

충주시 학교외부공간 피복유형에 따른 온열환경 및 생태면적률 비교

주진희 · 반종현 · 윤용한*

건국대학교 산림과학과

(2010년 3월 27일 접수; 2010년 8월 11일 수정; 2010년 8월 24일 채택)

Comparison of Thermal Environment and Biotope Area Rate according to Land Cover Types of Outside Space of School located in Chung-ju

Jin-Hee Ju, Jong-Heu Ban, Yong-Han Yoon*

Department of Forest Science, Konkuk University, Chung-ju 380-701, Korea

(Manuscript received 27 March, 2010; revised 11 August, 2010; accepted 24 August, 2010)

Abstract

This study was conducted to be used as basic data of environmental friendly construction planning by comparing and analyzing thermal environment, find particles and biotope area rate according to land cover types of outside space of schools located in Chung-ju. When meteorological factors were analyzed according to land cover types, for temperature planting area and paved area showed low-and high-temperature ranges, respectively, and relative humidity was negatively related with temperature as low-and high-temperature ranges corresponded to high-and low-humidity ranges, respectively. For Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT) by land cover types, it was observed to be artificial grass> bare land> natural grass. Find particles were different according to land cover types of playground with being bare land> artificial grass> natural grass in the order. Bare land playground, where there were artificial factors and no absorption of fine particles through stomata of leaves as a function of natural circulation, recorded the highest level of $39.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the level was relatively higher compared to the levels by season in Chung-ju. Biotope area rate showed the order of M elementary school> K elementary school> C commercial high school. That was considered to be caused by the difference of land cover type of school playground accounting for a large part of a school.

Key Words : Biotope area rate, Land cover types, Thermal environment, School playground

1. 서론

현대도시는 생태적 원칙에 근거한 개발보다는 도시 생활의 편리성과 경제원칙을 중시함으로써, 자연

생태계 훼손, 엔트로피 증가, 물순환체계 훼손, 생물다양성 감소 등이 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 직접적인 원인으로 지적되는 것이 도시의 불투성포장면 증가이다(한국환경과학회, 2009). 이에 따라 도시 내에서 학교는 생태적인 공간으로서의 기능을 수행하는 동시에 공익의 측면에서 지역사회에 끼치는 긍정적인 역할 제고뿐만 아니라 도시의 생태적 환경개선에 큰

*Corresponding author : Yong-Han Yoon, Department of Forest Science, Konkuk University, Chung-ju 380-701, Korea
Phone: +82-43-840-3538
E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

역할을 하고 있다. 특히, 학교운동장은 학교 구성원뿐만 아니라 인근 지역주민에게 교육 및 문화·여가공간의 제공기능을 수행하고 있어(Park 등, 2008), 학교환경의 쾌적성을 확보하는 것은 매우 중요하다(송 등, 2007). 그동안 학교운동장의 보건 및 환경오염실태에 관한 연구(Park 등, 2008), 먼지에 함유된 미세원소 성분 분석과 오염원 평가(송 등, 2007) 등 학교 내 환경에 대한 연구는 이루어져 있지만 온열환경 및 생태적인 공간으로서의 활용성에 관한 연구는 부족한 실정이다.

지금까지 이용자가 몸으로 체감하는 체감온도지수(WBGT)에 대해서도 녹음의 유무에 따른 차이가 있다는 결과가 발표된 바(윤 등, 2008; Yamada 등, 2000; Ju 등, 2004) 있으나, 학생들의 이용빈도가 높은 학교운동장의 피복유형과 체감온도지수에 관한 자료는 미흡하다. 또한 도시지역 학교주변에서 배출된 비산먼지는 일정한 시간동안 학교 대기환경에 머물다가 교실과 운동장 등에 떨어지면서 체내로 흡입되기 쉽고 유해물질이 많아 어린 학생들에게 심각한 피해를 줄 수 있어(송 등, 2007), 학교운동장 피복유형에 대한 관심이 높아지고 있다.

