

## 터널조성 후 이끼분포변화를 통한 건조화 영향 연구

- 사패산터널을 대상으로 -

### A Study on Dryness Effect According to Changes in Moss Distribution after Construction Tunnel

- A Case Study of Sa-Pae Tunnel -

이경재<sup>1</sup> · 박석철<sup>2</sup> ·곽정인<sup>2</sup> · 김종엽<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울시립대학교 조경학과, <sup>2</sup>서울시립대학교 대학원 조경학과,

<sup>3</sup>도시생태학연구센터 HUNECO

#### 서론

서울외곽순환고속도로 계획 시 사패산터널을 조성하면서 자연생태계 훼손을 최소화하고자 국립공원 관통구간의 대부분을 터널화하였으나 고속도로 건설에 따른 생태계 파괴라는 인식이 우리사회에 형성되었다. 또한 도로개발과 자연생태계 훼손의 갈등이 고조되고 있으나 터널공사가 자연생태계에 미치는 영향에 대한 연구 자료는 많지 않은 실정이다. 도로개발과 자연생태계 훼손이라는 갈등이 이해당사자 간에 고조되고 있으나 도로개발시 터널공사가 자연생태계에 미치는 영향에 대한 연구 자료는 전무한 실정이다. 이에 장기간에 걸친 모니터링 연구를 통해 터널공사가 자연생태계에 미치는 영향에 대한 규명 연구가 필요한 시점이다.

본 연구는 터널조성 후 건조화 영향 연구를 위해 생물지표법의 효용성(고화석, 1988)을 인정하여 이끼분포변화를 장기간 모니터링하였다. 선행연구에서 이끼는 착생선태식물 중 하나로 환경대기와 직접적으로 접촉되어 민감하게 반응하기 때문에 대기오염정도를 측정하는데 생물지표종으로 우수하다는 사실은 확인되고 있었다(Taoda, 1973). 또한 이끼는 토양의 종류, 일조량, 수분에 따라 생육의 차이를 나타내며(정순중, 1999; 이성근, 2001) 환경별 지표식물로서 지역개발 및 생태학적 연구와 밀접하게 연결되어 있으며 공해 조사상의 연구자료로 폭넓게 이용되고 있다(최두문, 1976). 본 연구는 고화석(1988)의 연구에서 대기청정도 지수를 산출하는 방법을 응용하여 수목의 수피 및 암반에 착생한 이끼의 분포면적을 산출하여 고정조사구의 이끼율(%)

을 산출하였다.

본 연구의 시간적 범위는 2004년 3월부터 2008년 3월까지 5년간 이끼분포변화를 조사하였다. 서울외곽순환고속도로 사업기간은 사패산터널을 제외한 구간은 2001. 6~2006. 6월까지이고, 사업민원으로 인해 사패산터널 구간은 2008년 6월 준공되었다. 공간적범위는 서울외곽순환고속도로 구간 중 연장 3,997m의 사패산터널 구간 계획노선 입출구 상부를 중심으로 터널공사에 의해 영향이 미칠 것으로 예상되는 3곳을 선정하여 진행하였다.

#### 재료 및 방법

##### 1. 연구내용

기후 및 기상에서는 이끼의 생육과 관련이 깊은 환경요인으로 연구대상지의 평균기온, 강수량, 상대습도, 일조시간을 선정하여 2004년~2008년간의 기후자료를 분석하였다. 모니터링 조사지 선정은 터널공사후 건조화가능에 민감할 것으로 예상되는 식생이 양호한 지역 또는 계곡부를 중심으로 조사지를 선정하였으며 세부조사구는 이끼가분포하는 수목이나 암반에 설정하였다. 조사 및 분석에서는 5년간 고정조사구별 이끼 분포현황을 도면화하여 이끼율(%)을 산출하였다. 다음으로 이끼의 분포현황 변화와 이끼의 생육과 관련이 깊은 환경요인과의 관계를 파악하기 위해 통계분석을 실시하였다.

