 느린 활엽수종을 선정하여 수광 조건을 개선해야 한다(Jo *et al.*, 2011; Jo and Park, 2016). 답압, 건조와 같은 토양환경은 수세와 높은 상관을 가지는데 과습으로 인한 생육저하 문제도 관심이 필요하다(Lee *et al.*, 2013).

본 조사결과, 낙동강수계 수변생태벨트 복원지에 식재된 소나무의 평균 규격은 흉고직경(DBH) 17.1cm, 수고 6.8m, 수령 15.7년인 것으로 분석되었다. 식재 전 성장량은 평균 0.6cm, 식재 후 1~2년차 0.3cm, 3~4년차 0.5cm, 5년차 이후 0.7cm 내외의 연간 직경 성장량을 나타내었다. 이는 식재된 소나무의 성장량 0.8cm(Jo and Ahn, 2012; Jo *et al.*, 2013; Jo and Park, 2017)와 비교해보면, 식재 후 4년차까지는 미치지 못한 반면에, 식재 전과 식재 후 5년차와는 유사하였다. 자연 상태에서 소나무의 성장량은 0.15~0.19cm(Seo *et al.*, 2009a), 0.32~0.41cm(Shin and Chun, 1996; Chung *et al.*, 2017)로 영급에 따라 차이는 있었으나 식재 후 1년차의 성장량과 비교하면 식재한 소나무와 유사하거나 양호한 성장을 보였다. 이는 Allena *et al.*(2018)이 지적한 바대로, 자연 상태와는 달리 외부 환경 조건의 영향을 덜 받기 때문에 자연림보다는 식재한 소나무의 생장이 양호한 것으로 분석되었다. 다만, 직경 성장량이 연간 0.2cm보다 작을 때에는 흉고직경이 증가함에 따라 고사율이 감소하다가 연간 직경생장이 그 이상일때는 0에 가까운



• Comparison planting year and before planting



• Comparison planting year and after planting

Figure 4. Results of comparative analysis of average growth before and after planting

최소 고사율(0.527%)을 유지하는 것으로 분석된 바 있다(Kim *et al.*, 2011). 따라서 복원지에 식재한 수목의 연간 생장량이 1년차에 0.2cm 이하일 때는 고사하거나 생육 불량일 가능성이 많으므로 부지를 잘 조성한 이후 초기에 집중적인 관리가 필요한 것으로 파악되었다.

낙동강 수변생태벨트 복원시 식재한 소나무의 생장량을 분석한 결과, 식재한 연도에 가장 불량하였고 식재 후 2년차 까지도 회복되지 않은 것으로 나타났으며, 3년차부터 회복되기 시작하여 5년차에 가서야 정상적인 회복을 보이는 것으로 분석되었다. 사후검정, 던칸(Duncan's) 다중비교검정을 실시한 결과에서도 식재 후 1~3년차가 유사한 생장량으로 하나의 그룹으로 묶였으나 4년차는 3년차 및 5년차와 그룹이 묶이는 것으로 분석되었다. 따라서 소나무는 1~2년차 생장 불량 단계를 거쳐, 3~4년차 회복 단계, 5년차 정상 생장 단계를 거치기 때문에 활엽수와는 달리 최소 4년까지는 생장에 불합리한 환경 조건을 개선하기 위한 관리가 이루어져야 한다. 한편, 수목의 하자 원인으로 식재부적기의 공사, 환경적 요인에 의한 피해, 수목의 생리적 요인에 의한 피해, 인위적인 피해, 관리의 부실, 시공상의 오류 등으로 구분된다(Ahn and Kim, 1984). 특히, 소나무의 경우 복토, 답압 등은 모두 수세를 악화시켜 병충해의 감수성을 높여 수명을 단축할 수 있다고 하였으므로(Jo *et al.*, 2011) 이에 대한 관리는 필수적이다. 또한 숲을 복원한 경우 침, 환삼덩굴, 머느리배꼽 등 덩굴성 식물에 의한 피압이 훼손의 원인으로 작용하므로 초기에 관리가 필요한 것으로 판단되었다. 수변녹지에 식재된 낙엽활엽수는 시공 3년 후에야 정상적으로 활착되므로, 이 기간 동안은 하자 보수, 적습 유지, 위해 식물 제거, 지주목 처리 등의 관리가 필요하다고 하였는데(Jo and Park, 2016), 소나무의 경우 3~4년 정도의 관리가 필수적인 것으로 확인되었다. 한편, 수목의 직경 생장은 습도 조건의 지역적 변동에 따라 다양하다고 하였는데(Suvanto *et al.*, 2016), 소나무의 생장은 4~5월 강수량의 증가가 생장에 긍정적인 영향을 미칠수 있기 때문에(Shin and Chun, 1996) 이 시기에 수분관리가 필요하다.