따라서 본 연구는 충주시 학교외부공간의 피복유형에 따른 생태면적률과 온열환경지수를 비교분석함으로써 자연순환기능과 이용자의 신체적 쾌적감 정도를 정량적으로 산출하고자 한다. 또한 미세먼지 정도를 분석하여 학교 외부공간의 친환경 조성계획을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구범위

학교외부공간의 피복유형에 따른 온열환경과 생태면적률을 비교하기 위해 충주시에 위치한 학교 중 비교적 크기가 동일하면서 특히, 학교운동장의 피복유형이 확연하게 구별되는 3개의 학교를 대상으로 하였다. 이에 K초등학교(나지운동장)와 M초등학교(잔디운동장), C상고(인공잔디운동장)로 조사대상지의 일반적 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Statue of designation of 3 school playground in this study

| Division | K elementary school | M elementary school | C commercial high school |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Total area (m ²) | 39,158 | 43,616 | 96844 |
| Playground area (m ²) | 23,674 | 21,430 | 7848 |
| Number of students (ea) | 769 | 813 | 761 |
| Year of opening school | 1896 | 1960 | 1968 |

2.2. 연구방법

생태면적률은 현행 토지이용형태를 유지하면서 동시에 자연생태기능의 향상을 촉진시키는 건폐율을 변경할 수 없는 고밀도 지역에서 융통성 있는 생태적 기능의 개선방법이다. 대상지의 공간유형을 구분하고 공간유형별 면적에 해당하는 가중치를 곱한 값을 전체 대상지 면적으로 나누어 산정하였다.

학교 외부공간의 피복유형에 따른 기상측정은 녹지, 나지, 포장지로 크게 구분하고, 각 지역에 자기온습도계 및 흑구온도계를 설치하여 온도와 상대습도 및 일사량을 관측하였다. 또한, 자동기상관측기를 수목녹지 내의 지상고 1.5 m에 설치하여 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 일사량을 24시간 관측하였으며, 이동측정은 1일에 3회(11시, 14시, 17시) 디지털온습도계, 풍향풍속계를 이용하여 온도, 상대습도, 풍향, 풍속, 흑구온도, 습구온도를 측정하였다.

학교 운동장 피복유형에 따른 보다 객관적인 온열평가를 위하여 온열환경지수(WBGT)를 이용하여 피복유형에 따른 온열체감 지수를 비교분석하였다. 쾌적한 옥외공간 조성에 있어서 결정적인 역할을 하는 요소들 중 대표적인 요소가 열환경인데, 이는 단순히 건구온도만을 이야기하는 것이 아니며 인간의 행동에 영향을 미치는 습도와 온도를 복합적으로 고려한 열환경을 말하는 것이다. 주로 옥외공간에서 이루어지는 인간의 활동에 대한 판단기준으로 기본 계산식은 다음과 같이 산출하였다(Ju 등, 2004).

$$WBGT = 0.7 t_w + 0.3 \{(t_g - t_a)k + t_a\}$$

k = 태양열의 흡열계수, t_g : 흑구온도, t_a : 건구온도, t_w : 습구온도

미세먼지 포집은 유량이 약 5 L/min인 Mini-Volume Portable Air Sampler (Air Metrics, USA)를 이용하여 24시간동안 3반복으로 연속 채취하였다. Filter는 Pallflex membrane filter를 이용하여 항온, 항습 상태인 데시케이터 내에서 24시간 이상 보관하여 항량이 되게 한 후 포집하였고, 이와 같은 조작은 시료 채취 전과 채취 후 모두 동일한 조건에서 실시하였다. PM10과 PM2.5의 질량농도를 측정하기 위하여 여과지를 항온(20℃), 항습(50%) 조건하에서 건조장치(automatic dry/up desiccator, SIBATA DUV-12)에 최소 2일간 건조하고, 감도가 0.01 mg인 전자저울(Sartorius microbalance, Germany)로 먼지시료 채취 전·후의 중량차로서 질량 농도 분석을 하였다(백, 2007).

