

Research Paper

도로에 의한 산림 내 온습도 변화

최재용* · 박명수* · 김수경* · 유승현* · 최원태* · 송원경** · 김휘문** · 김성열** · 이지영***

충남대학교 산림환경자원학과*, 단국대학교 녹지조경학과**, 충남대학교 농업과학연구소***

Changes in Temperature and Humidity in the Forest Caused by Development

Jaeyong Choi* · Myung-Soo Park* · Su-Kyung Kim* · Seung-Hyeon Yu* · Won-Tae Choi* ·
Wonkyong Song** · Whee-Moon Kim** · Seoung-Yeal Kim** · Ji-Young Lee***

Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University*

Dept. of Landscape Architecture, Dankook University**

Institute of Agricultural Science, Chungnam National University***

요약: 도로 증가로 산림파괴화 현상이 심화됨에 따라 도로 주변의 산림이 영향을 받았을 것이라 가정 하에 도로 거리에 따른 산림 내 온·습도 관계에 대해 연구를 진행하였다. 산림 모니터링을 통해 세종, 공주 지역의 침엽수림과 활엽수림에 대해 온·습도를 도로경계에서 산림내부까지 각각 10m, 20m, 30m 총 3개의 지점으로 관찰하였고, 영동 지역은 도로 내부 구조물로 인해 0m, 10m, 20m 3개 지점으로 달리 관찰하였다. 연구기간동안 수목 생장의 변화량이 적다고 판단되어, 도로에 의한 산림 내부의 온습도 변화를 2017년도 9월부터 2018년도 1월까지 각 지역 및 성상별로 도로로부터 산림내부까지 일정간격을 기준으로 온·습도를 교차, 비교하여 도로 등 선형개발로 인한 산림내부의 온·습도 변화를 정량적으로 분석하였다. 특히, 주·야간에 따라 소형기상기록장치(HOBO data logger, MX2301, Onset Corp.)를 이용해 각 지점 마다의 온·습도 변화량을 측정하였으며 월별로 평균을 구하여 각 지점 간의 특성을 분석하였다. 2017

First Author: Jaeyong Choi, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, Chungnam National University, Tel: +82-42-821-7835, E-mail: jaychoi@cnu.ac.kr

Corresponding Author: Myung-Soo Park, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, Tel: +82-42-821-7835, E-mail: pms2556@gmail.com

Co-Authors: Seung-Hyeon Yu, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, Tel: +82-42-821-7835, E-mail: dnu0232@naver.com

Su-Kyung Kim, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, Tel: +82-42-821-7835, E-mail: soky0711@naver.com

Won-Tae Choi, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, Tel: +82-42-821-7835, E-mail: wontae_c@cnu.ac.kr

Wonkyong Song, Dept. of Green & Landscape Architecture, Dankook University, Cheonan-si Chungnam 31116, Korea, Tel: +82-41-550-3636, E-mail: wksong@dankook.ac.kr

Whee-Moon Kim, Graduate School of Dankook University, Cheonan-si Chungnam 31116, Korea, Tel: +82-41-550-6273, E-mail: wheesound@gmail.com

Seoung-Yeal Kim, Graduate School of Dankook University, Cheonan-si Chungnam 31116, Korea, Tel: +82-41-550-6273, E-mail: rhaxod2632@gmail.com

Ji-Young Lee, Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, Tel: +82-42-821-7835, E-mail: raumde@cnu.ac.kr

Received: 27 September, 2018. Revised: 6 December, 2018. Accepted: 7 December, 2018.

년 9월 공주 침엽수림의 경우, 평균 주간 온도가 산림경계에서 26.05℃로 25.48℃인 산림외부보다 0.57℃ 높고 24.82℃인 산림내부보다 1.23℃ 높아 산림내부로 들어갈수록 온도가 내려갔다. 야간에는 2017년 11월 세종 활엽수림에서 산림경계가 0.04℃, 산림외부는 0.35℃, 산림내부는 0.64℃로 산림 외부에서 산림 내부로 들어갈수록 더 높은 온도를 띄는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 도로에 따른 산림의 온·습도 조절 능력은 도로경계에서 산림 내부로 거리가 멀어질수록 크고 변동성이 적었으며 산림 내부 성장에서는 침엽수에서 온·습도 조절 능력이 더 큼이 확인되었다. 본 연구를 통해 도로 등 인위적 선형개발에 따른 산림 및 주변 지역의 온·습도의 높은 변화량을 야기해, 수목 성장에 영향이 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 산림 성장의 영향을 미치는 선형개발의 정량적 범위를 파악하기 위한 연구 및 선형 개발 시 야기되는 산림 변화의 관리를 위한 토대가 될 것이다.

주요어: 미기후 요소, 변동성, 소형기상기록장치, 산림생장, 선형개발, 산림생태계

Abstract: As the depletion of forests became more widespread due to the increase in the number of roads, the research was conducted on the relationship between temperature and humidity in the forests, assuming that the forests around the roads were affected. Through the forest monitoring, the temperature and humidity of coniferous forests and broadleaf forests in Sedong and Gongju areas were observed at three point of 10m, 20m and 30m from the road boundary to the inside of the forest, respectively. In Yeongdong area, for more reliable results, it was observed from the point of 0m, 10m, and 20m. During the study period, so it was expected the change in tree growth was small, the change of temperature and humidity inside the forest by the road was compared with the temperature and humidity from the road to the inside of the forest from September 2017 to January 2018, the changes of temperature and humidity inside the forest due to linear development such as roads were quantitatively analyzed. Using the HOBO data logger (MX2301, Onset Corp.), the temperature and humidity changes of each site were measured, and the average of the changes have been analyzed monthly. In the case of Gongju coniferous forests in September 2017, the average weekly temperature is 0.57 °C higher than the forest outside from the forest boundary and 1.23 °C higher than the inside of the forest, at night in November 2017, in Sedong broadleaf forests. That is, the ability to control the temperature and humidity of the forests along the road was larger and less variable as the distance from the road boundary to the inside of the forest increased. In this study, it is considered that the high degree of change in temperature and humidity of the forest and the surrounding area due to artificial linear development such as roads will affect the growth of trees. This results could serve as a basis for studying the quantitative scope of linear development affecting forest growth and for managing forest change caused by linear development.

