

도심 가로수 뿌리의 융기특성 연구[†] - 대전 서구 가로수를 대상으로 -

탁승철* · 이시영**

*배재대학교 대학원 원예조경학과 · **배재대학교 조경학과

A Study on Root Damage to Street Pavement from the Roots of Roadside Trees in Urban Areas - Focusing on Roadside Trees in Seo-gu, Daejeon City -

Tak, Seong-Cheol* · Lee, Shiyong**

*Dept. of Horticulture & Landscape Architecture, Graduate School of PaiChai University

**Dept. of Landscape Architecture, PaiChai University

ABSTRACT

This study investigated root damage characteristics and correlations between roadside trees and street furniture through the investigation of the root damage conditions and the current status of roadside trees and street furniture in Seo-gu, Daejeon City where the occurrence of pavement uplift is frequent. The study area was divided into six areas by species of trees as *Metasequoia glyptostroboides* and *Platanus occidentalis* focusing on the streets that were installed with trees chest height and 8cm round planted at the time of the development of the Dunsan-dong Housing Site Development in Seo-gu, Daejeon metropolitan city (1990~1994). The damage rate of roadside protection frames (95.3%) was higher than that of curbstones (19.7%) at the study site. Streets without a protective frame were more likely to have damaged pavement. In addition, the frequency of breakage of protective frames was lowered when a drinking water area was increased to more than a certain level. The frequency of the type of uplift in the sidewalk pavement surfaces is in the order of tail type > mounding type > irregular type, and the frequency of the uplift direction is the highest in Direction 1 (0~44°), Direction 2 (45~89°), and Direction 3 (95~134°) when 180° of the street direction is based on 90° parallel to the curbstone. The uplift length is about 31~60cm and it is most often at a height of 3~6cm. When comparing the results of uplift deformation, *Metasequoia glyptostroboides* was found to be higher than the deformation of *Platanus occidentalis*. In addition, it can be seen that the larger the length, width and height of the ridge, the larger the deformation becomes. The relationship between the diameter at breast height, the dimension of the pavement width, the frequency of the ridge phenomenon and the deformation amount is not necessarily proportional, and there seems to be a gap due to external factors such as soil humidity and planting base. Therefore there is a need for a multi-directional approach in reducing uplift.

Key Words: *Metasequoia Glyptostroboides*, *Platanus Occidentalis*, Street Physical Elements, Street Uplift Deformation

[†]: 이 논문은 2018학년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임(This paper was supported by a research grant from Pai Chai University in 2018).

Corresponding author: Shiyong Lee, Dept. of Landscape Architecture, Paichai University, Daejeon 35345, Korea, Tel.: +82-42-520-5881, E-mail: sylee@pcu.ac.kr

국문초록

가로수 뿌리용기발생의 빈도가 높은 대전시 서구 내 둔산동택지개발 가로수를 대상으로 뿌리 용기상태와 가로시설 현황조사를 통해 가로수와 가로시설간의 용기특성과 이들 간의 상관관계를 밝히고자 한다. 연구 대상지는 대전광역시 서구를 중심으로 6곳의 메타세쿼이아와 양버즘나무로 선정 조사하였으며, 가로수 뿌리 용기 발생 시 가로수 보호를 파손율(95.3%)이 차도경계석파손율(19.7%)보다 높았다. 또한, 보호덮개가 없는 가로수는 포장면 용기현상 발생 확률이 높으며, 식수대면적이 일정 이상 높아지면 보호를 파손빈도가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

용기형태의 빈도는 꼬리형>마운딩형>불규칙형 순이며, 용기방향의 빈도는 차도경계석과 평행을 기준으로 차량진행방향이 180° 보도 쪽이 90°로 기준하였을 때 1방향(0~44°), 2방향(45~89°), 3방향(90~134°)에서 가장 많은 포장면 용기발생이 일어났다. 또한 용기길이는 약 31~60cm에서 용기발생이 가장 많이 발생하며, 용기높이는 3~6cm에서 발생빈도가 가장 높다. 용기 변형량 결과를 비교해보면 조사 수종이 주수가 메타세쿼이아가 양버즘나무보다 2주 적음에도 불구하고 양버즘나무의 변형량보다 약 1.3배 정도 높게 나타났는데, 이것은 메타세쿼이아가 양버즘나무보다 포장면 용기로 인한 변형량이 높다는 것을 알 수 있다. 또한 용기길이, 용기너비, 용기높이가 클수록 변형량이 높아지는 것을 알 수 있으며, 흉고직경, 보도 폭의 규격, 용기현상의 빈도와 변형량의 관계는 꼭 비례하지 않으며, 토양습도와 식재 기반 등 외부적인 요소로 인해 차이가 있다고 판단되어 용기현상을 저감하기 위한 방법으로 다방향의 개선방안 접근이 필요하다.

주제어: 메타세쿼이아, 양버즘나무, 가로 물리적 요소, 가로 용기 변형량

1. 서론

도시 가로는 보행자, 자전거이용자, 차량 등이 통행을 하는 장소로 볼 수 있으며, 가로수는 녹음과 그늘을 제공해주고, 공기정화, 산소제공 등을 통하여 이용자에게 쾌적함을 제공해 주어 도시요소 중 매우 중요한 역할을 한다.

하지만 최근 가로수 뿌리로 인하여 지자체들이 도시 미관과 조경 등을 위해 도심 속에 심어 오랜 시간 정성을 들여 가꾸어 온 가로수들이 오히려 사고 위험과 불편을 야기하면서 골머리를 앓고 있다. 특히 정기적인 관리와 함께 다른 곳으로의 이식 등도 고려하고 있지만, 최초 식재 비용보다 수배의 예산이 필요한데다 벌목에 대한 시민 반대여론도 있어 대책 마련에 고심하고 있다. 이로 인해 가로수 뿌리로 인한 보도블럭 파손 등으로 보행안전에 위협하면서 민원이 잇따르고 있다(<http://www.kgnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=493141>). 게다가 건조한 도시기후, 오염물질의 증가, 토양표면의 포장 증가 등 주변 환경에 따라 삼림의 수목에 비해 가로수의 생장률이 뚜렷이 저하되고 있으며, 폭이 좁은 보도에의 식재와 누적된 답압으로 인하여 빗물의 지하침투가 어렵고 지하수가 부족하며, 지하토양층 부족과 기증재의 다짐으로 수목의 뿌리 부분이 지표로 성장하면서 뿌리용기현상을 유발하고 있다. 이러한 현상은 많은 부정적인 영향을 가져오는데 특히 도시미관을 해칠 뿐 아니라, 포장재의 손상과 높은 굽의 신발을 신은 여성과 어린이들은 가로수 뿌리에 걸려 넘어지는 안전사고가 발생하며(Ahn, 2014), 보행자의 통행에 제한이 생기고 가로경관 시설물들의 들림 현상, 파손 등이 발생하여 관리상 많은 문제

점이 나타나고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 포장면에 뿌리용기발생의 빈도가 높은 대전시 서구 내 가로수의 뿌리 용기상태와 가로시설의 현황조사를 통하여 가로수와 가로시설 간의 용기특성 및 상관관계를 밝히고자 대상 가로수종은 뿌리 들뜸 현상의 빈도가 잦고 그로 인한 보도 용기현상이 발생하는 수종인 메타세쿼이아와 양버즘나무로 선정하였다. 이를 통하여 용기 연구를 실시하여 효과적인 가로수관리 및 가로수 식재환경 개선 방안을 제시하고, 뿌리 들뜸으로 인한 가로용기현상에 대하여 효과적인 대비책을 마련하여 차후 도시미관의 증진과 보행환경개선을 기대한다.

II. 연구사

1. 수목 뿌리 특성

수목의 뿌리는 아래로 자라는 직근, 수직근, 옆으로 자라는 측근, 수평근, 사선으로 자라는 심장근, 물과 양분을 흡수하는 뿌리털이 나있는 모근, 장근, 세근, 단근 등으로 구성되어 있다. 가로수 주변 보도의 용기 현상은 수평근이 자라 굽어지면서 발생하는 현상이다.