3. 결과 및 고찰

3.1. 생태면적률 산정

자연순환기능의 관점에서 가치를 달리하는 생태면적률을 산정한 결과 Table 2에 나타난 바와 같이 K초등학교의 경우, 약 25.9%로 산정되었다. 이는 서울시

초등학교와 비슷한 수치이다(장과 김, 2004). M초등학교의 경우 1999년 친환경조성 계획을 통한 숲 지정 학교로 선정되었으며, 넓은 면적의 입야와 생태학습장을 보유하고 있어 85.21%의 높은 수치의 생태면적률이 계산되었다. C상업고등학교의 경우 인공잔디로 운동장이 피복되어 있어 7.43%의 낮은 생태면적률을 보여, 이는 투수포장된 공간에 대한 비율이 낮았기 때문인 것으로 분석된다.

서울시의 녹지지역 시설 및 건축물은 50% 이상, 교육시설(초·중·고등학교, 대학교 등)은 40% 이상, 공공시설 및 건축물과 공동주택(개발면적 660 m² 이상)은 30% 이상, 그리고 일반건축물과 일반주택(개발면적 660 m² 미만)은 30% 이상 생태면적률 적용기준을 제시한 바(서울특별시, 2004)를 기준으로 볼 때, C상업고등학교는 매우 낮은 생태면적률을 보이고 있다. 일반적으로, 생태면적률은 건폐율이 낮을수록 높게 나타나지만(신 등, 2006), 연구 대상으로 선정된 3곳의 학교 생태면적률은 피복유형에 따라 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다.

Table 2. Standard and computation of biotope area rate for K elementary school, M elementary school, and C commercial high school in Chung-ju city

| Types of surfaces | Weight/ m ² | K elementary school | | M elementary school | | C commercial high school | |
|---|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | Real area (m ²) | Conversion area (m ²) | Real area (m ²) | Conversion area (m ²) | Real area (m ²) | Conversion area (m ²) |
| 1 Natural ground greening | 1.0 | 2,083 | 2,083 | 35,916 | 35,916 | 5,241 | 5,241 |
| 2 Water space (water permeability) | 1.0 | | | | | | |
| 3 Water space (non-water permeability) | 0.7 | | | | | | |
| 4 Artificial ground greening>90cm | 0.7 | | | | | | |
| 5 Artificial ground greening<90cm | 0.5 | 900 | 450 | 1,420 | 710 | 823 | 411.5 |
| 6 Green roof >20cm | 0.6 | | | | | | |
| 7 Green roof <20cm | 0.5 | | | | | | |
| 8 Partially sealed surfaces | 0.5 | | | | | | |
| 9 Green wall | 0.3 | | | | | | |
| 10 Whole water permeability surfaces | 0.3 | 23,674 | 7,102.2 | 700 | 210 | 4,500 | 1,350 |
| 11 Semi open surfaces | 0.2 | 966 | 193.2 | 460 | 230 | 1,012 | 202.4 |
| 12 Permeation facilities | 0.2 | | | | | | |
| 13 Sealed surfaces | 0.0 | | | | | | |
| Total | | 27,623 | 9,828.4 | 38,496 | 37,166 | 11,576 | 7,204.5 |
| Biotope area rate | | 9,828.4/39,158×100=25.09% | | 37,166/43,616×100=85.21% | | 7204.5/96844×100=7.43% | |

3.2. 학교 외부공간 피복유형에 따른 기상요소 분석

학교 외부공간 피복유형에 따라 8월 1일~8월 15일의 2주간의 기상평균자료를 분석한 결과(Table 3), 기온의 경우, K초등학교에서는 녹지, 포장지, 나지운동장 순으로 높게 나타났으며 M초등학교의 경우 녹지, 잔디운동장, 포장지 순으로 기온이 높았다. 이는 녹지에 의한 열에너지 차단과 식물의 증산작용 효과에 의해 상대적으로 낮게 나타난 것으로 사료된다. 한편 포장지와 나지는 녹지에 비하여 상대적으로 수분의 증발이 적고 복사열이 많아 기온을 상승시키는 것으로 추정된다(윤 등, 2008).