표 1. 연구 내용

항목	내용
기후 및 기상	<ul style="list-style-type: none"> <li>식물생태계 변화의 환경적 요인 분석</li> <li>-연평균기온, 강수량, 상대습도, 일조시간 등 기후자료를 활용</li> </ul>
모니터링 조사지 선정	<ul style="list-style-type: none"> <li>터널이 통과하는 식생이 양호한 지역 및 계곡부 지역</li> <li>이끼가 분포하는 수목이나 암반에 세부 고정조사구 설정</li> </ul>
조사 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>고정조사구별 이끼 분포현황 도면화 및 면적 산출</li> <li>5년간 이끼분포 변화 파악</li> <li>5년간 환경요인 변화와 이끼분포면적 변화의 통계분석을 통한 상관관계 파악</li> </ul>

2. 연구방법

이끼의 생육과 관련한 환경요인은 기상연월보 자료를 활용하여 2005년~2008년간의 서울시 강수량, 연평균 기온, 연평균 상대습도, 연평균 일조시간을 분석하였다. 환경오염의 지표로 보고 있는 이끼의 분포현황은 근부에서 주간이 분지되는 지점까지의 높이에 한해서 이끼의 피복정도를 조사하였으며 도면화 및 사진을 통한 이끼류 변화양상을 모니터링하였다. 모니터링 조사는 현장에서 OHP 필름지를 이용하여 이끼분포현황도를 작성하고 이끼의 피도를 조사하였다. 도면화는 Autodesk Land Enabled Map 2004를 이용하여 작성하였으며 이끼분포면적은 ArcView 3.3 프로그램을 이용하여 산출하였다. 조사구별 이끼율(%)은 이끼가 분포하는 지점의 면적(cm<sup>2</sup>)과 피도(%)를 곱하여 절대피도를 산출하고, 고정조사구 전체의 절대피도 합으로 산출하였다. 5년간의 환경요인과 이끼분포변화 사이의 관계는 SPSS

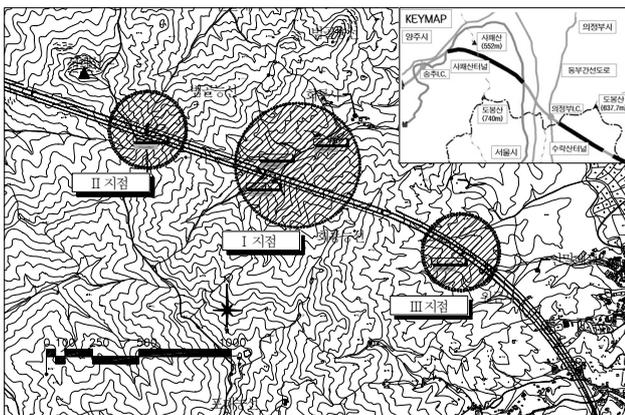


그림1. 연구대상지

17.0을 이용하여 각각의 환경요인에 따른 이끼율(%)의 차이를 검증하였다.

고정조사구는 사패산터널이 통과하는 노선 중 3지점을 설정한 후, 이끼가 분포하고 있는 수목과 암반을 중심으로 총 17개의 세부 고정조사구를 선정하였다. I 지점에서 10개 조사구, II 지점에서 4개 조사구, III 지점에서 3개 조사구를 설정하였으며, 조사 횟수는 연 1회로 총 5년간 모니터링 조사를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 환경요인 분석

이끼의 생육과 관련한 환경요인으로 강수량, 연평균 기온, 연평균 상대습도, 연평균 일조시간을 선정하고 서울시의 5년간 환경요인을 분석하였다. 연강수량은 2006년에 1,401.6mm로 가장 높았으며 2007년에 1,010.3mm 가장 낮게 측정되었다. 연평균 기온은 5년간 12.1~13.3℃ 범위로 분포하였으며, 2004년과 2007년에 13.3℃로 가장 높게 측정되었다. 연평균 상대습도는 59.3~62.3% 범위로 분포하였고, 2007년에 가장 높게 측정되었다. 연평균 일조시간은 5년간 153.9~178.8시간 범위로 분포하였다.

2. 5년간 이끼분포 변화

사패산터널 I 지점의 연도별 이끼분포 변화를 살펴보면 2008년에 대부분 이끼율이 증가하였으나 전체적으로 뚜렷한 경향은 보이지 않았으며 조사구별로 증감 및 유지가 다양하게 관찰되었다. 2007년과 2008년의 이끼율을 비교하

표 2. 서울시 5년간 환경요인 종합

연도별	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
연강수량 (mm)	1,249.3	1,132.0	1,401.6	1,010.3	1,130.3
연평균 기온 (℃)	13.3	12.1	12.9	13.3	12.9
연평균 상대습도 (%)	62.0	60.4	60.8	62.3	59.3
연평균 일조시간 (hr)	176.4	169.8	161.0	153.9	178.8

면 이끼율이 증가된 조사구는 I-2(이끼수목 2), I-3(이끼수목 1), I-4(바위이끼 1, 2), I-8(이끼수목 1)이었고 이끼율이 감소한 조사구는 I-2(이끼수목 1), I-8(이끼수목 2)이었다. 이끼율이 유사하게 나타난 조사구는 I-1(이끼수목 1), I-7(이끼수목 1), I-9(이끼수목 1)이었다. 사패산 터널 상부 I 지점의 5년간 평균 이끼분포 변화를 살펴보면 65.03%→69.63%→72.23%→79.41%→81.21%로 이끼분

포가 증가하는 경향을 보였다.

