

수도권 매립지 수목상태 모니터링 및 식생관리 방안

Monitoring of the Trees and Planning of Vegetation Management in Sudokwon Landfill, Korea

이경재¹ · 최진우² · 장재훈³ · 김홍순³

¹서울시립대학교 조경학과, ²도시생태학연구센터 HUNECO,

³서울시립대학교 대학원 조경학과

서론

인천광역시 서구 백석동에 위치한 수도권매립지는 동서로 약 2%이내 경사를 갖는 해안 간석지로 낮은 기복을 이루고 있으며 총면적이 1,989만m²의 세계 최대 규모의 위생매립지로서 5개의 공구로 구분되어 있다. 1992년 2월부터 시범매립이 시작되고 1993년부터 본격적으로 폐기물이 반입되어 2000년 10월 매립 완료된 제 1매립장에는 최상층에 대한 최종복토와 관련한 안정화공사가 2004년 완료되었으며 지금 제 2매립장에 대한 매립이 진행되고 있다.

수도권매립지관리공사는 2044년을 목표로 'Dream Park'를 조성하고 있는데 연탄재야적장에는 녹색바이오단지, 매립완료 지역인 제 1매립장에는 체육공원, 제 3매립장에는 환경문화단지, 제 4매립장에는 자연탐방단지를 조성하여 수도권 주민의 휴식장소 뿐만 아니라 세계적인 관광명소로 계획하고 있다. 이런 계획의 일환으로 2002년부터 '1,000만 그루 나무심기'라는 녹화사업을 실시해 상수리나무, 소나무, 곰솔, 자귀나무, 개나리, 해당화 등 다양한 수목과 억새 등 초본류를 식재하여 양적인 발전을 가져왔다.

매립지 토양은 일반적으로 토양내 산소공급, 양이온교환능력, 영양물질상태, 수분보유능력 등이 낮고, 반면에 높은 토양온도, 과도한 다짐 등으로 토양환경이 불량한 것으로 알려져 있으며(김기대, 2001) 수도권매립지에서도 생육환경이 일반지역보다 열악하여 부분적으로 생육상태가 불량한 지역이 발생되고 있다. 따라서 장기적인 측면에서 매립지 환경조건에 적응성 있는 수종과 식재기법 적용이 필요하였다. 또한 대면적 녹지조성으로 인해 심도 있는 관리가 현실적으로 어려우므로 효율적인 관리체계 개발이 요구

되었다. 이에 식생관리 방안을 도출하기 위한 모니터링 필요성이 제기되었다.

본 연구의 결과는 매립지 생태복원 기초 자료로 활용하며, 식생발달특성을 고려한 관리유형 및 관리방안을 도출하고자 전체 부지 중 쓰레기 매립이 2001년 10월에 완료된 제 1매립장을 대상으로 선정하였다.

연구내용 및 방법

1. 연구범위

연구대상지는 매립지 지역의 식생지역 중 매립지의 생태적인 특성을 파악하고, 앞으로 매립이 완료되는 매립지에 적절한 식생관리 방안을 도출하기 위하여 매립이 완료된 제 1매립장 사면(1,056,619m²)을 설정하였다. 2006년 9월~2009년 12월까지의 기간 동안 효과적인 식생관리를 위한 전체적인 식생관련 지도화를 실시하여, 모니터링된 결과를 종합하고 수목 생육불량 파악, 수도권 매립지 환경정화수 선정 위주로 연구를 진행하였다.

2. 식생 조사

1) 현존식생

대상지 내 목본, 초본식물 식생상관(Vegetational physiognomy)을 기본으로 1/3,000 수치지형도에 분포현황을 도면화하여 현존식생도를 작성하였다. 작성한 현존식생도는 식재기능(녹화식재, 경관식재)과 수목성상, 자생여부를 고려하여 유형을 분류하고 유형별 면적 및 비율을 산정하였다.