수목의 뿌리는 배의 유근이 발아하여 직근과 측근이 생성되고 다시 갈라져 세근이 형성된다. 뿌리털은 뿌리의 표면적을 확대시켜 무기염과 수분흡수에 크게 기여하며, 수분이 약간 부족할때 왕성하게 발달한다. 예외로는 외생근을 형성하

는 나무(소나무류, 참나무류)들은 뿌리털을 형성하지 않는다. 측근은 주근의 내피 안쪽에 있는 내초세포가 분열하여 만들어진다. 좀 더 자세히 설명하면 내초는 한 층 혹은 서너층의 세포군으로 세포분열능력이 왕성해져 병층분열과 수층분열에 의해 내피와 피층을 뚫고 주근 밖으로 튀어나와 측근이 된다. 측근이 튀어나올 때 주근의 여러 곳에 생기는 상처를 통해 무기염이 어느 정도 부피유동으로 들어올 수 있고, 병원균이나 박테리아도 침입하고, 질소고정 박테리아도 서식하게 된다. 뿌리의 성장속도는 수종과 계절에 따라 다양하며, 성장방향성은 주근이 측근의 굴지성에 영향을 미치고, 뿌리구조가 복잡해질수록 주근의 영향이 적어진다. 또한 지표면에 수분 공급과 기계적 힘도 뿌리 성장방향에 영향을 미친다(Lee, 2011). 또한 뿌리 발달정도에 따라 지상부의 생육상태에 영향을 끼치는데 지상부 생육상태와 지하부 뿌리발달 상태를 구분하여 자연지역과 인공지역을 비교, 세근이 넓게 발달하는 수종과의 관계를 연구하여 세근의 넓게 발달하는 수종은 공간이 협소한 곳보다는 넓은 자연지역이 생육에 유리하다는 결론을 제시하였다(Hong *et al.*, 2012). 이처럼 뿌리는 수목의 생육에 매우 밀접한 관계가 있고, 인간의 편의와 쾌적함을 위해서 함부로 해서는 안 되며, 가로수 주변 용기현상을 조사하기 앞서 뿌리의 성장특성을 알아보고 수목과 인간이 공존할 수 있는 연구를 하고자 한다(Figure 1 참조).

2. 대상 가로수종 근계 특성

1) 메타세쿼이아

낙엽침엽교목으로 생장이 아주 빠른 속성수이며, 짙은 힘이 왕성하여 전정에도 강하고 이식도 양호하며(국립수목원 국가생물종지식정보: 식물, www.forest.go.kr), 원산지에서는 수고 35m까지 자라고 수피는 회색빛을 띤 갈색이며, 세로로 벗겨진다. 가지는 옆으로 퍼지고 잎은 두 줄로 마주 나며, 선모양이다(국립중앙과학관 식물정보, www.namu.wiki).

근계의 갈라짐은 중간형으로 뿌리털은 성기게 자라며, 뿌리

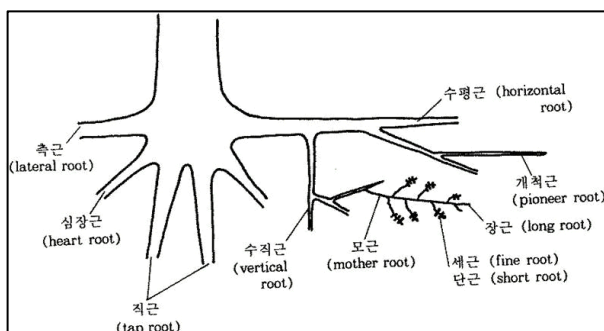


Figure 1. Structure of tree roots

Source: 수목생리학(2011)

돌림 뒤 발근성이 아주 높고 근계의 지지력이 크다. 생김새는 중간이거나 큰 지름이 사출근, 수하근형이고 잔뿌리는 촘촘하며, 수평분포는 집중형이고 잔뿌리는 두껍다. 식재 적기는 3~4월이며, 생장이 빠르고 토양은 약간 습한 적응성에 식질양토의 토성에 적합하고 약산성, 경도는 중간 정도가 적합하다. 세근의 분기는 빠르며 주근의 생장이 양호하고, 형태는 삼나무형으로 표층부분이 밀생되면서 점차 아래로 갈수록 수직형, 직근형으로 형성되는 것이 특징이다. 중, 대경의 근계형상이 주를 이루며 세근의 밀생되고 비후형여서 이식에 강하고, 비교적 근계의 지속이 오래 유지되는 편이다. 근단의 직경은 0.4~0.5mm 정도이며, 소나무류에 비해서 얇고 긴 편이고, 근의 분기와 생장이 왕성하고 수직근과 직근은 심부에 달하고 수평근은 표층부에 밀생되어 생성된다. 파라솔형의 세근은 굵고 큰 대경의 근계에 모여 붙고 표층에 많다. 소, 중경근의 분기는 적지만 뿌리는 깊고 근계의 지속력은 큰 편이다(Noburu, 1979).

2) 양버즘나무

플라타너스(Eastern Sycamore Family Bottonwood)라고도 하며, 학명은 '*Platanus occidentalis* L.'이다. 북아메리카 원산의 낙엽 대교목으로, 수피는 세로로 갈라지면서 작은 조각으로 떨어지고 잎은 마주나며, 넓은 난형으로 3~5갈래로 얇게 갈라지고, 가장자리는 밋밋하거나 드문드문 톱니가 있다(국립생물자원관 생물다양성정보, www.nibr.go.kr). 뿌리의 형상은 중, 대경의 수평근, 수직근과 직근이 주를 이룬다. 버즘나무의 근계와 형태가 비슷하고 세근과 근모는 소생형이며, 소, 중경근 보다는 다경근과 특대경근의 근계의 형태를 나타내며, 굴곡이 많다. 이식에 있어서는 교섭을 충분히 하지 않으면 분생태가 잘 이루어지지 않으며 쉬운 편이며, 시기는 2~3월이나 10~11월이 뿌리의 활착이 유리하여 이식하기 좋고, 토양은 적응성, 약산성이며, 약간의 통기가 되고 찰흙이 포함된 식성양토의 성질이 뿌리에 적합하다. 뿌리의 질은 딱딱하며 부러지기 쉽고 부패하기 쉽다. 표층에 있는 중경근은 로프형태로 길게 멀리 뻗고 있으며, 다수가 집중적으로 위치에 있는 것이 특징이다(Noburu, 1979). 이런 근계형태로 인하여 가로수로 조성 시 뿌리 들뜸으로 인한 보도 용기현상이 일어나고 있는 실정이며, 이러한 근계형상을 고려하여 연구를 하고자 한다(Table 1 참조).

Table 1. Roadside trees root characteristics

Division	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	<i>Platanus occidentalis</i>
Root characteristics	Shallow rooted	Middle depth rooted
Effective depth of soil	1.0m	1.5m
Effective rhizome scope	4.5m	4.5m

Source: Asan city street tree composition and management ordinance(2016)

III. 연구 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 가로수의 생육특성과 가로현황 및 용기특성을 조사·분석하였다. 연구에 들어가기에 앞서 가로와 가로수의 정의, 도로와 가로수의 위치관계, 가로수 식재에 관한 연구, 가로수 뿌리 들뜸으로 인한 용기현상에 관한 수목뿌리의 특성, 가로용기특성, 보도 포장 특성을 연구하였으며, 대상 가로수종인 메타세쿼이아와 양버즘나무의 근계 특성에 대하여 검토한 후 선행연구를 통하여 뒷받침할 수 있는 이론을 정립하였다. 한편 연구의 대상지인 대전광역시 서구 둔산동은 상권과 거주지역이 밀집되어 있는 대표적인 격자형 계획도시이며, 인구밀도와 유동인구가 매우 높아 가로현황의 조사대상지에 적합하다고 판단되어 서구 둔산동 일대를 중심으로 서구청 자료를 통한 예비조사를 실시하여 포장면 용기발생한 곳의 위치를 도면화하여 현장조사를 실시한 후 선정하였다. 또한, 둔산동 택지개발(1990~1994년)시 규격 흉고직경 8cm의 수목을 식재 한 가로수 중 뿌리 들뜸으로 인한 보도 용기현상이 많이 발생하는 수종인 메타세쿼이아와 양버즘나무를 대상수종으로 선정하였다.

