

대규모 지하통합주차장을 갖는 공동주택 인공식재지반 토양품질 개선방안

Improvement of Soil Quality for Artificial Planting's Ground with Large Integrated Underground Parking Lot in Apartment Complex

강명수¹ · 이은엽² · 이정민³ · 김미나⁴

Myung-Soo Kang¹, Eun-Yeob Lee², Jung-Min Lee³ and Mi-Na Kim⁴

(Received November 13, 2014 / Revised January 29, 2015 / Accepted January 29, 2015)

요 약

공동주택 아파트의 조경공간이 변화하고 있다. 지하주차장 조성 면적이 증가하면서 자연지반 면적이 감소되었다. 그 결과 단지 대부분의 조경공간이 인공지반으로 전환되고 있다. 이에 본 연구는 공동주택 식재공간의 현재 토양품질 실태를 분석하여 단지 내 조경공간의 토양품질 관리를 위한 시사점 제시를 목적으로 한다. 이를 위해 토양반입형태가 상이한 3개 사업지구 대상으로 총 17개의 물리성 및 화학성 항목을 조사하여 현 토양품질수준을 진단하였다. 그리고 통계분석(T-test 검증)을 수행하여 지반특성별과 공정주체별 토양 품질의 유의성을 검토하였다. 그 결과, 대규모 지하통합주차장을 갖는 공동주택 단지의 토양수준은 인공토양 식재기준과 비교하여 낮은 것으로 분석되었다. 특히, 가시적 판단이 용이한 물리성은 양호하나 화학성 품질개선이 필요한 것으로 나타났다. 또한 공동주택 지반특성별 토양 품질과 담당공종별 토양 품질의 차이는 없는 것으로 분석되었다(유의수준 5%). 일반적으로 인공지반보다 자연지반의 식재환경이 양호하다는 인식이지만 실제 분석결과 토양품질에 있어서는 자연지반의 토양이 인공지반 토양 품질수준과 동일한 것으로 나타나, 자연지반 토양에 대한 관리기준 도입의 필요성을 제시하였다. 그리고 공종별 담당부서가 상이함에도 불구하고 동일한 수준의 토양이 반입되고 있는 점은 바람직하나 그 토양수준이 상대적으로 낮은 것으로 나타나 품질제고를 위한 관리강화가 필요한 것으로 나타났다.

주제어 : 공동주택, 식재지반, 토양, 자연지반, 인공지반, 토목, 조경

ABSTRACT

Most landscape areas in apartment complex have been changing. Increasing the area of underground parking lots have an effect on apartment's circumstance. Natural ground was decreased so that the most space in apartment complex were converted into an artificial ground. To suggest the soil quality management, this study examined the actual situation about the soil quality of planting ground such as the quality standard as artificial soil, the difference of natural ground, and the difference of soil quality according to the work classification. As a result, the soil quality of the apartment complex with a large underground parking lot had low quality of soil. Soil physical properties were relatively fine but soil chemical properties needed the quality control. The soil quality of natural ground and artificial ground was not statistically significant and the soil quality by the work classification also had no statistical significance. Therefore, we established improvements about standards of the chemical properties for quality management, the soil quality in the natural ground and applying the equivalent standard according to the work classification.

Key words: Apartment Complex, Planting Ground, Soil, Natural Ground, Artificial Ground, Civil Engineering, Landscape Architecture

- 1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(주저자: mskang@lh.or.kr)
- 2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(교신저자: ecoyeob@lh.or.kr)
- 3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원
- 4) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구원

1. 서론

1.1 연구배경

우리나라 공동주택에 지하주차장이 처음 도입된 것은 1980년대이다. 그 후 지속적으로 지하주차장 면적이 증가되었고, 2015년 현재 지상에 주차장 없는 단지는 일상이 되었다. 이처럼 주차장의 지하공간 활용은 지상부 조경녹지공간의 확대로 전환되면서 자연지역 개발에 따른 환경성 복원을 위한 주요한 공간으로 인지되고 있다. 그 결과 실제로 그동안의 공동주택 조경공간은 도심 내 생태공간으로서의 비오톱, 숲의 재현 등 식재밀도와 수목 규격 확대 등 자연수준을 실현하고 있다.

그리고 최근 도시재생 및 압축적 토지이용을 추구하는 도시개발 패러다임의 영향으로 단지 지하 공간 활용은 점차 확대되고 있는 추세이다. 앞으로는 그간의 주차장 기능에서 벗어나 편의·복지시설 등 다양한 기능이 더해져 단지 내 주요 어메니티 공간으로서의 활용방안이 확대되고 있는 실정이다.

특히, 아파트 조경공간은 토심을 최소 90cm 이상 확보하고 자연토로 조성된 식재지반에 최고 R40~50 규격의 수목이 식재되기도 한다. 때문에 경량토를 활용하는 옥상 등 건축물 옥상녹화기술과는 상이한 조성 기술이 요구된다. 자연지반과 인공지반이 연계된 혼합지반을 갖거나, 자연토와 인공토가 혼합된 토양으로 식재지반이 조성되거나, 조성공종에 따라 식재지반을 조성하는 담당부서가 다수로 관리부서가 다양하다. 또한 공동주택 상부는 식재지반임과 동시에 공사 기간 중에는 재료 적치장, 장비 작업공간으로서 활용되고 준공 후에는 이사차량 및 소방차 이용 등 다양한 용도에 적응되어야 하는 점 등이 일반적인 옥상녹화 등과는 다른 접근이 필요하다.

1.2 선행연구 고찰

인공지반 녹화 관련 연구는 대부분 건축물의 옥상과 벽면, 지붕 등 인위적 특수공간과 절성토 사면의 자연적 특수공간에 집중되어 수행되었다. 때문에 특수공간의 지반 안정성과 지반 환경성을 고려한 인공토의 개발과 배합기준, 관리기술에 대한 연구 성과가 대부분이다.

