

# 춘천시 주거지구내 수목피도의 차이가 난방방에너지 이용 및 비용에 미치는 효과

조현길\* · 안태원\*\*

\*강원대학교 건축조경학부 · \*\*강원대학교 대학원

## Effects of Difference in Tree Cover on Use and Cost of Heating and Cooling Energy in Residential Neighborhoods of Chuncheon

Jo, Hyun-Kil\* · Ahn, Tae-Won\*\*

\*Division of Architecture and Landscape Architecture, Kangwon National University

\*\*Graduate School, Kangwon National University

### ABSTRACT

This study quantified shading, evapotranspiration and windspeed-reduction effects of trees on use and cost of heating and cooling energy in two residential neighborhoods of Chuncheon different in tree cover. Annual savings per residence of heating energy were approximately 1,210 MJ (1%) and those of cooling energy, 130 kWh (10%) in study district 1 having tree cover of about 10%. For district 2 with tree cover of about 20%, annual heating and cooling savings were 2,130 MJ (2%) and 180 kWh (19%) per residence, respectively. Trees annually saved energy costs by approximately ₩31,000 (\$26, \$1=₩1,200) per residence in district 1 and by ₩49,000 (\$41) in district 2. One tree taller than 3 m resulted in annual energy savings of ₩8,000 (\$7) in the study districts. Energy savings by trees in district 2, which had higher tree cover by 10% difference than district 1, were about 2 times greater than those in district 1. This implies that more tree plantings could enhance energy saving effects. Of the total costs saved, 58% was attributed to windspeed reduction and 47%, evapotranspiration. However, shading increased energy costs by 5% due to tree plantings at the wrong locations. Full tree plantings on the west and north of buildings and avoidance of shade-tree plantings or use of solar-friendly trees on the south are recommended to increase building energy savings efficiently.

*Key Words : energy savings, residential buildings, proper plantings*

## I. 서론

도시수목은 차양(shading), 증발산 및 풍속감소의 역할을 통하여 주택의 난방에너지 소비와 비용을 절약한다. 즉, 도시수목은 건물에 도달하는 태양복사를 차단하고 증발산을 통해, 건물주변 대기온도를 감소시켜 여름철 냉방에너지를 절약한다. 또한, 주거지에 분포하는 수목은 표면마찰(surface roughness)을 증가시켜 풍속을 저하시킨다. 풍속감소(이하 방풍으로 약칭)는 건물내부로의 찬 바람의 침투를 막고 외부로의 열손실을 낮추어 겨울철 난방에너지를 절약한다.

국외에서는 도시수목의 건물에너지 절약에 관한 적지 않은 연구를 통해, 그것의 에너지보전의 역할과 경제적 가치를 구명하고 도시내 수목식재의 중요성을 강조하여 왔다. Illinois주 Chicago시에서, 주택주변에 식재된 교목 3주에 의한 방풍은 난방에너지를 연간 16% 절약하였다(Huang *et al.*, 1990). 수목피도 10% 증가는 주택냉방에너지를 Arizona주 Phoenix시에서 연간 12%, California주 Sacramento시에서 24% 절약하였다(Huang *et al.*, 1992). 그 냉방에너지 절약의 대부분은 증발산효과에 의한 것이며, 단지 10-30%만이 차양에 기인하는 것으로 나타났다. Chicago시에서, 수목피도 10% 증가는 난방에너지 이용을 해당 연간 5-10% 감소시켜 50-90달러의 비용을 절감하였다(McPherson, 1994). Sacramento시의 경우, 수목은 주택의 난방에너지를 연간 약 1%, 냉방에너지를 11% 절약하였으며, 수목 1주당 난방에너지 비용절약은 연간 16달러이었다(Simpson, 1998). 국내에서는 조현길 등(1998)이 유일하게 춘천시 전체(수목피도 13%)를 대상으로 관련연구를 수행하여, 식생에 의한 주택 난방 및 냉방에너지 절약이 각각 2% 및 9%이었음을 보고한 바 있다. 그런데, 이 연구는 컴퓨터모델링 과정에서 요구하는 기상과일을 국내가 아닌 미국 Chicago시의 것으로 대체이용한 한계성을 보였다.

상기한 도시수목의 에너지절약 효과는 수목피도, 건물주변 식재패턴, 건물구조, 기후조건 등의 차이에 따라 대상지별로 상이할 것으로 사료된다. 그에 대한 연구결과의 축적은 식생의 에너지절약 가치를 증진하고 에너지소비에 기인한 대기오염을 저지할 향후 국내 주

택조경계획의 일반적 지침을 마련하는데 필요하다. 본 연구의 목적은 수목피도가 상이한 춘천시내 두 주거지를 선정하여 건물구조 및 수목식재 특성의 실측을 바탕으로, 수목이 주택 난방에너지의 이용 및 비용절약에 영향을 미치는 효과를 비교 분석하는 것이었다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 연구대상지 선정