학교 운동장의 피복유형에 따른 온도변화를 보면 M초등학교(잔디), C상업고등학교(인공잔디), K초등학교(나지)순으로 잔디로 식재된 M초등학교 운동장과 나지로 된 K초등학교의 운동장에서의 기온차이는 2.8℃로 조사되었다. 상대습도의 경우 증발산이 많은 잔디운동장에서 다습역이 형성되었으며, 상대습도의 차이는 9.2%로 분석되었다. 흑구온도는 일사가 차폐되는 수목녹지의 수치가 가장 낮았으며, 습구온도의 경우 토지피복유형과 관계없이 비슷한 값을 보였다. 이러한 결과는 일사를 직접적으로 반영하는 지표인 흑구온도가 수목의 유무와 규격에 따른 영향이 비교적 명확하기 때문에, 열환경 조절 기작은 직접적인 태양열 차단효과에서 비롯된다는 해석(Ju 등, 2004)과 같은 맥락인 것으로 분석된다.

3.3. 학교 운동장 피복유형에 따른 자기온습도 비교분석

운동장 피복유형에 따라 24시간 자기 온습도계를

측정한 결과 일사가 강해지기 전에는 나지와 인공잔디간의 온도와 습도 차이는 거의 없었으며 일사가 강해지는 시점에서의 온도와 습도차이 폭이 커지는 경향이 나타났다. 특히, 오후 2시~3시경에는 잔디식재지가 다른 인공포장 지역보다 약 3.4℃ 낮은 반면(Fig. 1), 상대습도는 약 12% 높았다(Fig. 2). 서울 강남지역 아파트 단지의 토양피복유형과 온도와의 상관관계를 분석한 결과(Hong과 Lee, 2004), 녹지율은 음(-)의 상관관계를, 불투수포장율은 양(+)의 상관관계를 보였으며, 투수포장지역도 녹지지역과 함께 도시온도를 낮추는 요소로 작용한 것으로 나타났다.

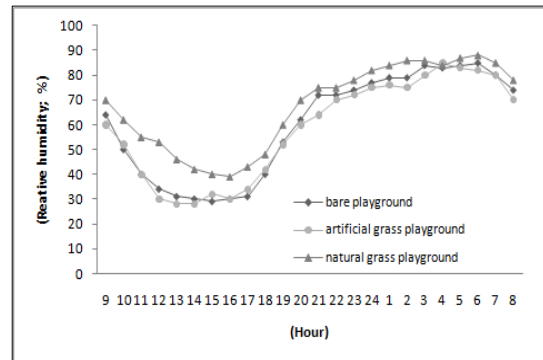


Fig. 1. Change in the temperature by different according to playground surface types.

Table 3. Meteorological data of school playground by different according to playground surface types

| Name of school | Playground surface types | Wind velocity (m/s) | Relative humidity (%) | Globe temperature (℃) | Wet bulb temperature (℃) |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| K elementary school | Planting area | 0.1 | 63.3 | 30.9 | 24.9 |
| | Pavement area | 0.3 | 38.4 | 36.0 | 25.3 |
| | Playground (non-planting) | 0.2 | 41.4 | 39.3 | 25 |
| M elementary school | Planting area | 0.6 | 54.8 | 36.1 | 31 |
| | Pavement area | 0.7 | 47.2 | 44.3 | 32.6 |
| | Playground (natural grass) | 0.7 | 50.6 | 40.2 | 32 |
| C commercial high school | Playground (artificial grass) | 0.1 | 38.3 | 36.1 | 26.4 |

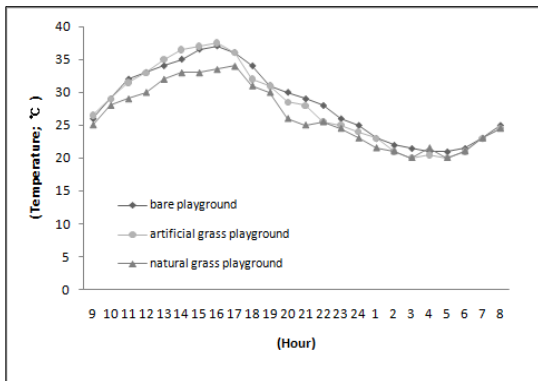


Fig. 2. Change in the relative humidity by different according to play-ground surface types.