Figure 2의 (1)~(3)은 메타세쿼이아의 대상지이며, (4)~(6)은 양버즘나무의 대상지이다. 흉고직경 20cm 이상으로 최초 식재 후 뿌리가 활착한 시점으로 약 20년 이상 경과기간을 지닌 수종이며, 예비조사를 통하여 최근 5년간 뿌리 들뜸 개선공사를 하지 않은 가로수를 선정하였다.

메타세쿼이아와 양버즘나무는 각각 3곳을 연구 대상지로 선정하였다. 메타세쿼이아의 대상지 범위는 문정로48번길, 둔산로101번길, 둔산북로90번길 총 3곳이며 문정로48번길은 400m 구간이고 총 29주가 가로수로 식재되어 있다. 둔산로101번길은 500m 구간이며 가로수 총 58주가 식재되어 있다. 둔산북로90번길은 500m 구간이며 가로수가 73주가 식재되어 있다. 양버즘나무의 대상지 범위는 한밭대로707번길, 갈마역로, 유등로 총 3곳을 선정하였으며, 한밭대로707번길은 200m 구간이며 가로수는 총 38주가 식재되어 있다. 갈마역로는 일부노선이 보도포장공사로 인한 정비가 되어 있어서 제외를 하였으며, 총 600m 구간 안에 가로수가 48주 식재되어 있으며, 유등로는 편도노선으로 총 600m 구간 안에 가로수는 총 62주가 식재되어 있다. 가로수는 총 308주이고, 수종별로 구분하면 메타세쿼이아가 160주 중 42주, 양버즘나무가 148주 중 44주이다(Table 2 참조).

2. 현장 조사방법

1) 가로수 조사 실시

연구의 대상 가로수인 양버즘나무와 메타세쿼이아의 가로수 특성을 조사하기 위하여 수목의 수종, 흉고직경(cm), 가로

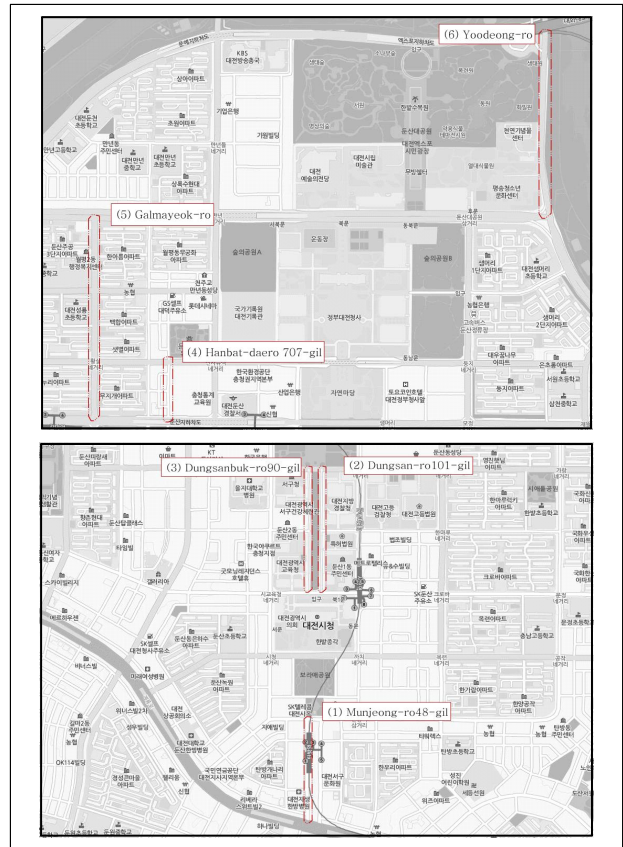


Figure 2. Location of investigating site

Source: <http://map.naver.com>

Table 2. Investigating site status

Division	Investigating site	Number of trees	Section (m)	Year (Y)	Elapsde time (Y)
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Munjeong-ro48-gil	29	400	1994	23
	Dungsan-ro101-gil	58	500	1994	23
	Dungsanbuk-ro90-gil	73	500	1994	23
<i>Platanus occidentalis</i>	Hanbat-daero 707-gil	38	200	1994	23
	Galmayeok-ro	48	600	1994	23
	Yodeong-ro	62	600	1990	27

수간의 거리, 식재위치를 조사하였다. 사전답사와 가로수관리 대장을 통하여 용기현상이 많이 발생하는 구간을 파악하고 선정하여 수목의 수피와 잎, 수형 등을 살펴 수종을 구분하였다. 흉고직경은 가슴높이(1.2m) 지점에서 흉고직경자(KDS F10-02D, 말레이시아)를 이용하여 치수를 측정하였으며, 가로수간의 거리는 용기가 발생한 가로수 양 옆 2주를 포함하여 총 3주의 가로수간 거리를 50m 줄자(코메론 KMC-1800, 한국)를 이용하여 치수를 잴 후 평균을 내었다. 식재위치는 차도경계선에 맞대어 조성된 식수대만 있을 경우 1열 식재로 구분하고, 보도에도 함께 조성되어 있을 경우를 2열 식재로 구분하여 용기현상

이 발생한 가로수의 식재된 위치를 조사하였다(Figure 3 참조).

2) 가로 물리적 요소 조사

가로 물리적 요소 조사는 보도 폭, 보호틀 형태 및 파손율, 식수대 넓이, 보호덮개 유무 및 차도경계석 파손율을 구분하여 조사한다. 보도 폭은 용기현상이 일어난 지점의 보도의 폭을 50m 줄자를 이용하여 실측하였으며, 보호틀의 형태는 기존 대전시 서구 내 가로수에 이용되는 보호틀의 유형을 참고하여 보호틀의 크기, 모양, 재질 등을 조사하였으며, 그에 따른 넓이를 측정하였다. 파손율은 식수대 보호틀이 깨지거나 분리되지 않고 들림 현상만 일어난 형태를 들림, 깨져 분리된 것을 깨짐, 일부 손실된 상태를 파손이라 구분한다. 여기서 들림보다는 깨짐, 깨짐보다는 파손을 상위 파손형태이며, 파손 시 깨짐과 들림이 포함되고 깨짐 시 들림이 당연히 포함된다고 봐도 무방하며 보호덮개는 있음, 없음을 구분하여 유, 무로 조사하였다.

3) 가로 용기 특성 조사

용기방향, 용기길이 및 너비, 용기높이, 용기형태의 조사를 통하여 조사대상 가로수별 용기정도의 변형량을 산정하기 위한 기초연구자료로 활용하였다.

용기방향은 수목 식수대 보호틀을 중심으로 나타나는 방향과 개수를 수목 보호틀 외부로의 시작점을 기준으로 파악하였다. 방향은 수목 중심을 기준으로 360°각도기(S. H 곤요메타, 한국)를 이용하여 측정하였으며, 차량 진행 방향을 180°, 차량 진행 반대 방향을 0°, 보도쪽을 90°로 기준하고, 수목 보호틀 외부로 나타나는 용기의 방향을 측정하였다.

용기길이 및 너비는 보도 포장면의 용기 길이를 측정하기 위하여 수목 보호틀 외부로의 시작점을 기준으로 1cm 이상 나타나는 변형된 최단길이를 줄자로 실측하였으며, 용기너비는 최대 너비와 최소 너비를 측정하여 평균을 산출하였다. 용기높이는 보도 포장면의 용기 높이를 측정하기 위하여 레벨측정기를 사용하여 보도 포장면에 발생한 용기에 대하여 조사하였다. 조사방법은 보도 포장면에 발생한 용기에 최대 높이와 용기현상이 일어나지 않은 지면과의 차를 이용하여 변형된 높이를 측정하였다.

용기형태는 입면형태와 평면 형태를 고려하여 수목 보호틀 외부로의 시작점으로부터 선형으로 이어지는 용기형태를 꼬리

형, 언덕모양으로 부풀어 오르는 형상을 한 용기형태를 마운딩형, 불특정 다수로 불규칙하게 용기현상이 발생한 모양을 불규칙형으로 구분하였다(Table 3 참조).