춘천시의 흑백항공사진(축척 1/15,000) 상에 0.5cm 간격의 격자를 그린 투명 셀로판지를 중첩시켜, 체계표본추출(systematic sampling)을 통해 총 985개의 표본추출지점을 선정하였다. 8배의 확대경이 부착된 입체시경(Sokkisha MS-27)을 이용하여 해당지점의 토지피복유형을 판독하고, 행정동별 주거지의 수목피도를 분석하였다. 수목피도가 현저히 낮은 동과 높은 동들 중에서, 표본추출할 주택수가 충분하고 주택들의 외관상 건축년도가 유사한(현지조사를 통해 파악) 도심의 효자동 일대(총 2.7km<sup>2</sup>)와 근교의 사능, 우두 및 신동 일대(총 8.8km<sup>2</sup>)의 2개 주거지를 연구대상지로 선정하였다. 즉, 효자동 일대는 수목피도가 상대적으로 낮은 주거지구(이하 제1지구로 약칭)이며, 사능, 우두 및 신동 일대는 수목피도가 높은 주거지구(이하 제2지구로 약칭)이었다.

### 2. 주택건물구조 조사 및 MICROPAS 파일작성

축척 1/5,000의 지도상에 4cm 간격의 격자를 그린 투명 셀로판지를 올려 놓고 체계적 임의표본추출(systematic random sampling)에 의해, 연구지구별로 30개씩, 총 60개의 표본추출지점을 선정하였다. 현지답사를 통해 표본추출지점에 가장 가까이 위치하는 주택을 대상으로, 현관방위, 길이 및 넓이, 층수, 벽 재료 및 두께, 창면적, 지붕형태 등을 조사하였다. 아울러 거주자와의 인터뷰를 통해 건축년도, 거주지수, 세대수 등을 조사하였다. 건물벽의 재료 및 두께에 대한 조사결과와 임만택(1992)의 계산식에 근거하여 벽의 열관류율을 산정하였다.

건물의 에너지이용은 MICROPAS(ENERCOMP,

Inc., 1995)를 활용하여 계량화되었다. MICROPAS는 마이크로컴퓨터용 건물에너지 모델링 프로그램으로서, 열전도와 관련된 건물구조(난방방 면적 및 체적, 창과 벽의 면적 및 열관류율 등), 난방방시설과 이용특성(거주자 및 세대수, 난방방 설정온도 등) 및 기상자료의 입력을 토대로 월별, 시간별 건물에너지 이용량을 산출한다. MICROPAS 모델링 결과는 건물의 실제 에너지이용량과 근접하며 그 연산방식이 타당하다는 것이 입증되었다(Nittler and Novotny, 1983; McPherson *et al.*, 1988; Jo, 1993; McPherson, 1994; ENERCOMP, Inc., 1995). 더구나, 모델링 과정이 타 유사프로그램(예를 들면, DOE, CALPAS 등)에 비해 더욱 쉽고 그에 소요되는 시간도 짧은 장점을 지닌다. 따라서, MICROPAS는 국외의 건축 및 에너지전문가에 의해 광범위하게 활용되고 있으며, 본 연구도 이 프로그램을 선정 활용하였다.

건물의 다양한 구조적 특성의 고려로부터 야기되는 에너지이용 모델링의 막대한 시간과 노력을 간소화하기 위하여, 주택건물을 조사결과에 근거하여 연구지구의 경우를 대표할 수 있도록 유형화하였다. 즉, 건축년도를 우선적으로 고려하여 1980년 이전(1980년 포함)에 지어진 단독주택(이하 구주택으로 약칭)과 80년 이후의 단독주택(이하 신주택으로 약칭)으로 주택유형을 대분하였다. 그 이유는 1980년에 열관류율에 대한 법이 제정되어(건설부, 1994), 건물에너지 이용의 효율화와 관련하여 건물의 구조적 변화가 수반되었기 때문이다. 구주택은 다시 1층 및 2층의 남향건물, 신주택은 1층의 남향 및 북향건물과 2층의 남향건물 등 총 5개의 건물유형으로 세분되었다. Table 1은 대표적으로 유형화한 5개 주택건물의 구조적 특성과 건물에너지 이용량 분석을 위해 마련한 건물유형별 MICROPAS 파일의 주요한 입력자료를 요약한 것이다. 여기에서 난방방바닥면적(conditioned floor area, 이하 바닥면적으로 약칭), 세대 및 거주자수, 창면적, 벽의 열관류율 등 각 변수들의 수치는 표본추출된 유형별 주택들의 평균치이다.

MICROPAS는 건물에너지 분석을 위해 MICROPAS 호환성 기상파일을 필요로 한다. 본 연구는 춘천시의 경우 필요한 기상자료의 완벽한 확보가 불가하여 그와 근접한 서울시의 기상자료를 활용하였

다. 기상청으로부터, 1994년에서 1996년까지 365일 매시간의 온도, 직달일사량, 산란복사량, 풍속, 풍향 등을 포함하는 기상자료를 구입하였다. 그리고, MICROPAS 제작사인 ENERCOMP의 도움을 얻어, 상기 3개년 대표치의 MICROPAS 호환성 기상파일을 작성하고 이를 모델링에 이용하였다.