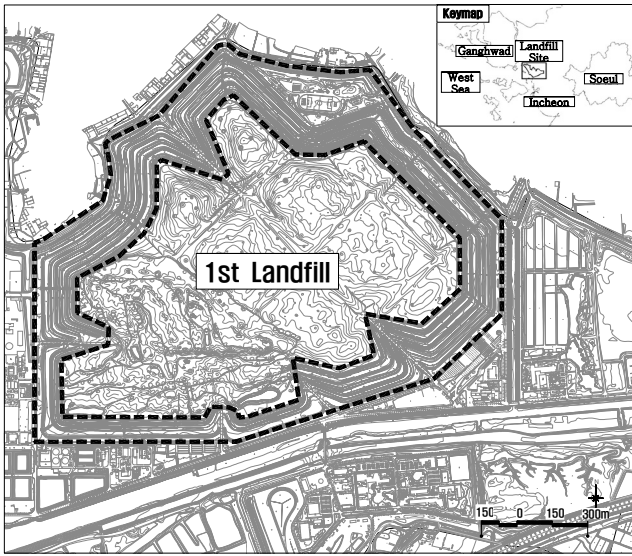


그림 1. 수도권 매립지 위치도

2) 식생구조

식생구조 조사구는 현존식생 자료를 바탕으로 대표적인 식재유형과 식재형태 등을 고려하여 설정하였다. 자연식생 군락이 생태적으로 유지되는 최소면적이 100~500m² (Ellenberg, 1956; Westhoff & Maarel, 1973)이므로 본 연구에서는 20m×20m(400m²) 크기의 방형구법(quadrats method)을 기본단위로 설정하였다. 초본종 식생조사는 Braun-Blanquet(1964)의 방법에 따라 조사구내에 출현하는 모든 초본 식물 종을 기록하고 우점도(Dominance)와 군도(Sociability)를 조사하고 방형구에 분포범위를 표시하였다.

2007년도 제 1매립장 사면 식생구조 분석은 매립지 지형 구조에 따른 Belt-transect 조사구, 식재수종에 따른 주요 식재유형 조사구, 2002년 이후 5년간 식생변화 비교 조사구 등 3개 유형으로 구분하여 실시하였다. 2008년과 2009년도에는 기존 식생구조 조사내용을 바탕으로 식재수종에 따른 주요 식재유형 조사구를 추가하여 실시하였다. 주요 식재유

표 1. 제 1매립장 사면 조사구유형별 특징 및 개소수

조사구유형	특징	개소
Belt-transect	현존식생 구역별 식재시기에 따른 식생구조 분석	5개소
식재유형 조사구	식재수종, 식재구조에 따른 조사구 분류	7유형 193개소
식생변화 비교조사구	2002년부터 5년간의 식생변화 비교 가능	11개소

형 조사는 2008년도에는 2~6단 녹화식재지와 경관식재지에 38개 조사구, 2009년도에는 46개 조사구를 설정하였다.

3. 수목 생육불량을

2007년에 4단 상부 및 3단 상부 지역 주요 식재 유형별 조사구 중 60개소를 선정하여 수목 생육불량률을 조사하였다. 2008년과 2009년에는 2007년도에 실시한 4단 상부 및 3단 상부 지역 주요 식재 유형별 조사구 60개소와 2008년 9개소를 추가하여 총 69개소에서 수목 생육불량률을 조사하였다. 성목과 묘목식재지를 구분하여 조사구를 설정하였으며 69개 조사구는 총 26개 유형 664주로 구성되었다. 수목 생육불량률은 수목의 가시적인 피해정도를 조사하는 이경재(1993)의 방법으로 잎의 변색도, 낙엽정도, 위축, 신초생장, 소지상태, 정아유무, 수관감소, 수세 등을 점수화하여 생육불량률을 산정하였다. 생육불량률 산출방법은 활엽수 평가총점 25점, 침엽수 평가총점 41점으로 항목별 평가점수를 합계하여 백분율로 최종 생육불량률을 산출하였다.

4. 토양특성

제 1매립장의 매립시기 및 식재시기에 따른 토양환경 변화를 비교하기 위해 2007년에는 Belt-transect 조사구-3 사면에서 층위별로 토양 7점을 채취하여 토양 이화학적 분석을 하였다. 2008년에는 토양환경 생육불량 지표종이 위치한 지역 15개소(제 1매립장 15개소)를 추가 선정하였다.