구체적으로 살펴보면, 김선혜(2004)는 일반토양과 인공토양에 다년초 식물 성장률에 따른 분석을 통하여 인공토의 경우 토양개량제 혼합이 바람직하며 저면관수방식의 우수성을 제시하였다. 그리고 이은엽과 문석기(2000)는 인공지반의 배수층 구조별 식물생육실험을 통하여 토양층 내 공극이 뿌리 발달에 기여하는 점과 배수관의 배수효과가 우수함을 입증하였다. 허근영과 심경구(2000)는 인공토양과 자연토양의 혼합에 따른 인공토양의 특성을 식물생육특성을 조사하여 펄라이트 혼합토양에 대한 산성화 문제를 지적하였다. 또한 박준석 등(2010)는 인공식재지반의 토양수분에 따른 순비기나무 생

육량을 조사하여 토양수분함량이 점차 감소하다 강우 후 증가하지만 낮은 토양수분함량과 유기물 부족에 의한 저성장상을 보였으며, 토심이 깊을수록 생육율이 높은 결과를 제시하였다.

그러나 공동주택의 지하주차장이 통합된 단지의 지상부 조경공간을 대상으로 수행한 선행연구는 부재하다. 다만, 통합주차장에 대한 아파트 상부 토지이용 변화에 대한 기존연구(홍성래 등, 2009)가 존재하고 있는 정도이며, 식재지반 특성에 대한 착안연구는 수행되지 않고 있다. 오래전 지하주차장이 도입되었지만 건축물 동 주변으로 한정된 부지 내 일부 면적을 점하는 형태이었으며, 주차장, 광장 등 포장공간으로서의 상부계획으로 인공지반 상부 식재지반 조성면적은 넓지 않았기 때문에 판단된다.

그러나 최근 지하주차장이 단지 전역에 걸친 통합된 형태로 하나의 지하주차장 상부 구조물로 조성되면서 공동주택 조경 공간 대부분이 인공지반으로 전환되어 특수공간과는 또 다른 환경의 인공식재지반으로서의 토양환경 검토의 필요성이 대두되고 있다.

1.3 공동주택 인공식재지반 토양 구성 특징

공동주택 단지는 조성특성에 따라 다양한 토양으로 구성된다. 먼저 기존 정지작업을 수행한 토양, 자연지반에 지하주차장 조성범위만큼의 토공작업을 통한 지하주차장 구조물이 지하에 매설되고, 그 상부의 인공지반에 토양을 포설한다. 공동주택의 경우, 옥상녹화 등과는 달리 인공 토양보다는 자연 토양을 주로 사용한다. 다만 인공지반에 포설되는 토양이 원지반의 토양을 그대로 사용하는 경우도 있으나 경우에 따라서는 단지 내 토양을 반출한 후 인공지반 상부에 포설되는 토양을 반입하는 경우도 있다.

일반적으로 인위적 조작에 의한 토양층 교란은 토양 물리성 변화를 유도하므로 비교적 안정화된 자연지반은 인공지반보다 선호하게 된다. 때문에 인공지반의 토양은 교란뿐만 아니라, 토심한계, 생태적 측면에서 한계를 갖는 식재 지반층으로 품질관리가 요구되는 토양으로 인지되고 있다. 이에 인공지반 내 토양 반입 시 수목생육에 적합한 토양 품질기준을 조경설계기준(2014) 및 시방기준(2014)에 명시하고 있다.

또한 공동주택 아파트 식재지반은 다수 공종에 걸쳐 단계적으로 토양이 반입된다. 대부분의 경우, 공동주택 인공식재지반은 토목공종에서 반입하는 식재지반용 토양(이하, 토목분)과 조경공종에서 반입하는 부토 및 마운딩토(이하, 조경분)에 의해 조성된다. 이처럼 하나의 공동주택이지만 물리적 지반특성과 절차적 공종별 특성이 혼재된 절차를 가진다.

1.4 연구의 목적

본 연구는 대규모 지하통합주차장을 갖는 공동주택의 식

재지반의 토양품질 실태를 진단하고, 지반특성별 그리고 담당공정별 토양품질의 특성을 분석하여 향후 공동주택 식재토양의 계획기준 및 관리방안에 대한 시사점 제시를 목적으로 한다. 특히, 지반특성별(인공지반-자연지반) 토양특성과 공중주체별 토양 특성에 착안하여 현재 공동주택 식재 토양특성을 명확히 하고, 이에 대한 토양 관리기준에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구범위

먼저, 토양 품질 수준을 진단하기 위하여 2014년 현재 한국토지주택공사에서 적용하고 있는 조경설계기준 및 시방서에 대한 문헌조사를 통해 토양 관련 공중 및 설계기준, 현장시공기준을 검토하였다.

다음으로 대규모 지하통합주차장을 갖는 공동주택 단지 3지구를 대상으로 실제 조성된 토양성분을 분석하였다. 대상지 토양채취는 2013년 10월, 12월 3차례 시행하였으며, 물리성 분석을 위한 코어채취와 화학성 분석을 위한 시료채취를 병행하고 실험실 분석을 하였다.

그리고 토양 결과의 유의성을 판단하기 위하여 통계분석(SPSS 10.0, 분산 분석)을 수행하였다.

2.2 토양조사방법 및 분석항목

공동주택단지의 지반 및 조성 특성에 따른 토양의 물리적 및 화학적 특성을 알아보고자 토양현황조사를 실시하였다. 토양채취기 오거와 코어를 이용하여 15cm와 45cm 지점의 토양층을 채취하여 총 36개의 토양시료를 분석하였다. 특히, 화학성 분석시료는 단일 녹지패치에서 3지점 이상의 토양을 각각 1kg씩 채취하여 혼합하여 분석하였다.

분석항목은 토양의 물리성 및 화학성에 관련된 총 17개 항목을 분석하였다. 물리성 조사항목은 입도, 투수계수, 가비중, 입자밀도, 삼상분포, 공극률로 모두 6개 항목이다. 그리고 화학성 조사항목은 토양산도(pH), 전기전도도(EC), T-N, 유기물, 유효인산, 염분농도, 이산화규소(SiO₂), 황(S), 치환성 양이온(K, Ca, Mg, Na), 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu), 양이온 치환용량, 총 11개 화학적 특성 항목을 대상으로 분석하였다.