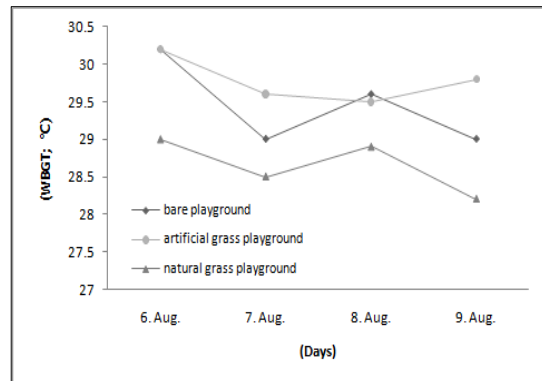


Fig. 3. Change in WBGT by different according to school playground surface types and different times.

3.4. 학교 운동장 피복유형 및 시간대별 WBGT 비교분석

학교 운동장 피복유형에 따른 WBGT 비교분석에서는 천연잔디에서 가장 낮았으며, 나지와 인공잔디와의 WBGT의 평균적 차이는 약 1.5°C 차이가 났다 (Fig. 3). 이는 온열지수에 가장 큰 영향을 미치는 습구 온도와 기온이 다른 지역보다 높았기 때문이다.

수목이 단목일 경우 엽면적지수는 체감온도지수에 직접적인 영향을 미치며, 이는 건구온도 및 대기습도의 조절에 의한 것이 아니라, 일사를 차단하는 후구온도의 조절에 의한 것이다(Ju 등, 2004). 이처럼 수목식재로 직사일광을 차단함으로써 WBGT를 낮추기 위한 유효한 수단도 있으나(Ju 등, 2004), 조사결과, 학교운동장의 경우 피복유형을 달리함으로써 반사열량을 삭감하고 온열환경을 개선할 수 있다는 결과를 유추할 수 있었다. 시간에 따른 WBGT는 천연잔디, 나지, 인공잔디 순으로 낮게 측정되었고, 11시에 가장 낮았으며 14시에 가장 높은 온도로 측정되었다. 17시에는 식재지에서 온열체감지수가 약 2.3°C 정도 내려갔지만 나지와 인공잔디에서는 평균적으로 0.5°C 저감되었는데(Fig. 3) 이는 인공잔디와 나지의 높은 잠열로 인한 결과로 사료된다.

천연잔디 피복은 지속적인 옥외 작업이 곤란한 단계인 나지기준 31.4°C WBGT의 온열환경에서 휴식 없이 연속적인 작업이 가능한 30°C WBGT 이하로 체감온도지수를 감소시키는 효과가 있는 것으로 예상된다.

3.5. 학교 운동장 피복유형에 따른 미세먼지 비교분석

학교운동장 피복유형에 따른 미세먼지 비교분석 결과 잔디, 인공잔디, 나지 순으로 높게 측정되었다 (Fig. 4). 이러한 수치는 환경부기준 100 µg/m³보다는 낮은 수치이지만, 나지가 가장 높은 미세먼지가 측정되었으며, 천연잔디와 나지의 차이는 약 25.32 µg/m³이었다. 대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소성분을 분석한 결과 유해성분인 Pb와 V가 토양운동장을 이용하는 교실이 잔디운동장을 이용하는 교실보다 각각 1.4배 정도 높은 농도를 보인 것으로 나타나 학생들이 이용하는 운동장은 가급적이면 토양복토보다는 잔디로 대체함이 이러한 유해물질로부터 약간이나마 벗어날 수 있다고 하였다(송 등, 2004). 따라서, 천연잔디포장은 나지나 인공잔디포장에 비해 미세먼지량을 효

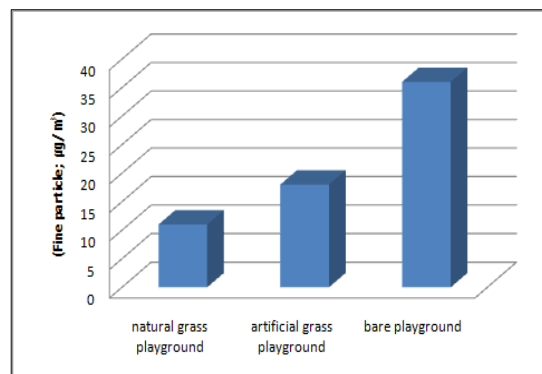


Fig. 4. Concentration fine particles by different according to playground surface types.