### 3. 에너지이용 모델링 검증

주택별 연간 난방방에너지 이용량은 거주자와 에너지공급 관련업체의 협조로부터 수집한 증빙자료에 근거하여 파악되었다. 건물유형별 실제의 난방에너지 이용량은 MICROPAS 모델링을 통해 나타난 그 이용량과 비교 검증되었다. 이는 MICROPAS 모델링을 위해 요구되는 각종 변수들의 입력자료의 타당성과, 수목에 의한 에너지절약 계량화의 신뢰성을 증진하기 위함이었다. 모델링의 결과가 실제의 난방에너지 이용과 유사하도록, 정확한 입력자료의 확보가 난이하였던 변수들(예를 들면, 난방방 설정온도, 난방방설비의 효율성 등)을, MICROPAS 활용지침(ENERCOMP, Inc., 1995)에 따라 약간씩 조정하면서(model parameterization) 반복 시뮬레이션하였다. 실제의 난방에너지 이용과 모델링 결과의 오차는 건물유형들 모두 4% 이내이었다. 난방에너지의 경우, 표본추출된 60개 주택들 중에서 단지 2개 주택만이 난방기를 갖추고 있었고, 한국전력공사로부터 주택들의 난방에너지 이용량 자료를 구입하는 것도 불가하였다. 따라서, 실제의 난방에너지 이용량 분석은 무사되었고, 대신 현주택의 구조적 특성을 반영한 MICROPAS 모델링 결과의 가정된 난방에너지 이용량(Table 1 하단 참조)을 기준으로, 수목에 의한 난방에너지 절약을 계량화하였다.

### 4. 차양효과 계량화

표본추출된 60개 주택의 대지내에 식재된 수목의 수종, 흉고직경, 수고, 수관폭 및 수관고, 수형, 건물로부터의 식재방위 및 거리 등을 조사하였다. 차양효과가 유의할 것으로 예측된 수고 3m 및 수관폭 2.5m 크기 이상의 수목들을 대상으로, SPS(McPherson *et al.*,

Table 1. Prototype building characteristics and input data for MICROPAS modeling

Building feature	Pre-1980	Pre-1980	Post-1980	Post-1980
	1 story	2 story	1 story	2 story
Year built	≤1980	≤1980	>1980	>1980
Front orientation	South	South	South/North	South
Construction type	Brick	Brick	Brick	Brick
Floor dimensions (m)	11.2x7.7	11.1x8.5	12.0x8.9	12.3x8.7
Conditioned floor area (m <sup>2</sup> )	73.8	161.4	93.7	185.9
Conditioned volume (m <sup>3</sup> )	166.1	363.2	210.9	418.2
No. of units/occupants	1/4	2/8	1/4	2/8
Window area (m <sup>2</sup> )				
Front	7.2	13.6	7.8	12.4
Back	1.0	3.1	3.3	4.8
Left	4.8	6.4	3.0	4.7
Right	2.2	3.9	2.5	3.9
Total	15.2	26.9	16.6	25.7
Window panes (no. & u)	1 & 3.52	1 & 3.52	2 & 2.88	2 & 2.88
Window shading coefficient				
Glass only	0.77	0.77	0.48	0.48
Drapes or blinds	0.78	0.78	0.63	0.63
Wall insulation (R-value)	1.26	1.26	2.04	2.04
Attic insulation (R-value)	2.88	2.88	2.88	2.88
Infiltration shielding	2	2	2	2
Wind correction factor	0.25	0.4	0.25	0.4
Gas furnace efficiency	0.73	0.73	0.73	0.73
Thermostat	No setback	No setback	Setback	Setback
Winter heating (°C)	21.1	21.1	21.1	21.1
Summer cooling (°C)	25.6	25.6	25.6	25.6
Energy use intensity				
Winter heating (MJ/m <sup>2</sup> )	1,446.5	1,328.9	1,100.3	1,025.1
Summer cooling (kWh/m <sup>2</sup> )	14.5	13.5	8.3	7.5

1985: 1988)를 활용하여 그들이 건물차양에 미치는 효과를 계량화하였다. SPS(Shadow Pattern Simulator)는 태양의 고도변화에 따른 월별, 시간별 수목차양에 의한 건물표면 전체의 차양계수(shading coefficient)를 산출하는 MICROPAS 호환성 컴퓨터프로그램이다. 이 프로그램은 태양, 건물 및 수목과 관련된 다양한 변수(태양각의 변화와 관련된 월일과 위도 및 경도, 건물의 길이 및 넓이, 수목의 크기 및 식재위치 등)의 입력을 필요로 한다(McPherson et

al., 1985; 1988; Jo, 1993; McPherson, 1994; 조현길 등, 1998). SPS 시뮬레이션을 통하여 생성된 파일을 MICROPAS에 입력하여 차양효과를 반영한 건물에너지 이용량을 산정하였다.