Keyword: Microclimate element, Volatility, HOBO data logger, Forest growth, Linear development, The forest ecosystem

I. 서론

도로는 국가 개발 및 경제 발전을 위해 전국에 걸쳐 개설된다. 현재 우리나라 산림은 국토 면적의 63.2%로(Korea Forest Service 2017), 과거 교통량이 그렇게 많지 않아 최대한 산림 지역은 피하여 선

형 개발을 진행하였으나, 교통량의 증가로 도로건설 시 산림을 파괴하며 선형개발이 진행되고 있다. 이에 뒷받침하여 2013년부터 2017년까지 최근 5년간의 국내 전체 도로 연장은 106,414km에서 110,091km로 3.5% 증가하였으며(Ministry of Land 2017) 임

도는 18,384km에서 21,064km로 14.6% 증가하였다(Korea Forest Service 2017).

도로건설은 생태계 훼손 등 부정적인 영향을 미치며, 그에 따른 예시로 미국 내 도로가 개설된 지역의 약 15-20%가 도로로 인해 생태적인 영향을 받고 있다고 보고되었다(Forman 1998). 산림 내 도로 개설시 상층임관이 개방되며, 그에 따라 태양광선, 바람 등 외부요인이 산림에 직접적으로 영향을 준다(Kim & Lee 2000). 또한 산림파편화, 식물군집 고사, 외래종 침입으로 인한 새로운 종 구성 등 산림 생태계에 변화를 가져온다(Kim & Lee 2000; Hur et al. 2003; Delgado et al. 2007; Broadbent et al. 2008). 도로건설을 통해 산림생태계에 변화를 주는 요인 가운데 산림파편화가 특히 주목되고 있다.

산림파편화는 토지이용변화에 의해 서식지가 단절되거나 연결 정도가 낮아져 공간적 배치가 변화함으로써 나타나게 된다(Wiens 1989; Forman 1995). 산림파편화는 산림의 구조 및 기능적 변화를 일으키며 생물적·비생물적 조건이 수십에서 수백 미터까지 영향을 미치고 최종적으로 종 구성에 변화를 가진다(Wiens 1989; Forman 1995; Murcia 1995; Harper et al. 2005). 산림에서의 온습도 변화는 식물의 성장과 생태계 측면에 있어서 중요하다. 특히 온도의 변화는 산림 환경에 변화를 주며, 침·활엽수림 내 생태계에 영향을 미친다(Han et al. 2012).

산림파편화에 관한 주요 연구들은 산림의 규모와 거리에 따른 가장자리 효과에 대한 연구(Gehlhausen et al. 2000; Harper et al. 2005), 생물다양성 감소에 관한 연구가 있다. 대기온도와 상대습도를 고려하여 도로 개설로 인해 생성된 산림파편화 현상을 알아보고자 하는 연구도 진행되고 있다. Murcia(1995)는 대기 온도와 습도 등을 대상으로 산림파편화가 일어난 산림 가장자리와 내부를 비교한 결과 지역 환경변수에 따라 산림 내부로 50m 이상 거리가 될 경우 의미 있는 변화가 없다고 이전에 보고된 바와 반대로 그 범위 안의 거리에서는 변화의 여부와 상관없이 다양한 값을 나타낸다고 조사하였다. Delgado et al.(2007)은 월계수림과 소나무림 내에 위치한 포장도로와 비포장도로 부근을 대상으로 대기 중 기온은

도로 가장자리에서 산림 내부로 갈수록 기온 변화량이 감소하는 경향을 보였다.

대부분 국내의 산림 분야 연구는 생물다양성 변화로 인한 공간형태분석(Kang et al. 2008; Kang et al. 2012), 산림복원(Shin et al. 2013; Park et al. 2016), 생태통로(Jun et al. 2006)에 초점을 맞추어 이루어지고 있다. 하지만 산림파편화 지역을 대상으로 지속적으로 온습도를 관측한 연구가 없으며, 우리나라의 지리 여건을 고려한 대표 임상별 산림파편화 연구 또한 아직 진행되지 않았다. 또한, 산림 내 선형 개발로 인해 온·습도 변화가 산림 성장에 미치는 영향이 파악되지 않았다.

본 연구는 충청남도 공주시, 대전광역시 유성구, 충청북도 영동군 지역 내 도로에 인접한 침엽수림과 활엽수림을 대상으로 산림경계에서 산림내부까지 직접별 온·습도간의 관계를 비교하여 도로가 산림에 미치는 변화 정도를 파악하고자 한다. 도로 및 선형개발에 의한 산림 내 온·습도 변화를 구간별, 시간대별로 분석한 연구로서 향후 선형개발이 산림에 미치는 영향을 파악하는 기초 연구로서 활용될 것으로 판단된다.

II. 연구방법

1. 대상지 선정

본 연구는 도로 개설에 따른 가장자리 효과의 영향 범위를 파악하고 결과 값의 차이를 좀 더 명확히 보기 위하여 도로와 산림 경계라 할 수 있는 완충녹지가 있는 도로를 선정하였으며, 물에 대한 영향을 배제하기 위하여 강이나 저수지 주변은 지양하였다. Murcia(1995)의 연구 결과와 같이 산림까지의 총 거리를 50M 내로 지정하기 위해 도로의 폭을 20m 내외로 지정하였고 그 과정에서 거리를 명확히 보기 위해 왕복 4차선인 곳을 대상지로 고려하였다. 또한 성상별로 산림 파편화가 미치는 범위를 파악하기 위해 산림 내 침엽수림과 활엽수림을 지니고 두 임상 모두 같은 도로를 면하는 것을 조건으로 선별하였다. 연구 대상지는 3곳으로, 국도 19번 중 충청북도 영동군 학산면 봉소리 '압치터널'을 포함한 1km 구간(Site A),

