

도시 주차장내 수목그늘의 경제적 이익 연구[†]

-미국 캘리포니아 데이비스 대학 주차장을 사례로-

장동수* · McPherson, E. G.**

*한경대학교 조경학과 · **미국 캘리포니아 데이비스대학 도시림연구소

A Study on the Economic Benefit of Urban Parking Lot Tree Shading -In the Case of University of California Davis Parking Lot-

Jang, Dong-Su* · McPherson, E. G.**

*Dept. of Landscape Architecture, Hankyong National University

**Western Center for Urban Forest Research & Education, University of California, Davis

ABSTRACT

The climate of urban area is an unstable type with considerable seasonal variation in precipitation, wind speed, and temperature and it grows worse. Besides, ozone is a serious air pollutant in most of large cities. So worldwide, some of large cities are investing in forestry options to offset their climate problems, but lack of information has hindered comparisons of urban trees cost effectiveness to other options. This research intends to study the economic benefits of tree shading of 19 parking lots in UCD campus. The economic benefits of tree shading are air conditioning savings, air quality, stormwater run-off, and other benefits. Especially, this study focuses how much the economic benefit of parking lot shading has been increased from 1995 to 2003 year by aerophoto.

Some data on dimensions of parking lots and the number, size, tree species, and location of trees around each parking lot was inventoried. Two aerophotos(1995, 2003) were used in order to analyze the increasement of tree canopy in 19 parking lots for 8 years.

However, increasing coverage of trees and managing them for healthy growth would not be sufficient for avoiding adverse impacts by future climate change. Additional measures should be followed such as an increase of energy use efficiency and development of substitute energy. For example, coverage of trees help to save cooling energy by blocking solar radiation reaching parking cars and building structures through shading, and creating cool micro-climates through evapotranspiration. They also reduce heating demand by decreasing

† : 이 논문은 2003년도 국립한경대학교 교비 해외파견 연구비의 지원에 의하여 연구된 결과임.

Corresponding author: McPherson, E. G., c/o Department of Plant Sciences, MS 6, Urban Forestry Bldg, Rm 1103, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, Tel.: +1-530-752-7636, E-mail: gmcperson@fs.fed.us

air infiltration and heat conduction out of the interior of buildings. Proper arrangement of vegetation over the parking lots can reduce cooling and heating costs. So proper planting design around hard space paving including species selection and location can significantly save cooling and heating energy. And a reduction in car and building's heating and cooling costs results in the reduction in energy demand which causes to emissions of air pollutants.

Total increased tree canopy from 1995 to 2003 is 8,470.45m² and the economic benefits is US\$ 5,282.10. The economic benefit of one tree has been US\$ 7.21 for 8 years. And an annually increased benefit is US\$ 0.9 per a tree.

If this kind of study is applied to studying the economic benefits of tree canopy in parking lots of Korea, it could result in guidelines of tree planting of parking lots. Because the trees selected for planting in parking lots were not suitable for an environment, the guidelines should contain a recommended list of trees. The guidelines should propose the shading percentage of parking lot when we plan a parking lot and contain the maintenance of trees in order to maximize the economic benefits of tree canopy.

Key Words: Reduction, Energy Demand, Aerophoto, Tree Canopy, Guidelines, Tree Planting

1. 서론

인간은 일찍이 자연을 파괴하고 여기에 인공의 건물과 시설을 건설하여 도시라는 거대 규모의 인공환경을 구축하여 왔다. 이러한 거대 도시는 개발이전 자연환경이 가져온 자연적 형태의 경관과 잘 조화되지 않는 이질적인 직선 중심의 인공경관 형태로 출현되었다. 특히 자동차의 등장으로 인한 도시화된 형태는 도로와 주차장의 건설을 중심으로 직선의 평탄하고 거대한 포장 중심의 도시경관을 갖추게 하였다. 실제 오늘날 도시의 현대인이 자동차와는 별개로 살아간다는 것을 생각조차 할 수 없는 일이다 보니 도시화의 과정 중에 결국 엄청난 재정을 도로와 주차장 건설에 투자하게 된다. 더욱이 이러한 투자의 비중도 도로와 주차장의 하드포장 공간 조성에 집중되고 그에 비해 상대적으로 그늘을 형성하여 도시환경 개선의 효과가 높은 수목 식재에는 매우 빈약한 실정이다.

그러나 실제 수목이 식재되지 않은 주차장의 면적이 도시에서 많다 보면 주차장내 콘크리트와 아스팔트 포장에 햇빛에 노출되고, 그로 인해 도시내 기온이 높아져서 도시열섬현상(McPherson, 2001: 105)이 발생된다. 이러한 인공 포장공간에 수목을 식재하게 되면 그늘면

적이 증가되어 기온이 저감될 뿐만 아니라 차량에 의해 발생하는 환경오염이 제거되고 삭막한 주차장 경관도 개선되게 된다. 특히 햇볕이 뜨겁고 무더운 여름철에 주차장을 이용하는 사람들은 그늘진 주차장을 더 선호하게 된다.

또한 주차장에 수목이 식재되면 계절별로 다양한 경관의 아름다움, 좋지 못한 경관 차폐, 열식의 비스타 경관 형성, 액자 틀의 프레임 경관 형성, 공간감 조성 등의 시각적 효과도 얻게 되고 이용하는 사람들을 통해 대체로 긍정적 반응을 얻을 수 있다. 더 나아가 수목은 삭막한 주차장에 야생 조류를 유인하여 사람들에게 즐거움을 제공하고, 신선한 공기를 제공하고, 사람들의 스트레스를 풀어 주어 여유로운 삶을 영유할 수 있도록 해 준다. 더욱이 주차장내 수목은 인공포장 공간에서 발생하는 태양 복사나 차량의 전조등 불빛을 차단해 주며, 태양 복사열의 흡수를 통해 기온을 낮추고, 눈과 비바람의 피해를 막고, 빗물을 흡수하거나 배수시간을 지연시키고, 시끄러운 소음을 줄이고, 센 바람을 부드럽게 하는 등의 효과(Wong, 1996: 8-13)를 통해 다양한 이익을 제공해 주고 있다. 이와 같이 주차장내 수목그늘¹⁾은 수많은 이익을 우리에게 주고 있는데 그중에서 본 연구는 얼마만큼의 경제적 이익을 우리에게 주고 있

능가를 알고자 시도되었다.