물리성 토양분석은 농촌진흥청 연구조사 분석기준(2011)을 준수하고 화학성 토양분석은 농촌진흥청 고시 제2011-46호(2011)에 준하여 분석하였다(표 1 참조).

2.3 분석대상지 개요

분석대상지는 사업지구 토양반입형태를 고려하여, 사업지구 토양 재활용 지구, 사업지구 토양 전량 반출 및 전량 반입

표 1. 화학성 항목별 토양분석방법

분석항목	분석방법
pH	토양과 증류수(1:5)로 초자전극 측정
EC	토양과 증류수(1:5)로 1시간 진탕하여 EC meter 측정
유기물	Walkley-Black method(K ₂ Cr ₂ O ₇ -H ₂ SO ₄ 산화 후 FeSO ₄ ·7H ₂ O로 역적정)
유효인산	농촌진흥청 method(Lancaster 침출액 침출 후 720nm 분광분석)
양이온치환용량	Ammonium 포화법
양이온	1N Ammonium acetate 침출 후 AAS 분석(Varian SpectraA 220-FS)
유효규산, 황	1N sodium acetate 침출 후 분광분석

출처: 농촌진흥청 고시 제2011-46호 “비료의 품질검사 방법 및 시료 채취기준”



(a) 오거 채취

(b) 토양입도 및 화학성 시료 채취현황



(c) 코어 채취

(d) 물리성 시료 채취현황

그림 1. 토양시료 채취현황

지구, 사업지구 토양 일부 반입(조경분) 지구, 3개 지구를 선정하였다. 세부내용은 표 2와 같다.

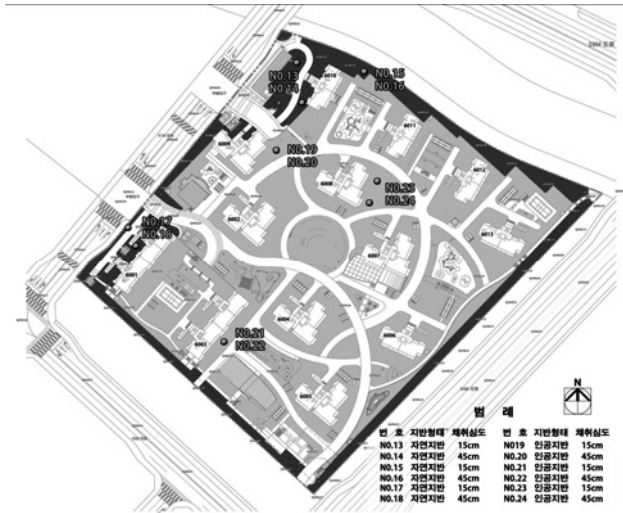
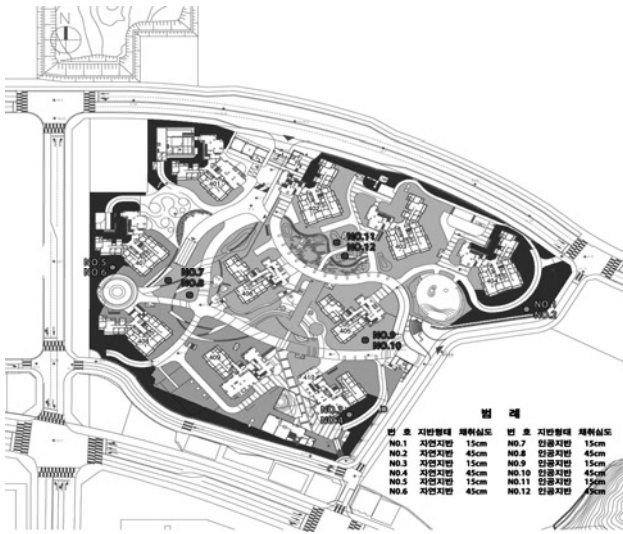
모든 대상지는 통합형 지하주차장으로 조성된 단지이며, 단지 상부의 평균 85%가 인공지반으로 구성된다. 단지 외곽부에는 폭 1~2m의 선 형태로 자연지반이 존재한다. 대상지의 조경율은 대지면적의 평균 44%, 최고 55.3%에 달한다.

이들 대상지의 식재지반 토양반입유형은 모두 상이하다. A지구는 토목분과 조경분을 모두 단지 내에 활용하였고, B지구는 모두 외부반입토를 활용하였다. 그러나 C지구는 토목분은 단지 내 유용토를 사용한 반면 조경분은 외부반입토를 활용하였다. 또한 3개 지구 모두 원지반의 표토 활용 실적은 없다.

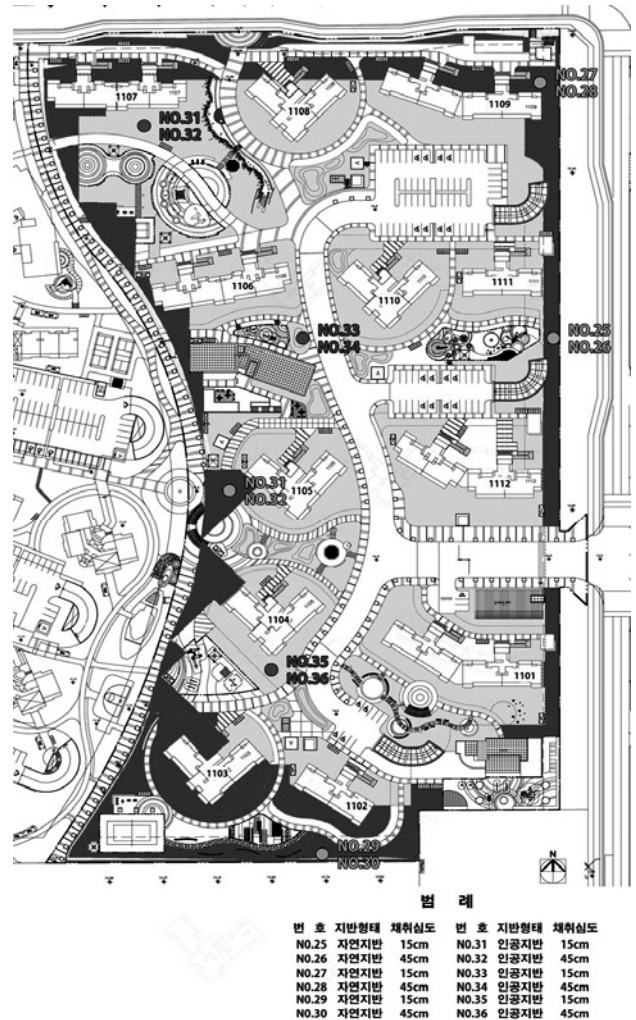
토양 분석지점은 그림 2와 같이 지반특성과 담당공종특성을 고려하여 지반특성(인공-자연지반) 3곳에 공종특성(토목분-조경분)을 구분하여 각 12지점으로 총36개 지점을 선정하였다.