Table 1. Location of data logger installation area in sites

Value		Characteristics			
		GPS coordinate	Distance (M)	Aspect	Slope (°)
Site A	coniferous forest	36.045607 127.664837	0	253.53W	12.44
			10	263.65W	14.26
			20	263.65W	14.26
	broadleaf forest	36.04435 127.665503	10	253.53W	15.10
			20	253.53W	15.10
			30	253.53W	20.92
Site B	coniferous forest	36.370478 127.262079	10	280W	15.48
			20	280W	15.48
			30	280W	15.48
	broadleaf forest	36.37458333 127.2899111	10	249.86W	14.45
			20	249.86W	14.45
			30	249.86W	14.45
Site C	coniferous forest	36.304815 127.266676	10	49.18NE	13.62
			20	49.18NE	13.62
			30	49.18NE	13.62
	broadleaf forest	36.302617 127.26765	10	54.46NE	14.08
			20	54.46NE	14.08
			30	54.46NE	14.08

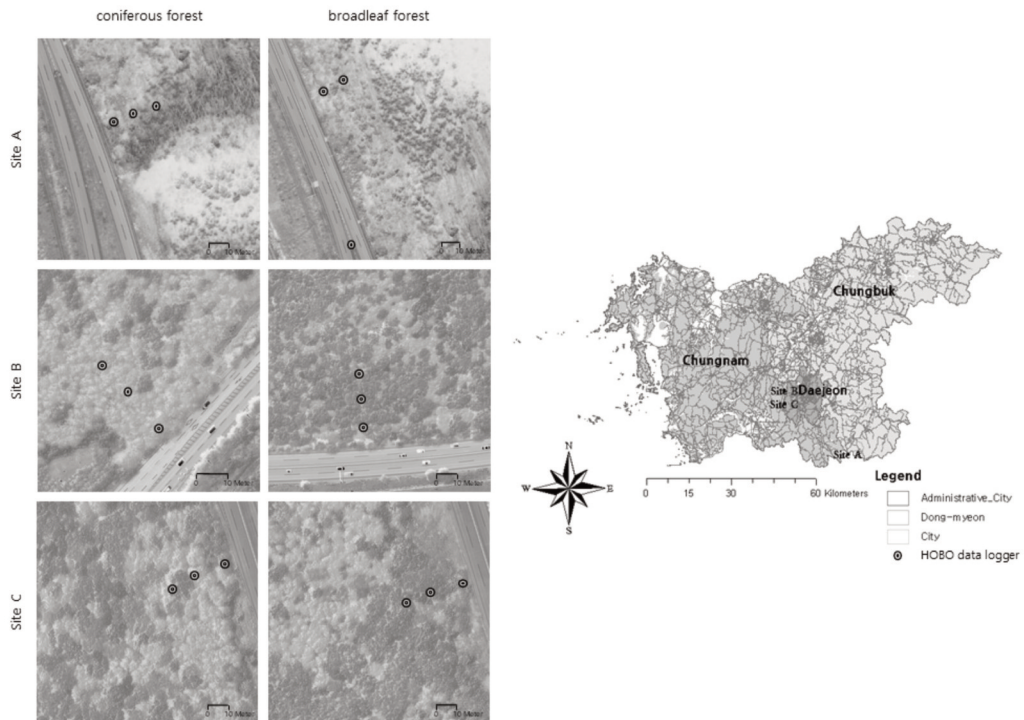


Figure 1. Destination area and data logger installation area Site A Chungbuk Yeongdong, Site B Chungnam Gongju, Site C Daejeon Sedong

국도 1번 중 충청남도 공주시 반포면 온천리 '박정자 삼거리'를 포함하는 1km 구간(Site B)과 대전광역시 유성구 세동 '세동교차로'를 포함한 1km 구간(Site C)이다(Table 1, Figure 1).

2. 온습도 측정

본 연구에서는 대상지의 미기후 요소인 대기온도와 습도를 파악하기 위해 연구대상지 구역별로 산림 경계부에서 산림내부로의 거리 범위를 10m, 20m, 30m로 구분하였다. 이중 영동은 도로와 산림내부의 온습도 차이를 보기 위해 충북 영동군 학산면 봉소리 구간 도로 내 중앙분리대를 포함하여 영동 침엽수림은 0m, 10m, 20m, 영동 활엽수림은 10m, 20m, 30m로 구분하였다. 즉, 대상지 3곳에 대하여 각 대상지 당 활엽·침엽수림, 2개의 임상으로부터 3개의 지점을 구분하여 총 18지점을 관찰하였다. 구역 범위에 위치한 수목에 태양광이 직접 닿지 않는 지표면으로부터 2m 높이 이상의 수간에 소형기상기록장치(HOBO data logger, MX2301, Onset Corp.)를 설치하여 대기온도(°C), 상대습도(%)를 측정하였다. 차량 통행량의 변화로 인한 산림 자체 풍향의 영향을 최소화하기 위해 도로를 등지게 하여 30분 간격으로 2017년 9월 18일부터 2018년 01월 20일까지 측정된 온습도 결과를 사용하였다. 또한 산림의 지역별 임상 위치를 확인하기 위하여 1:5000의 임상도를 ArcGIS로 추출하여 활엽수림과 침엽수림의 지역적 차이를

확실히 했으며, 1:25000의 수치지형도에서 대상지역의 고도를 제외한 경사, 방향을 파악하여 온습도 차이의 영향 요소를 확인하였다.