좀더 구체적으로 본 연구는 미국 캘리포니아 데이비스 주립대학내 주차장 수목의 그늘면적이 1995년 이후 2003년까지 변천된 결과를 GIS 작업을 통해 분석하고 그 효과 증감을 정량화함으로써 시간의 경과에 따라 증가된 주차장 수목그늘의 경제적 이익을 연구하는데 그 목적이 있다. 연구대상지가 위치한 데이비스시는 인근의 세크라멘토시보다도 6년 전(1977년)에 15년 이내에 포장지역의 50%를 수목그늘로 하는 기준에 맞게 주차장을 설계하도록 하는 주차장 녹지 조례를 제정하여 일찍부터 도시환경을 최우선으로 하는 전형적인 친환경 도시의 모범이 되어온 곳이다.

본 연구를 통해 1995년과 2003년 데이비스 대학내 주차장 수목의 그늘면적의 양과 효과와 8년간의 증가된 양과 효과가 계량화되고 세부적으로는 주차장별 혹은 수종별 비교 분석을 시도하였다. 이러한 주차장내 수목그늘의 경제적 효과에 관한 계량적 연구는 미국 캘리포니아 데이비스 대학 도시립연구소들 중심으로 연구가 진행되어 왔다. 도시립연구소에서 수목그늘의 효과를 계량화하는 작업을 하는 이유는 일반 사람들에게 수목의 효과를 직접적으로 전달함으로써 그 중요성을 고취시키고 관심을 유도하여 도시내 수목그늘을 더 많이 확보하고자 하는 의도가 담겨져 있다. 실제 도시립연구소에서는 여러 도시의 의뢰로 해당 도시의 수목그늘 현황을 통해 전체적인 녹지효과를 분석하고 진단하여 해결방안을 제안하는 스트라툼(stratum)이라는 가로나무 관리 및 분석 프로그램(<http://www.fs.fed.us/psw/programs/cufr/stratum.shtml> 참조)을 운영하고 있다.

국내에서 본 연구와 관련된 연구 경향을 보면 우선 조현길 등(1995)은 도시녹지에 의한 대기 CO₂의 흡수에 대한 연구 결과를 통해 대기 CO₂ 농도의 감소에 작용하는 단위면적당 도시녹지 탄소저장량을 추출해 주고 있어서 미래 한국에 적용시킬 수목의 경제적 효과 논문 연구에 기초적 지식을 제공해 주고 있다. 그 내용을 보면 수목의 탄소 흡수량이 총배출량의 17%에 달하며 매년 생장에 따른 흡수 저장량을 추정해 주고 있어서 이 분야의 효과 계량화에 중요한 자료가 되고 있다. 그후 조현길과 조동하(1998)는 도시 주요 조경 수종의 연간 CO₂ 흡수에 대한 연구에서 은행나무, 플라타너스,

느티나무, 단풍나무 등 4개 수종을 대상으로 선정해 탄소흡수량을 분석하였다. 이 연구를 통해 수종별 연간 탄소흡수량 분석, 흡수량이 많은 시기, 전정 및 관리에 따른 탄소흡수량 차이 등의 결과가 도출되어 도시내 수종 선정시 탄소 흡수를 늘릴 수 있는 수종 선정 및 관리방안에 대한 지침이 수립될 수 있는 기반을 마련해 주고 있다.

윤용환 등(1998)은 공원녹지가 기온 저하에 미치는 영향에 관한 연구에서 공원의 수림지, 초지, 수면 등의 토지 피복율과 교목과 아교목의 수목 여건과 주수, 바람과 거리 등이 여름철 공원녹지의 기온 저하 역할에 영향을 주는 요인으로 나타났다. 이 연구의 결과는 앞으로 에너지 절감 부분의 산출 근거 마련에 도움이 될 수 있을 것으로 보인다. 그리고 조현길과 안태원(1999)은 도시녹지에 의한 미기후 개선의 기능에 관한 연구를 통해 도시수목의 증산량 및 토지피복 재료의 알베도를 측정하고, 도시녹지에 의한 온도, 습도 등 미기후 개선의 기능을 구명한 결과 도시열섬현상을 완화하기 위한 여러 방안을 모색하였고 마찬가지로 박인환 등(2000)은 대구광역시를 사례로 Landsat TM 영상과 항공사진을 활용해 강과 녹지로 대표되는 냉섬의 완화온도와 완화거리가 어느 정도인가를 밝혀냄으로써 구체적인 냉섬 조성의 대안 제시에 필요한 기초자료를 제공하는 성과를 거두었다. 최근으로 조용현과 신수영(2002)은 도시립의 여름 대기온도 저감 효과에 관한 연구에서 토지 피복과 위성 영상 수치의 상관관계를 분석한 결과 도시립의 저감 효과가 탁월함을 입증하였고 이를 유지하기 위한 방안을 도출하였고, 송영배(2002)는 Landsat TM으로 촬영한 열적외 데이터를 활용하여 신도시 개발이 도시열섬 형성에 미치는 영향에 관한 연구에서 토지이용 유형별 열섬분포 패턴 및 강도 특성을 파악해 열섬 유발 요인을 분석해 주고 있다. 그 결과 신도시 개발이 도시열섬현상의 확대를 유발하였고 이를 방지하기 위해서는 신설 녹지의 도시 기후 개선 기능을 보완하고 대기 순환 개선을 위한 바람길 계획이 필요함을 제안해 주고 있다. 이상과 같이 지금까지 국내의 연구 경향은 도시녹지의 CO₂와 기온 저감을 통한 열섬현상 해결에 집중되어 있다. 따라서 앞으로 수목의 경제적 이익을 산정할 경우 CO₂와 에너지 절감 분야의 기초 근거를

마련해 주고 있다.