표 2. 분석대상지 현황

구 분		A지구	B지구	C지구				
개 요	대지면적(m ²)	36,605.4	42,378.0	51,832.0				
	지반율(자연:인공)	15 : 85	12 : 88	16 : 84				
	조경면적(m ²)	16,410.0(44.8%)	23,443.1(55.3%)	25,681.2(49.5%)				
	녹지면적(m ²)	15,279.8(41.7%)	21,569.1(50.9%)	22,806.2(44.0%)				
	준공년월	2012.10	2013.12	2014.04				
	지형현황	이단형(FH35.0~42.5)	평지형(FH53.0~56.6)	평지형(FH13.3~14.0)				
토 양	토심(mm)	토목분	900	700	900	600	900	600
		조경분		200		300		300
	반입형태	토목분	단지내유용토		외부반입토		단지내유용토	
		조경분	단지내유용토		외부반입토		외부반입토	
원지반 표토 활용여부		X		X		X		
식 생	녹지면적 내 지반비율(자연:인공)	36 : 64		24 : 76		31 : 69		
	녹지면적 내 인공지반 면적(m ²)	9,842.4		16,486.5		14,248.1		



상 : (a) A지구 / 하 : (b) B지구



(c) C지구

그림 5. 분석대상지 지반특성 및 조사지점 현황

표 3. 공동주택 식재지반 토양의 물리성 현황

구 분	투수계수 (cm/sec)	입자밀도 (g/cm ³)	고상 (%)	액상 (%)	기상 (%)	공극률 (%)	가비중 (g/cm ³)
A지구	3.4x10 ⁻³	2.3	56.0	9.4	34.8	44.0	1.5
사토	1.0x10 ⁻²	2.3	55.5	10.0	34.5	44.5	1.5
양질사토	2.1x10 ⁻³	2.3	56.1	9.3	34.8	43.9	1.5
B지구	3.8x10 ⁻³	2.4	56.6	11.7	31.7	43.4	1.6
사토	1.2x10 ⁻²	2.3	59.0	14.0	27.0	41.0	1.7
양질사토	3.1x10 ⁻³	2.4	56.4	11.5	32.1	43.6	1.6
C지구	6.0x10 ⁻⁴	2.7	52.5	14.2	33.3	47.5	1.5
사양토	3.0x10 ⁻⁴	2.7	52.3	14.1	33.6	47.7	1.5
양질사토	3.3x10 ⁻³	2.5	55.0	15.0	30.0	45.0	1.5
총합계	2.6x10 ⁻³	2.5	55.0	11.8	33.3	45.0	1.5

표 4. 공동주택 식재지반 토양의 화학성 현황

구 분	pH	전기전 도도 (mS/ cm)	T - N (%)	유 기 물 (%)	유효 인산 (ppm)	염분 농도 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	양 이 온 (me/g)
A지구	7.2	0.18	0.01	0.3	49	0	213	0	129	1,363	148	32	107	72	4	2	9
사토	7.3	0.23	0.01	0.4	72	0	267	0	169	1,433	136	29	106	79	8	4	10
양질사토	7.2	0.17	0.01	0.3	44	0	202	0	121	1,349	150	33	107	71	4	2	9
B지구	8.0	0.27	0.01	0.1	20	0	245	0	110	1,391	135	29	270	123	6	2	8
사토	7.4	0.20	0.01	0.2	16	0	162	0	86	1,235	128	10	547	128	6	2	8
양질사토	8.1	0.28	0.01	0.1	21	0	252	0	112	1,405	135	31	244	122	6	2	8
C지구	7.3	0.34	0.01	0.3	25	0	132	5	106	1,029	120	58	104	43	4	2	12
사양토	7.2	0.34	0.01	0.3	19	0	124	5	101	987	123	60	102	41	4	2	12
양질사토	7.9	0.31	0.01	0.5	93	0	224	2	159	1,493	87	36	129	57	7	2	10
총합계	7.5	0.26	0.01	0.2	31	0	197	5	115	1,261	134	40	160	79	5	2	10

3. 분석결과

3.1 공동주택 식재지반 토양 특성

공동주택 식재지반의 토성은 사토와 양질사토, 그리고 사양토로, 투수계수는 평균 2.6x10⁻³cm/sec 수준으로 물리성은 양호하나 알칼리성으로 매우 척박한 토양으로 진단되었다.

대상지별 물리성은 토성차이에 의한 투수계수를 제외하고는 대부분의 항목이 유의한 것으로 조사되었다. A와 B지구와 비교하여 C지구가 다소 투수계수는 낮고 입자밀도와 액상, 공극률은 상대적으로 높은 것으로 나타났다(표 3 참조).

반면 토양의 화학성은 표 4에서와 같이 평균 7.5로 pH가 다소 알칼리성을 갖는 것으로 분석되었다. 특히 그 중에서도 토성이 양호한 양질사토(B와 C지구)의 pH가 높은 것으로 나타나 화학성 품질관리가 필요하다. 화학성의 경우, 물리성과 달리 가시적 현장판단이 용이하지 않다. 또한 토양시험은 반입 전 시험은 현장여건상 어려워 선 반입 후시험이 이뤄지고 있는 현실이다. 따라서 현장 반입 시 간이현장시험방법에 대한 구체적인 기준제시가 필요하다.