3. 온습도 분석방법

각 거리 범위에 대해 0m의 경우 도로 내부, 10m를 산림경계, 20m를 산림외부, 30m를 산림내부로 대표하여 구분하였으며 매 30분 단위로 측정된 각 일자의 해당 온도 중 최고온도와 최저온도를 선별해 각각 월별로 평균을 구하여 산림경계·내·외부 온습도 변화에 대해 평균 최고온습도, 평균 최저온습도, 평균 온습도 변동성으로 나누어 지역별로 비교분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 산림 경계·내·외부 온습도 변화

1) 산림경계·내·외부 온도변화

3개의 대상지역의 2017년 9월 평균 최고온도는 모두 산림 경계에서 산림내부로 들어갈수록 온도가 저감하는 현상을 관찰하였다. Site A의 도로 내부 온도와 산림을 비교하였을 때 도로 내부는 29.52°C로 산림 경계보다 3.78°C 이상 높았으며 Site B 침엽수림의 경우, 평균 최고온도가 산림경계에서 26.05°C로 25.48°C인 산림외부보다 0.57°C 높고 24.82°C인 산림내부보다 1.23°C 높아 산림으로 들어갈수록 온도가 저감된다는 기존의 연구(Kim et al, 2017)와 일치

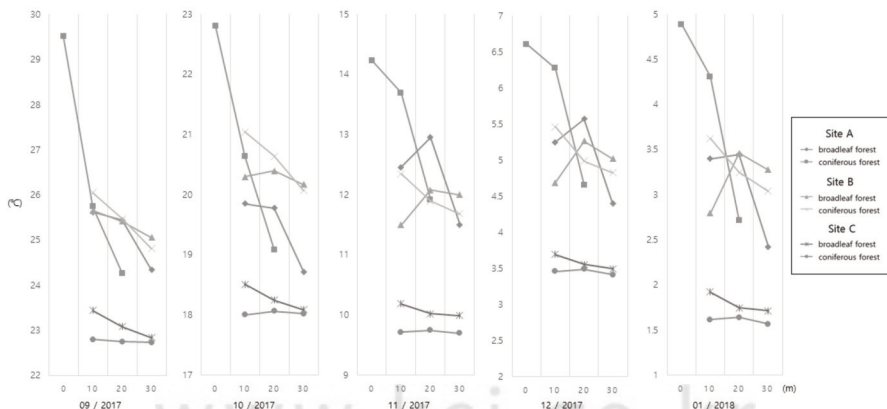


Figure 2. Average maximum temperature in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

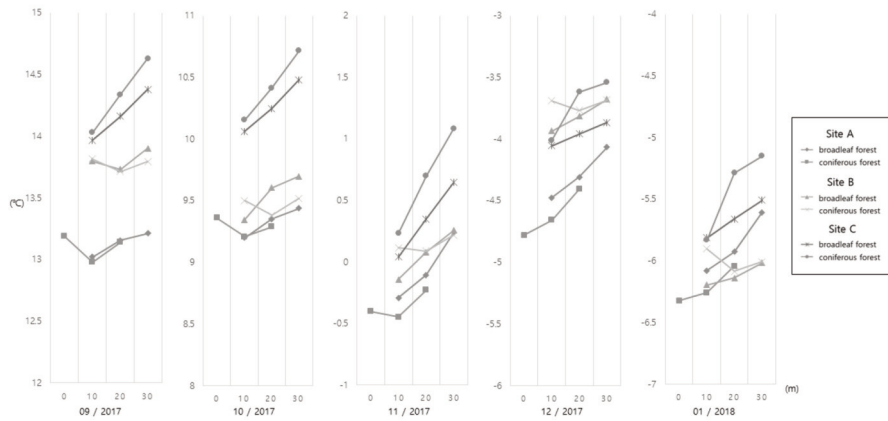


Figure 3. Average minimum temperature in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

하였다(Supplementary Table 1). 즉, 연구조사지 도로내부와 산림경계를 비교하였을 때와 산림 외부에서 산림 내부로 들어갔을 때 최고온도가 내려가는 현상을 확인하였다(Figure 2). 도로건설로 인한 산림과 편화에 따라 생성된 산림 외부와 내부 사이에는 온도 저감 효과가 일어남을 알 수 있다. 특이점으로 Site A, Site B 활엽수림의 경우 산림경계의 온도가 산림 외부보다 낮은 것을 볼 수 있는데, 이는 계절에 따라 추워지면서 바람에 의해 지표면 온도가 더욱 내려가

도로의 잠열을 오히려 빼앗아 산림외부와 비교할 때 산림경계에서 보다 낮은 온도의 결과가 나오는 것으로 보인다. Site C의 경우 전체적으로 다른 대상지역에 비해 최고온도가 낮고 차이가 미비함을 확인할 수 있는데, 이는 다른 대상지역의 방향과 달리 Site C은 북동향임에 따라 발생한 현상으로 관찰된다.

반대로 최저온도의 경우 2017년 11월과 같이 Site C 활엽수림에서 산림경계가 0.04℃, 산림외부는 0.35℃, 산림내부는 0.64℃로 산림 외부에서 산림

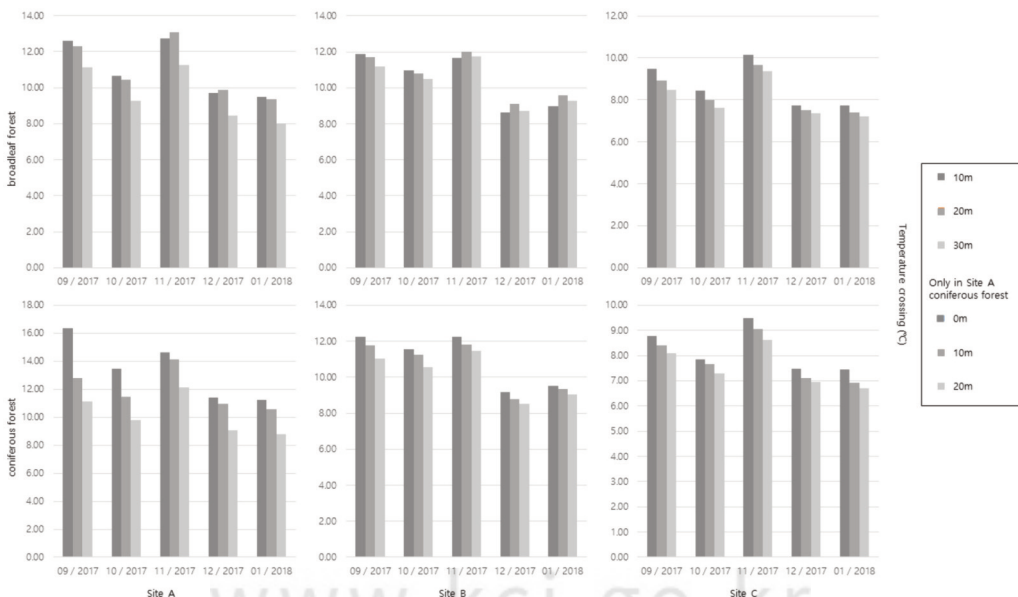


Figure 4. Average temperature variability in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