이와 마찬가지로 본 연구와 직접적으로 관련된 미국에서의 연구는 데이비스 대학의 주차장 수목그늘에 대한 연구와 세크라멘토 도시림에 대한 연구로 이루어진다. 데이비스시 주차장 수목 그늘의 연구를 통해 Elliott (1988)은 데이비스 시내 10개소의 주차장을 대상으로 선정하고 현장 관찰, 온도 측정, 그늘 실태와 이용 행태 등을 분석하여 데이비스시의 15년후 주차장 수목그늘 면적이 포장면의 50%가 되어야 하는 조례가 적절하게 적용되고 있는지를 다양한 시각에서 분석해 주고 있다. 그후 Wong(성만 표기)(1996)은 데이비스 시내 5개 주차장을 선정해 위의 데이비스시 조례에 맞는지 여부를 연구하였다. 연구 결과 5개 주차장이 50%의 그늘면적 기준에 도달하지 못함을 밝혀내고 이 기준에 도달하기 위한 몇가지 제안을 해주고 있다.

그리고 McPherson(2001)은 세크라멘토시 주차장 그늘 조례 기준을 따르기 위한 환경적이고 경제적인 비용에 관한 논문을 통해 주차장 수목 그늘의 효과에 대한 종합적 연구를 수행하였다. 연구대상지로 세크라멘토의 15개 주차장을 선정하고 주차장 이용을 고려한 용량효율 분석, 수목 현황조사와 수목그늘 분석을 통한 수목효과와 경제성 분석을 시도하여 주당 US\$ 19.2의 효과가 있음을 밝히고 있다. 더 나아가 주차장 수목그늘 면적을 늘리기 위한 구체적인 활용 방안과 설계 방안도 제안해 주고 있다. 이후 세크라멘토시에서는 15년 이내 50% 이상의 그늘 면적을 확보하기 위한 주차장 수목설계 조례를 반영하는 주차장 수목설계 지침과 관리 지침을 수립해 놓고 있다(City of Sacramento, 2002). 이 McPherson의 주차장 수목그늘 연구는 15년 후 50% 수목 그늘을 확보하는 세크라멘토의 법규를 고려해 진행되어 현재와 미래적 변화에 초점을 두고 있다. 그러나 본 연구가 McPherson의 연구와 다른 점은 과거 1995년과 2003년의 항공사진내 수목그늘의 8년간 증가가 어느 정도인지를 실증적으로 연구한 점에 있다.

또한 도시림연구소 중심으로 McPherson(1998)은 세크라멘토시 도시림의 CO₂ 저감 효과에 관한 연구를 통해 CO₂ 저감 이익 산출 근거를 제시해 주고 있다. 마찬가지로 Scott *et al.*(1998)은 세크라멘토시 도시림연구에서 도시림의 대기오염 제거 및 저감의 경제적 이익에

대한 근거를 마련해 주고 있고, Simpson(1998)은 에너지 절감의 경제적 이익, Xiao *et al.*(1998)은 도시림의 우수 차단과 경제적 이익에 대한 산출 근거를 제시해 주고 있다. 이상의 연구 내용을 종합하게 되면 주차장 수목그늘이 제공하는 경제적 이익을 산출할 수 있게 된다. 따라서 본 연구는 데이비스 대학내 주차장 수목 그늘의 경제적 이익에 관한 연구의 산출 근거를 미국 연구사 검토를 기초해 진행하고 국내 연구사를 통해 나온 내용은 향후 국내 연구 진행시 기초 근거자료로 활용해 보고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

연구사를 통해 주차장 수목 그늘이 경제적으로 얼마만큼의 이익을 우리에게 주고 있는가를 볼 수 있는 계량적 항목은 기온 저감을 통한 냉난방 에너지 절감, 이산화탄소 제거 효과, 수분 효과, 대기오염물질 저감 효과, 그리고 미적 효과 등으로 집약될 수 있다. 불투수층의 대형 주차장을 도시에 많이 건설하게 되면 우기시 홍수 문제를 유발하고, 도시열섬현상을 가속화하며, 더 나아가 사람들이 대중교통을 사용하지 않게 하는 원인이 되기도 한다. 미국도시의 경우 주차장은 전체 도시면적의 약 10%를 점유(McPherson, 1998, 2)하고 있으며 각 도시들이 외곽지에 주차장 건설을 확대함에 따라 더욱 증가될 것으로 예상되고 있다. 일반적으로 미국 대부분의 주차장법에는 일정 주차장 수마다 한 주의 수목 또는 전체 면적당 조경면적의 양을 규정하고 있어서 실제 규정에 따라 조성되면 수목이 녹지섬에 군식되거나 외곽지역의 녹지대에만 집중됨으로써 실제 주차장 포장지역에는 대부분 그늘이 없게 되는 문제가 발생되어 왔다.

따라서 주차장내 수목의 그늘면적이 증가되어 기온이 낮아지게 되면 주차한 차량과 인접 건물의 냉난방 에너지가 절감되는 효과가 있게 된다. 이러한 주차장 수목그늘로 인해 주차장내 투수층이 확보되고 오염물이 함유된 배수의 양도 줄이고 우기시 물의 저장을 통해 재이용 비율을 높임으로써 관리비용도 절감하게 된다. 또한 포장이 되지 못하고 나지화 된 주차장의 경우에는 빗

물의 토양침식에 의한 토사 유출로 인해 배수구가 막히거나 하천바닥이 상승해 홍수나 범람 등의 문제가 발생될 수 있다. 이 경우 수목이 식재되면 수관이 빗물의 타격을 완화하고 유량을 흡수하여 토양층에 수분을 공급하고 저장하여 토양층을 안정화 해준다.

더 나아가 주차장내 수목은 수관의 잎을 통해 오염분진을 흡착하는 것과 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출해 대기환경을 개선하고, 이산화질소나 이산화황 그리고 자동차에서 배출되는 탄화수소 등을 제거해 대기오염을 저감시키는 효과가 있다.

세크라멘토시는 데이비스시와 같은 1983년 주차장 수목그늘 관련 조례(McPherson, 2001: 105)를 마련해 주차장내 녹지를 확대하여 왔다. 세크라멘토시의 주차장 계획시 주차장 설계도의 수목 목록에는 15년후 수관 직경과 각 수목의 수관 투영면적을 기록하도록 하고 있다. 본 연구는 구체적으로 다음과 같은 의문을 답하는 과정으로 진행되었다.