사패산터널 II 지점의 연도별 이끼분포 변화를 살펴보면 조사구 II-1(이끼수목 1)은 2007년에는 큰변화가 없었으나 2008년에 증가하였고 II-2(이끼수목 1)은 2007년에 이끼율이 큰폭으로 감소하였고 2008년에 다소 증가하였으나 2004년과 비교했을 때 전체적인 이끼율은 감소하였다. II-3(이끼수목 1)은 2007년에 이끼율이 크게 증가하였으나 2008년에는 다시 감소하였다. II-4(이끼수목 1)은 2007년과 2008년에 이끼율이 각각 증가하여 2008년에는 조사구 전체에 이끼가 피복하였다. 사패산 터널 상부 II 지점의 5년간 평균 이끼분포 변화를 살펴보면 83.23%→70.14%→70.23%→74.21%→72.13%로 다소 감소하였다. 연도별로는 2005년에 감소후 2007년에 다소 증가하였으나 2008년에 다시 감소하였으며 2005년의 감소폭이 다소 컸으나 이후의 변화는 크지 않았다. 사패산터널 III 지점의 연도별 이끼분포 변화를 살펴보면 조사구 III-1(이끼수목 1)은 2004년부터 꾸준히 이끼율이 증가하는 경향을 보였으나 2008년에는 2007년과 비슷하게 나타났으며, III-1(이끼수목 2)는 2005년과 2006년에 증가하였다가 2007년에 감소하였으나 2008년에는 2007년과 비슷하게 나타났다. 조사구 III-3(이끼수목 1)은 2004년부터 2006년까지 이끼율이 유지되었으나 2007년, 2008년에 크게 감소하였다.

사패산 터널 상부 III 지점의 5년간 평균 이끼분포 변화를 살펴보면 55.69%→72.86%→70.10%→63.39%→52.56%로 2005년에 이끼율이 증가한 이후 2006년부터 지속적으로 감소하였다. 2004년과 2008년의 이끼율을 비교해보면

표 3. 사패산터널 고정조사구 연차별 이끼분포 변화

조사구	2004년 이끼율 (%)	2005년 이끼율 (%)	2006년 이끼율 (%)	2007년 이끼율 (%)	2008년 이끼율 (%)
I-1 (이끼수목1)	45.59	63.57	69.04	94.45	92.96
I-2 (이끼수목1)	81.39	83.65	78.73	89.35	56.07
I-2 (이끼수목2)	82.97	82.24	87.90	84.18	93.79
I-3 (이끼수목1)	72.14	87.71	55.12	46.97	54.07
I-4 (이끼수목1)	49.54	63.46	79.17	64.73	90.51
I-4 (바위이끼2)	93.96	86.62	54.10	76.05	82.61
I-7 (이끼수목1)	63.17	68.86	86.80	98.23	99.34
I-8 (이끼수목1)	69.85	81.41	66.00	70.26	74.79
I-8 (이끼수목2)	61.72	60.98	59.86	79.36	73.42
I-9 (이끼수목1)	59.79	52.91	85.55	90.53	94.54
평균	65.03	69.63	72.23	79.41	81.21
II-1 (이끼수목1)	76.17	73.44	67.29	75.21	83.31
II-2 (이끼수목1)	84.02	17.13	23.63	33.47	41.53
II-3 (이끼수목1)	78.43	90.00	90.00	90.00	63.69
II-4 (이끼수목1)	94.30	100.00	100.00	98.14	100.00
평균	83.23	70.14	70.23	74.21	72.13
III-1 (이끼수목1)	28.42	66.16	63.13	74.38	74.78
III-1 (이끼수목2)	56.39	70.91	61.18	51.34	50.43
III-3 (이끼수목1)	82.25	81.50	85.98	64.44	32.47
평균	55.69	72.86	70.10	63.39	52.56