내부로 들어갈수록 더 높은 온도를 띠는 것을 확인할 수 있었다(Supplementary Table 2, Figure 3). 산림 내부로 들어갈수록 최고온도에서는 기온저감효과가 발생하고 최저온도에서는 온도상승효과가 발생한다. 이는 기온저감효과가 최고기온에 더 큰 상관(Yoon 2004)이 있고, 최저 평균온도에서 산림내부로 갈수록 온도가 상승하는 이유는 식물이 절연체로 작용하여 온도 변동이 심하지 않게 된다(Cho 1995)는 결과에 기인하는 현상으로 보인다.

임상에 따라 온도의 분포도 다르다는 것을 알 수 있는데 일반적으로 활엽수림이 침엽수림보다 온도가 낮게 측정되는 기존 연구들(Kim 2004; Yoon 2004; Hong et al. 2009; Kim & Han 2012)과는 다르게 대부분의 대상지에서 산림 내부로 들어왔을 때 활엽수림에서 최고 평균온도가 더 높게 나왔다. 대표적으로 2017년 9월 Site C에서 활엽수림은 침엽수림보다 산림경계에서 0.64℃, 산림외부에서 0.33℃, 산림내부에서 0.10℃ 차이를 보였다. 이는 수목 내부의 열이 넓은 잎의 표면에 의해 경계층에 온전히 머무르지 않고 잎이 가는 침엽수림에서는 공기의 흐름이 교란되기 때문에 온도가 더욱 내려간 것으로 보이며(Smith et al. 2016), 11월 이후부터는 활엽수림에서는 낙엽

이 지므로 태양열을 차단시키는 그늘막이 사라지고 햇빛이 직접적으로 수간에 닿아 침엽수림과 차이가 생기는 것으로 보인다.

최고 평균온도와 최저 평균온도의 차를 통해 산림 내 온도 변동성을 알아볼 수 있는데 2017년 10월 Site B 침엽수림의 경우 산림경계에서 11.54℃, 산림 내부에서 11.26℃, 산림내부에서 10.55℃로 산림 경계에서 내부로 갈수록 낮아 산림 내 생명체가 생존하는데 필수적인 항상성 즉, 내온성이 안정됨을 보여준다(Supplementary Table 3, Figure 4). 변동성은 기온이 높은 계절의 임내 온도가 임외보다 낮고 기온이 낮은 계절의 임내 온도는 임외보다 높다는 연구결과(Hong et al. 2009)와는 다소 다르나 숲이 존재함으로써 더위는 낮추고 추위는 완화하는 연구와 유사한 결과가 도출되었다.

2) 산림경계 · 내 · 외부 습도변화

온도와 반대로 평균 최고습도는 산림외부에서 높고 산림내부는 낮은 현상이 관찰되었다. 2017년 9월 Site B 침엽수림의 평균 최고습도는 산림경계에서 95.16%, 산림외부에서 95.13%, 산림내부에서 86.47%로 모든 시기의 연구조사지에서 산림외부가 산림내

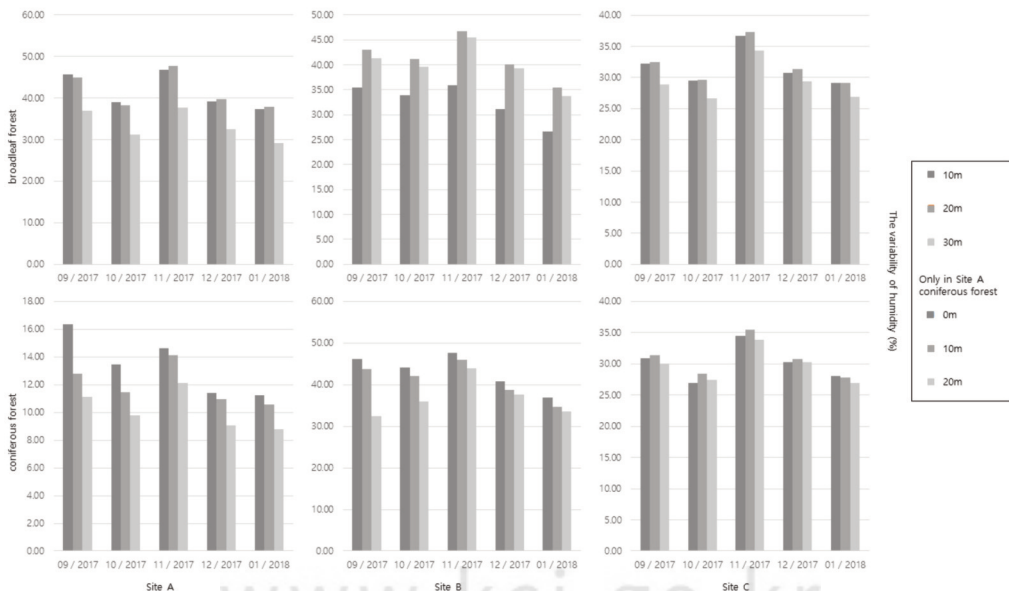


Figure 5. Average humidity variability in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

부보다 최대 8.66%에서 최소 0.51%씩 차이가 존재하였다(Supplementary Table 4).

평균 최저습도는 Site A을 제외하고 Site B와 Site C에서 산림외부보다 산림내부가 습도가 낮은 경우가 있었다(Supplementary Table 5). 해당 지역의 산림 내부 습도들이 일관되게 낮고 다른 수종의 습도결과는 동일하기 때문에 이는 기상문제 혹은 지리적 문제가 아닌 해당 연구지의 율폐도가 낮아 건조해져 일어난 현상으로 보인다.