- ① 8년의 기간 동안 데이비스 대학 주차장 수목그늘 면적이 얼마나 증가되었는가?
- ② 수목그늘 면적이 주차장별 또는 수종별로 어떻게 증가되었는가?
- ③ 수목그늘이 주는 이익은 얼마이고 매년 얼마 정도가 증가되었는가?
- ④ 주당 이익이 얼마이고 얼마가 증가되었는가?
- ⑤ 어떻게 하면 주차장의 수목그늘이 주는 이익을 극대화할 수 있을 것인가?
- ⑥ 향후 한국의 주차장 수목그늘 효과 연구시 고려할 사항은 무엇인가?
- ⑦ 한국의 주차장 녹지계획 및 관리에서 제안할 수 있는 사항은 무엇이 있는가?

2. 연구방법

1) 연구대상지 선정

데이비스 대학은 총 39개소의 주차장이 설치되어 있는데 본 연구에서는 1995년 항공사진과 2003년 항공사진을 활용하여 연구할 주차장 대상지를 선정하였다. 우선 수목의 그늘면적이 1995년부터 2003년까지 8년간 얼마나 증가되었는가를 알기 위해서는 수목이 식재되어

있고, 1995년 대비 2003년에도 주차장이 변경되지 않은 주차장을 선정하였다. 데이비스 대학내 주차장 중에 1995년도 항공사진에는 없고 2003년 항공사진에는 있어서 비교분석이 어려운 5개소(VP1, VP17, VP16, VP35, VP56), 주차장 경계가 항공사진으로 구분이 어렵고 그늘 면적의 작성이 곤란한 4개소(P20, P21, P48A, VP48), 수목이 식재되지 않은 4개소(P4, P42, P44, P52), 그리고 2003년 주변 여건이 변경되어 정확한 비교가 곤란한 1개소(VP49) 등 총 14개소를 제외하고 남게 된 25개소의 주차장만을 연구대상지로 선정하였다. 이를 다시 인접된 경우 녹지의 경계가 구분되지 않은 점을 고려해 25개소의 대상지 중에 VP47A와 VP47, P5A와 VP5, P54와 VP54, VP40과 VP41, P26과 P27, P14와 VP15 등 12개소를 6개소로 통합해 줄여 총 19개소의 주차장이 연구대상지가 되었다.

2) 수목그늘 면적 분석

데이비스 대학 1995년 항공사진과 2003년 항공사진을 활용하여 GIS로 수목별 기초자료를 구축하고 수목그늘 면적을 산출하였기 때문에 주차장내 포장지역과 포장되지 않은 지역의 구분이 어렵고 주차장의 경계를 명확하게 구분하기가 사실상 불가능하기 때문에 수목그늘의 면적과 수목 현황만을 분석자료로 활용하였다.

본 연구에서 분석한 데이비스 대학내 1995년과 2003년도의 주차장 수목그늘의 면적은 비교 분석이 가능한 19개소의 주차장에 식재된 733주 수목의 그늘 면적만을 대상으로 하였기 때문에 이를 기초로 년도별 수목그늘이 주는 이익이 계산되었다. 만일 데이비스 대학내 주차장의 전체 수목그늘의 경제적 이익을 산출하려면 본 연구에서 제외된 주차장 수목그늘을 추가하여 산출하여야 산출이 가능하나 본 연구의 취지하고는 다소 차이가 있어 연구범위에서 제외하였다.

미국 캘리포니아 데이비스 주립대학내 주차장 수목의 그늘면적이 1995년 이후 2003년까지 8년간 증가된 주차장별, 수종별 결과를 항공사진을 스캔한 후 GIS 작업을 통해 작업하여 19개 주차장의 수목그늘 면적을 산출하였다. 데이비스 대학내 선정된 19개소 주차장의 수목그늘 면적이 8년간의 기간 동안 증가된 면적과 그 경제적 이익을 계량화하여 분석하였고, 주차장별 또는 수

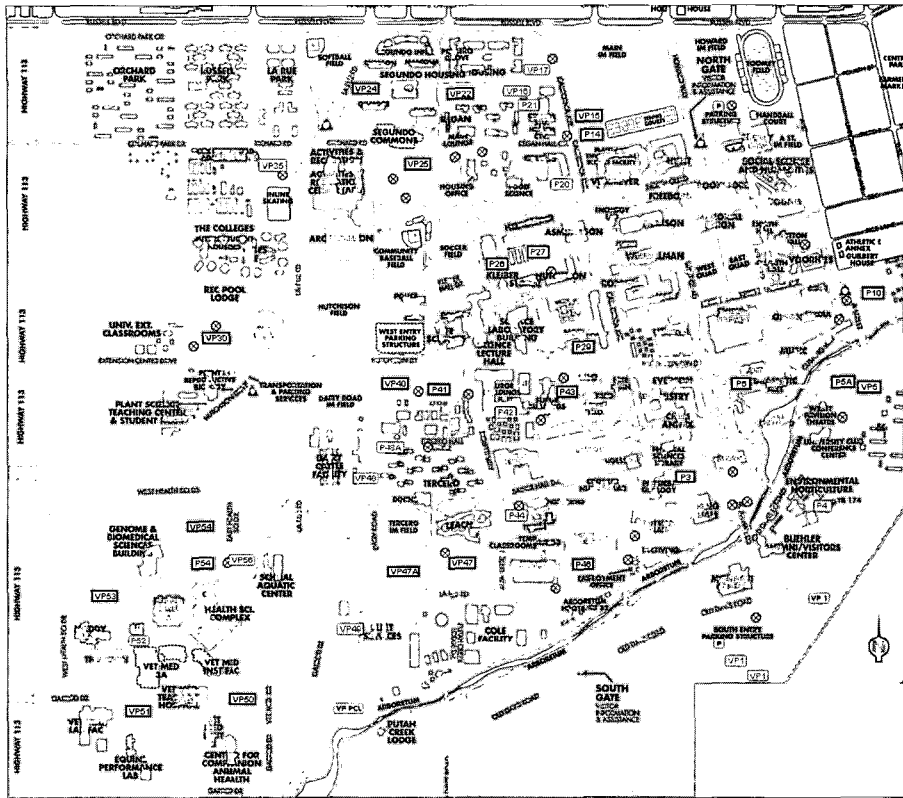


그림 1. 데이비스 대학 주차장 현황도*
* 검은색 박스가 표시된 주차장이 대상지임.