3. 분석 방법

1) 기술 분석

기술 분석은 기술통계방식으로 최대값, 최소값, 평균 및 백분율을 산출하였다. 가로수 특성조사에서 수목의 수종은 조사 수목 비율, 흉고직경, 가로수 간의 거리, 식재위치를 분석하였고, 가로 물리적 요소 조사에서 보도 폭, 보호틀 형태 및 파손율을 분석하고 식수대 넓이와 보호덮개 유무 및 차도경계석 파손율을 산출하여 분석하였다.

2) 가로 용기특성

용기방향, 용기길이 및 너비, 용기높이, 용기형태에 대하여 뿌리 들뜸으로 인한 용기현상이 발생한 정도를 각 요소별로 나누어 기준하였으며, 최소값과 최대값이 기준의 최소 등급과 최대 등급에 포함되도록 일정한 간격으로 나누어 구간을 정하였다. 용기방향은 개수를 1~4개로 구분하고 각도는 수목 중심을 기준으로 360° 각도기를 이용하여 총 8방향으로 구분하여 측정하였으며, 차량 진행 방향을 180°, 차량 진행 반대 방향을 0°, 보도쪽을 90°로 기준하고 수목 보호틀 외부로 나타나는 용기의 방향을 측정하였다. 용기길이는 30cm 이하, 31~60cm, 61~90cm, 91~120cm, 121~150cm, 151cm 이상의 기준으로 구분한다. 또한 용기 높이는 3cm 이하, 3~6cm, 6~9cm, 9~12cm, 12cm 이상으로 구분하여 측정하였다(Figure 4 참조).

용기형태는 평면 형태와 입면 형태를 고려하여 꼬리형, 마운딩형, 불규칙형으로 크게 3가지 형태로 구분하여 측정하였다. 꼬리형은 수목 보호틀 외부 시작점으로부터 방향을 고려하지 않고 선형으로 용기가 발생한 형태이며, 마운딩형은 포장면 용기발생이 선형이 아닌 완만한 경사의 언덕 모양을 한 형태이며, 불규칙형은 수목 보호틀 외부 시작점으로부터 용기가 시작되지 않고 조사대상 가로수 주변에 불규칙한 모양으로 용기가 일어난 형태



Figure 3. Road side trees and uplift characteristics investigation

Table 3. On-site investing method

Division	Contents	
Roadside trees investigation	<ul style="list-style-type: none"> • Tree species • Chest diameter(cm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Distance between roadside trees • Plant location
Street physical elements investigation	<ul style="list-style-type: none"> • Pedestrian road width • Protection frame type and breakage rate 	<ul style="list-style-type: none"> • Protective cover and driveway boundary breakage
Street uplift characteristics investigation	<ul style="list-style-type: none"> • Uplift direction • Uplift length and width 	<ul style="list-style-type: none"> • Uplift height • Uplift type

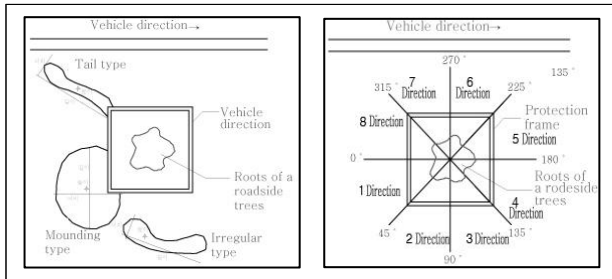


Figure 4. Uplift direction, length and width, height, type

로 기준하고 측정하였다. 용기의 넓이는 용기형태의 길이와 너비를 형태를 고려하여 직선화하여 면적을 계산하고, 용기 체적은 산출한 면적에 용기의 최고 높이를 구하였으며, 2개 이상의 용기체적은 합산하여 변형량을 분석하였다(Table 4 참조).

용기방향, 용기길이 및 너비, 용기높이에 대하여 뿌리 들뜸으로 인한 용기현상이 발생된 정도를 최소값과 최대값이 최소등급과 최대등급에 포함되도록 일정한 간격으로 임의로 나누어 구간을 정하였다.

3) 용기 변형량




가로수의 뿌리 용기상태와 가로시설의 현황조사를 통하여 가로수와 가로시설 간의 용기특성 및 상관관계를 밝히고자, 보도 포장면 변형량은 각 수목별 용기발생 변형을 상대적으로 나타낸 값으로 개별 포장 변형 면적에 용기높이를 곱하여 구하였다(Ahn, 2014).

IV. 결과 및 고찰

1. 가로수 현황

대상지별 조사수목 비율을 살펴보면 메타세쿼이아는 총 160주 중 문정로48번길 10주, 둔산로101번길 10주, 둔산북로90번길 22주가 용기발생 가로수로 조사되었으며, 양버즘나무를 살

Table 4. Uplift characteristics analysis

Division	Contents
Uplift direction	<ul style="list-style-type: none"> Direction: 0~44°, 45~89°, 90~134°, 135~179°, 180~224°, 225~269°, 270~314°, 315~360° (Total 8 directions) Count: 1, 2, 3, 4
Uplift length and width	<ul style="list-style-type: none"> Length: Under 30cm, 31~60cm, 61~90cm, 91~120cm, 121~150cm, Over 151cm Width: Individual investigation for area calculation
Uplift height	<ul style="list-style-type: none"> Under 3cm, 3~6cm, 6~9cm, 9~12cm, Over 12cm
Uplift type	 a: Tail type  b: Mounding type  c: Irregular type

펴보면 총 148주 중 한발대로707번길은 9주, 갈마역로 14주, 유등로 21주로 조사되었다.

대상지별 평균 흉고직경은 문정로48번길 29.1cm, 둔산로101번길 30.9cm, 둔산북로90번길 29.0cm이며, 양버즘나무를 살펴보면 한발대로707번길은 28.1cm, 갈마역로 23.8cm, 유등로 37.8cm로 조사되었다.

평균 식재간 거리를 살펴보면 메타세쿼이아의 3곳의 조사대상지는 문정로48번길은 7.0m, 둔산로101번길은 8.1m, 둔산북로90번길은 7.8m이며, 양버즘나무의 3곳의 조사대상지는 한발대로707번길은 8.1m, 갈마역로는 8.0m, 유등로도 8.0m이다. 교목의 경우 도로의 주위 여건과 위치, 식재수종 생장속도와 수관 폭, 가로수 피해목 등을 고려하여 6~8m를 기준으로 하며, 간격을 조정할 수 있다는 선행연구에 부합하여 대체적으로 틀에서 벗어나지 않게 식재 간 거리가 비슷하게 갖추어져 있다. 식재위치는 메타세쿼이아의 대상지를 살펴보면 문정로48번길은 1열 식재 9주, 2열 식재 1주이고, 둔산로101번길은 1열 식재 2주, 2열 식재 8주이며, 둔산북로90번길은 1열 식재 19주, 2열 식재 3주이다. 양버즘나무는 조사대상지 3곳 모두 1열 식재만으로 구성되어 있다(Table 5 참조).

Table 5. Roadside trees investigation analysis

Division	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
	Munjeong-ro 48-gil	Dungsan-ro 101-gil	Dungsanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galmayeok-ro	Yodeong-ro
Roadside trees investigation rate(%)	34.4 (10/29)	17.2 (10/58)	30.1 (22/73)	23.6 (9/38)	29.1 (14/48)	33.8 (21/62)
Average chest diameter(cm)	29.1	30.9	29.0	28.1	23.8	37.8
Average distance between roadside trees(m)	7.0	8.1	7.8	8.1	8.0	8.0
Plant location	1 row:9 2 row:1	1 row:2 2 row:8	1 row:19 2 row:3	1 row planting	1 row planting	1 row planting

2. 가로수 용기발생 현황 및 특성

1) 용기발생

본 연구의 조사 대상지 내 가로수는 총 308주이고 용기현상이 발생한 조사 수목은 86주이며, 가로 대상지별 용기발생 한 수목 비율을 살펴보면 메타세콰이아 가로수길인 문정로48번길은 29주 중 10주(34.4%), 둔산로101번길은 58주 중 10주(17.2%), 둔산북로90번길은 73주 중 22주(30.1%)이며, 양버즘나무는 한발대로707번길은 38주 중 9주(23.6%), 갈마역로는 48주 중 14주(29.1%), 유등로는 62주 중 21주(33.8%)에서 용기가 발생되어 메타세콰이아는 총 160주 중 42주(26.2%)로 조사되었으며, 양버즘나무는 총 148주 중 44주(29.7%)로 조사되었다(Table 6 참조).

