

관리조방형 옥상녹화 식재식물의 피복률 변화 및 피복유형¹

장하경² · 이은희^{3*}

Covering Types and Covering Ratio Changes of Planted Species on an Extensive Green Roof¹

Ha-Kyung Jang², Eun-Heui Lee^{3*}

요 약

본 연구는 지속가능한 옥상녹화 식재계획을 위하여 관리조방형 옥상녹화 식재식물에 대한 다년간 조사결과를 토대로 피복률 변화의 양상을 분석하고 피복특성을 유형화하였다. 실험대상지는 2007년에 조성된 서울여자대학교 행정관 옥상녹화지이며 식물은 기린초 등을 포함한 4종류의 세덤류와 층꽃나무 등 다년생 초화류 14종을 포함하여 총 18종이 식재되었다. 식재식물 피복변화 모니터링은 2007년부터 2009년까지 3년간 실시하였다. 조사결과 피복률은 식재 후 2년이 경과한 2008년에는 전반적으로 안정세를 보이거나 다소 증가한 반면 2009년 들어서는 세덤류와 섬백리향 등 총 6종을 제외하고는 대다수 감소하는 양상을 보였다. 피복양상을 관찰한 결과 크게 4가지 유형으로 식재지유지형, 인접지역 잠식형, 포복 확산형, 산발 확산형으로 분류하였다. 또한 주요기간의 피복률 데이터를 종속변수로 하여 식재 후 경과 시간과 단순회귀분석을 실시하였으며, 최종적으로 총 8종에서 통계적 유의수준 하에서 피복률 변화양상 예측모델이 도출되었다. 향후 다양한 식물들에 대한 장기적인 피복특성 모니터링을 통해 지속가능한 옥상녹화 식재계획을 위한 다양한 식물정보 구축이 필요할 것으로 생각된다.

주요어: 피복특성, 다년생초화류, 모니터링, 예측모델, 식재계획

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the characteristics of plant covering in the extensive green roof site. Eighteen herbaceous perennial grass such as *Caryopteris incarca* and sedum species such as *Sedum Kamtschaticum* were planted on an experimental green roof with 10cm substrate depth in 2007. This study investigated vegetation change over 3 growing seasons 2007-2009. The covering rates of planted species mostly increased in 2008, but declined in 2009 except 6 species such as sedum specis and *Thymus quinquecostatus* var. *japonica* etc. There were four categories of covering characteristics generated from the results of this study. These include the type of sustain planting site, the type of encroach adjacent site, the type of creeps and spreads, and the type of scatters and spreads. The covering models of eight planted species were drawn by simple regression analysis. However more monitoring of various plants will be needed to establish the information for sustainable roof planting plan.

KEY WORDS: COVERING CHARACTERISTICS, PERENNIALS, MONITORING, ESTIMATION OF COVERING MODEL, PLANTING PLAN

1 접수 2011년 3월 23일, 수정(1차: 2011년 6월 15일, 2차: 2011년 6월 24일), 게재확정 2011년 6월 25일

Received 23 March 2011; Revised(1st: 15 June 2011, 2nd: 24 June 2011); Accepted 25 June 2011

2 서울여자대학교 자연과학대학 College of Natural Science, Seoul Women's University, Seoul(139-774), Korea (chk0509@swu.ac.kr)

3 서울여자대학교 환경생명과학부 Division of Environmental & Life Science, Seoul Women's University, Seoul(139-774), Korea

* 교신저자 corresponding author(ehlee@swu.ac.kr)

서론

국내에서는 2000년대 이후 공공 또는 민간차원에서 옥상녹화 지원사업이 확대되어 옥상녹화면적이 꾸준히 증가해 오고 있으며, 옥상녹화공간은 도심의 중요한 녹지공간으로 부각되고 있다. 옥상녹화지는 고온, 건조, 바람 등 자연지반과는 생육환경에 차이가 있어(Dunnett and Kingsbury, 2004) 자연지반에서 생육이 양호한 식물종일지라도 장기적으로 계획당시의 기대치만큼의 생육이 유지되기 어렵거나 생육이 불가능할 수도 있다. 옥상녹화 조성의 당위성과 정책적 지원 등에 의해 양적으로 성장추세에 있는 옥상녹화는 식재된 식물이 월동 후 생육이 급격히 저하하거나 건조피해를 받는 등 인공지반이라는 특수한 환경 조건에 부합되지 않아 식재식물이 고사하는 등의 문제점이 종종 발생하고 있다. 따라서 옥상녹화 식재식물의 식재 후 변화양상을 분석하여 장기적인 식재계획에 반영하는 것은 매우 중요할 수 있다.