중별 증가량도 비교 분석하였다.

3) 수목그늘의 경제적 이익 산출 근거

미국 데이비스대학내 주차장의 수목그늘이 주는 경제적 이익을 정량적으로 산출하기 위한 작업은 기존 연구 검토를 통해 미국 도시림연구소 중심으로 진행된 세크라멘토시 도시림 효과 연구 결과에서 추출된 에너지, 대기 정화, 수문, 그리고 미적 이익의 단위별 수치를 적용하였다. Simpson(1998)은 세크라멘토의 작은 상업 또는 산업지역에 467ha의 기존 그늘면적(Canopy Cover: CC)이 여름철 에어컨의 사용을 314W에서 297W로 약 시간당 17W를 절약하는 것을 발견하였다. 더 나아가 10%의 나무그늘이 증가되면 1°C의 온도가 감소되고 상업적 혹은 산업적 에어컨 전력소비의 6.7%가 절감된다. 그러므로 50% 그늘을 형성하는 536ha의 그늘이 확보되

면 기온을 0.21°C 감소시키므로 에어컨 사용의 1.2% 즉 4.28GWh를 절감할 수 있다. 이러한 절감은 0.8kWh/m² CC의 효과를 갖게 되고 이를 금액으로 환산하면 US\$ 0.081/kWh에 이르게 된다.

McPherson(1998)은 기존 세크라멘토의 도시림이 103톤의 이산화탄소를 감소시킨다고 한다. 나무들이 74톤을 해결하고, 나무의 에너지 절감 효과로 인해 발전소 가동이 줄게 됨으로서 33톤의 이산화탄소 배출이 줄게 되나, 4톤의 이산화탄소는 나무 관리작업 과정에서 배출된다(McPherson, 1998: 218). 매년 평균 0.8kg/m² CC의 이산화탄소가 배출되며, 순수 이산화탄소의 저장량은 3.1kg/m² CC이다. 그 가치는 US\$ 0.03/kg(캘리포니아 에너지 위원회, 1994; McPherson 2001: 109, 재인용)이다.

Xiao et al.(1998)은 세크라멘토 173만주의 각 나무가

도시립 케노피에 23.5ml의 물을 흡수 저장하여 매년 총 728,500m²의 배수 유량을 감소시킨다고 한다. 교목의 낙엽수가 매년 흡수 저장하는 물의 양은 0.024m³/m² CC이다. 세크라멘토시의 도시기반부문에서는 주차장이 19mm의 초기 유량배수를 흡수 저장할 수 있도록 설계되어야 한다고 주장하고 있다. 세크라멘토 주차장 녹지가 처리 가능한 유량이 37,347m³이다. 처리비용은 US\$ 0.83/m³이다.

세크라멘토의 3,078ha의 CC가 매년 이산화질소 34.76톤을 제거하거나 1m² CC당 1.1g을 제거하는 것으로 평가되었다. 이것을 돈으로 환산하면 1m² CC당 US\$ 0.03에 달한다(Scott *et al.*, 1998: 225). 또한 Scott *et al.*은 세크라멘토의 증가된 주차장 녹지가 주차장 차로 부터 하루에 대당 0.96g의 탄화수소(HC) 배출을 줄인다고 한다. 큰 교목 한 주는 4대의 차에 그늘을 제공하게 되어 매년 691g/주의 탄화수소의 배출을 줄이고 이는 5.9g/m² CC의 효과(McPherson, 2001: 110)에 달한다.

또한 탄화수소는 나무 전동톱이나 톱밥분쇄기 작동 과정에서도 배출된다. 2년에 한번씩 정기적인 관리를 받는다고 가정할 경우 매년 105g/주의 탄화수소가 배출되고 이는 0.9g/m² CC에 해당된다.

생휘발성 유기물(BVOC)의 배출을 보면 낮은 경우 하루에 0.1g/주가 배출되고 이는 0.086g/m² CC에 달하며, 중간인 경우 하루에 1g/주가 배출되고 이는 0.86g/m² CC에 달하며, 높은 경우 하루에 5g/주가 배출되고 이는 4.28g/m² CC에 달한다. 그 가격은 탄화수소와 같이 US\$ 19.29/kg이다(McPherson, 2001: 110).

주거지역에서 주차장의 미적 효과는 US\$ 0.15/m² CC이고 오피스 지역이나 다가구 주택에서는 US\$ 0.18/m² CC(McPherson, 2001: 111)이다. 그러나 그밖에 주차장 수목 그늘이 갖는 심리적 이익, 바람막이, 여가적 이익 등 바로 정량화되지 않는 항목들은 본 연구에서 제외하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 주차장별 그늘면적 증가량

데이비스 대학내 수목 그늘이 가장 적은 주차장은 서

측에 위치한 VP51로 562.77m²이고, 다음으로 VP54가 607.80m², 그리고 P6가 784.58m²로 적은 그늘면적을 갖고 있다. 반면에 수목그늘이 넓은 주차장은 북측에 VP25가 6,174.53m²로 가장 크고 다음으로 동측에 VP5(P5A)가 4,927.07m²이고 중앙에 VP40(VP41)이 3,919.75m²에 이르고 있다.

1995년을 기준으로 2003년 8년간 증가된 그늘면적을 비율로 계산해 보면 그늘 면적 증가율이 낮은 경우는 남측에 위치한 VP47(VP47A)이 -7.3% 오히려 감소하였고 동측에 VP5(P5A)가 1.0%, 동측 P6이 1.5% 증가된 결과가 나타나 전체 평균 19.1%의 증가율에 크게 미치지 못하고 있다. 특히 그늘 면적 증가율이 1%대인 VP5(P5A)와 P6의 경우는 거의 그늘 면적 증가가 없었