건물의 유형화 경우처럼 SPS 시뮬레이션의 시간과 노력을 간소화하기 위해 조사결과에 근거하여, 연구지역을 대표할 수 있도록 건물주변 식재수목 크기 및 위치를 유형화하여 차양시나리오를 작성하였다. Table 2와 같이, 수목크기는 수고×수관폭을 4.5m×

3.5m(이하 소형 수목으로 약칭), 6m×5.5m(이하 중형 수목으로 약칭), 8m×7.5m(이하 대형 수목으로 약칭) 등의 3가지 유형으로 구분되었다. 시뮬레이션된 수목들은 조사결과에 준하여 모두 우산형(paraboloid)의 낙엽수이었다. 그 낙엽수들의 수관은 기존 연구결과(McPherson, 1984; McPherson *et al.*, 1993)에 입각하여, 생장기간 동안(5-10월)에는 태양광의 15%만을 투과시키며, 낙엽된 겨울철에는 75%를 투과시키는 것으로 가정하였다. 건물주변 식재위치는 7개 방위(동북, 동, 동남, 남, 서남, 서, 서북)별 벽면으로부터의 3개 식재거리(3, 5 및 7m)로 유형화되었다. 즉 수목크기와 식재위치에 따른 차양가능성을 고려하여, 북향을 제외한 상기 방위별 건물벽으로부터 3m 거리에는 소형 및 중형 수목을, 5m 거리에는 중형 및 대형 수목을, 그리고 7m 거리에는 대형 수목만을 각각 위치시켰다(방위별 5개 수목 위치). 건물주변 7개 방위별 5개 수목의 차양유형을 시뮬레이션하여 총 35개의 SPS 파일을 생성하였다. 이들 SPS 파일을 5개 건물 유형별 MICROPAS 파일에 입력하여 총 175개 경우의 차양효과를 계량화하였다. 각 수목당 차양에 의한 건물에너지 절약량을 현지조사한 주택주변 유사유형의 수목들에 적용하여, 건물유형별 각 주택의 총에너지절약량을 산정하였다.

Table 2. Tree characteristics as SPS input data

Parameter	Small	Medium	Large
Tree height (m)	4.5	6.0	8.0
Crown width (m)	3.5	5.5	7.5
Crown height (m)	3.0	4.0	5.5
Bole height (m)	1.5	2.0	2.5
Shape	Paraboloid	Paraboloid	Paraboloid
Summer shading coefficient	0.15	0.15	0.15
Winter shading coefficient	0.75	0.75	0.75

5. 증발산 및 방풍효과 계량화

증발산 및 방풍에 의한 난방에너지 절약효과는 단지 건물을 차양하는 개개의 수목뿐만 아니라, 일정 거주지역에 분포하는 모든 수목의 종합적인 영향에 기인한다. 기존의 국내의 연구들(Huang *et al.*, 1987;

Profous, 1992; Jo, 1993; 조현길 등, 1998)은 수목 피도 10% 증가는 여름철 건물주변 온도를 약 1°C 감소시킴을 보고하였다. 이 연구결과와 연구지구별 수목 피도(제1지구 12%, 제2지구 22%: “결과 및 고찰” 참조)에 근거하여, 냉방기간인 6-8월을 대상으로 오전 6시부터 오후 11시까지, MICROPAS 기상파일내 매일 및 매시간의 온도를 최대 1°C 및 2°C로 낮추어 수정하였다. 이들 두종류의 기상파일을 건물유형별 MICROPAS 파일들에 입력하여, 연구지구별 수목피도의 영향을 반영하는 수목의 증발산효과를 계량화하였다.

주거지에서 수목피도 10% 증가는 풍속을 5-15% 감소시키며, 그 방풍효과는 수목피도가 높은 지역보다 낮은 주거지에서 상대적으로 더욱 크다(Heisler, 1990; Myrup *et al.*, 1993; McPherson, 1994). MICROPAS는 건물내부로의 공기유입율(air infiltration rate)에 영향을 주는 수목의 효과를 반영하기 위하여 방풍척도(wind shielding class) 변수를 이용한다(ENERCOMP, Inc., 1995). 연구지구별 수목피도와 상기 연구결과에 근거하여, 제1지구는 약 10% 풍속감소, 제2지구는 15-20% 풍속감소에 각각 해당하는 방풍척도 변수의 조절을 통하여, 건물유형별 수목의 방풍효과를 계량화하였다.

6. 비용절약 산정

난방에너지 절약량은 석유류 종류(등유 및 경유)별 1리터당 발열량(에너지경제연구원, 1996) 및 가격(춘천시주유소협회와의 사신, 1999)에 근거하여, 8,840kcal당 약 440원의 비용절약으로 전환되었다. 냉방에너지 절약량은 주택의 전력소비규모별 요금산정기준(한국전력공사와의 사신, 1999)에 기초하여, 1kWh 당 주택평균 약 130원의 비용절약으로 전환되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 주택 및 수목식재 현황

표본추출된 주택들은 모두 단독주택으로서, 구주택이 약 28%, 신주택이 72%를 점유하였다. 건물의 현

관방위는 주로 남향이었고, 층수는 구주택의 경우 1층 41% 및 2층 59%, 신주택의 경우 1층 72% 및 2층 28%의 비율을 나타냈다. 평균 바닥면적은 구주택보다 신주택이 약간 더 넓었으나, 평균 창면적은 구주택 및 신주택간에 큰 차이가 없었다(Table 1 참조). 벽체의 평균 열관류율(U-value)은 구주택이 0.79kcal/m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>°C, 신주택이 0.49kcal/m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>°C로서, 구주택보다는 신주택이 단열처리가 양호하고 단위바닥면적당 에너지소비도 적었다.