옥상녹화 식재 관련 연구로는 옥상녹화용 식물소재 개발을 위해 Lee *et al.*(2007), Lee *et al.*(2003), Dvorak and Volder(2010) 등이 옥상 환경에 적합한 식물종에 관해 연구한 바 있고, Kim *et al.*(2010)은 옥상녹화 시스템 적합성을 알아보기 위해 Sedum속 식물에 대한 내한성 평가를 실시하였다. Bang *et al.*(2004)은 토심 및 관수주기에 따른 자생식물의 생육특성을 규명하였고, Maclvor and Lundholm(2011)은 해양성 기후환경의 관리조방형 옥상녹화지에 적합한 자생종 선발에 관하여 연구하였다. 또한 옥상환경에서의 다년간 식재식물의 생육조사나 이입식물 발생 등에 관한 연구(Ko and Lee, 2010), 옥상녹화지역에서의 다년간의 식물귀화율에 관한 연구(Oh and Jung, 2006) 등도 지속적으로 이루어지고 있는 반면 식물간의 상호관계 및 영향과 관련하여 식재식물의 피복변화 및 특성을 규명한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 지속가능한 옥상녹화 식재계획을 위하여 옥상녹화 식재식물의 다년간 피복변화 및 특성을 조사 분석하고 변화양상을 분류하여 식물의 특성을 고려한 식재 계획 수립에 기여하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험구 조성

본 연구는 옥상녹화지에서의 식재식물 변화양상 및 특성을 조사분석하기 위하여 서울특별시 노원구 공릉동에 위치한 서울여자대학교 행정관 4층 옥상의 중앙돌출부를 대상으로 하여 옥상녹화 식재지를 조성하였다. 실험구는

14m×10m의 부지에 폭 50cm의 중앙통로를 중심으로 양쪽의 일부 면적에 각각 식재지를 조성하여 총 식재면적 86m²로 2007년 6월 16일에 조성을 시작하여 식재 및 보식을 포함하여 2007년 7월 20일에 최종 완료되었다.

옥상녹화시스템은 저관리형 옥상녹화로 접착식 방수매트(T-3cm)를 설치하고, 배수층은 E사의 EP-25 저배수판을 적용하였다. 토양층은 10cm 두께로 E사에서 개발한 펠라이트, 버미큐라이트, 코코피트, 부엽토가 6:2:1:1의 비율로 혼합된 인공지반녹화용 인공토양을 사용하였으며, 멀칭재는 우드칩을 이용하여 3~5cm 두께가 되도록 하였다. 본 실험지에 도입된 EP-25는 P.P. 재질로 깊이 30mm의 저수조 25개가 연결되어 있는 구조이다. 저수용량은 최대 16L/m²로 천공된 배수채널 4조를 통해 배수되도록 설계되었으며, 저배수판 기본단위의 모듈을 조성면적에 맞춰 연결하도록 고안되었다. 방근을 위하여 배수채널에 GEOTEXTILE이 부착된 형태를 선택하였다. 식재식물의 생육변화와 시간 경과에 따른 피복변화 양상을 알아보기 위하여 50cm×50cm를 단위모듈로 하여 모듈 당 플러그모 상태의 식물을 각각 9주씩 8~16반복으로 식재하였다.

2. 실험식물

본 연구의 공시 식물은 1차적으로 관련 문헌조사와 기 조성된 옥상녹화지의 식재식물 중 100종을 선발하여 생육 실험을 실시하고, 1차 실험에서 선별된 60종을 대상으로

Table 1. Planted species in the experimental roof site

Family name	Korean name / Scientific name
Crassulaceae	기린초 <i>Sedum kamtschaticum</i>
	섬기린초 <i>Sedum takesimense</i>
	애기기린초 <i>Sedum middendorffianum</i>
	돌나물 <i>Sedum sarmentosum</i>
Saxifragaceae	노루오줌 <i>Astilbe chinensis</i> var. <i>dauidii</i>
	휴케라 <i>Heuchera micrantha</i>
Rosaceae	뱀말기 <i>Duchesnea chrysantha</i>
	양지꽃 <i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>
Polemoniaceae	지면패랭이꽃 <i>Phlox subulata</i>
Verbenaceae	층꽃나무 <i>Caryopteris incana</i>
Labiatae	섬백리향 <i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i>
	용머리 <i>Dracocephalum argunense</i>
Scrophulariaceae	꼬리풀 <i>Veronica linariaefolia</i>
Compositae	구절초 <i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>
	별개미취 <i>Aster koraiensis</i>
	해국 <i>Aster spathulifolius</i>
Liliaceae	각시원추리 <i>Hemerocallis dumortieri</i>
	무늬동굴레 <i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>

차년도에 2차 선발실험을 실시하여 옥상녹화에 적합한 식재종을 제안한 보고서(Ministry of Environment, 2008)를 토대로 하여 선발하였다. 식재 식물은 옥상녹화지에서 장기적으로 생육이 가능할 것으로 예상되며 고온과 건조에 강한 기린초, 섬기린초 등 세덤류 4종과 해국, 층꽃나무와 노루오줌 등 초화류 14종을 포함하여 총 18종의 식물을 본 연구의 공시식물로 선정하여 식재하였다(Table 1).