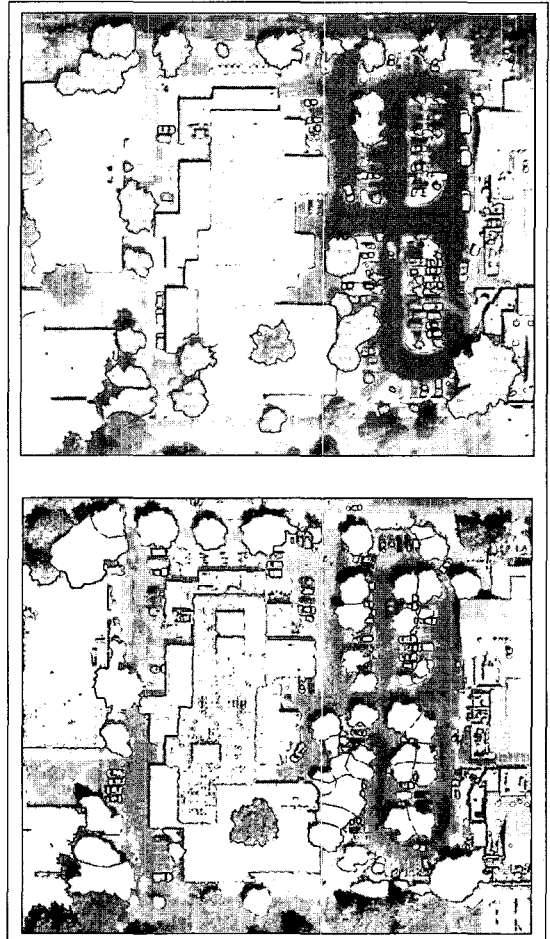


그림 2. 8년간 수목그늘 증가가 가장 많은 P43.

다고 볼 수 있다. 반면에 그늘 면적이 증가된 주차장을 보면 대학 중앙 부근에 P43이 69.4%로 가장 높고 다음으로 서측에 위치한 VP51이 62.2%, VP53이 50.4%, VP50이 48.3%로 높게 나타났다. 주차장의 수목 그늘 면적 증가가 높게 나타난 주차장의 경우에는 다른 지역의 주차장에 비해 최근에 식재되어 건설할 때 수령이 어려 식재후 성장속도가 다른 주차장에 비해 높았기 때문으로 보인다. 또한 데이비스 주차장의 수목그늘은 매년 평균적으로 약 1,060m²씩 증가하고 있고 이는 매년 약 2.4%의 증가에 해당된다.

2. 주요 수종별 그늘 면적 증가량

표 1. 주차장별 수목그늘 면적 변화(단위: m²)

주차장 구분	수목그늘 면적(m ²)		8년간 증가 면적(m ²)	증가율 (%)
	1995년	2003년		
VP24	1,196.58	1,272.07	75.49	6.3
VP22	3,037.68	3,471.62	433.94	14.3
P14(VP15)	2,772.61	3,765.67	993.07	35.8
VP25	6,174.53	6,936.96	762.43	12.3
P26(P27)	2,386.24	2,986.54	600.30	25.2
VP30	2,884.97	3,459.98	575.02	19.9
VP40(VP41)	3,919.75	4,764.88	845.13	21.6
P29	1,601.73	1,699.32	97.59	6.1
P43	1,853.73	3,140.97	1287.25	69.4
P10	1,417.06	1,642.80	225.74	15.9
P6	784.58	796.62	12.04	1.5
VP5(P5A)	4,927.07	4,978.34	51.28	1.0
P3	2,576.50	3,016.33	439.83	17.1
P46	2,128.82	2,409.62	280.79	13.2
VP47(VP47A)	2,368.37	2,196.24	-172.13	-7.3
VP54(P54)	607.80	704.12	96.32	15.8
VP53	1,372.87	2,064.86	691.99	50.4
VP50	1,708.09	2,532.56	824.47	48.3
VP51	562.77	912.66	349.89	62.2
계	44,281.74	52,752.19	8470.45	19.1

데이비스 대학내 25개소 주차장에는 총 733주의 수목이 식재되어 있다. 20주 이상 출현되고 있는 수종을 보면 팽나무(*Celtis sinensis*)가 191주로 가장 많이 출현되고 있고, 제주광나무(*Ligustrum lucidum*)가 33주, 배롱나무(*Lagerstroemia indica*)가 30주, Coast Live Oak(*Quercus agrifolia*, 서부의 떡갈나무 일종)가 28주, 부자나무(*Pistacia chinensis*)가 23주, 참느릅나무(*Ulmus parvifolia*)가 21주, Shamel Ash(*Fraxinus uhdei*)가 20주 등이며 8년간의 그늘면적은 평균적으로 19.1% 증가된 것으로 나타났다.

이러한 수목 출현 결과를 Elliott(1988)의 데이비스 시내 10개소의 주차장 녹지 연구에서 많이 출현된 수목과 비교하면 총 230주 중에 참느릅나무가 34주로 가장 많고, 부자나무가 25주, 팽나무가 14주 등이 출현되어 본 연구와 비슷하고 Redwood(*Sequoia Sempervirens*)가 15주 출현되는 점이 특이하다 볼 수 있다.

팽나무의 그늘 면적 변화는 VP25에 102주가 10.9%, Vp22에서 38주가 14.3%, VP14(VP15)에서 28주로 17.9%가 증가되었고 평균적으로는 14.4%의 그늘면적 증가가 관찰되어 전체 평균인 19.1%에 비해 낮은 편이다. 제주광나무의 경우에는 VP47(VP47A)에 18주가 3.3%, Vp27에서 9주가 27%, VP40(VP41)에서 6주가 56% 증가되었고 평균적으로는 15%의 그늘면적 증가가 관찰되어 역시 전체평균에 비해 낮은 편이다. 또한 배롱나무의 경우에는 VP5(P5A)에만 30주가 출현되는데 -2.6%로 오히려 그늘면적이 감소된 것으로 나타났다.

표 2. 팽나무의 그늘면적 변화(단위: m²)

주차장 구분	수목그늘 면적(m ²)		8년간 증가 면적(m ²)	증가율 (%)
	1995년	2003년		
VP22	3,037.68	3,471.62	433.94	14.3
VP14	2,089.46	2,463.97	374.51	17.9
VP25	5,638.76	6,251.42	612.66	10.9
P29	1,601.73	1,699.32	97.59	6.1
P43	637.78	860.76	222.98	35.0
VP5	111.70	201.59	89.90	80.5
VP53	77.37	136.85	59.48	76.9
계	13,194.48	15,085.53	1,891.06	14.3

Coast Live Oak는 VP40(VP41)에서 14주가 40.3%, VP30에서 8주가 20.2%의 그늘면적이 증가되었고 평균적으로는 35.3%의 그늘면적 증가가 나타나 그늘면적의 증가율이 높은 편이다. 부자나무는 VP50에 10주가 297.2%의 높은 그늘면적 증가가 있었고 평균적으로도 81.2%의 증가가 나타나 전체 평균과 비교해 대폭적으로 그늘면적이 증가된 수종이다. 참느릅나무는 P43에 21주가 모두 식재되어 526.5%의 그늘면적이 증가되어 전체 평균 퍼센트 대비 무려 28배의 그늘면적 증가가 나타난 수종이다. 마지막으로 Shamel Ash의 경우에는 P14(VP15)에 17주가 101.3%의 그늘면적이 증가되었고 평균적으로도 80.6%의 그늘면적 증가가 나타나 그늘면적 증가율이 높은 편이다.