본 연구는 복원지내 수목을 식재한 이후, 연차별 생장량의 회복 과정을 바탕으로 소나무의 최소 관리기간을 제시하고자 하였다. 나이테는 과거의 온도, 강수량, 기타 압력을 포함하여 기후를 예측할 수 있는 기후 대체물로서 활용할 수 있다(Köse *et al.*, 2017). 하지만, 수목의 생장은 기온, 기후 뿐만 아니라 토양, 수분, 종 또는 개체와의 경쟁 등에 영향을 받는 것으로 연구된 바 있으므로(Esper *et al.*, 2018; Fan *et al.*, 2009), 식재 수목에 대한 관리 방안을 제안하기 위해서는 다양한 요인에 의한 영향을 파악하는 연구가 병행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Ahn, K.Y. and N.C. Kim(1984) Study on the effective methods in the maintenance of the landscape plants in apartment housing areas. *Jour. Korean For.* 66: 8-15. (in Korean with English abstract)
- Allena, K.J., R. Villalbab, A. Lavergnec, J.G. Palmerd, E.C. Cooke, P. Fenwickf, D.M. Drewg, C.S.M. Turneyd and P.J. Bakera(2018) A comparison of some simple methods used to detect unstable temperature responses in tree-ring chronologies. *Dendrochronologia* 48: 52-73.
- Cho, J.K., K.J. Lee, B.H. Han and K.S. Ki(2012) A study on restoration plan of cultural forest and change of *Pinus densiflora* forest in Inwangsan(Mt.), Seoul. *Kor. J. Env. Eco.* 26(2): 219-232. (in Korean with English abstract)
- Chung, J., H. Kim, M. Kim and Y. Chun(2017) Correlation analysis between climatic factors and radial growth and growth prediction for *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* in South Korea. *J. Korean For. Soc.* 106(1): 77-86. (in Korean with English abstract)
- Esper, J., S. St. George, K. Anchukaitis, R. D'Arrigod, F.C. Ljungqvist, J. Luterbacher, L. Schneider, M. Stoffel, R. Wilson and U. Büntgen(2018) Large-scale, millennial-length temperature reconstructions from tree-rings. *Dendrochronologia* 50: 81-90.
- Fan, Z.X., A. Bräuning, B. Yang and K.F. Cao(2009) Tree ring density-based summer temperature reconstruction for the central Hengduan Mountains in southern China. *Global and Planetary Change* 65: 1-11.
- Fritts, H.C.(1976) *Tree rings and climate.* Academic Press Inc. (London)Ltd., 567pp.
- Jo, H.K. and H.M. Park(2016) Exploring planting strategies through monitoring of a greenspace established in the riparian zone-The case of an implementation site in Gapyeong County-. *Journal of Environmental Science International* 25(12): 1689-1699. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K. and H.M. Park(2017) Changes in growth rate and carbon sequestration by age of landscape trees. *J. KILA* 45(5): 97-104. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K. and T.W. Ahn(2012) Carbon storage and uptake by deciduous tree species for urban landscape. *Journal of Korean Institute of Landscape* 40(5): 160-168. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K., J.Y. Kim and H.M. Park(2013) Carbon storage and uptake by evergreen trees for urban landscape-For *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*. *Korean J. Environ. Ecol.* 27(5): 571-578. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K., O.H. Seo, I.H. Choi and T.W. Ahn(2011) Growth environments and management strategies for *Pinus densiflora*

- village groves in Western Gangwon Province. *Kor. J. Env. Eco.* 25(6): 893-902. (in Korean with English abstract)
- Kim, S., A. Seol and J. Chung(2011) Development of diameter growth and mortality prediction models of *Pinus Koraiensis* based on periodic annual increment. *Jour. Korean For. Soc.* 100(1): 1-7. (in Korean with English abstract)
- Köse, N., H.T. Güner, G.L. Harley and J. Guiot(2017) Spring temperature variability over Turkey since 1800CE reconstructed from a broad network of tree-ring data. *Clim. Past* 13: 1-15.
- Lee, D.B., W. Nam, Y.S. Kwak, I.H. Jeong and S.S. Lee(2009) Growth of landscape tree species at two planting densities in a planting pilot system for reclaimed dredging areas. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 37(2): 114-123. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.B., C.H. Lee, B.J. Choi and J.K. Lee(2013) Management improvement of big and old trees in the Byeol-seo Scenic Sites. *Korea Institute of Traditional Landscape Architecture* 31(1): 98-107. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.S., K.S. Kim, K.W. Hwang and K.K. Shim(1993) Development and application of the park tree management information system. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 21(3): 89-98. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Environment. www.me.go.kr
- Schneider, L., J. Esper, M. Timonen and U. Büntgen(2013) Detection and evaluation of an early divergence problem in northern Fennoscandian tree-ring data. *Oikos* 123(5): 559-566.
- Seo, Y.O., Y.J. Lee, S.M. Park, J.K. Pyo, J.H. Jeong, S.H. Kim, J.K. Choi, W.K. Lee, D.J. Chung and H.S. Moon(2009a) Annual tree ring growth characteristics for major species in Chungbuk Province. *Journal of Agriculture & Life Science* 43(6): 1-6. (in Korean with English abstract)
- Seo, Y.O., Y.J. Lee, S.M. Park, J.K. Pyo, J.H. Jeong, S.H. Kim, W.K. Lee, J.K. Choi and H.H. Kim(2009b) Study on the annual diameter growth characteristics for major species distributed in Chungnam Province. *Journal of Agriculture & Life Science* 43(3): 7-14. (in Korean with English abstract)
- Shin, C.Y., S. Yang and C.H. Lee(2014) Growth environment and sap flow of Jeon-Ju City trees. *Journal of Agriculture & Life Sciences* 45(1): 51-58. (in Korean with English abstract)
- Shin, M.Y. and J.W. Chun(1996) Quantitative analysis of effects on tree growth of the changes in meteorological environment around Imha dam. *Jour. Korean For. Soc.* 85(3): 462-471. (in Korean with English abstract)
- Suvanto, S., P. Nojd, H.M. Henttonen, E. Beuker and H. Makinen(2016) Geographical patterns in the radial growth response of Norway spruce provenances to climatic variation. *Agric. For. Meteorol.* 222: 10-20.
- Zhang, L., Y. Jiang, S. Zhao, L. Jiao and Y. Wen(2018) Relationships between tree age and climate sensitivity of radial growth in different drought conditions of Qilian Mountains, Northwestern China. *Forests* 9: 135.