그러나 평균 최고습도와 평균 최고습도의 차를 구하였을 때 모든 시기의 연구조사지에서 산림외부보다 산림 내부의 차이가 낮았다(Figure 5). 대표적으로 2017년 11월 영동 활엽수림에서 평균 습도변동성은 산림외부는 47.70%지만 산림 내부는 그보다 10.09% 낮은 37.61%였다(Supplementary Table 6). 습도에 대한 항상성은 온도와 마찬가지로 유지되고 있음을 확인할 수 있었으며, 숲의 존재가 온도와 습도를 완화한다(Hong et al. 2009)와 비슷한 결과를 보였다.

3. 산림 경계 · 내 · 외부 온습도 현황분석 종합

본 연구는 최저 기온의 상승이 두드러져서 최고 기온 변화 양상에 초점을 맞췄던 기존 연구들과 달리 최저기온에서 유의미한 값을 도출했다는 면에서 차별성이 있다. 최저 기온이 높을수록 그 다음 날 수목의 광합성 능력과 잎의 호흡, 탄수화물 상태에까지 긍정적 영향을 준다는 연구 결과(Turnbull et al. 2002)에 따라 도로 생성으로 인한 산림 파편화 현상의 심화로 인해 수목의 생장에 악영향을 미칠 수 있으며 이 자료는 산림 내부에서의 도로 생성이 수목의 생장에 긍정적이지 않다는 결과를 나타낸다.

이와 반대로 습도는 도로경계에서 산림 내부로 거리가 멀어질수록 평균 최고습도는 상승하고, 최저 습도는 감소하는 양상을 띠므로써 기온과는 반대되는 결과가 나타나지만, 평균습도변동성은 산림 외부가 높고 산림 내부가 낮아 항상성이 유지되므로 도로생성에 따른 인접 산림 지역의 수목 성장 환경은 부정적인 방향으로 저하되는 것을 의미한다.

또한 Site A, Site B, Site C 세 장소를 활엽수림

과 침엽수림으로 나누어 비교해 본 결과 활엽수림이 침엽수림보다 기온이 낮게 측정되는 기존 연구들(Kim 2004; Yoon 2004; Hong et al. 2009; Kim & Han 2012)과는 다르게 이 연구의 모든 대상지에서 산림 내부로 들어 갈수록 침엽수림보다 활엽수림의 기온이 더 높다. 이는 침엽수림의 잎의 밀도가 활엽수림에 비해 비교적 더 뻣뻣하여 대기온도의 차이가 두드러지게 나타났다고 추측된다.

4. 연구의 한계

본 연구에서는 온습도 변화를 도로로부터 산림 내부까지의 거리와 임상으로 확인하였고, 이에 따른 현상을 제시하였다.

그러나 기상의 변화와 토지 피복도, 식생지수, 수목의 직경과 수고 변화와 같이 실제 성장량의 차이를 측정하는 실질적인 요소를 반영하지 못한 한계가 있고, 이를 해결하기 위한 추가적인 현장조사가 필요하다. 그에 더해 수목의 CO₂ 함량과 차량의 이동으로 인한 풍속의 변화와 같이 온습도 변화에 보다 영향을 주는 다른 데이터와 연계하여 추가적인 미기후요소들에 대한 후속적인 연구와 도로와 대응되는 비교연구에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 측정 위치의 부족으로 인한 통계 방법론의 대한 한계는 이후 측정 장비의 증가, 원격탐사를 이용한 지표온도값 비교 등으로 향후 연구발전이 필요한것으로 사료된다.

VI. 결론

본 연구는 산림 지역 내 도로 건설로 인한 산림 조각화 현상의 심화로 인한 산림 내 온습도 조절 관계를 파악하고 저해 요인 분석을 연구하였다.

소형기상기록장치(HOBO data logger, MX2301, Onset Corp.)와 임상도를 활용하여 지역별로 경사도와 측면 각도가 일정하고 도로 면적이 20M 내외로 일정한 영동, 공주, 세동 세 지역을 침엽수림, 활엽수림으로 나누어 대기온도(°C), 상대습도(%)를 측정하고 평균 최고, 최저, 변동성을 기준으로 평균을 내 본 결과 주간, 야간 온도로 분류해서 0m, 10m, 20m 혹은 10m, 20m, 30m 기준으로 도로에서부터 산림 내

부로 들어갈수록 녹지의 토지피복현황과 식재층위구조가 미기상조절효과에 미치는 영향으로 최고기온은 하강하고 최저기온은 상승하는 양상을 띠므로써 주간에는 산림 내부로 들어갈수록 기온이 저감되고 야간에는 산림 내부로 들어갈수록 기온이 상승한다는 결과가 나타났다. 마찬가지로 최고습도와 최저습도간의 변동성에서도 산림내부로 들어갈수록 차이가 적어 항상성이 유지됨이 확인되었다. 또한 수종 간에도 산림 내부일수록 침엽수림이 활엽수림보다 최고온도가 낮음을 확인할 수 있었다.

본 연구는 도로의 영향에 대한 산림의 온습도변화를 파악하기 위해 장기간의 데이터를 수집하여 조사하였고, 실제 현황을 비교분석하여 제시하였다는 것에 의의가 있다. 측정지역 표본의 부족으로 통계분석보다는 현황을 제시했다는 한계가 있으며, 본 연구를 토대로 도로 외 피복재료의 온습도 변화를 비교하거나 시계열 변화에 따른 차이에 대한 비교연구에 대해 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 온습도 데이터 수집 당시 연속적이고 보다 짧은 시기의 데이터를 측정하였으나 이후 연도별로 온습도 데이터를 축적하여 수집하였다. 이를 토대로 연도별, 계절별 차이에 관한 후속 연구 진행이 가능하며, 도로 생성으로 인한 산림의 온습도 변화와 변동성을 이처럼 장기간 연구한 사례가 부족하기에 이 연구는 후에 동일분야의 연구 배경 활용에 긍정적으로 사료된다.