그 외 항목 중 유기물과 유기인산의 함유량이 매우 낮아

양분이 전혀 없는 척박한 토양으로 진단되었다. 따라서 이식수목의 활착 및 생육에 필요한 추가적인 시비조치가 불가피하다.

조경설계기준(2014)에 의한 토양 품질수준을 비교하면, 공동주택 식재지반의 토양은 물리성 항목은 품질수준 범위 내 분포하고 있으나 화학성 항목의 경우 필수항목인 pH가 다소 높고 권장항목인 유기물 항목은 미달수준으로 진단되었다. 이들 항목(pH, 유기물)은 이식수목의 활착과 생육에 필수적인 요인으로 현 공동주택 식재지반 토양의 화학성 항목의 품질확보방안 강화가 필요한 점을 시사한다.

3.2 지반특성별 토양 특성

일반적으로 자연지반의 토양은 자연 상태의 안정된 토층을 가지고 있다는 전제하에 인공지반의 토양보다 양호한 생육지반으로 판단되고 있다. 그러나 공동주택 단지사업의 경우, 자연지반이 사업지구 경계를 따라 폭 2-3m의 범위로 분포하고 있어 조성 공사 시 자연지반 토양의 교란이 불가피하다. 따라서 본 절에서는 자연지반과 인공지반의 토양특성의 유의성이 있는지를 판단하고자 한다.

(1) 자연지반 토양 특성

표6에 의하면, 자연지반 토양의 경우 양질사토, 사양토, 사토의 3가지 토성으로 조성된다. 평균입자밀도는 조경설 계기준(2014) 상 적정밀도 범위를 가지나, 부분적으로는 다소 높은 경우도 존재하였다. 삼상은 기상을 제외하고는 고상은 높고 액상이 다소 낮은 특징을 갖는다. 특히 공극률이 모두 40% 이상이며, 투수계수는 평균 0.002cm/sec로 분석되었다.

토양 화학성은 전질소와 염분농도, 치환성 염기(K, Ca, Mg), 미량원소(Zn, Cu) 그리고 양이온치환용량은 양호한 것으로 조사되었다(표7 참조). 다만 pH가 높아 알칼리 특성을 가지고 전기전도도의 경우 다소 높은 경향을 보였다. 또한 유기물, 유효인산, 그리고 치환성 염기 Na⁺와 미량원소 Fe, Mn-는 기준범위를 크게 미달하는 것으로 조사되어 시비 등에 의한 토양성분 개량이 불가피한 것으로 분석되었다.

결국 자연지반의 물리성은 모래 등 입자의 함량이 높아 알갱이가 많은 토양으로 공극률이 높아 토양 내 수분량이 낮은 건조한 토양으로 양분을 갖지 못한 척박한 알칼리성 토양으로 판단된다.

(2) 인공지반 토양 특성

반면 인공지반 토양의 경우(표 5 참조)에는 양질사토와 사양토, 2가지 토성으로 조사되었다. 입자밀도의 평균치는 적정범위를 가지나 표준편차가 커 다소 입자밀도가 높은 경향을 가진다. 삼상은 기상을 제외하고 고상은 높고 액상은 낮으며, 공극률이 모두 40% 이상으로 분석되었다. 가비중이 평균 1.5% 범위로 다소 높다.

인공지반 토양 화학성은 전질소와 염분농도, 치환성염기(K, Ca, Mg), 미량원소(Zn, Cu), 그리고 양이온치환용량은 양호한 것으로 조사되었다. 다만, pH가 높아 알칼리성 토양으로 전기전도도는 0.2mS/cm 기준보다 높은 것으로 나타났다. 또한 유기물, 유효인산, 그리고 치환성 염기 Na⁺와 미량원소 Fe, Mn-는 기준범위를 크게 미달하는 것으로 조사되었다(표 6 참조).

결국 인공지반 토양의 물리성은 다소 입자밀도가 높고 고

상이 높으나 공극률이 높아 비교적 토양 내 적정 수분량을 가지며, 다소 무거운 토양으로 유기물 양분을 갖지 못한 척박한 알칼리성 토양이다.

(3) 지반특성별 토양 유의성 검토

이와 같은 특성을 갖는 토양 항목을 대상으로 자연지반과 인공지반의 통계적 유의성을 분석(SPSS 12.0, 분산분석 : 등분산 검증)한 결과, 표 7에서 보는 바와 같이 지반특성별 토양 특성은 서로 유의하지 않은 것으로 분석되었다(5% 유의수준, 95% 신뢰도 수준).

이처럼 대규모 지하주차장이 통합되어 사업지구 전면에 걸쳐 조성되는 사업지구의 자연지반은 사업 전 자연지반의 토양과 동일하지 않다. 이는 자연지반이 부지 경계 부를 따라 남겨지나, 사업 추진 시 지하굴착 등 작업공간으로 활용되어 기존 자연 토양층이 훼손되기 때문이다. 훼손된 자연지반의 토양층은 인공식재지반 조성 시, 인공식재지반과 동일한 토양으로 포설되기 때문에 결과적으로 인공식재지반과 동일한 토양이다. 옥상 등과 같은 통상적 인공식재지반 토양이 자연지반 토양과 상이한 근본적인 원인은 공동주택 지하주차장 상부 조정공간은 인공지반이지만 자연토를 그대로 식재지반으로 활용하고 있기 때문이고, 통합형 지하주차장이 거대화되면서 자연지반 부지가 협소하여 지하굴착 시 작업공간으로 훼손되고 있기 때문이다.