3. 경제적 이익

1995년 데이비스 대학내 19개의 주차장내 수목의 그늘면적을 GIS 프로그램을 통해 작업한 결과 그 합계는 44,281.74m²로 나타났다. 이 그늘면적이 주는 에너지 절감 효과는 총 35,425.39kWh이고 이를 달러로 환산하면 US\$ 2,834.03이 되고 이를 전체 수목 주수 733으로 나누면 48.33kWh/주, US\$ 3.87/주의 경제적 효과가 있다. 이러한 과정으로 통해 그 효과를 보면 이산화탄소 제거 효과는 US\$ 5.62/주, 수문 효과는 US\$ 1.00/주, 미적 효과는 US\$ 10.87/주, 오존 및 이산화질소 등 대기오염물질 제거 효과가 US\$ 11.45/주, 그리고 마지막으로 차량으로부터의 탄화수소 배출을 저감하는 효과가 US\$ 6.90/주이지만 2년에 한번씩 정기적인 수목관리를 위해 전동톱 사용시 발생하는 탄화수소 효과와 생휘발성 유기물(BVOC)의 배출 효과를 더해 보면 US\$ -0.39/주가 되어 이를 계산해 보면 US\$ 6.51/주가 된다. 결과적으로 1995년도 데이비스 대학내 주차장 수목의 그늘 효과는 전체 US\$ 27,613.71이고 주당 효과는 US\$ 37.67/주에 달하는 것으로 나타났다.

2003년 데이비스 대학내 19개의 주차장내 수목의 그늘면적은 52,752.19m²로 나타났다. 이 그늘면적이 주는 에너지 절감 효과를 보면 총 42,201.75kWh이고 이를 달러로 환산하면 US\$ 3,376.14이 되고 주당 효과는 56.57 kWh/주, US\$ 4.61/주의 경제적 효과가 있다. 또한 이

산화탄소 제거 효과는 US\$ 6.69/주, 수문 효과는 US\$ 1.19/주, 미적 효과는 US\$ 12.95/주, 오존 및 이산화질소 등 대기오염물질 제거효과가 US\$ 13.66/주, 그리고 마지막으로 차량으로부터의 탄화수소 배출을 저감하는 효과에서 전동톱 사용시 발생하는 탄화수소 효과와 생휘발성 유기물(BVOC)의 배출 효과를 빼면 US\$ 7.83/주가 된다. 결과적으로 2003년도 데이비스 대학내 주차장 수목의 그늘 효과는 전체 US\$ 32,895.81이고 주당 효과는 US\$ 44.88/주에 달하는 것으로 나타났다.

결과적으로 8년간 증가된 데이비스 대학내 주차장내 733주의 수목그늘 면적은 8,470.45m²이고 8년간 증가된 효과는 US\$ 5282.10이고 한 주당 US\$ 7.21의 경제적 이익이 증가된 것으로 나타났다. 따라서 나무가 성장함에 따라 그늘면적이 증가되어 매년 US\$ 660.26, 한 주당 약 US\$ 0.9의 이익이 증가되는 것으로 나타났다(표 3 참조).

IV. 결론

미국 캘리포니아 데이비스 대학내 주차장내 수목 생장에 따른 그늘의 증가가 어느 정도의 경제적 이익을 우리에게 주고 있는가에 대해 연구할 수 있었던 것은 미국 데이비스 대학내 도시립연구소를 중심으로 기간 이루어진 수목 그늘에 대한 연구 결과 수목 그늘의 에너지, 수문, 대기 정화 등의 효과를 수치화 할 수 있는 산정 근거가 마련되어 있어서 가능할 수 있었다. 또한 본 연구는 8년간의 기간 동안 수목의 그늘 면적 증가에 따른 수목 효과를 다루었다는 점에서 기존의 주차장 수목 그늘에 대한 다른 연구와 구별되고 있다.

더 나아가 미국 데이비스 대학 주차장 수목 그늘의 경제적 이익에 대한 연구 결과는 앞으로 진행될 국내 주차장 수목 그늘을 대상으로 한 연구와 비교 분석 자료로 제공될 수 있을 것으로 기대된다. 좀 더 구체적으로 본 연구와 같이 일정 기간이 경과한 후 주차장 수목 그늘의 경제적 이익을 연구하면 주차장별 또는 수종별 차이의 원인을 분석하여 대안을 마련할 수 있을 것이며 특히 인공포장지역 주변에 생육이 왕성한 수종을 선정하는데 도움이 될 것이다.

만약 본 연구의 결과 수치를 그대로 서울의 '천만그루

표 3. 8년간의 수목그늘 이익

Benefit type	RU ^a /m ² CC	Price (US \$/RU)	Value (US \$/m ² CC)	Total RU	Total US \$	Average RU/tree	Average US \$/tree
Air Conditioning(kWh)	0.8	0.08	0.064	6,776.36	542.11	9.24	0.74
CO ₂ (kg)	3.1	0.03	0.093	26,258.40	787.75	35.82	1.07
Stormwater(m ²)	0.02	0.83	0.0166	169.41	140.61	0.23	0.19
Aesthetic	0		0.18		1,524.68		2.08
O ₃	4.01	0.02701	0.1083101	33,966.50	917.44	46.34	1.25
PM ₁₀	4.1	0.01168	0.047888	34,728.85	405.63	47.38	0.55
NO ₂	1.13	0.02701	0.0305213	9,571.61	258.53	13.06	0.35
SO ₂	0.15	0.02017	0.0030255	1,270.57	25.63	1.73	0.03
HC avoided	5.92	0.01929	0.1141968	50,145.06	967.30	68.41	1.32
HC released	0.9	0.01929	0.017361	7,623.41	147.06	-10.40	-0.20
BVOC(low)	0.09	0.01929	0.0017361	762.34			
BVOC(medium)	0.86	0.01929	0.0165894	7,284.59	140.52	-9.94	-0.19
BVOC(HIGH)	4.28	0.01929	0.0825612	36,253.53			
Grand Total				214,810.61	5,282.10	201.88	7.21

^a RU는 유형별 기본단위로 g/CC이 아닌 것은 단위를 표기하였음.