대지면적은 호당 평균 제1지구 199m<sup>2</sup>, 제2지구 377m<sup>2</sup>로서, 제2지구에서 제1지구보다 약 1.9배 넓었다. 근교에 위치하는 제2지구의 주택들은 대지의 반 정도가 투수성 면적이었으나, 도심의 제1지구에서는 볼투수성 면적(87%)이 우점하였다. 수목피도는 호당 평균 제1지구 12.3±1.5(표준오차)%, 제2지구 22.0±2.6%로서, 제2지구가 제1지구보다 10% 차이로 더욱 높았다. 제1지구의 수목피도는 춘천시 주거지 전체의 수목피도인 13%와 유사하였다. 교목(흉고직경 2cm 이상의 수목)의 밀도는 제1지구 2.0주/100m<sup>2</sup>(호당 4.4주), 제2지구 2.7주/100m<sup>2</sup>(호당 9.2주)이었다. 교목의 직경급 분포를 분석한 결과, 흉고직경 20cm 이하가 양 연구지구에서 95-100%를, 그리고 10cm 이하가 72-74%를 점유하였다. 이처럼, 연구지구에서는 유목내지는 성장과정의 수목들이 우점하였다. 수고 3m 및 수관폭 2.5m 크기 이상의 차양수목들 중, 낙엽수가 약 94%를, 그리고 우산형의 수형이 86%를 차지하였다. 수고는 8m, 수관폭은 7.5m 이내인 수목들이 대부분이었고, 건물로부터의 식재거리는 대개 7m 이내인 것으로 나타났다. 상대적으로 출현개체수가 많았던 차양수목종은 대추나무(*Zizyphus jujuba* var. *inermis*), 살구나무(*Prunus armeniaca* var. *ansu*), 목련(*Magnolia kobus*), 단풍나무(*Acer palmatum*) 등이었다.

## 2. 차양효과

Table 3과 같이, 수목 개개의 차양이 난방에너지 이용에 미치는 효과는 수목크기 및 건물주변 식재위치에 따라 상이하였다. 건물의 동북 및 서북향에 위치한 수목들은 건물에너지 이용에 뚜렷한 영향을 미치지 않

았다. 이들을 제외한 대부분의 차양수목은 여름철 냉방 에너지를 절약하였으나, 겨울철 태양광선을 차단하여 난방에너지 이용을 증가시켰다. 남향 수목은 난방에너지 요구를 증가시키는 역효과가 동일 크기의 타방위 수목들에 비해 가장 큰 것으로 나타났다(1주당 최대 0.4% 증가). 냉방에너지를 가장 많이 절약한 차양유형은 건물의 서향 및 동향에 가까이 식재된 대형 수목이었다(1주당 최대 1.5% 절약). 서향 수목은 동향 수목보다 난방에너지 증가의 역효과도 적었으므로, 서향은 차양을 통한 에너지절약상 가장 적절한 식재방위인 것으로 분석된다. 타 연구들(Jo, 1993; McPherson

Table 3. Shading effects of different tree sizes and locations on mean annual energy savings (%) of prototype buildings

Direction	Shading type		Heating**	Cooling
	Size	Distance*		
E	Small	3	-0.06	0.47
E	Medium	3	-0.11	1.32
E	Medium	5	-0.07	0.62
E	Large	5	-0.11	1.43
E	Large	7	-0.08	0.86
SE	Small	3	-0.07	0.01
SE	Medium	3	-0.16	0.20
SE	Medium	5	-0.08	0
SE	Large	5	-0.18	0.07
SE	Large	7	-0.10	0
S	Small	3	-0.16	0.04
S	Medium	3	-0.39	1.27
S	Medium	5	-0.18	0
S	Large	5	-0.41	0.34
S	Large	7	-0.22	0
SW	Small	3	-0.03	0.01
SW	Medium	3	-0.09	0.24
SW	Medium	5	-0.04	0
SW	Large	5	-0.10	0.08
SW	Large	7	-0.05	0
W	Small	3	-0.03	0.44
W	Medium	3	-0.06	1.41
W	Medium	5	-0.03	0.57
W	Large	5	-0.06	1.50
W	Large	7	-0.03	0.77

Note: \* It indicates distance from wall in meter.

\*\* Negative values mean increase of heating energy use due to winter shade (the same with Table 4).

et al., 1993; McPherson, 1994; 조현길 등, 1998) 역시 본 연구결과와 유사하게, 차양효과가 가장 양호한 식재방위는 건물의 서향 및 동향이며 남향의 차양수목은 오히려 난방에너지 이용을 증가시킨다고 보고하였다. Jo and McPherson(1998)에 의하면, 서향 및 동향 수목은 난방에너지를 본 연구의 결과보다 훨씬 많은 7-8% 절약하였는데, 이는 차양수목의 크기가 본 연구대상의 수목보다 더욱 크기 때문이었다.