2) 용기방향

수종별 용기방향을 보면 1개 발생의 주수는 메타세콰이아는 총 42주 중에 25주 발생하였고, 양버즘나무는 총 44주 중에 26주 발생하였다. 메타세콰이아의 2개 발생의 주수는 총 42주 중에 12주, 양버즘나무는 총 44주 중에 12주 발생하였고, 3개 발생의 주수는 메타세콰이아 3주, 양버즘나무 5주, 4개 발생의 주수는 메타세콰이아 2주, 양버즘나무 1주로 조사되어 두 수종에서 1개>2개>3개>4개 순으로 빈도가 높게 나타났다. 또한, 메타세콰이아와 양버즘나무의 용기방향별 총 빈도를 살펴보면 3방향(90~134°)이 가장 빈도가 높으며, 다음으로는 2방향(45~89°)인 것을 알 수 있다. 이는 1열 식재의 비율이 압도적으로 높은 것도 영향이 있으며, 용기 발생 시 차도 쪽이 아닌 보도 쪽으로 뿌리가 더 쉽게 뻗을 수 있어 뿌리용기현상이 발생한 것으로 판단된다. 또한 식수대 내 답압과도 영향이 있어 방향이 보도 쪽에서 점차 차도 쪽으로 갈수록 빈도가 줄어드는 것을 확인할 수 있다(Table 7, 8 참조).

3) 용기길이

대상지 내 조사를 실시한 메타세콰이아와 양버즘나무의 용기길이를 비교해보면 30cm 이하는 메타세콰이아가 1개, 양버즘나무가 6개로 빈도가 가장 적으며, 31~60cm는 메타세콰이아가 21개, 양버즘나무가 14개로 총 35개로 발생빈도가 가장 높다.

Table 6. The occurrence of root uplifts(%)

Division	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
	Mun jeong-ro 48-gil	Dung san-ro 101-gil	Dung sanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galma yeok-ro	Yoo deong-ro
Roadside trees investigation rate(%)	34.4 (10/29)	17.2 (10/58)	30.1 (22/73)	23.6 (9/38)	29.1 (14/48)	33.8 (21/62)

Table 7. Uplift direction analysis

Division		<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
		Mun jeong-ro 48-gil	Dung san-ro 101-gil	Dung sanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galma yeok-ro	Yoo deong-ro
1	EA	5	5	15	6	6	14
	%	50.0	50.0	68.1	66.7	42.8	66.7
2	EA	4	2	6	0	7	5
	%	40.0	20.0	27.3	0	50.0	23.8
3	EA	0	2	1	2	1	2
	%	0	20.0	4.6	22.2	7.2	9.5
4	EA	1	1	0	1	0	0
	%	10.0	10.0	0	11.1	0	0
Total	EA	10	10	22	9	14	21
	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 8. Uplift direction by angle analysis

Division		<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
		Mun jeong-ro 48-gil	Dung san-ro 101-gil	Dung sanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galma yeok-ro	Yoo deong-ro
0~44° 1direction	EA	4	2	5	5	6	1
	%	17.5	8.7	21.7	21.7	26.1	4.3
45~89° 2direction	EA	3	2	8	1	5	8
	%	11.2	7.4	29.6	3.7	18.5	29.6
90~134° 3direction	EA	6	2	10	3	9	11
	%	14.6	4.9	24.4	7.3	22.0	26.8
135~179° 4direction	EA	1	4	3	4	3	6
	%	4.8	19.0	14.3	19.0	14.3	28.6
180~224° 5direction	EA	1	1	4	3	0	1
	%	10.0	10.0	40.0	30.0	0	10.0
225~269° 6direction	EA	1	1	0	0	0	0
	%	50.0	50.0	0	0	0	0
270~314° 7direction	EA	1	6	0	0	0	1
	%	12.5	75.0	0	0	0	12.5
315~360° 8direction	EA	0	1	1	0	0	2
	%	0	25.0	25.0	0	0	50.0
Total	EA	17	19	31	16	23	30
	%	12.4	14.0	22.8	11.8	16.9	22.1

61~90cm는 메타세콰이아가 11개, 양버즘나무가 17개, 91~120cm는 메타세콰이아가 14개, 양버즘나무가 16개이고 121~150cm는 메타세콰이아는 11개, 양버즘나무는 7개이며, 151cm 이상의 빈도는 메타세콰이아는 9개, 양버즘나무는 9개이다. 메타세콰이아의 문정로48번길에서의 용기길이는 총 10주에서 17개가 조사되었고 평균길이는 102.3cm이다. 최대 길이는 200cm이

며, 빈도는 31~60cm에서 5개(29.5%)로 최대값을 가지고 30cm 이하의 용기길이는 나타나지 않았다. 둔산로101번길에서는 총 10주에서 19개가 조사되었으며, 평균길이는 77.3cm로 메타세쿼이아 조사대상지 중에 가장 평균값이 낮다. 최대 길이는 200cm이고, 빈도는 31~60cm에서 11개(58.0%)로 가장 많은 비율로 조사되었으며, 30cm 이하의 나타나지 않았다. 둔산북로90번길은 총 22주에서 31개가 조사되었고 평균길이는 110.4cm로 메타세쿼이아 조사대상지 중 가장 평균값이 높다. 용기길이의 빈도는 30cm 이하에서 1개(3.3%)로 가장 낮으며, 91~120cm에서 8개(25.8%)로 가장 높다.

양버즘나무의 한밭대로707번길의 용기길이는 총 9주에서 16개의 용기가 조사되었으며, 평균길이는 101.6cm, 빈도는 61~90cm에서 7개(43.8%)로 최대값을 가지고 30cm 이하의 길이를 가지고 있는 용기는 나타나지 않는다. 갈마역로에서는 총 14주에서 23개의 용기길이를 조사하였고, 평균길이는 116.7cm으로 양버즘나무의 조사대상지 중 가장 평균값이 높다. 91~120cm에서 6개(26.0%)이며, 151cm 이상에서 5개(21.8%), 61~90cm 5개(21.8%)으로 대체적으로 용기길이가 높은 급수에 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 유등로는 총 21주에서 30개가 조사되었으며, 용기길이의 평균값은 82.3cm로 가장 낮게 조사되었다. 31~60cm에서 8개(26.7%)로 용기길이가 가장 많이 조사되었으며, 121~150cm에서 2개(6.6%)로 가장 적은 값을 나타내고 있다. 총 136개의 용기가 발생하였으며, 31~120cm에서 약 68% 차지하는 것으로 나타났다(Table 9 참조).

Table 9. Uplift length investigation analysis

Division		<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
		Mun-jeong-ro 48-gil	Dung-san-ro 101-gil	Dung-sanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galma-yeok-ro	Yoo-deong-ro
Under 30cm	EA	0	0	1	0	1	5
	%	0	0	3.3	0	4.3	16.7
31~60cm	EA	5	11	5	2	4	8
	%	29.5	58.0	16.2	12.5	17.4	26.7
61~90cm	EA	3	2	6	7	5	5
	%	17.6	10.5	19.3	43.8	21.8	16.7
91~120cm	EA	4	2	8	3	6	7
	%	23.5	10.5	25.8	18.7	26.0	23.3
121~150cm	EA	2	2	7	3	2	2
	%	11.8	10.5	22.5	18.7	8.7	6.6
Over 151cm	EA	3	2	4	1	5	3
	%	17.6	10.5	12.9	6.3	21.8	10.0
Average(cm)		102.3	77.3	110.4	101.6	116.7	82.3
Total	EA	17	19	31	16	23	30
	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

4) 용기높이

용기높이를 비교해보면 3cm 이하의 메타세쿼이아가 15개, 양버즘나무가 17개이며, 3~6cm는 메타세쿼이아가 29개, 양버즘나무가 32개로 총 61개로 발생빈도가 가장 높다. 6~9cm는 메타세쿼이아가 21개, 양버즘나무가 13개, 9~12cm는 메타세쿼이아가 1개, 양버즘나무가 6개이며, 12cm 이상은 메타세쿼이아는 1개, 양버즘나무는 1개이다.