일반적으로 인공식재지반 토양의 경우 하중 등을 고려하여 인공토양과의 혼합토 사용을 권고하고 있다. 때문에 통상적으로 자연지반보다 인공지반의 토양조건이 열악하다고 인식하는 경향이 강하다. 조성호(2010)는 그의 연구에서 자연지반과 인공지반에 동시에 식재된 수목의 생육상태가 서로 상이하다는 결과를 제시하였다. 그러나 본 분석결과, 공동주택의 경우 인공지반과 자연지반의 토양 특성의 유의성은 없는 것으로 나타났다. 따라서 공동주택 인공식재지반은 배수층이나 토심, 마운딩 높이 등 수목 식재지의 지반별 공간특성과의 상관성이 있을 것으로 예상되며, 향후 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

표 5. 자연지반과 인공지반의 물리적 토양 특성

구 분	투수계수(cm/sec)	입자밀도(g/cm ³)	가비중(g/cm ³)	고상(%)	액상(%)	기상(%)	공극률(%)
자연지반	3.3x10 ⁻³	2.5	1.4	56	11	33	44
사양토	2.0x10 ⁻⁴	2.7	1.5	53	13	33	47
사토	1.1x10 ⁻²	2.3	1.3	57	11	32	43
양질사토	2.5x10 ⁻³	2.4	1.4	57	10	33	43
인공지반	1.9x10 ⁻³	2.4	1.3	54	12	34	46
사양토	4.0x10 ⁻³	2.6	1.4	51	15	34	49
양질사토	2.7x10 ⁻³	2.3	1.3	55	11	34	45
총합계	2.6x10 ⁻³	2.5	1.3	55	12	33	45

표 6. 자연지반과 인공지반의 화학적 토양 특성

구 분	pH	전기전도도 (mS/cm)	T-N (%)	유기물 (%)	유효인산 (ppm)	염분농도 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	양이온 (me/g)
자연지반	7.7	0.3	0.01	0.3	37	0	203	5	117	1,328	126	35	198	84	6	2	9
사양토	7.4	0.3	0.01	0.3	18	0	120	6	112	1,034	125	56	106	43	4	2	11
사토	7.3	0.2	0.01	0.3	53	0	232	0	141	1,367	133	23	253	95	7	3	9
양질사토	8.0	0.3	0.01	0.3	42	0	237	2	112	1,463	125	28	227	101	6	2	9
인공지반	7.3	0.3	0.01	0.2	26	0	190	5	113	1,194	142	44	123	74	4	2	10
사양토	7.1	0.4	0.01	0.3	20	0	127	5	91	947	120	63	99	40	5	2	13
양질사토	7.4	0.2	0.01	0.2	29	0	221	0	123	1,317	153	35	135	92	4	1	8
총합계	7.5	0.3	0.01	0.2	31	0	197	5	115	1,261	134	40	160	79	5	2	10

표 7. 자연지반과 인공지반 토양 유의성 분석 결과(T-test 검증)

구 분	분석항목	F	유의확률	분석항목	F	유의확률	
물리성	투수계수(cm/sec)	1.649	.208	삼상 (%)	고상	3.517	.069
	입자밀도(g/cm ³)	.318	.577		액상	.765	.388
	가비중(g/cm ³)	6.155	.018*		기상	.503	.483
	공극률(%)	3.517	.069				
화학성	pH	3.262	.080	Ca(ppm)	1.147	.292	
	전기전도도(mS/cm)	.125	.726	Mg(ppm)	2.140	.153	
	T-N(%)	1.000	.324	Na(ppm)	1.966	.170	
	유기물(%)	1.954	.171	Fe(ppm)	4.032	.053	
	유효인산(ppm)	2.113	.155	Mn(ppm)	.523	.475	
	염분농도(%)	.000	.000	Zn(ppm)	5.695	.023*	
	SiO ₂ (ppm)	.279	.601	Cu(ppm)	4.012	.053	
	S(ppm)	.009	.924	양이온치환용량(me/g)	.175	.678	
	K(ppm)	.213	.648	-	-	-	

주) *유의수준 5%, 신뢰도 95%

표 8. 조경분과 토목분과의 물리적 토양 특성

구 분	투수계수(cm/sec)	입자밀도(g/cm ³)	가비중(g/cm ³)	고상(%)	액상(%)	기상(%)	공극률(%)
조경분	2.4x10 ⁻³	2.4	1.5	55	11	34	45
사양토	3.0x10 ⁻⁴	2.6	1.5	53	12	35	47
사토	1.2x10 ⁻²	2.3	1.7	59	14	27	41
양질사토	2.5x10 ⁻³	2.4	1.5	56	10	35	44
토목분	2.8x10 ⁻³	2.5	1.6	55	13	32	45
사양토	3.0x10 ⁻⁴	2.7	1.6	52	16	33	48
사토	1.0x10 ⁻²	2.3	1.5	56	10	35	45
양질사토	2.7x10 ⁻³	2.4	1.6	57	12	31	43
총합계	2.6x10 ⁻³	2.5	1.5	55	12	33	45

표 9. 조경분과 토목분과의 화학적 토양 특성

구 분	pH	전기전도도 (mS/cm)	T-N (%)	유기물 (%)	유효인산 (ppm)	염분농도 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	S (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	양이온 (me/g)
조경분	7.5	0.2	0.01	0.2	29.2	0.0	188	4	112	1,248	134	38	166	82	4	2	10
사양토	7.2	0.3	0.01	0.2	10.2	0.0	112	5	95	899	124	62	100	42	4	2	13
사토	7.4	0.2	0.01	0.2	16.0	0.0	162	0	86	1,235	128	10	547	128	6	2	8
양질사토	7.6	0.2	0.01	0.2	38.3	0.0	222	2	121	1,394	139	30	161	95	4	2	9
토목분	7.5	0.3	0.01	0.2	33.7	0.0	205	6	118	1,274	134	41	155	76	5	2	9
사양토	7.2	0.4	0.01	0.3	26.5	0.0	134	6	106	1,059	122	58	104	41	4	2	11
사토	7.3	0.2	0.01	0.4	71.5	0.0	267	0	169	1,433	136	29	106	79	8	4	10
양질사토	7.7	0.3	0.01	0.2	30.4	0.0	235	0	115	1,371	142	34	195	97	5	2	9
총합계	7.5	0.3	0.01	0.2	31.4	0.0	197	5	115	1,261	134	40	160	79	5	2	10

표 10. 조경분과 토목분 토양 유의성 분석 결과(T-test 검증)