나무심기운동'에 가정해 보면 천만그루의 수목은 2003년 데이비스 대학의 한 주당 US\$ 44.88에 비해 1/4 정도인 US\$ 11이라고 작게 산정해 계산하면 연간 매년 일억 천만 달러의 경제적 이익을 주게 되고 거기에서 주당 US\$ 0.9의 이익을 곱하면 매년 9백만 달러의 이익이 증가된다고 볼 수 있다. 따라서 주차장에 수목 그늘을 확보하고 그 면적을 증가시킴으로써 얻는 경제적 이익은 장기적으로 볼 때 인공 건축물이나 구조물을 조성하는 것과 비교할 수 없을 정도로 높다고 볼 수 있다.

앞으로 한국에서도 이러한 도시 수목의 그늘 효과에 관한 연구가 활성화된다면 상식적 수준에서 언급되던 도시내 수목 그늘의 경제적 가치와 중요성이 널리 알려지게 되어 궁극적으로 도시 수목 그늘 공간의 확대에 기여할 수 있을 것이다. 이와 같은 수목 그늘의 면적과 그 경제적 효과에 관한 연구가 한국에서 진행되기 위해서는 다음과 같은 과제가 극복되어야 할 것으로 보인다.

첫째, 도시 수목의 그늘 면적이 주는 효과에 관한 응용 연구가 진행되기 위해서는 수목의 에너지 절감 효과,

이산화탄소 제거 효과, 수문 효과, 대기오염 저감 효과 등 각 효과에 관한 기초연구들이 선행되어 산정 근거가 마련되어야 할 것이다. 그나마 다행스러운 것은 에너지 절감 효과와 대기 정화 부문에 있어서는 산출 근거가 마련될 수 있을 것으로 보여 향후 이 분야의 지속적인 연구가 가능하리라 본다.

둘째, 도시내 수목그늘의 모습을 분석할 수 있는 세밀한 항공사진이나 설계 도면 등의 정확한 기초자료가 마련될 수 있어야 한다.

셋째, 각 지자체별로 GIS 자료 기반을 구축하는 작업이 진행중인데 여기에 도시내 수목이 포함된 기초자료가 마련되어야 한다.

결과적으로 본 연구는 8년간 미국 캘리포니아 데이비스 주립대학내 주차장 수목의 그늘면적의 계량적 증감과 효과에 관한 연구를 통해 주차장 수목 그늘 면적에 따른 경제적 이익을 산출하였고 향후 한국의 주차장 수목을 대상으로 보다 구체적인 연구를 진행하기 위한 기반을 마련하였다고 본다. 그리고 계속적인 연구를 통해

한국 주차장 수목 그늘의 경제적 이익을 높일 수 있는 주차장 수목 식재 계획, 적정 수종 선정, 관리방안 모색, 그리고 법규 제정 등에 이르기까지 좋은 제안들이 이루어지기를 기대해 본다.

주 1. '수목그늘'이란 용어는 영어로 'shading'을 번역함에 있어 가장 적합하다고 판단되어 본 연구에서 사용한 것이다.

인용문헌

1. 조현길, 윤영환, 이기의(1995) 도시녹지에 의한 대기 CO₂의 흡수. 한국조경학회지 23(3): 80-93.
2. 조현길, 조동하(1998) 도시 주요 조경수종의 연간 CO₂ 흡수. 한국조경학회지 26(2): 38-53.
3. 윤용환, 김은일, 송태갑(1998) 공원녹지가 기온저하에 미치는 영향. 한국조경학회지 26(2): 259-268.
4. 조현길, 안태원(1999) 도시녹지에 의한 미기후 개선의 기능. 한국조경학회지 27(4): 23-28.
5. 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화 효과. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
6. 조용현, 신수영(2002) 도시립의 여름 대기온도 저감 효과. 한국조경학회지 30(4): 28-36.
7. 송영배(2002) 신도시 개발이 도시열섬 형성에 미치는 영향. 한국조경학회지 30(4): 37-46.
8. California Energy Commission(1994) Electricity Report. Sacramento, CA: California Energy Commission.
9. City of Sacramento(2002) City of Sacramento Parking Lot Tree Shading Design and Maintenance Guidelines. Sacramento, CA: City Planning Department.
10. Elliot, K.(1988) An Evaluation of Parking Patterns and the Davis Mandatory Shade Ordinance. The Degree of Master of Arts in Geography. University of California, Davis.
11. McPherson, E. G.(1998) Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24: 215-223.
12. McPherson, E. G.(1998) Shade Trees and Parking Lots. Arid Zone Trees.
13. McPherson, E. G.(2001) Sacramento's parking lot shading ordinance: environmental and economic costs of compliance. Landscape and Urban Planning 57: 105-123.
14. Scott, K. I., E. G. McPherson, and J. R. Simpson(1998) Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24: 224-234.
15. Simpson, J. R.(1998) Urban forest impacts on regional space conditioning energy use: Sacramento County case study. Journal of Arboriculture 24: 201-214.
16. Wong, T. W.(1996) A Critical Examination of Davis Parking Lot Tree Shade. The Degree of Bachelors of Science of Landscape Architecture. University of California Davis.
17. Xiao, Q., E. G. McPherson, J. R. Simpson, and S. L. Ustin (1998) Rainfall interception by Sacramento's urban forest. Journal of Arboriculture 24: 235-244.
18. <http://www.fs.fed.us/psw/programs/cufr/stratum.shtml>

원 고 접 수: 2005년 12월 30일
 최종수정본 접수: 2006년 2월 3일
 3 인 의 명 심 사 필