결과 및 고찰

1. 식생

1) 현존식생

제 1매립장은 1992년부터 2000년까지 위생매립이 진행되면서 1년에 1단씩 매립과 식생조성 과정을 거쳐 현재 높이 33m, 8단까지의 지형을 갖추고 사면부에 녹화사업을 추진해왔다. 8단 상부는 현재 골프장에정부지이며 일부 남서쪽 일대는 5단 상부까지만 성토되어 골프장으로 조성되고 있다. 녹화사업의 방법은 주로 Seed spray 공법, 묘목식재, 성목식재로 구분할 수 있다. 종자를 살포하는 Seed spray 공법으로 발생한 식생은 아까시나무와 큰감의털이 대표적인 사례로서 현재 강한 적응성을 보이고 있다. 2002년부터

1,000만 그루 나무심기사업의 일환으로 매립장 사면 일대에 곶솔, 목백합나무, 붉나무, 양버즘나무, 이팝나무 등 묘목이 대규모로 식재되었다. 또한 'Dream Park' 계획의 추진내용으로 3~6단 지역을 중심으로 경관을 목적으로 조경수목과 일부 관목류 및 초화류가 식재되었다.

2006년 10월 제 1매립장 사면 현존식생 조사결과 전체면적 1,056,619㎡ 중 수목생육지 47.65%, 초본식물생육지 24.25%, 나지 및 시설지 28.10%로 구성되었다. 수목생육지 중 녹화식재지가 전체면적의 31.14%로 가장 많았으며 경관식재지 13.78%, 자연발생수목 2.73%이었다. 초본식물생육지 중 자생종초지가 16.83%이었고 외래종초지가 7.42%이었다.

2009년 6월 제 1매립장 사면 현존식생 조사결과 전체면적 1,056,945㎡ 중 수목생육지 52.08%, 초본식물생육지 18.24%, 나지 및 시설지 29.67%로 구성되었다. 수목생육지 중 녹화식재지가 전체면적의 31.82%로 가장 많았으며 경관식재지 17.81%, 자연발생수목 2.46%이었다. 초본식물생육지 중 자생종초지가 12.35%이었고 외래종초지가 5.89%이었다.

현존식생 변화 결과는 현존식생 면적 변화는 곶솔, 상수리나무, 왕벚나무, 밤나무가 증가한 반면, 아까시나무와 버드나무는 감소하였다. 수목생육불량 지역에 수목의 교체 및 보식한 결과 곶솔은 2006년 94,407㎡에서 2008년 140,187㎡로 45,781㎡가 증가하였고 상수리나무는 10,012㎡, 벚나무류는 9,674㎡, 밤나무는 2,403㎡가 증가하였다. 아까시나무는 43,575㎡, 버드나무는 3,755㎡가 감소하였는데 이는 봄철과 가을철 지속적인 식생관리 결과로 판단되었다.

2. 식생구조

1) Belt-transect 조사구

제 1매립장 사면은 1992년부터 2000년까지 1년을 간격으로 1단씩 복토되고 녹지가 조성되었다. 따라서 매립지 사면 토양안정화 및 식재시기에 따른 식생구조를 분석하기 위해 주요 사면지역별 10m×120~186m 규격의 Belt-transect 조사구 5개소를 설치하여 분석하였다. Belt-transect 조사구별 각 사면 초본층의 분포경향 분석결과 가장 최근에 조성된 7단 상부사면에는 오리새, 뿌리뽕이, 갈대, 달맞이꽃 등이 우점하였는데 이는 매토종자나 유입종자

에 의한 출현종으로 판단되었다.

2~6단에는 전체적으로 사면녹화용 초본종인 큰김의털과 쑥이 주로 분포하였다. 특히, 큰김의털은 수목이 식재되지 않은 양지뿐만 아니라 수목식재지 하부 음지에서도 강한 적응력을 보이고 있었다. 1단 상부와 하부에는 개망초, 미국쑥부쟁이, 쑥 등이 우점하였는데 토양이 안정화되면서 생존력이 강하고 번식력이 강한 식물이 우점하는 것으로 판단되었다. 2007년 결과와 마찬가지로 7단(매토종자) → 6~2단(사면녹화용) → 1단(적응종)의 경향으로 변화를 바탕으로 식물의 천이경향이 파악되었다.