구분	분석항목	F	유의확률	분석항목	F	유의확률	
물리성	투수계수(cm/sec)	.251	.619	삼상 (%)	고상	4.574	.040*
	입자밀도(g/cm ³)	1.535	.224		액상	.782	.383
	가비중(g/cm ³)	.023	.879		기상	.000	.987
	공극률(%)	4.574	.040*				
화학성	pH	.018	.895	Ca(ppm)	.037	.848	
	전기전도도(mS/cm)	.051	.823	Mg(ppm)	.103	.750	
	T-N(%)	4.516	.041*	Na(ppm)	.168	.685	
	유기물(%)	.524	.474	Fe(ppm)	.029	.865	
	유효인산(ppm)	.519	.476	Mn(ppm)	6.358	.017*	
	염분농도(%)	.000	.000	Zn(ppm)	.780	.383	
	SiO ₂ (ppm)	.243	.625	Cu(ppm)	.942	.339	
	S(ppm)	.084	.773	양이온치환용량(me/g)	1.383	.248	
	K(ppm)	.074	.788	-	-	-	

주) *유의수준 5%, 신뢰도 95%

3.3 담당 공종별 토양 특성

공동주택 단지의 경우 주차장 상부 식재지반을 조성함에 있어 건축물 기준선을 중심으로 그 하부는 토목공사에서 매토를 하고, 그 상부는 식재를 담당하는 조경공사에서 복토를 담당하여 식재토양조성주체가 이원화되어있다. 이 때 토양반입기준도 조성주체별로 상이하다. 조경설계기준(2014) 및 시방서(2014)에 의하면, 토목공사의 경우 토성과 투수계수, 이물질(굵은 돌, 나뭇가지, 진흙 등) 함유량 등 주로 물리성 중심의 항목으로 판단하여 반입하는 반면, 조경공사의 경우 토성, pH, 유효인산, 유기물 등 토양화학성을 고려하여 반입한다. 단지 내 조경공간이 지하주차장 구조물에 의한 인공지반으로 한정 토심을 가지게 되면서 토양의 질은 식생환경 조성 및 유지에 중요한 요인이다. 이에 본 절에서는 조성주체별 토양유의성 여부를 검토하였다.

(1) 조성주체별 토양특성

분석결과, 표 8과 표 9와 같이 조경분과 토목분의 물리적 특성은 매우 유사한 경향을 보인다. 표 8에서 보면 반입된 토성도 사양토, 사토, 양질사토 3가지로 동일하며, 투수계수도 10⁻²cm/sec(사토)~10⁻⁴cm/sec(사양토)의 범위로 동일하다. 입자밀도와 가비중, 공극률 등 동일한 품질로 조사되어 조경분과 토목분은 동일 토양으로 판단된다.

화학성도, 물리성과 동일한 경향이나 표 9에 의하면, pH와 전기전도도, 염분농도는 거의 동일수준으로 조사되었다. 다만 수치적 차이이지만 조경분과 비교하여 토목분의 유기물과 유효인산 함유량이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 이산화규소 항목은 조경분과 토목분 모두 조경설계기준의 적정치의 15배 이상으로 매우 높고, 그 중에서도 특히 토목분의 이산화규소치가 높게 나타났다.

시방기준(2014)에 의하면 물리성 기준을 갖는 토목분과 화학성 기준을 갖는 조경분의 토양은 물리성 수준은 매우 동일

하나 화학성 수준은 조경분보다 토목분의 특성이 상대적으로 양호한 것으로 판단된다. 이는 가시적 선별이 가능한 물리성 품질 수준확보가 화학성 품질관리보다 상대적으로 용이하다는 점이 반영된 결과로 해석된다.

(2) 조성주체별 토양유의성 검토

이들 토양에 대한 정량적 유의성을 검증을 위하여 통계분석(SPSS 12.0, 분산분석 : 등분산 검증)을 수행한 결과, 표 10과 같이 조성주체별 토양 특성은 서로 유의하지 않은 것으로 분석되었다(5% 유의수준, 95% 신뢰도 수준).

결국, 공동주택 단지의 경우 조성주체별 이원화된 기준을 운영하고 있으나, 반입되어 조성되는 식재지반의 토양특성은 유사한 것으로 밝혀졌다. 그러나 비교적 가시적 간이평가가 용이한 물리적 특성은 품질이 양호하나 간이평가 판단이 난해한 화학적 항목에 대한 토양 수준은 다소 미흡한 것으로 분석되었다.

따라서 안정적 식재지반 토양환경 조성을 위한 토양의 화학적 품질관리방안이 중요하다. 효과적인 토양 화학성 품질관리를 위해서는 토양이력통합관리방안 도입 및 현장판단 가능한 판단방법 기준 제시가 필요하다. 토양 반출시 토양시험결과서 첨부 의무화하고, 반입 시 토양 채취이력증명서를 동봉하여 향후 지역 환경에 의한 여건으로 발생될 토양문제를 사전에 진단·대응 가능하도록 정보를 제공하는 절차적 관리방안 적용이 필요하다. 반면, 토양 반입 시에는 현장에서의 즉시적인 간이적 판단기준에 대한 기준 개선이 필요하다. 예를 들면 필수 항목에 대한 pH는 토양반입 단위별로 토양과 증류수의 1:5 희석에 의한 간이평가를 의무화하고, 간이평가결과 하급인 경우에 토양시험을 의뢰하도록 기준을 개정하여야 한다. 반면 권장항목인 유기물은 토양 반입 시 토양시험성적결과를 토대로 조경 공종에서 필요로 하는 비료 등 조치비용에 대한 추가공사비 반영이 가능하도록 기준을 개선하는 방안 등이 있다.

4. 결론 및 시사점

공동주택 단지의 지하주차장 확대조성에 따른 조경공간의 인공지반 증가로 변화되는 식재지반의 안정적 식재환경 확보를 위한 제안의 일환으로 현 공동주택 식재지반 토양 품질 실태 및 수준을 진단하여 공동주택 식재지반 토양 품질관리를 위한 시사점을 제시하였다. 이를 위해 식재지반 변화에 따른 지반특성별 토양 특성과 담당주체별 반입토양의 토양특성에 착안하여 분석하였다.