사 사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술연구개발사업 '(2017046B10-1819-BB01)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

Broadbent EN, Asner GP, Keller M, Knapp DE, Oliveira PJC, Silva JN. 2008. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biological Conservation*.

141: 1745-1757.

Cho NH. 1995. Effect on the Air Temperature as Affected by Surface Pavement and Plant. *Sunchon Natl. Univ. Bull.* 14(1): 61-70. [Korean Literature]

Choi TY, Moon HG, Cha JG. 2017. Analysis of Surface Temperature on Urban Green Space Using Unmanned Aerial Vehicle Images - A Case of Sorasan Mt. Nature Garden, Iksan, South Korea -. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 20(3): 90-103. [Korean Literature]

Delgado JD, Arroyo NL, Arevalo JR, Fernandez-Palacios, JM. 2007. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape and Urban Planning*. 81: 328-340.

Forman RTT. 1995. *Land Mosaics : The ecology of landscape and regions*. New York : Cambridge University Press.

Forman RTT, Alexander, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29: 207-231.

Gehlhausen SM, Schwartz MW, Augspurger CK. 2000. Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology*. 147: 21-35.

Harper KA, Macdonald SE, Burton PJ, Chen J, Brososke K, Saunders K, Euskirchen E, Roberts D, Jaiteh M, Esseen PA. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*. 19 : 768-782.

Han SH, Kim DH, Kim GN, Lee JC, Yun CW. 2012. Changes on Initial Growth and Physiological Characteristics of Larix

- kaempferi and *Betula costata* Seedlings under Elevated Temperature. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 14(2): 63-70. [Korean Literature]
- Hong SS, Park SH, Lee CH. 2009. Study on Variation of Temperature and Humidity Inside and Outside of the Forest in Mt. Baeknyeon. Journal of Agriculture & Life Sciences. 40(1): 36-41. [Korean Literature]
- Hur WH, Rhim SJ, Lee WS. 2003. Effects of Road on Bird Communities in Forest Areas. Korean Journal of Environment and Ecology. 17(1): 1-8. [Korean Literature]
- Jun IY, Han BH, Hong SH, Lee KJ. 2006. A Study on Improvement and Administration of Ecoduct through Monitoring in Uiwang's Mt. Obong. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture. 34(1): 10-20 [Korean Literature]
- Kang HS, Kim HJ, Chang EM. 2008. Landscape Analysis of the Hallasan National Park in a Jeju Island Biosphere Reserve: Fragmentation Pattern. Korean Journal of Environment and Ecology. 22(3): 309-319.
- Kang WM, Koh IS, Park CR, Lee DW. 2012. An Analysis of Changes in Forest Fragmentation and Morphology in Surrounding Landscapes of Maeulsoops and Jinan-gun. Korean Journal of Environment and Ecology. 26(6): 941-951. [Korean Literature]
- Kim BH, Lee KJ. 2000. Change of Plant Community after Road construction -Case Study on Seongsamjae Road in Chirisan National Park-. Korean Journal of Environment and Ecology. 14(2): 127-138. [Korean Literature]
- Kim JS, Cho YC, Bae KH. 2017. Recovery Process of Forest Edge Formed by Clear-cutting Harvest in Korean Red Pine (*Pinus densiflora*) Forest in Gangwondo. South Korea. J. Korean For. Soc. 106(1): 1-9. [Korean Literature]
- Kim YY, Lee KJ, Choi JW, Han BH. 2008. Planting Improvement and Contribution to Greenspace Function by Use of Roadside Buffer Greens; In the Case of Songpaedaro and Nambusunwhanno in Songpa-gu, Seoul, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture. 36(3): 39-51. [Korean Literature]
- Turnbull MH, Murthy R, Griffin KL. 2002. The relative impacts of daytime and night-time warming on photosynthetic capacity in *Populus deltoides*. Plant, Cell and Environment 25. 1729-1737.
- Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in ecology & evolution. 10(2): 58-62.
- Park YD, Kwon TH, Ma HS. 2016. Ecological Monitoring on Changes in Microclimate, Vegetation and Soil Properties after 2 Years in Restoration Project Sites Linking the Ridgeline of Baekdudaegan. Journal of Agriculture & Life Science. 50(1): 125-136 [Korean Literature]
- Shin HT, Oh KK, Park SG, Yi MH, Yoon JW, Sung JW. 2013. Change Vegetation After Restoration of Campsite Nogodan in Chirisan National Park. 17(2): 1-14 [Korean Literature]
- Wade TG, Riitters KH, Wickham JD, Jones KB. 2003. Distribution and causes of global forest fragmentation. Conservation Ecology. 7(2): 7.

Weins JA. 1989. Spatial scaling in ecology.
Functional Ecology. 3 : 385-397. [Korean
Literature]

Yoon YH. 2004. Effects of the Land Coverage of

Vegetation and the Stratification of Forest
on Micro-Climate Changes. Korean
Institute of Forest Recreation and Welfare.
8(1): 25-33 [Korean Literature]

부 록

Supplementary Table 1. Average maximum temperature in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

Site (°C)		09. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	01. 2018	
Site A	coniferous forest	0M	29.52*	22.81*	14.23*	6.61*	4.89*
		10M	25.74	20.64	13.7	6.27	4.31
		20M	24.27	19.09	11.92	4.66	2.72
	broadleaf forest	10M	25.62*	19.85*	12.46	5.25	3.4
		20M	25.44	19.78	12.96*	5.57*	3.45*
		30M	24.34	18.72	11.5	4.4	2.43
Site B	coniferous forest	10M	26.05*	21.05*	12.35*	5.46*	3.62*
		20M	25.48	20.64	11.89	4.99	3.25
		30M	24.82	20.07	11.68	4.83	3.04
	broadleaf forest	10M	25.65*	20.3	11.5	4.69	2.79
		20M	25.42	20.40*	12.08*	5.27*	3.46*
		30M	25.06	20.17	12	5.02	3.28
Site C	coniferous forest	10M	22.80*	18.01	9.71	3.46	1.62
		20M	22.75	18.07*	9.75*	3.49*	1.64*
		30M	22.74	18.02	9.7	3.41	1.57
	broadleaf forest	10M	23.44*	18.51*	10.19*	3.70*	1.92*
		20M	23.08	18.25	10.02	3.56	1.75
		30M	22.84	18.09	9.99	3.49	1.72