메타세쿼이아의 문정로48번길에서의 용기높이는 총 10주에서 17개가 조사되었고, 평균길이는 4.7cm이다. 최대 높이는 8.2cm이며, 빈도는 6~9cm에서 4개(23.5%)로 최대값을 가지고 9~12cm, 12cm 이상에서 용기높이는 나타나지 않았다. 둔산로101번길에서는 총 10주에서 19개가 조사되었으며, 평균높이는 4.7cm로 메타세쿼이아 조사대상지 중에 문정로48번길과 같은 평균높이를 가지고 있다. 최대 높이는 8.5cm이고 빈도는 6~9cm에서 7개(36.8%)로 가장 많은 비율로 조사되었으며, 9~12cm, 12cm 이상에서 용기높이는 나타나지 않았다. 둔산북로90번길은 총 22주에서 31개가 조사되었고 평균높이는 5.4cm로 메타세쿼이아 조사대상지 중 가장 평균값이 높다. 빈도는 9~12cm, 12cm 이상에서 용기높이 발생이 1개로 가장 낮으며, 3~6cm에서 13개(42.0%)로 가장 높다.

양버즘나무의 한밭대로707번길의 용기높이는 총 9주에서 16개의 용기가 조사되었으며, 평균높이는 6.6cm로 조사대상지 중 가장 평균값이 높다. 빈도의 경우는 3~6cm에서 6개로 최대값을 가지고 12cm 이상의 길이를 가지고 있는 용기는 나타나지 않아 최소값을 갖는다. 갈마역로에서는 총 14주에서 23개의 용기높이를 조사하였고, 평균높이는 3.6cm으로 양버즘나무의 조사대상지 중 가장 평균값이 낮으면서 조사대상지를 통틀어 가장 용기평균값이 낮다. 3~6cm에서 14개(60.8%)이고, 3cm(34.8%) 이하가 8개로 대부분의 용기길이가 낮은 급수에 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 유등로는 총 21주에서 30개가 조사되었으며, 용기높이의 평균값은 5.1cm로 조사되었다. 3~6cm에서 12개(40.0%)로 용기길이가 가장 많이 조사되었으며, 12cm 이상(3.3%)에서 1개로 가장 적은 값을 나타내고 있다(Table 10 참조).

5) 용기형태

용기형태 유형은 총 꼬리형, 마운딩형, 불규칙형 총 3개로 분류하였으며, 6곳의 대상지에서 메타세쿼이아 67주, 양버즘나무 69주에서 총 136개의 용기형태가 발생하였고, 꼬리형의 형태는 67개가 나타났으며, 마운딩형은 50개, 불규칙형은 19개가 발생하여 꼬리형>마운딩형>불규칙형 순으로 빈도가 높음을 알 수 있다.

수종별로 살펴보면 메타세쿼이아는 총 67개의 용기형태 중 꼬리형이 33개, 마운딩형이 26개, 불규칙형이 8개로 분석되며, 양버즘나무는 총 69개의 용기형태 중 꼬리형이 34개, 마운딩형

Table 10. Uplift height investigation analysis

Division		<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
		Mun jeong-ro 48-gil	Dung san-ro 101-gil	Dung sanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galma yeok-ro	Yoo deong-ro
Under 3cm	EA	3	6	6	1	8	8
	%	17.7	31.6	19.3	6.3	34.8	26.7
3~6 cm	EA	10	6	13	6	14	12
	%	58.8	31.6	42.0	37.5	60.8	40.0
6~9 cm	EA	4	7	10	5	1	7
	%	23.5	36.8	32.3	31.2	4.4	23.3
9~12 cm	EA	0	0	1	4	0	2
	%	0	0	3.2	25.0	0	6.7
Over 12cm	EA	0	0	1	0	0	1
	%	0	0	3.2	0	0	3.3
Average(cm)		4.7	4.7	5.4	6.6	3.6	5.1
Total	EA	17	19	31	16	23	30
	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

24개, 불규칙형 11개로 나타났다.

홍고직경과의 관계를 살펴보면 유등로의 평균 홍고직경은 37.8cm로 가장 높으며, 둔산북로90번길의 평균 홍고직경은 34.4cm로 두 번째로 높음을 알 수 있는데, 평균 홍고직경이 높은 조사구역이 용기형태의 빈도도 높은 것을 알 수 있다. 하지만 갈마역로는 평균홍고직경이 23.7cm로 가장 규격이 작음에도 불구하고 세 번째로 용기형태 빈도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 갈마역로가 둔산동 아파트단지 사이에 위치함으로써 보행자들의 통행이 잦고 답압의 문제가 발생, 가로수 식재환경이 양호하지 못하여 근계가 보도 쪽으로 뺀어 용기현상이 발생했다고 판단되어 개선을 해야 할 구역이라 판단된다(Table 11 참조).

Table 11. Uplift type investigation analysis

Division		<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>			Total
		Mun jeong-ro 48-gil	Dung san-ro 101-gil	Dung sanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galma yeok-ro	Yoo dong-ro	
Tail type	EA	10	9	14	8	13	13	67
	%	14.9	13.4	20.8	11.9	19.5	19.5	100.0
Mounding type	EA	6	7	13	8	4	12	50
	%	12.0	14.0	26.0	16.0	8.0	24.0	100.0
Irregular type	EA	1	3	4	0	6	5	19
	%	5.3	15.8	21.0	0	31.5	26.4	100.0
Total	EA	17	19	31	16	23	30	136
	%	12.5	14.0	22.8	11.8	16.9	22.1	100.0
Average chest diameter(cm)		28.5	32.4	34.4	28.1	23.7	37.8	

3. 가로수 용기로 인한 시설물 파손현황 및 특성

가로 물리적 요소 조사의 분석은 보도 폭과 경계석 파손율, 보호틀의 형태, 규격 및 식수대 크기, 파손율, 덮개유무를 조사한 연구를 토대로 분석하였다.

보도 폭을 수종별 연구대상지로 구분하면 메타세쿼이아의 대상지 중 문정로48번길은 10개소 전 구간 1.5m이며, 둔산로 101번길은 자전거도로 1.5m/보행로 4.0m 구간 3개소(30.0%), 보행로 6.0m구간 7개소(70.0%)이며, 둔산북로90번길은 자전거도로 1.5m/보행로 4.0m구간 20개소(90.9%), 보행로 4.0m구간 2개소(9.1%)이다. 양버즘나무는 자전거도로와 보행로가 같이 있는 구간은 없었으며 한밭대로707번길은 보도 폭이 전 구간 4.0m이며 갈마역로 4.0m, 유등로 1.5m이다. 보호틀 형태는 문정로48번길은 사각형과 말굽형으로 분류되며 사각형은 규격 1.3×1.1m 4개, 1.2×1.2m 1개, 1.7×1.1m 3개로 나누어지며 말굽형은 규격 1.3×1.1m 2개이다. 둔산로101번길은 사각형 1.2×1.2m 6개, 말굽형 1.3×1.1m 4개로 나누어지며, 둔산북로90번길은 사각형 1.3×1.1m 1개, 1.2×1.2m 4개, 2.7×1.1m 8개로 분류되며, 말굽형은 1.3×1.1m 9개로 되어있다. 총 메타세쿼이아의 대상지 보호틀 형태는 사각형(1.3×1.1m) 5개, 사각형(1.2×1.2m) 11개, 사각형(1.7×1.1m) 3개, 사각형(2.7×1.1m) 8개, 말굽형(1.3×1.1m) 15개로 형태가 말굽형인 보호틀의 빈도가 가장 많았으며, 2.7×1.1m인 사각형틀이 두 번째로 많았다.

양버즘나무의 가로대상지의 보호틀 형태를 살펴보면 유등로를 제외한 전 구간이 말굽형으로 되어 있으며 한밭대로707번길은 규격이 1.1×1.3m이고 9주 중 9개 모두 조성되어 있고, 갈마역로 역시 규격이 1.1×1.3m이며 14주 중 14개가 조성되어 있다. 유등로는 보호틀 형태가 사각형이며 규격은 1.2×1.2로 21주 중 21개가 조성되어 있다.