건물 주변 모든 차양수목이 호당 난방에너지 이용에 미치는 효과는 Table 4와 같이 미미하였다. 그러나, 차양은 연간 에너지비용을 호당 평균 2,000-2,200 원 증가시켰고, 그 증가비도 제1지구보다 수목피도가 높은 제2지구에서 더욱 많았다. 이러한 결과는 수목을 부적절한 방향에 식재하여 여름철 난방에너지의 절약 이상으로 겨울철 난방에너지 요구를 부가시킨 것에 기인한다. 에너지절약상 부적절한 방향에 식재된 동남향, 남향 및 서남향의 차양수목수는 Figure 1에서 보듯이 연구지구내 총차양수목수의 74%를 점유하였다. 현존 차양수목의 성장은 향후 연간 에너지비용을 더욱 증가시킬 수 있다. 차양을 통한 에너지절약의 효과를 증진하기 위해, 건물주변 모든 방향에 많은 수목을 식재하기보다는 적절한 방향에 적절한 수목을 식재하는 전략이 필요하다. 남향에는 차양수목의 식재를 회피하거나 태양친화적 수목(solar-friendly tree)을 식재하여, 벽면과 창 of 겨울철 태양광선을 확보하는 것이 바람직하다. 태양친화적 수목이란 봄의 개엽시기가 늦은 반면 가을의 낙엽시기가 이르고, 낙엽된 후 가지밀도가 낮은 낙엽수를 의미한다(조현길 등, 1998).

3. 증발산 및 방풍효과

수목의 증발산은 여름철 난방에너지를 현저히 절약

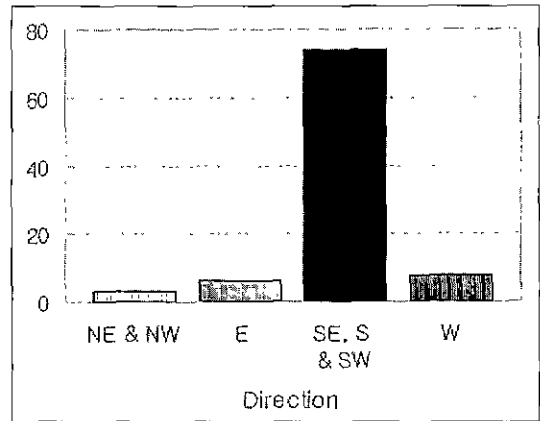


Figure 1. Distribution of existing shade trees by planting directions from residential buildings in study districts

하는 것으로 나타났다. Table 5와 같이, 증발산은 난방에너지를 제1지구에서 호당 평균 9.1%, 제2지구에서 17.8% 각각 절약하였다. 그리고 최대시난방에너지를 제1지구 4.9%, 제2지구 9.9% 절약하였다. 최대시난방에너지는 난방전력부하가 최대인 시간에 요구되는 것으로서, 그 절약은 특히 여름철 전력부족을 완화하는데 기여할 수 있다. 증발산에 의한 연간 에너지비용 절약은 제1지구에서 호당 평균 15,600원, 제2지구에서 22,200원이었다.

Table 6은 수목의 방풍이 호당 연간 에너지절약에 미치는 효과를 보여 준다. 방풍은 난방에너지를 제1지구에서 호당 평균 약 1%, 제2지구에서 2% 각각 절약하였다. 또한, 난방에너지 및 최대시난방에너지를 제1지구에서 0.5% 내외, 제2지구에서 1% 내외 절약하였다. 방풍에 의한 연간 에너지비용 절약은 제1지구에서 호당 평균 약 17,300원, 제2지구에서 28,900원이었다.

이와 같이, 증발산과 방풍에 기인한 연간 에너지절약량의 비율은 제1지구보다 수목피도가 10% 차이로

Table 4. Effects of all shade trees on annual energy savings per residence\*

District	Heating		Cooling		Peak**		Saved cost (₩)
	%	MJ	%	kWh	%	Wh	
1	-0.1±0.0	-194.9±51.0	0.2±0.0	2.9±1.0	0.07±0.06	0.9±0.7	-2,000
2	-0.2±0.0	-213.9±58.6	0.3±0.1	3.1±0.9	0.04±0.03	1.0±0.9	-2,200

Note: \* The figures indicate mean±standard error.

\*\* It indicates peak cooling occurred on 2 pm, August day 1 (the same with subsequent tables).