3. 분석방법

식물생육과 기후환경과의 관계를 분석하기 위하여 기상청 자료를 토대로 하여 전반적인 지역의 기상변화를 수집하였고, 미세 환경변화를 알아보기 위하여 Watch Dog의 Weather Station을 옥상에 설치하여 대기온도, 상대습도 등의 기상변화를 모니터링하였다. 토양습도 측정은 Mirae Sensor의 Soil Moisture & EC Sensor WT1000N(Soil Moisture 0~100% ±3%)을 이용하여 매월 측정하였다.

식재식물의 피복 변화 분석을 위해 2007년 7월부터 2009년 9월까지 월 1회 피복면적을 조사하고, 피복률을 산출하였다. 식물 별 피복면적은 50cm×50cm 규격의 개별 식재모듈 위에서 등비율로 사진촬영 한 후, 식재모듈 내외의 해당 식물 피복면을 선으로 표식하고, 피복면적과 피복률을 산출하였다. 사진촬영은 Canon EOS 400D를 이용하여 오후 2~5시 사이에 진행하였으며, 면적 측정 및 피복률 산출은 Autodesk사의 AutoCAD 2008을 이용하였다. 본 연구에서는 식재식물의 다년간의 피복특성 및 변화를 명확히 도출하기 위하여 이입식물에 대한 조사내용은 제외하였으며, 2개월에 한 번씩 이입식물 조사 후 전수 제거하는 것을 원칙으로 하였다.

식재식물의 다년간 피복변화를 분석하고 시간과 피복률의 관계 및 변화예측을 위하여 3년간 생육특성을 볼 수 있는 5월, 7월과 9월의 피복률 데이터를 토대로 하여 회귀분석을 실시하였다. 산출된 식물별 피복률은 SPSS version 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., 2006)를 이용하여 기술통계분석 및 Duncan의 다중검정법 (Duncan's multiple range test)으로 유의 수준 95%에서 유의성 분석을 수행하였으며, SPSS version 15.0(Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., 2006)의 회귀분석을 통하여 식물별 피복률 모델을 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 생육환경 모니터링 결과

실험구의 3년간 기후변화 측정결과 식물 생육에 직접적인 영향을 미치는 강수량의 경우 7~8월에 집중되고, 10월부터 4월까지는 강수량이 급감하여 연간 강우가 고르지 못한 강우특성을 보였다(Figure 1).

실험기간 동안 토양습도를 측정한 결과 평균 29.1%로 생육환경이 전반적으로 건조한 상태로 식물의 생육에도 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 특히 2008년 9월에는 토양습도가 16.5%로 다른 기간에 비하여 상대적으로 낮게 조사되었으며, 이는 9월의 강수량이 급격히 감소한 갈수기였던 것에 기인한 것으로 추측된다. 식물의 정상적인 생육을 위해서는 토양습도가 30~60% 가량 유지되어야하나 2008년 9월의 경우 토양습도가 훨씬 낮아 식물의 고사시기가 빨라지는 등 생육에 영향을 미친 것으로 보인다(Table 2).

2. 피복률 변화 분석

식재식물의 3년간 주요기간의 피복변화를 분석한 결과 총 18종의 식재식물 중 3년이 경과한 2009년까지 피복률이 증가세를 보인 종은 기린초, 섬기린초, 애기기린초, 섬백리향, 해국, 무늬둥굴레의 6종이었고, 11종은 감소세를 보였으며, 뱀딸기는 3년째 전수 고사하였다(Table 3). 증가세를

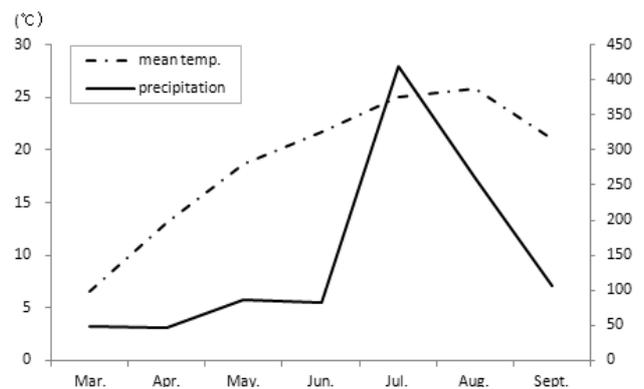


Figure 1. The monthly average temperature and precipitation at the experimental site (2007~2009)