2) 주요 식재유형 조사구

제 1매립장 사면의 식생구조 현황은 고밀도 생육(수관접침)지역, 저밀도 생육(귀화종유입)지역, 관목/초본식재지 귀화종 피압지역, 식재지 내부 자연발생 목본종 유입지역, 생육불량지역, 생육양호지역, 교목별채 후 맹아번성의 7개 유형으로 구분하였다.

고밀도 생육(수관접침)지역은 총 23개 조사구를 설정 조사하였으며 주요 식재종은 왕벚나무, 아까시나무, 양버즘나무 등이었고 고밀도 생육으로 인한 수목의 수형 불량 및 생육제한으로 수목 이식 및 간벌 작업이 필요하였다.

저밀도 생육지역의 조사구는 총 36개 조사구로 주요 식재종은 곶솔, 붉나무, 왕벚나무 등 이었으며 식재지 하부에 개망초, 돼지풀 등의 귀화식물이 유입되어 기존 식재된 식물을 피압하고 있어 식재종이 정착할 수 있을 때까지 피압식물 제거 등 집중관리가 필요하였다.

관목/초본식재지 귀화종 피압지역은 총 32개 조사구로 침입종에 의한 관목과 초본의 도태 및 소멸이 진행된 지역으로 지속적으로 피압이 될 가능성이 있는 초본식물의 식재를 지양하고 고밀도 관목 식재로 피압식물 유입을 최소화하여야 할 것이다.

식재지 내부 자연발생 목본종 유입지역은 총 21개 조사구로 식재수목과 자연발생 목본종이 경쟁하고 있어 자연발생종 군락으로 유지해가는 관리가 요구된다.

생육불량지역은 총 40개 조사구로 주요 우점종은 감나무, 단풍나무 등 이었으며 생육불량요인은 토양불량, 식재 불량, 관리불량 등으로 판단되었다. 따라서 생육제한 요인 선별 및 집중관리가 요구되는 지역이었다. 생육양호지역은 총 32개 조사구로 주요 우점종은 팽나무, 곶솔, 왕벚나무 등 이었으며 수형 및 성장상태가 양호하여 향후 매립지에

적응성이 강한 수종으로 가능성이 높았다.

교목벌채 후 맹아변성 지역은 총 10개 조사구로 주요 우점종은 아까시나무, 이팝나무, 개오동이었으며 수목 벌채 후 아까시나무 맹아가 번성하고 있는 상태로 아까시나무 관리를 통해 식재된 수목 생육환경 개선이 필요하였다.

3) 식재변화 비교 조사구

식재변화 비교 조사구 모니터링은 2002년 매립장 사면에 식재된 수목 식생변화를 파악하기 위하여 모니터링 2007년에 실시하였다. 본 연구진이 2002년 조사한 28개소 조사구 중 지형 및 식생이 유지되는 11개소에 대하여 모니터링을 실시하여 5년간의 식생변화 비교를 분석하였다.

5년간 변화과정을 살펴보면 주로 양버즘나무, 상수리나무, 모감주나무, 가죽나무, 곶솔 등이 양호한 생장을 보였다. 특히 성장량 및 녹량이 최대로 증가한 양버즘나무식재지(조사구 4)는 녹지용적계수 $3.2\text{m}^3/\text{m}^2$ 증가, 평균수고 4.5m 증가, 평균흉고직경 4.5cm 증가의 변화를 가져왔다. 곶솔, 리기다소나무, 밤나무 등은 녹피율과 수목주수가 감소하였는데 이는 일부 생육불량에 의한 수목피해와 밀도조절에 의한 개체수 감소 때문이었다.

3. 생육불량률

2006년과 2009년 생육불량률 변화를 보면 자귀나무, 곶솔(묘목) 생육불량률이 증가하였으며 꽃사과, 왕벚나무(묘목), 왕벚나무, 살구나무, 곶솔, 자작나무, 이팝나무의 생육불량률이 감소하였다. 생육불량률이 증가한 수종 중 자귀나무는 12.0%로 가장 높은 비율로 생육불량률이 증가하였으며, 감소한 수종 중 곶솔은 20.4%로 가장 높은 비율로 생육불량률이 감소하였다. 곶솔은 2006년 생육불량률이 49.1%로 매우 높은 상태이었으나 2009년 28.7%로 생육불량률이 감소하였다. 곶솔 묘목은 2009년 생육불량률이 8.8%로 초기 생육이 매우 양호하였으나 식재 후 성장한 곶솔은 28.7%로 생육불량률이 증가하였고 왕벚나무 묘목은 2009년 생육불량률 38.1%로 묘목으로 식재하였을 경우 초기 생육은 불량하였으나 식재 후 성장한 왕벚나무는 생육불량률이 27.5%로 감소하였다.