식수대의 넓이는 먼저 메타세쿼이아의 조사 대상지인 문정로48번길은 형태가 사각형이며 넓이가 1.43m²인 보호틀은 4개, 1.44m²는 1개, 1.87m² 3개, 형태가 말굽형인 1.31m²는 2개이며, 둔산로101번길은 형태가 사각형이며 넓이가 1.44m²인 보호틀은 6개, 형태가 말굽형이며 넓이가 1.31m²인 보호틀은 4개로 총 2분류로 구성되어 있으며, 둔산북로90번길은 사각형이며 넓이가 1.43m² 1개, 1.44m² 4개, 2.97m² 8개, 말굽형이며 넓이가 1.31m²는 9개로 구성되어 있다. 양버즘나무의 조사 대상지를 살펴보면 한밭대로707번길은 형태가 말굽형이고 식수대 넓이가 1.31m²이며 총 9개로 조성되어 있고, 갈마역로는 말굽형이고 식수대 넓이가 1.31m²로 총 14개, 유등로는 사각형으로 식수대 넓이가 1.44m²로 총 21개가 조성되어 있다.

조사 대상지별 보호틀 파손빈도는 메타세쿼이아 대상지 먼저 살펴보면 문정로48번길은 총 10개 중 들림 9개, 깨짐 1개이며, 둔산로101번길은 총 10개 중 들림 5개, 깨짐 2개, 파손 3개이며, 둔산북로90번길은 총 22개 중 들림 9개, 깨짐 3개, 파손 6

개이며 유일하게 양호한 보호틀이 4개 있었다. 양버즘나무의 대상지를 살펴보면 한밭대로707번길은 총 9개 중 들림 5개, 깨짐 3개, 파손 1개이며, 갈마역로는 총 14개 중 들림 11개, 깨짐 4개이며, 유등로는 총 21개의 사각형 보호틀 중 들림 12개, 깨짐 2개, 파손 7개가 조사되었다.

차도경계석 파손율을 살펴보면 메타세쿼이아의 문정로48번길은 차도경계석이 전 구간 양호하였으며, 둔산로101번길은 10개 중 3개가 들림 현상이 나타났으며, 둔산북로90번길은 22개 중 5개가 들림 현상이 조사되었다. 양버즘나무의 한밭대로707번길은 9개 중 전 구간 양호하였으며, 갈마역로는 14개 중 1개가 들림 현상이 일어났으며, 유등로는 21개 중 10개가 들림 현상이 일어난 것으로 조사되었다.

이는 수목 보호틀의 파손빈도를 비교하였을 때 차도경계석 파손율은 비교적 적게 나타난 것을 알 수 있으며, 비중이 높고 경계석기반조성이 견고하게 된 차도경계석으로 근계가 뺄질 못하는 것으로 판단되며 이론적 고찰 결과 수분과 양분이 풍부한 방향으로 뿌리가 이동하는 습성도 작용된 것으로 판단된다. 문정로48번길과 유등로의 도로폭이 1.5m로 같으나 문정로48번길은 전 구간 양호하지만 유등로는 21개소 중 10개소가 들림 현상이 나타난 것으로 보아 보도 폭과 보호틀 및 차도경계석 파손율과는 연관성이 적은 것으로 판단되어 좀 더 구체적인 연구가 필요하다. 또한 보호덮개의 유무가 뿌리 들뜸 현상으로 인한 포장면 용기와 답압과의 밀접한 관계가 있다고 예상되며 앞으로 보호덮개에 관한 연구가 더욱 활성화되기를 기대한다 (Table 12 참조).

4. 보도포장 변형량 산정

보도포장 변형량은 수목별 용기길이 및 너비, 용기높이, 용기형태를 종합하여 나타낸 값으로 개별 포장 변형 면적에 용기 높이를 곱하여 상대값을 구하였다. 또한 용기형태가 2개 이상 일 경우 각각 변형량 값을 구하고 합하였다(Ahn, 2014).

메타세쿼이아의 조사대상지 3곳 중 문정로48번길은 10주에서 0.62m³의 변형량이 나타났으며, 둔산로101번길은 10주에서 0.437m³, 둔산북로90번길은 22주에서 0.952m³로 나타났다. 메타세쿼이아의 최소 변형량은 둔산로101번길에 위치한 홍고직경이 24cm이며, 식재간 거리가 9m이고 식재위치는 2열 식재, 보호틀은 1.2×1.2m 규격의 화강석/콘크리트 재질인 사각형이고 보도 폭은 6m인 시설 현황에 용기길이는 38cm, 너비는 30cm, 높이는 1.3 cm인 꼬리형 형태를 가진 0.00148m³의 변형량 값을 가졌으며, 최대 변형량은 둔산북로90번길에 위치한 홍고직경 48cm, 식재간 거리가 6m이고 1열 식재이며, 보호틀은 화강석/콘크리트 재질로 된 1.1×1.3m 규격의 말굽형이고 자전거도로 1.5m, 보도 4m의 폭이 조성되어 있으며, 용기길이는 130cm, 너비는 110cm, 높이는 15.1cm인 마운딩 형태를 가진 0.216m³의 변형량 값을 가졌다.

양버즘나무의 변형량을 살펴보면 조사대상지 3곳 중 한밭대로707번길은 9주에서 0.558m³의 변형량이 나타났으며, 갈마역로는 14주에서 0.382m³, 유등로는 21주에서 0.551m³로 나타났다. 양버즘나무의 최소 변형량은 유등로에 위치하고 홍고직경 43cm, 식재간 거리가 8m이며, 식재위치는 1열 식재이고 보호

Table 12. Street furniture breakdown and characteristics

Division	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>			<i>Platanus occidentalis</i>		
	Munjeong-ro 48-gil	Dungsan-ro 101-gil	Dungsanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galmayeok-ro	Yoodong-ro
P.R.** width(m)	1.5	B.R.*** P.R.** : 1.5/4.0 Only P.R.:6.0	B.R.*** P.R.** : 1.5/4.0 Only P.R.:4.0	4.0	4.0	1.5
Protection frame type (m)	Square 1.3×1.1 : 4 1.2×1.2 : 1 1.7×1.1 : 3 Horseshoe 1.3×1.1 : 2	Square 1.2×1.2 : 6 Horseshoe 1.3×1.1 : 4	Square 1.3×1.1 : 1 1.2×1.2 : 4 2.7×1.1 : 8 Horseshoe 1.3×1.1 : 9	Horseshoe 1.1×1.3 : 9	Horseshoe 1.1×1.3 : 14	Square 12×1.2 : 21
Protection frame breakage	Lifted(9/10) Fracture(1/10)	Lifted(5/10) Fracture(2/10) Damage(3/10)	Lifted(9/22) Fracture(3/22) Damage(6/22) Good(4/22)	Lifted(5/9) Fracture(3/9) Damage(1/9)	Lifted(11/14) Fracture(4/14)	Lifted(12/21) Fracture(2/21) Damage(7/21)
Plant area width(m ²)	1.43, 1.44 1.87, 1.31	1.44 1.31	1.43, 1.44 2.97, 1.31	1.31	1.31	1.44
Protective cover	Existence(1/10) Non(9/10)	Non	Non	Non	Non	Non
Driveway boundary stone breakage	Good: 100.0% (0/10)	Lifted: 30.0% (3/10)	Lifted: 22.7% (5/22)	Good: 100.0% (0/9)	Lifted: 7.1% (1/14)	Lifted: 47.6% (10/21)

** P.R.: Pedestrian road, *** B.R.: Bicycle road

들은 화강석/콘크리트의 재질인 1.2×1.2m 규격의 사각형이며, 보도 폭은 1.5m이고 용기길이는 30cm, 너비는 13cm, 높이는 2.3cm인 꼬리형 형태를 가진 0.0009m³의 변형량 값을 가졌다. 또한 최대 변형량을 가진 구간은 한밭대로707번길이고 흉고직경 29cm, 식재 간 거리가 8m이고, 1열 식재이며 보호틀은 화강석/콘크리트 재질로 된 1.1×1.3m 규격의 말굽형이고 4m의 보도 폭이 구성되어 있으며 용기길이는 140cm, 너비는 80cm, 높이는 10.2cm인 꼬리 형태를 가진 0.114m³의 변형량 값을 가졌다.