Table 2. The soil humidity of experimental site

	2007			2008					2009					Ave.				
	Jul	Aug	Sep	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Mar	Apr	May		Jun	Jul	Aug	Sep
Soil humidity(% , v/v)	25.1	26.8	22.3	29.6	49.8	29.9	61.0	28.1	32.2	16.5	29.6	26.7	22.5	23.4	22.0	21.5	28.1	29.12

Table 3. The covering rate of planted species in three growing seasons

(unit : %)

	2007		2008			2009		
	Jul.	Sep.	May	Jul.	Sep.	May	Jul.	Sep.
<i>Sedum kamtschaticum</i>	30.1	25.2	65.0	81.2	101.2	68.0	107.9	77.0
<i>Sedum takesimense</i>	21.4	17.9	73.9	67.0	8.2	35.9	25.1	3.8
<i>Sedum middendorffianum</i>	40.1	57.0	74.1	87.2	68.1	70.2	73.8	23.2
<i>Sedum sarmentosum</i>	52.9	50.6	58.8	77.9	77.1	23.2	23.4	6.4
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>dauidii</i>	81.9	82.4	108.5	118.6	1.0	64.0	49.7	1.1
<i>Heuchera micrantha</i>	52.3	44.8	47.5	48.0	14.2	6.3	9.6	1.2
<i>Duchesnea chrysantha</i>	13.5	23.3	30.5	11.3	1.4	0.4	0.3	0.0
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>	76.4	75.2	53.8	65.4	26.3	20.1	30.6	24.3
<i>Phlox subulata</i>	19.3	18.8	51.2	44.6	14.6	18.3	12.6	10.8
<i>Caryopteris incana</i>	39.2	59.9	35.6	28.5	9.3	1.5	7.9	4.7
<i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i>	40.0	76.9	96.2	105.9	100.1	69.6	77.3	54.3
<i>Dracocephalum argunense</i>	39.6	58.5	49.7	38.6	27.9	3.3	4.2	3.5
<i>Veronica linariaefolia</i>	113.0	124.1	78.9	99.7	86.4	20.7	52.4	47.9
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	55.6	73.3	73.3	101.2	67.9	22.1	27.7	17.4
<i>Aster koraiensis</i>	56.0	82.0	49.8	64.4	47.9	15.3	24.4	16.2
<i>Aster spathulifolius</i>	22.7	30.8	52.9	66.1	73.3	49.9	60.2	41.2
<i>Hemerocallis dumortieri</i>	30.2	21.8	89.7	47.0	37.1	62.6	28.2	0.1
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	34.3	29.2	69.0	77.7	7.7	62.2	59.9	11.8

보인 중 중 기린초와 해국은 2009년 7월의 피복률이 2007년 식재당월 대비 200~300% 증가한 것으로 조사되어 높은 피복력을 보였다. 기린초의 경우 전반적으로 식재모듈 내부에서부터 피복면적을 확장해 나가는 양상을 보였으며, 2008년과 2009년 7월에는 인접 식재구로 약 20%정도 피복해 들어간 것으로 조사되었다. 이 밖에 섬백리향, 섬기린초, 애기기린초, 무늬둥굴레도 100%가 넘는 피복증가를 보였다.

피복률이 감소세를 보인 종들 중 꼬리풀, 구절초, 양지꽃, 돌나물, 노루오줌, 벌개미취, 지면패랭이꽃은 2007년 식재당월 대비 40~60%의 피복률을 보였다. 구절초는 식재 당해년인 2007년에는 7월에 비해 9월에는 피복률이 약 20% 증가세를 보였다. 3년간의 피복률 변화를 살펴보면, 전반적으로 피복률이 감소하였고, 2008년 7월에는 100% 이상의 피복률을 보였으나 식재 후 3년이 경과한 2009년에는 피복률이 급격히 저하되어 9월에는 17.4%의 피복률을 보였다.

층꽃나무, 휴케라, 용머리는 2007년 7월 대비 2009년 7월 피복률이 20% 미만으로 급격한 감소세를 보였다. 이 중 층꽃나무는 피복률이 가장 높았던 식재 당해년 9월에는 피복률이 약 60%에 이르렀으나 이후 지속적으로 감소하였고, 식재 3년째에는 피복률이 급격히 떨어져 10% 미만으로 나타났다. 특히 2008년 7월에는 피복률이 전년도 7월 대비 절반 이하로 감소하였는데, 이는 층꽃나무가 옥상환경에서 생육이 양호한 것으로 나타난 Choi *et al.*(2009) 연구의 결

과와 다소 상이하다. 이는 선행 연구의 경우 단기간의 모니터링을 통해 얻어진 결과로 실제 옥상녹화지에서 무관리로 장기간 생육할 경우 본 연구의 결과와 같이 피복률이 감소할 것으로 예상된다. 또한 Kim(2006)의 층꽃나무에 대한 관수 실험결과에 따르면 관수주기 5일부터 생육 저하를 보인 것으로 보고되어 매우 건조한 옥상환경에서의 장기간 생육이 층꽃나무의 피복률 감소세에 영향을 미친 것으로 사료된다.