과적으로 감소시키는 것으로 나타나, 운동장 이용자들이 건강에 긍정적인 영향을 줄 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 충주시 학교외부공간의 피복유형에 따른 생태면적률과 온열환경지수(WBGT)를 비교분석함으로써 자연순환기능과 이용자의 신체적 쾌적감 정도를 정량적으로 산출하고자 한다. 또한 미세먼지 정도를 분석하여 학교 외부공간의 친환경 조성계획을 위한 기초 자료로의 활용하고자 한다.

생태면적률 산정결과 M초등학교 > K초등학교 > C상업고등학교 순으로 나타났다. 이는 학교에서 대면적을 차지하는 운동장의 피복형태에 따른 차이에서 따른 것으로 분석되었다. 학교 외부공간의 피복유형에 의한 기상요소를 분석한 결과, 기온의 경우 식재지에서 저온역이, 포장지에서 고온역이 나타났으며, 상대습도의 경우 이와 대응하는 형태로 저온역이 고습역이고 고온역이 저습역으로 나타났다. 학교 운동장 피복유형에 따른 온열환경지수(WBGT)는 천연잔디 < 나지 < 인공잔디 순으로 나타났다. 미세먼지는 학교운동장 피복유형에 따라, 나지 > 인공잔디 > 천연잔디 순으로 나타났으며, 미세먼지량은 나지 운동장에서 $39.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 수치를 보였다.

추후, 학교외부공간의 피복유형별 온열환경과의 상관관계를 확인해보는 과정이 필요하며, 미세먼지속 중금속 종류 및 함량분석 뿐 아니라, 조금 더 많은 사례를 집중 검토하여 학교외부공간에 대한 새로운 기준을 제시할 필요가 있다.

참고 문헌

- 백철중, 2007, 충주시 용도지역별 미세먼지 농도와 가로수의 광합성측정, 석사학위논문, 건국대학교.
- 서울특별시, 2004, 생태면적율 도시계획 적용편람.
- 송희봉, 도화석, 이명숙, 신동찬, 윤호석, 곽진희, 정철수, 강제형, 2007, 대구지역 학교먼지에 함유된 미량원소 성분 분석과 오염원 평가, 대한환경공학회지, 29(12), 1390-1399.
- 신창숙, 이종국, 김현수, 장대회, 2006, 공동주택 외부공간 조성에 따른 생태면적률 제고 방안 연구, 춘계학술 발표회 논문집, 한국생태환경건축학회, 10, 157-163.
- 윤용한, 박봉주, 김원태, 박선영, 2008, 공원녹지의 토지 피복비율과 기온간의 요인분석, 한국환경과학회지, 17(5), 485-491.
- 장대회, 김현수, 2004, 초등학교 외부공간의 환경친화적 조경계획에 관한 연구, 대한건축학회지, 20(9), 245-252.
- 한국환경과학회, 2009, 그린조경학, 문운당, 212-216.
- Hong, S. H., Lee, K. J., 2004, Variation profiles of temperature by green area of apartments in Gangnam, Seoul, Kor. J. Env. Eco., 18(1), 53-60.
- Ju, M. J., Lee, C. S., Ryu, N. H., 2004, The effect of urban shade trees on the WBGT(Wet Bulb Globe Thermometer Index), J. KLA., 32(3), 51-59.
- Park, B. J., Kim, S. C., Cho, J., 2008, Content of benzo(a)pyrene and heavy metals and physico-chemical properties of turfgrass playground soil in elementary school of Jeollabuk-do, J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech., 11(3), 39-49.
- Yamada, H., Yabu, S., Nakashima, A., Nakao, S., 2000, Estimation of the summer seasons heat stresses in several type of outdoor areas on the different ground surface structures, J. JILA., 63(5), 543-546.