흉고직경과의 변형량 값을 종합·분석해보면 메타세쿼이아의 대상지인 문정로48번길은 평균 흉고직경이 28.5cm, 둔산로101번길은 32.4cm, 둔산북로90번길은 34.4cm이고, 양버즘나무의 대상지인 한밭대로707번길의 평균흉고직경은 28.1cm, 갈마역로는 23.7cm, 유등로는 37.8cm이며, 이를 Table 11과 비교를 해보면 가로수 흉고직경과 용기 변형량과의 상관성이 적다는 결과를 도출할 수 있었는데, 이는 흉고직경보다는 가로현황 및 물리적 요소, 주변가로환경에 의해서 변형량 값의 결정이 더 크게 작용된다는 것을 알 수 있었다(Table 13 참조).

V. 결론

본 연구는 가로수 뿌리 들뜸으로 인한 보도 포장면 용기현상의 특성을 조사·분석하여 최초 가로수조성 시 규격 흉고직경 8cm로 식재한 후(경과기간 약 20년 후)에 가로수의 용기특성 상태를 연구하는데 목적이 있으며, 보도포장면의 변형량에 따른 원인 및 문제점을 도출하여 쾌적한 가로 보행 환경과 가로수 식재환경을 위한 개선방안을 제시하고자 한다. 연구범위는 대전광역시 서구 일대에 조성된 가로수인 메타세쿼이아와 양버즘나무의 뿌리 들뜸 현상으로 인한 보도 포장면 용기현상이 발생한 곳 6곳을 선정하여 이론적 고찰 및 선행연구, 현장조사 및 분석을 통한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 연구 대상지는 대전광역시 서구 둔산동 택지개발(1990~1994) 당시 조성된 가로수를 중심으로 용기현상이 발생한 곳을 구청자료 검토 및 예비답사를 통하여 선정하였다. 대상지 6곳을 수종별로 요약하면 메타세쿼이아는 문정로48번길 29주, 둔산로101번길 58주, 둔산북로90번길 73주로 총 160주이며, 평균 흉고직경은 32.4cm이다. 양버즘나무는 갈마역로 48주, 한밭대로707번길 38주, 유등로 62주로 총 148주이며, 평균흉고직경은 30.9cm이다. 총 308주의 가로수 중 최근 5년 이내에 뿌리 들뜸

개선공사를 실시하지 않은 가로수를 바탕으로 연구하였으며, 메타세쿼이아 42주, 양버즘나무 44주가 가로 용기현상이 발생한 것으로 조사되었다.

둘째, 식재간 거리는 6~8m를 기준으로 간격을 조정할 수 있다는 이론적 고찰에 부합하여 대체적으로 틀에서 벗어나지 않게 식재간 거리가 갖추어져 있으며, 연구대상지 내 가로 물리적 요소 특성은 연구대상지에서 가로수 보호틀 파손율(95.3%)이 차도경계석 파손율(19.7%)보다 현저하게 높게 나타나는 것을 알 수 있었고 형태는 사각형이며, 규격이 2.7×1.1m인 보호틀의 양호율이 가장 높아 식수대면적이 일정 이상 높아지면 보호틀 파손빈도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 또한 보도 폭과 보호틀, 차도경계석 파손율과는 연관성이 적은 것으로 판단되어 좀 더 구체적인 연구가 필요하다. 보호덮개는 포장면 용기현상이 확인된 총 86개의 가로수 중 1개만 존재하고, 85개는 존재하지 않은 것으로 확인되어 보호덮개가 없는 가로수는 포장면 용기현상 발생 확률이 높다는 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 가로수 흉고직경과 용기 변형량과의 상관성이 적다는 결과를 도출할 수 있었으며, 이는 흉고직경보다는 가로현황 및 물리적 요소, 주변가로환경에 의해서 변형량 값의 결정이 더 크게 작용된다는 것을 알 수 있었고, 좀 더 많은 양의 가로수를 조사·분석하여 체계적이며 방대한 자료를 가지고 심도 깊은 연구가 필요하다고 판단된다.

셋째, 보도 포장면 용기특성 중 용기방향 및 형태는 꼬리형>마운딩형>불규칙형 순으로 꼬리형에 1개의 용기가 가장 많이 발생하였으며, 각도는 차도경계석과 평행으로 차도방향이 180°, 보도방향이 90°로 기준하였을 때 1방향(0~44°), 2방향(45~89°), 3방향(90~134°)에서 가장 많은 포장면 용기발생이 일어났다. 이는 가로수가 대부분 1열 식재로 되어 있어 차도경계석의 기초다짐방향으로 뿌리확장에 제한이 있어 다른 방향으로 뿌리가 뻗게 되어 들뜸 현상이 일어나며, 특히 2방향, 3방향에 포장면 용기현상이 집중되어 있는 것으로 볼 때 보행자 통행 시 지반 답압으로 인한 영양분 및 수분부족으로 1방향, 4방향보다 더욱 용기현상이 집중적으로 발생하였다고 판단되었으며, 용기길이는 약 31~60cm에서 용기발생이 가장 많이 발생하고, 용기높이는 3~6cm에서 발생빈도가 가장 높다. 이를 통해 용기길이와 높이는 조성 후 약 20년 후 용기 진행 상태를 파악할 수 있었다.

넷째, 용기 변형량 결과를 비교해보면 조사 주수가 메타세쿼이아가 양버즘나무보다 2주 적음에도 불구하고 양버즘나무의

Table 13. Uplift deformation investigation analysis(m³)

Division	Munjeong-ro 48-gil	Dungsan-ro 101-gil	Dungsanbuk-ro 90-gil	Hanbat-daero 707-gil	Galmayeok-ro	Yoodong-ro	Total
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	0.62	0.437	0.952	·	·	·	2.009
<i>Platanus occidentalis</i>	·	·	·	0.558	0.382	0.551	1.491

변형량 보다 약 1.3배 정도 높게 나타났는데, 이것은 메타세쿼이아가 양버즘나무보다 포장면 용기로 인한 변형량이 높다는 것을 알 수 있었다. 또한 용기길이, 용기너비, 용기높이가 클수록 변형량이 높아지는 것을 알 수 있었다. 이는 흉고직경, 보도 폭의 규격과 용기현상의 빈도, 변형량의 관계는 꼭 비례하지 않으며, 토양습도와 식재 기반 등 외부적인 요소로 인해 차이가 있다고 판단되어 용기현상을 저감하기 위한 개선방안이 필요하다.

본 연구를 통하여 뿌리 들뜸으로 인한 가로용기현상에 대하여 보다 실질적인 대비책을 마련하고, 도시미관의 증진과 보행 환경개선을 기대한다. 또한 용기발생이 연구에서 제시한 가로 수생육과 가로 물리적인 요소뿐만 아니라, 여러 가지 원인이 있음에도 불구하고 제한적인 조사요소를 가지고 연구를 한 점이 아쉬우며, 대상수종을 2종으로 선정하고 총 6곳의 가로수 길에서 308주를 조사하여 86주의 대상수목에 136개의 용기현상을 조사하여 연구결과를 도출해내었지만, 앞으로 추가 연구가 진행되어 좀 더 넓은 조사범위에서 체계적이고 구체적으로

심도 높은 용기에 대한 후속연구가 필요하다.

References

1. Ahn, S. H.(2014) A Study on the Characteristics of Pavement Uplift by Growth of Street Tree. Master's Thesis, Seoul City University, Korea.
2. Asan city(2016) Street Tree Composition and Management Ordinance.
3. Hong, S. H., S. J. Yang, S. H. Choi, J. B. Baek and S. D. Lee(2012) Growing characteristics of shrub in the planting strip of street, Busan City, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 26(2): 257-263.
4. Lee, K. J.(2011) 수목생리학. Seoul Univercity Publisher.
5. Noburu karizumi(1979) The Latest Illustrations of Tree Roots. 誠文堂新光社.
6. <http://www.forest.go.kr>
7. <http://www.kgnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=493141>
8. <http://map.naver.com>
9. <http://www.namu.wiki>
10. <http://www.nibr.go.kr>

Received : 12 April, 2018

Revised : 29 April, 2018 (1st)

15 May, 2018 (2nd)

29 May, 2018 (3rd)

Accepted : 29 May, 2018

3인익명 심사필