용머리는 3년간의 피복률 변화에서는 식재 당해년과 2년째에는 생육기간동안 40~60% 정도의 피복률을 보였고, 개화기간인 7월에는 식물체가 커지면서 일부 인접 식재지로 피복해간 것으로 나타났으나 이는 지상부가 일시적으로 모둘을 벗어났기 때문인 것으로 보인다. 2009년에 들어서는 식재지에서의 피복률이 급격히 감소하였는데, 식재 후 시일이 경과함에 따라 녹화지 전반에서 산발적으로 발생하지만 원래 식재구에서의 피복률은 낮아진 것으로 나타났다.

3. 피복특성 유형화

관련 이론과 다년간의 실험결과를 토대로 하여 식재 식물들의 실제 피복변화와 피복 특성을 분석해 본 결과 피복형태에 따라 식재지유지형, 인접지역 잠식형, 포복 확산형, 산발 확산형의 4가지로 유형이 분류되었다(Table 4). 식재지를 유지하는 유형으로 무늬둥굴레, 해국, 휴케라 등이 이에

Table 4. The types of covering characteristics of planted species

Type	Covering characteristics	Covering shape	Planted species
Type of sustain planting site	·sustained growth duration almost not spreading to other planting site ·low competition with adjacent plants	1st year: 2 dots 2nd year: 4 dots 3rd year: irregular shape	<i>Veronica linariaefolia</i> , <i>Heuchera micrantha</i> , <i>Potentilla fragarioides</i> L. var. <i>major</i> , <i>Hemerocallis dumortieri</i> , <i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>
Type of encroach adjacent site	·extend covering area to adjacent planting site very slowly	1st year: 2 dots 2nd year: 4 dots 3rd year: irregular shape with small protrusions	<i>Sedum kamtschaticum</i> , <i>Sedum takesimensense</i> , <i>Sedum middendorffianum</i> , <i>Astilbe chinensis</i> var. <i>dauidii</i> , <i>Phlox subulata</i> , <i>Aster spathulifolius</i>
Type of creeps and spreads	·creeps and spreads with lateral spread stem on the ground	1st year: 2 dots 2nd year: 4 dots with stems 3rd year: dense network of stems	<i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i> , <i>Duchesnea chrysantha</i> , <i>Sedum sarmentosum</i>
Type of scatters and spreads	·spreads seeds or rhizome sporadically and comprised plants in comparatively long distance	1st year: 2 dots 2nd year: 4 dots with stems 3rd year: irregular shape with scattered plants	<i>Caryopteris incana</i> , <i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> , <i>Aster koraiensis</i> , <i>Dracocephalum argunense</i>

속하였다. 이러한 식재지유지형은 식재 이후 시간이 경과하더라도 본래 식재 당시의 위치에서 크게 벗어나지 않으면서 생육주기가 반복되는 특성을 보여 인접 식물종에 경쟁을 유도하지 않으면서 피복해 갈 것으로 보인다. 이들 중 해국과 무늬등굴레는 근경이 발달하는 종이기는 하나 3년간 모니터링 결과 주변으로 확산되지 않고 원 식재지에서 생육하는 모습을 보여 식재지 유지형으로 분류하였다.

인접지 잠식형은 생육이 진행되면서 서서히 식재지 인접 지역으로 피복면적이 확대되거나 잠식속도가 느리고 확대되는 면적이 제한적인 피복유형으로 세덤류인 기린초와 애기 기린초 등이 이에 속한다. 기린초의 경우 생육이 진행되면서 초장이 증가하게 되며, 초장이 일정 높이 이상이 되면 가장자리 줄기가 옆으로 누우면서 피복면적이 증가하게 되는 것으로 조사되었다. 그러나 본래 식재공간에서 크게 벗어나지는 않으며 매우 조밀한 피복형태를 보였다. 애기 기린초의 경우에도 기린초에 비해 초장이 낮고 왜소하나 피복형태는 기린초와 유사한 모습을 보였다. 세덤류 이외에 지면 패랭이꽃과 해국도 동일한 유형으로 조사되었다.