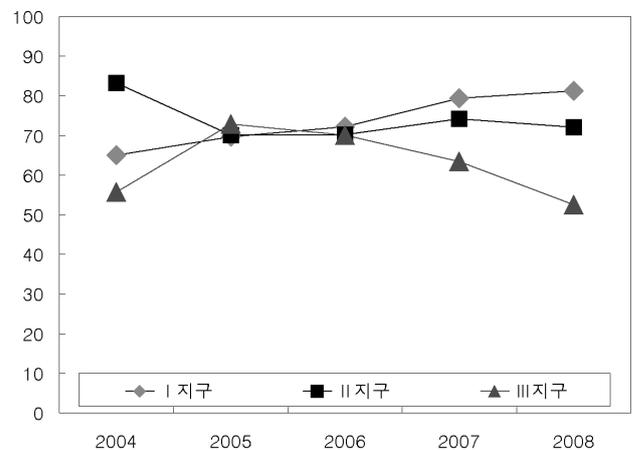


그림 2. 5년간 이끼율(%) 변화 그래프

변화가 거의 없었다.

전체적으로 이끼울은 대체로 유지되고 있었으며 한 조사 지 내에서도 조사구단위로 차이가 심해 일반적인 경향으로 판단하기에 무리가 있었다. 연도별 이끼분포 변화를 종합해 보면 조사구별로 다른 변화상을 보여 터널건설에 의한 건조화의 영향 보다는 국지적으로 발생하는 환경요인에 의한 변화로 판단되었다.

**3. 환경요인과 이끼분포변화 상관분석**

환경요인과 이끼울 간의 상관분석 결과 이끼분포변화(이끼울)는 시계열변화, 강수량, 평균기온, 평균상대습도, 평균 일조시간 간의 상관관계를 찾을 수 없었다.

연도별 이끼분포 변화와 상관분석 결과를 종합해보면 조사구별로 터널건설에 의한 건조화의 영향 보다는 국지적으로 발생하는 환경요인에 의한 변화로 판단되었다.

**표 4. 환경요인과 이끼울 상관분석**

구분	시계열 변화	강수량	평균 기온	평균 상대 습도	평균 일조 시간
Pearson 상관계수	.039	-.053	-.011	-.001	-.030
이끼울 유의확률 (양쪽)	.732	.642	.923	.994	.795
빈도	80	80	80	80	80

본 연구에서는 터널 조성에 의한 지하수위 하강에 의한 건조화영향은 거의 없는 것으로 판단되었다. 다만 서울외곽 순환도로가 관통하는 사패산은 화강암이 넓게 분포하는 지역으로 터널 대부분의 구간이 양호한 암질의 화강암을 관통하여 지하수에 영향을 미치지 않은 것으로서 이러한 연구결과가 모든 터널공사의 자연생태 변화 결과에 적용될 수는 없다. 생태계 변화는 수십년, 수백년에 걸쳐 지속적으로 나

타나는 것으로 5년간의 모니터링이 모든 변화를 정확하게 반영하였다고 보기에는 무리가 있다. 따라서 향후 지속적인 모니터링을 통해 변화상을 면밀히 고찰할 필요가 있을 것이다. 아울러 최근 대기권 이산화탄소농도 증가에 따른 지구 기후붕괴에 의한 지구 평균온도 상승은 토양의 증발작용, 식물의 증산작용을 촉진하고 있어 과거의 생태계기작이 변화되고 있음이 계속 밝혀지고 있다. 그러므로 터널에 의한 식물생태계 변화를 지구 평균온도 상승과 연계시키는 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

**인용문헌**

기상청(2004) 기상연월보. 기상청, 56-58.  
 기상청(2005) 기상연월보. 기상청, 60-62.  
 기상청(2006) 기상연월보. 기상청, 60-62.  
 기상청(2007) 기상연월보. 기상청, 60-62.  
 기상청(2008) 기상연월보. 기상청, 57-59.  
 서울고속도로주식회사 사후환경영향조사 결과 통보서(2009).  
 고하석(1988) 대기오염이 선태식물에 미치는 영향. 전남대학교 대학원 석사학위논문, 3-7.  
 이성근(2001) 솔이끼의 생태에 관한 연구 -토양과 일조량을 중심으로-. 인천교육대학교 교육대학원 석사학위논문, 4-40.  
 정순준(1999) 우산이끼의 생태에 관한 연구 -토양, 수분, 일조량이 생태에 미치는 영향을 중심으로-. 인천교육대학교 교육대학원 석사학위논문, 28-33.  
 최두문(1980) 한국동식물도감 제 24권 식물편(선태류). 교육부.  
 한국과학재단(1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 조기 판단에 관한 연구. 205쪽.  
 Hirosi, T.(1973) Effect of air pollution on Bryophytes (1. SO2 tolerance of Bryophytes). Hikobia. 6: 3-4.  
 기상청(2004) 자동기상관측연보.