Table 5. Evapotranspiration effects of trees on annual energy savings per residence

District	Heating		Cooling		Peak		Saved cost (₩)
	%	MJ	%	kWh	%	Wh	
1	0	0	9.1±0.2	119.8±8.4	4.9±0.1	91.0±5.9	15,600
2	0	0	17.8±0.2	170.7±137	9.9±0.1	143.2±107	22,200

Table 6 Windspeed-reduction effects of trees on annual energy savings per residence

District	Heating		Cooling		Peak		Saved cost (₩)
	%	MJ	%	kWh	%	Wh	
1	0.9±0.0	1,402.5±100.7	0.3±0.0	3.5±0.3	0.6±0.0	11.1±0.8	17,300
2	1.9±0.0	2,343.9±184.6	0.7±0.0	6.3±0.5	1.3±0.0	18.9±1.6	28,900

높은 제2지구에서 약 2배 큰 것으로 나타났다. 미국 Chicago시 주택들의 경우, 수목의 증발산에 의한 1°C 온도감소는 냉방에너지를 평균 8% 절약하였고, 풍속 10% 감소는 난방에너지를 약 3% 절약하였다(Jo and McPherson, 1998). 제1지구에서의 증발산효과는 Chicago시의 경우와 유사하였으나, 그 방풍효과는 연평균풍속(서울시, 1997; 춘천시, 1997)이 춘천 및 서울시(2m/s)보다 약 3배 높은 Chicago시(5m/s)에서 더욱 컸다.

#### 4. 차양, 증발산 및 방풍의 종합효과

Table 7은 수목차양, 증발산 및 방풍의 종합적 효과에 의한 호당 연간 에너지절약을 나타낸다. 난방에너지 절약량은 제1지구에서 호당 평균 0.8±0.0(표준오차)%인 1,208±98MJ, 제2지구에서 1.7±0.1%인 2,130±183MJ이었다. 냉방에너지 절약량은 제1지구에서 9.6±0.2%인 126±8.8kWh, 제2지구에서 18.7±0.3%인 180±14kWh이었으며, 이들 절약의 대부분(95%)은 증발산효과에 기인하였다. 그리고 최대시 냉방에너지는 제1지구에서 5.6%, 제2지구에서 11.2%

절약되었다. 난방방에너지의 연간 절약량을 경제적 가치로 전환하면, 연간 비용절감은 제1지구에서 호당 평균 약 31,000원, 제2지구에서 49,000원이었다(난방 및 냉방에너지간 비용절감의 비율은 약 1:1). 연구지구내에 식재된 수고 3m 이상의 교목 1주는 연간 약 8,000원의 에너지비용을 절약하였다.

결국, 수목이 연간 에너지절약에 미치는 효과는 수목피도가 약 20%인 제2지구에서 10%인 제1지구보다 약 2배 큰 것으로 분석되었다. 난방방에너지의 총비용 절약 중, 방풍 및 증발산이 각각 58% 및 47%를 점유하였고, 차양은 수목의 부적절한 식재위치에 기인하여 오히려 5%에 해당하는 비용을 더욱 증가시키는 역효과를 초래하였다(Figure 2 참조). 연구지구를 포함하는 중부지방에서 식재를 통해 건물에너지 절약을 최대화하기 위한 전략을 제시하면, 1) 건물 서향 및 동향의 벽면 가까이에 가급적 대형 수목을 식재하되, 동향에는 태양친화적 수목을 선정하여 차양효과를 증진하고, 2) 서북향, 북향 및 동북향에는 근식을 하여 방풍 및 증발산효과를 도모하며, 3) 남향을 비롯한 동남향 및 서남향에는 교목의 식재를 피하거나 태양친화적 수목을 식재하여, 차양의 역효과를 최소화하는 것이다.

Table 7. Aggregate effects of shading, evapotranspiration and windspeed reduction by trees on annual energy savings per residence

District	Heating		Cooling		Peak		Saved cost (₩)
	%	MJ	%	kWh	%	Wh	
1	0.8±0.0	1,207.6±97.6	9.6±0.2	126.2±8.8	5.6±0.1	102.9±6.6	31,000
2	1.7±0.1	2,130.0±182.6	18.7±0.3	180.0±144	11.2±0.1	163.1±125	49,000



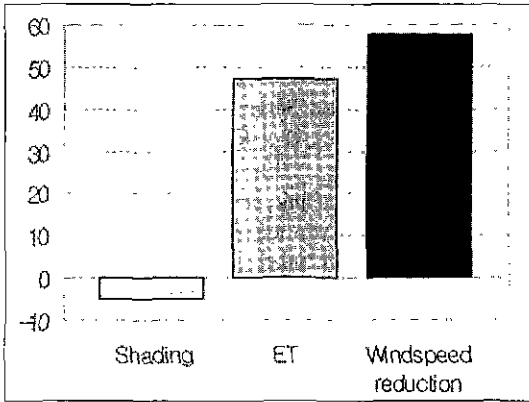


Figure 2. Contribution of shading, evapotranspiration (ET) and windspeed reduction to total annual cost savings in study districts

### N. 결론

본 연구는 수목피도가 상이한 춘천시내 두 주거지구를 대상으로, 수목의 차양, 증발산 및 방풍이 난방에너지의 이용 및 비용에 미치는 효과를 비교 분석하였다. 수목피도가 약 10%인 제1지구에서, 수목은 난방 에너지를 연간 호당 약 1%인 1,210MJ, 난방에너지를 10%인 130kWh 각각 절약하였다. 수목피도가 약 20%인 제2지구에서, 그것은 난방에너지를 연간 호당 약 2%인 2,130MJ, 난방에너지를 19%인 180kWh 각각 절약하였다. 수목은 해마다 제1지구에서 호당 약 31,000원, 그리고 제2지구에서 49,000원의 난방에너지 비용을 절감하였다. 연구지구내에 식재된 수고 3m 이상의 교목 1주는 연간 약 8,000원의 에너지비용을 절약하는 셈이었다. 수목의 에너지절약 효과는 수목피도가 10% 차이로 더 높은 제2지구에서 제1지구보다 약 2배 큰 것으로 분석되었다. 이는 주거지구 수목식재량의 증대가 건물에너지절약의 증진에 공헌할 수 있음을 시사한다.