포복형태로 확산하는 유형에 속하는 식물은 인접 식물과의 경쟁 환경에서 포복경으로 뻗어가면서 인해전술과 게릴라전략(Kim and Lee, 2006)을 통해 식재면적을 확보해 나가는 양상을 보였다. 돌나물과 섬백리향 등이 이에 속하며, 이러한 포복확산형은 피복형태가 식물의 생육특성에 기인한 것으로 볼 수 있는데, 생육이 진행됨에 따라 줄기가 지면을 따라 기면서 지면에 닿는 부분마다 뿌리를 내리는 생육 특성을 가지는 종이다(Lee, 2003). 이러한 식물종은 비어있는 지면을 따라서 지속적인 피복확장이 일어나기는 하나 인접 식물종의 피복률이 높을 경우 크게 잠식해 들어가지는

못하는 것으로 조사되었다.

산발적으로 확산하는 모습을 보이는 유형은 근경을 통한 영양번식이나 종자번식을 통해(Lee, 2003) 본래의 식재지를 중심으로 산발적으로 발생하는 양상을 보였다. 구절초, 층꽃나무는 종자를 이용해 산발적으로 발생하여 포복 확산형으로 분류하였다. 자연상태에서도 종자번식율이 높은 식물의 경우 바람이나 동물, 사람 등의 매개체를 이용해 먼 거리까지도 확산이 가능할 것으로 보인다. 이와 달리 벌개미취와 용머리는 근경을 이용해 산발적으로 피복면적을 확산해 나가는 것으로 조사되었다.

4. 식물 피복변화 예측

식재식물들의 피복률 조사결과 중 생육의 변화를 비교할 수 있는 5월, 7월과 9월의 피복률 데이터를 종속변수로 하여 식재 후 경과 시간과 단순회귀분석을 실시하였으며, 최종적으로 총 8종에서 통계적 유의수준 하에서 피복률 변화 양상 예측모델이 구축되었다(Table 5). 단순회귀분석 결과 기린초, 애기 기린초, 층꽃나무, 꼬리풀, 휴케라, 구절초, 양지꽃, 용머리의 8종으로 기린초와 애기 기린초는 유의수준 내에서 피복률에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 시간이 경과함에 따라 피복률은 증가세에 놓일 것으로 추측된다. 반면 나머지 6종은 유의수준 내에서 피복률에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 시간이 경과함에 따라 피복률이 서서히 감소추세일 것으로 보인다.

기린초는 단순회귀분석 결과 $R^2=0.895$ 으로 약 90%의 설명력을 보이며, t값의 유의도에 의해 피복률에 영향을 미치는 시간 요인($t=10.621$, $p=0.000$)은 유의수준 내에서 피복

Table 5. The covering models of planted species by simple regression analysis

Species	Model	t	R ² (%)
<i>Sedum kamtschaticum</i>	$y = 27.933 + 1.008x$	10.621	0.895
<i>Sedum middendorffianum</i>	$y = 41.233 + 1.292x$	14.924	0.652
<i>Heuchera micrantha</i>	$y = 45.033 - 1.392x$	29.316	0.876
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>	$y = 67.200 - 1.667x$	36.217	0.874
<i>Caryopteris incana</i>	$y = 32.467 - 1.133x$	28.624	0.895
<i>Dracocephalum argunense</i>	$y = 34.367 - 1.192x$	22.497	0.839
<i>Veronica linariaefolia</i>	$y = 82.833 - 1.475x$	36.217	0.781
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	$y = 70.433 - 2.342x$	22.186	0.817

* y: covering area/total planting area X 100, x: month(***)p<0.001

률에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 시간이 경과함에 따라 피복률은 증가세에 놓일 것으로 추측된다.

층꽃나무는 분석 결과 R²=0.895로 약 90%의 높은 설명력을 보였으며, t값의 유의도에 의해 피복률에 영향을 미치는 요인인 시간 요인은(t=28.624, p=0.000) 유의수준 내에서 피복률에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 시간이 지나면 차츰 피복률이 감소할 것으로 사료된다.

구절초는 회귀분석 실시 결과, R²=0.817로 약 82%의 설명력을 보여 통계적 유의수준 하에서 피복률 변화양상이 있는 것으로 나타났고, 유의수준 내(t=22.186, p=0.000)에서 피복률에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 3년간 피복률 데이터에서도 식재 후 2년까지는 피복률이 증가하다가 3년째 감소하는 모습을 보이는 등 회귀모델의 상수값이 크고 기울기는 작으므로 초기에 높은 피복률을 보인 후 흐름에 따라 피복률이 서서히 감소추세일 것으로 추측된다.

용머리는 회귀모델에 대한 R²=0.839, t값의 유의도에 의해 피복률에 영향을 미치는 요인인 시간 요인은(t=22.497, p=0.000) 유의수준 내에서 피복률에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며 기울기가 층꽃나무와 유사하게 도출되어 시간 경과에 따라 층꽃나무와 유사한 양상으로 피복률 감소세가 예상된다.