분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 공동주택 단지 내 토양은 물리성과 화학성 측면에서 모두 조경설계기준(2014)의 범위를 미달하는 것으로 조사되었다. 물리적으로는 사토 배합이 높아 기준과 비교하여 배수능이 다소 높은 것으로 진단되었다. 최근 이상기온현상에 따른 집중강우와 폭염의 정도가 심해지는 것으로 감안하면 토심의 한계를 갖는 토양층의 배수능이 높다는 점은 집중 강우시 원활한 배수기능을 수행할 수 있으나, 여름 가뭄이나 폭염시 토양층 건조문제를 야기하기 쉬운 환경이기 때문에 이를 대비한 관수시설 설치의 필요성을 시사하고 있다. 토양 화학성은 단지 내 토양의 pH가 다소 높고 유기물함량은 저조하여 수목생육에 이상적인 환경은 아닌 것으로 조사되었다. 때문에 수목 식재 시 많은 양의 시비가 당연시되고 있다. 그러나 화학적 조건은 조정 등에 많은 비용과 시간이 소요되는 점을 감안하면 토양 반입 시 일정 수준이상의 토양수급 및 반입절차, 현장관리 강화등 사전적 대응에 힘을 기울여야 한다. 또한 공동주택 단지의 재건축주기가 약 30년임을 고려하면 준공 후 최소 30년 이상 지속가능한 수목관리를 위하여 토양유기물 및 시비 등 양분조건에 대한 신중한 대응이 요구되어질 것으로 예상된다.

둘째, 자연지반과 인공지반 토양품질이 동일한 것으로 분석되었다. 결과적으로 자연지반과 인공지반에 사용되는 토양 품질이 통계적 유의성이 없는 것으로 분석되었으나 전체 품질이 매우 저조한 결과를 고려하면, 자연지반 토양층에 대한 조성 및 관리기준이 필요성을 시사한 결과이다. 특히 대규모 통합형 지하주차장이 조성되는 경우, 부지외곽의 1~2m 전후의 자연지반 녹지 폭은 지반 굴착 시 지하구조물 설치를 위해 지반이 훼손되거나, 천공, 굴착 등 중장비 작업장, 시멘트와 건축자재 적치장 등으로 활용되고 있어 답압이나 적치물에 의한 토양오염에 노출되기 쉽다. 따라서 훼손되는 자연지반의 토양반입기준 적용 및 잔존되는 자연지반의 적치물 토양영양방지를 위한 현장관리강화 및 답압에 의한 투수성 저하 방지를 위한 인위적 토양 교란 작업 조치의 기준화 등 자연지반 관리방안 도입이 필요하다.

셋째, 식재지반 조성주체별 반입토양의 경우도 토양 특성이 통계적으로 유의성이 없는 것으로 분석되었다. 하나의 식재지반이 다수의 조성주체에 의해 조성되고 있음에도 불구하고

고 동일한 토양으로 식재지반이 조성되고 있다는 점에서는 바람직한 결과로 해석된다. 그러나 토양품질이 모든 공중에서 저조한 결과를 고려하면, 현 토양반입기준 및 절차 등 토양활용에 대한 개선이 필요함을 암시한다. 현재는 식재지반 조성고 토양활용의 공정 주체가 일치하지 않아 토양관리에 대한 책임소재가 불분명하고 공중별 토양반입 기준이 상이하여 그 기준 또한 복잡하며, 기준미달의 경우 반입 거부 외 대응조치기준이 부재하여 실질적 토양관리가 불가능하기 때문에 실질적인 토양품질 관리가 어려운 실정이다. 따라서 공동주택 식재지반의 안정적 토양환경 유지를 위한 일원화된 품질항목과 기준의 적용이 필요하다. 또한 각 공중별 원활한 연계를 위한 현장관리 연계시스템 구축 등 통합관리프로세스 도입이 필요하다.

이상과 같이, 지금까지 대규모 통합지하주차장이 조성되는 공동주택 단지의 토양 품질을 진단하고, 토양품질 유지를 위한 시사점을 제안하였다. 무엇보다도 자연지반과 인공지반과의 토양 유의성, 토목분과 조경분과의 토양 유의성이 통계적 유의를 가지지 못하였다는 점은 매우 의미 있는 결과로 이해된다. 향후 자연지반 관리를 위한 구체적 품질기준 및 토목분의 화학적 품질 유지를 위한 기준 정비 등 향후 후속 연구가 필요하다. 또한 토양 특성별 수목 성장 및 생육율, 배수능을 포함한 토양층 내 수분 함유량 등 식재지반층으로서의 토양 역할 및 개선방안에 대한 추가적 연구도 필요하다.

참고문헌

1. 국토교통부(2014), 「조경설계기준」.
2. 김선혜(2004), “화단형태의 인공지반 녹화를 위한 식재토양조성 및 관수방안 연구”, 「한국환경복원녹화기술학회지」, 7(6): 12~18.
3. 농촌진흥청(2011), 「농업과학기술 연구조사분석 기준」.
4. 농촌진흥청(2011), 「비료의 품질검사 방법 및 시료 채취 기준」, 농촌진흥청 고시 제2011-46호.
5. 박준석, 박지혜, 주진희, 유용환(2010), “옥상녹화 식재지반이 토양수분과 순비기나무의 생육에 미치는 영향”, 「한국조경학회지」, 38(3): 98~106.
6. 이은엽, 문석기(2000), “옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육 효과”, 「한국환경복원녹화기술학회지」, 3(4): 11~21.
7. 조성호, 이경재, 한봉호, 노태환(2010), “공동주택단지의 지반구조에 따른 수목 생육 상태 비교 연구”, 「한국환경생태학회 학술대회논문집」, 20(2): 154~158.
8. 한국토지주택공사(2014), 「설계지침(조경)」.
9. 한국토지주택공사(2014), 「설계지침(토목)」.
10. 한국토지주택공사(2014), 「LH 전문시방서(조경)」.
11. 허근영, 심경구(2000), “인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성”, 「한국조경학회지」, 28(2): 28~38.
12. 홍성래, 정대영, 심상렬(2009), “공동주택단지의 주차장 유형에 따른 식재특성”, 「한국조경학회지」, 37(1): 43~49.