난방에너지의 총비용절약 중, 58%는 방풍, 47%는 증발산에 각각 기인하였고, 차양은 부적절한 위치에서의 수목식재로 5%에 해당하는 비용을 더욱 증가시키는 역효과를 나타냈다. 수목에 의한 에너지절약을 효율적으로 증진하기 위해, 건물의 서향 및 북향에는 수목을 적극적으로 식재하되, 남향에는 가급적 교목식재를

피하거나 태양친화적 수목을 식재하는 것이 바람직하다. 수목차양에 의한 에너지절약은 중부지방보다는 냉방기간이 상대적으로 긴 남부지방에서 더욱 효과적일 것으로 판단된다. 향후, 남부지방을 포함하는 타도시들을 대상으로 한 보강연구를 통해, 에너지절약을 최대화하기 위한 주택조경계획의 일반적 지침을 모색해야 할 것이다.

### 감사의 글

MICROPAS 및 SPS의 활용과 관련하여 귀중한 정보와 자문을 제공한 Dr. E. Gregory McPherson 및 Mr. Klaus Scott(Western Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Univ. of California, Davis)께 감사드립니다.

### 인용문헌

1. 건설부(1994) 건물에너지절약 설계기준의 체계화 연구. 건설부 보고서.
2. 서울시(1997) 서울통계연보.
3. 에너지경제연구원(1996) 에너지통계연보.
4. 임만택(1992) 건축환경계획. 서울. 보문당.
5. 조원길, 한갑수, 서옥하(1998) 도시식생의 주택에너지절약 및 탄소배출저감 기능. 한국조경학회지 26(3): 104-117.
6. 춘천시(1997) 춘천시 통계연보.
7. ENERCOMP, Inc.(1995). MICROPAS4 User's Manual, Sacramento, CA.
8. Heisler, G. M.(1990) Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. ASHRAE Transactions 96: 1389-1396
9. Huang, J., H. Akbari, and H. Taha(1990) The wind shielding and shading effects of trees on residential heating and cooling requirements ASHRAE Transactions 96:1403-1411.
10. Huang, J., H. Akbari, H. Taha, and A. Rosenfeld(1987) The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. Journal of Climate and Applied Meteorology 26: 1103-1116.
11. Huang, J., R. Ritschard, N. Sampson, and H. Taha(1992) The benefits of urban trees. In H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett, eds., Cooling Our Communities. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection

- Agency, pp. 27-42
12. Jo, H. K.(1993) Landscape Carbon Budgets and Planning Guidelines for Greenspaces in Urban Residential Lands Ph.D Dissertation University of Arizona.
  13. Jo, H. K. and E. G. McPherson(1998) Indirect carbon reduction by urban vegetation and planting guidelines. Journal of Environmental Management (in review).
  14. McPherson, E. G.(1984) Planting design for solar control. In E. G. McPherson, ed., Energy-Conserving Site Design. Washington, D.C. ASLA. pp. 141-164.
  15. McPherson, E. G.(1994) Energy-saving potential of trees in Chicago. In E. G. McPherson, D. J. Nowak, and R. A. Rowntree, eds., Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. General Technical Report NE-186. Radnor, PA: USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, pp. 95-113.
  16. McPherson, E. G., L. P. Herrington, and G. D. Heisler(1988) Impacts of vegetation on residential heating and cooling. Energy and Buildings 12: 41-51
  17. McPherson, E. G., P. L. Sacamano, S. Wensman, J. Rathliff, and H. K. Jo(1993) Modeling Benefits and Costs of Community Tree Plantings. Report to American Forests, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Department of Energy, and USDA Forest Service.
  18. McPherson, E. G., R. Brown, and R. A. Rowntree(1985) Simulating tree shadow patterns for building energy analysis. In A. T. Wilson and W. Glennie, eds., Solar 85-Proceedings of the National Passive Solar Conference. Boulder, CO: American Solar Energy Society. pp. 378-382.
  19. Myrup, L. O., C. E. McGinn, and R. G. Flocchini(1993) An analysis of microclimatic variation in a suburban environment. Atmospheric Environment 27B(2): 129-156
  20. Nittler, K. B. and R. E. Novotny(1983) MICROPAS, an annual hourly heating and cooling building simulation for microcomputers. Progress in Passive Solar Energy Systems. Boulder, CO: American Solar Energy Society.
  21. Profous, G. V.(1992) Trees and urban forestry in Beijing, China. Journal of Arbonculture 18: 145-153.
  22. Simpson, J. R.(1998) Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use Sacramento County case study Journal of Arbonculture 24(4): 201-214.