5. 고찰

관리조방형 옥상녹화지에서 식재식물의 3년간 피복 변화 양상을 살펴본 결과 총 18종의 식재식물 중 뱀딸기를 제외한 17종은 식재 후 3년까지 꾸준히 생육한 것으로 나타났다. 시기별로 다양한 변화를 보였으나 전반적으로는 식재 후 2년째에 피복률이 안정되거나 증가세를 보이다가 3년째 들어 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 여러 가지 요인이 있겠으나 조성 후 무관리로 유지되어 지속적인 강우에 의한 영향으로 토양 내 양분이 대다수 용탈되고(Kim *et al.*, 1989), 인접 식물들과의 경쟁에 의해 생육에 다소 영향을

받은 것으로 판단된다. 따라서 관리조방형 옥상녹화라 하더라도 최상의 옥상환경 및 식물생육을 고려할 경우 최소한의 관리가 필요할 것으로 보이며, 선행 연구들에서도 식생 정착 후 연간 1~2회의 점검을 제안하고 있다(Kristin and Rowe, 2006; Dunnett and Kingsbury, 2004; FLL, 1995).

식재식물의 3년간 피복률 변화를 분석한 결과 18종의 식재식물 중 3년이 경과한 2009년도까지 피복률이 증가세를 보인 종은 기린초, 섬기린초, 애기기린초, 섬백리향, 해국, 무늬동굴레의 6종이었으며, 세덤류인 기린초, 섬기린초, 애기기린초의 지속적인 생육은 옥상녹화 식물로 세덤류의 적합성에 관한 선행 연구들과도 일치하였다(Monterusso *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2010). 꼬리풀, 층꽃나무 등 11종은 2009년 들어 감소세를 보였으며, 뱀딸기는 3년째 전수 고사하였다.

생육의 변화를 잘 관찰할 수 있는 기간인 5월, 7월과 9월의 피복률 데이터를 종속변수로 하여 식재 후 경과 시간과 단순회귀분석을 실시한 결과 기린초, 애기기린초, 층꽃나무, 꼬리풀, 휴케라, 구절초, 양지꽃, 용머리의 8종에서 통계적 유의수준 하에서 피복률 변화양상 예측모델이 구축되었으며, 기린초와 애기기린초는 유의수준 내에서 피복률에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 시간이 경과함에 따라 피복률은 증가세에 놓일 것으로 나타났다. 반면 나머지 6종은 유의수준 내에서 피복률에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 시간 경과에 따른 피복률 감소추세가 예상되었다.

한편, 식재식물의 피복 특성을 분석한 결과 피복유형은 크게 식재지 유지형, 인접지역 잠식형, 포복 확산 유형, 산발 확산형의 4가지로 유형화할 수 있었다. 식재지 유지형에는 무늬동굴레, 휴케라, 꼬리풀이 속하였는데 식재 당시의 위치에서 크게 벗어나지 않으면서 인접 식물중에 경쟁을 유도하지 않으면서 생육해갈 것으로 보인다. 인접지 잠식형에는 세덤류 기린초와 애기기린초를 비롯하여 노루오줌, 해국 등이 속하며 인접하는 타 식물의 생육에 다소 영향을 미칠 것으로 보인다. 돌나물과 섬백리향 등은 포복경으로 뻗어가

면서 식재면적을 확보해 나가는 모습을 보여 포복 확산형으로 분류하였다. 구절초와 별개미취, 층꽃나무는 근경을 통한 영양번식이나 종자번식을 통해 본래의 식재지에서 산발적으로 퍼져 나가는 양상을 보여 산발 확산형으로 분류하였다. 이러한 유형의 경우 옥상녹화지 도입 시 특히 고려해야 할 종으로 별개미취나 구절초와 같이 타 식재종에 비해 넓은 면적을 산발적으로 확산해가는 종은 본래의 식재지에서 벗어나 다른 식물의 생육에 영향을 미칠 가능성이 높을 것으로 사료된다. 그러나 이러한 종들은 다소 제한적인 옥상환경에서도 생육이 양호하고 다년간 경관유지에 도움이 되므로 도입 시 일정 구역에 집단식재 하거나 빠른 피복효과나 자연스러운 경관유도를 필요로 하는 경우에 도입하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 식재식물 중 층꽃나무는 선행 연구(Choi *et al.*, 2009)에서 옥상녹화에서 생육이 양호한 것으로 조사된 반면 본 실험결과에서는 2008~2009년에 걸쳐 피복률 감소세가 뚜렷하게 나타나 옥상환경에서의 생육이 시간이 경과함에 따라 저조해지는 것으로 나타났다. 이는 선행연구의 경우 1년간 실시된 실험의 결과로 장기적인 모니터링을 실시한 본 연구결과와 다소 차이가 있는 것으로 보이며, 층꽃나무 식재공간에 이입식물 발생률이 높은 것으로 조사된 Han(2009)의 연구에 비추어 이입식물의 영향도 다소 있었을 것으로 사료된다. 구절초의 경우 산발적으로 피복면적을 확산해나가는 유형으로 본래 식재구에서는 3년째부터 피복률이 감소하는 모습을 보여 이러한 피복 특성을 반영한 식재가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 결과는 관리조방형 옥상녹화 조성 시 주요 식재식물의 피복변화를 감안한 지속가능한 식재계획 수립에 적용 가능할 것으로 기대되며, 이처럼 식재식물의 피복변화양상 및 유형을 고려하여 옥상녹화 식재계획을 수립할 경우 보다 장기적으로 안정된 생육을 기대할 수 있을 것으로 보인다. 향후 본 연구에 적용된 식물 이외의 옥상녹화 식물들에 대한 장기적인 피복특성 모니터링을 통해 지속가능한 옥상녹화 식재계획을 위한 다양한 식물정보 구축이 필요할 것으로 생각된다.