4. 토양

토양환경 조사구는 제 1매립장에 총 15개를 설정하였고,

그 중 수목생육이 불량한 조사구 총 9개소 분석내용을 종합하였다. 토양 단면구조 분석결과 수목 생육불량지역은 토양 내 빨층이 발견되어 배수 불량률이 주요 원인으로 판단되었다. 조사구별 세부 식생생육불량 원인을 살펴보면 조사구 1, 3, 10, 11은 토양 산도가 낮게 나타났으며, 조사구 3, 5, 13은 토양 내 기상비율이 낮게 나타났다. 조사구 3, 5, 8, 11, 13은 유기물 함량이 낮게 나타났으며, 조사구 4, 6, 11 지역의 토양경도가 높게 나타났다. 토양조사 분석결과를 종합하면 토양산도, 토양 내 기상비율, 유기물 함량, 토양경도가 식물생육에 중요한 것으로 판단되었다.

5. 관리 방안

매립장 사면의 안정적인 식생관리 내용에는 수목이 성장하여 수관이 겹치는 고밀도 생육지역에 대한 간벌 및 이식 관리가 필요하며 곶솔, 자작나무, 단풍나무 등 생육불량 수종 등은 중점적으로 관리하며 일부 수종갱신을 해야 한다. 또한 매립장 사면에 분포하는 귀화식물은 척박한 토양을 녹화하는 긍정적인 역할도 지니고 있으며 아직 수도권매립지 내 초본식물의 천이경향이 명확하게 밝혀지지 않았으므로 무조건적인 제거관리보다는 지속적인 모니터링을 우선적으로 수행하는 것이 바람직하다. 다만 수목식재지를 넓은 면적으로 피압하는 단풍잎돼지풀, 돼지감자, 칩 등은 관리가 필요하다.

토양개선의 최소화는 토양조사를 통하여 분석한 결과를 바탕으로 토양환경을 식재수목에 맞도록 적극적 개선을 지양하고 현재 토양환경에 적합한 식생도입과 관리를 제시하였고 주변 이용 및 경관녹지지역 일부 토양을 객토하여 향후 사면 이용계획을 고려한 경관관리지역으로 선정하는 것을 제시하였다.

매립장 환경 적응성이 높은 수목 선정은 매립장 사면 식생현황과 수종별 생육현황을 종합분석한 후 선정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 연구결과를 바탕으로 매립장 내 수목 중 생육불량률 및 고사율이 낮고 성장속도가 빨라 조기 녹화효과가 검증된 수목을 선정하여 '수도권매립지 환경정화수'를 선정하였다. 환경부 환경정화수 검토, 수도권매립지 수목 생육상태 모니터링 결과를 바탕으로 느티나무, 목백합나무, 벚나무류, 상수리나무, 양버즘나무, 팽나무, 모감주나무, 버드나무, 곶솔 등 12개 수종을 선정하였다. 선정된 수목은 향후 매립이 완료된 매립장 사면 및 주변 녹화

시 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

- 김기대(2001) 서울 수도권 지역 쓰레기 매립장의 식생구조와 생태학적 복원, 서울대학교 박사학위논문, 183쪽.
- 이경재(1993) 산성우 및 대기오염물질이 삼림에 미치는 피해의 조기관단에 관한 연구. 한국과학재단 KOSEF 90-0701-01, 205쪽.
- Braun-Blanquet, J.(1964) Pflanzensoziologie. 3 Aufl. Springer-

Verlag., Wien, 865p.

- Ellenberg, H.(1956) Grundlagen der vegetationsgliederung, I. Aufgaben und Method der Vegetationskunde, Walter, H. (Hrsg) Einführung in die phytologie IV, Stuttgart, 136pp.
- Westhoff, V. and van der Maarel(1973) The Braun-Blanquet approach. handbook of vegetation science, Whittaker, R. H.(ed.) Ordination and classification of vegetation, Dr Junk, The Hague, pp. 617-726.