인용문헌

- Bang, K.J., J.H. Ju and S.H. Kim(2004) Effect of Soil and Irrigation Period on Some of the Native Plants in an Artificial Substrate of Roof Garden. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 7(6): 75-83.
- Choi, J.W., H.K. Kim, K.J. Lee and H.K. Kang(2009) Economics and Ground Cover Growth Characteristics of a New Method of Shallow Soil Artificial Foundation Planting. *Korean Journal of landscape architecture* 37(5): 98-108. (in Korean with English abstract)
- Dunnett, N. and N. Kingsbury (2004) *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland, Oregon, Timber Press, pp. 1-90.
- Dvorak, B. and A. Volder(2010) Corrigendum to "Green roof vegetation findings for North American ecoregions: A literature review". *Landscape Urban Plan.* 96(4): 197-213.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (2002) *Guideline for the Planning Execution and Upkeep of Green-Roof Sites - Roof-greening Guideline*. pp. 12-13.
- Han, Y.C.(2009) A Study on Occurrence Aspect of Invasive Plants According to Planted Plants in Extensive Rooftop Greening. Master's thesis Seoul Women's University Horticultural Science Department, pp. 56-57. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.H., K.Y. Huh and M.R. Huh(2010) Cold Tolerance Assessment of Sedum Species for Shallow-Extensive Green Roof System. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(1): 22-30. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W. and Y.K. Lee(2006) Classification and Assessment of Plant Communities. pp. 162-167.
- Kim, K.S.(2006) Study on development of ground covering herbaceous plants. Korean Ministry of Education, Science and Technology. 2nd Rep. 56pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.K., K.W. Chang, I.S. Woo, S.K. Ham, and Y.K. Nam(1989) Adjustment of Nitrogen by the Absorbing Patterns of Nutrients of Some Crops and N-Leaching in the Soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 22(4): 307-314. (in Korean with English abstract)
- Ko, A.L. and E.H. Lee(2010) The Change of Flora and Fauna on Extensive Rooftop Green Areas. *Kor. J. Env. Eco.* 24(3): 334-342. (in Korean with English abstract)
- Kristin, L.G. and D.B. Rowe(2006) The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *Hort science* 41(5): 1276-1285.
- Lee, C.B.(2003) *Coloured flora of Korea*. Hyangmunsa, Seoul, 123, 139, 465pp. (in Korean)
- Lee, E.H., E.J. Cho, M.Y. Park, D.W. Kim and S.W. Jang(2007) Selecting Plants for the Extensive Rooftop Greening Based on Herbal Plants. *The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology.* 10(2): 84-96. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.S., Y.S. Kim, G.Y. Jeong and Y.L. In(2003) Selection of Ground Cover Plants for Low Management and Light Weight Rooftop Afforestation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21(2): 102. (in Korean with English abstract)
- Maclvor, J.S. and J. Lundholm(2011) Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof condition in a maritime climate. *Ecological engineering* 37: 407-417.
- Ministry of Environment(2008) *Restoration Technology for Damaged Ecosystem; Technology Development for Restoration Natural Ecosystem of Urban Artificial Ground*. pp. 335-368. (in

- Korean)
- Monterusso, M.A., D.B. Rowe and C.L. Rugh(2005) Establishment and Persistence of Sedum spp. and Native Taxa for Green Roof Applications. Hort. Sci. 40(2): 391-396.
- Oh, C.H. and E.Y. Jung(2006) Change of Naturalized Plant Ratio for Three years(2003~2005) of a Rooftop Garden in Seoul. Journal of the Industrial Technology Research Institute. Dongkuk Univ.16(1): 53-61. (in Korean)