* for each Site, average maximum temperature of the highest

Supplementary Table 2. Average minimum temperature in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

Site (°C)		09. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	01. 2018	
Site A	coniferous forest	0M	13.19	9.36	-0.4	-4.78*	-6.32*
		10M	12.98*	9.21*	-0.45*	-4.66	-6.26
		20M	13.14	9.29	-0.23	-4.41	-6.04
	broadleaf forest	10M	13.02*	9.20*	-0.29*	-4.48*	-6.08*
		20M	13.15	9.35	-0.11	-4.31	-5.93
		30M	13.21	9.44	0.24	-4.07	-5.61
Site B	coniferous forest	10M	13.82	9.5	0.11	-3.69	-5.9
		20M	13.71*	9.38*	0.09*	-3.77*	-6.08*
		30M	13.79	9.52	0.22	-3.68	-6.01
	broadleaf forest	10M	13.8	9.35*	-0.14*	-3.93*	-6.19*
		20M	13.73*	9.61	0.08	-3.81	-6.14
		30M	13.9	9.7	0.26	-3.68	-6.01
Site C	coniferous forest	10M	14.03*	10.16*	0.23*	-4.01*	-5.83*
		20M	14.34	10.42	0.7	-3.62	-5.29
		30M	14.63	10.72	1.08	-3.54	-5.15
	broadleaf forest	10M	13.97*	10.06*	0.04*	-4.06*	-5.81*
		20M	14.16	10.25	0.35	-3.96	-5.66
		30M	14.38	10.48	0.64	-3.87	-5.51

* for each site, the lowest average temperature of the lowest

Supplementary Table 3. Average temperature variability in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

Site (°C)		09. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	01. 2018	
Site A	coniferous forest	0M	16.33*	13.44*	14.63*	11.39*	11.21*
		10M	12.77	11.43	14.14	10.93	10.57
		20M	11.13	9.8	12.15	9.07	8.76
	broadleaf forest	10M	12.60*	10.65*	12.75	9.72	9.48*
		20M	12.29	10.43	13.06*	9.88*	9.38
		30M	11.13	9.28	11.26	8.47	8.03
Site B	coniferous forest	10M	12.24*	11.54*	12.24*	9.15*	9.53*
		20M	11.76	11.26	11.81	8.76	9.33
		30M	11.02	10.55	11.47	8.51	9.04
	broadleaf forest	10M	11.85*	10.95*	11.64	8.62	8.99
		20M	11.69	10.79	12.00*	9.08*	9.60*
		30M	11.16	10.47	11.75	8.7	9.29
Site C	coniferous forest	10M	8.77*	7.85*	9.48*	7.47*	7.45*
		20M	8.41	7.65	9.05	7.11	6.93
		30M	8.11	7.3	8.61	6.95	6.72
	broadleaf forest	10M	9.47*	8.45*	10.15*	7.75*	7.73*
		20M	8.92	8	9.67	7.52	7.41
		30M	8.46	7.61	9.35	7.36	7.22

* is the most variable average temperature for each site

Supplementary Table 4. Average maximum humidity in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

Value (%)		09. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	01. 2018	
Site A	coniferous forest	0M	94.64	95.33	88.57	87.13	88.74
		10M	96.91*	97.18*	89.76*	88.23*	90.04*
		20M	96.16	97.17	89.22	87.49	88.96
	broadleaf forest	10M	95.44*	95.98*	88.07*	86.74*	88.00*
		20M	95.04	95.83	87.85	86.31	87.39
		30M	91.18	94.13	84.1	83.26	83.82
Site B	coniferous forest	10M	95.16*	94.36	88.19*	86.24*	88.68*
		20M	95.13	94.42*	87.75	85.77	88.06
		30M	86.47	90.7	86.88	85.26	87.5
	broadleaf forest	10M	92.11	92.43	85.15	84.08	86.93
		20M	95.64*	94.64*	88.81*	87.08*	89.97*
		30M	94.83	93.8	87.2	86.04	88.35
Site C	coniferous forest	10M	93.54*	90.29*	87.79*	85.75*	88.84*
		20M	92.88	88.98	86.41	84.44	86.45
		30M	91.21	87.33	84.64	83.75	85.65
	broadleaf forest	10M	92.91	89.75	87.09	85.17	87.68
		20M	93.78*	90.28*	87.57*	85.97*	88.16*
		30M	92.1	88.73	85.84	84.65	86.41

* for each Site, average maximum humidity of the highest

Supplementary Table 5. Average minimum humidity in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

Value (%)		09. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	01. 2018	
Site A	coniferous forest	0M	38.33*	47.50*	36.31*	44.64*	45.96*
		10M	52.59	58.56	40.41	47.15	50.58
		20M	54.28	60.54	41.45	47.61	51.01
	broadleaf forest	10M	49.74*	56.99*	41.35	47.55	50.59
		20M	50.14	57.55	40.15*	46.53*	49.48*
		30M	54.22	62.9	46.49	50.84	54.64
Site B	coniferous forest	10M	49.07*	50.34*	40.49*	45.41*	51.72*
		20M	51.44	52.35	41.84	46.96	53.35
		30M	54.08	54.79	42.87	47.62	53.95
	broadleaf forest	10M	56.72	58.59	49.17	52.93	60.33
		20M	52.61*	53.49*	42.15	47.07	54.54*
		30M	53.53	54.15	41.75*	46.69*	54.56
Site C	coniferous forest	10M	62.59	63.33	53.37	55.52	60.78
		20M	61.54	60.55	50.92	53.62	58.64*
		30M	61.16*	59.90*	50.76*	53.53*	58.74
	broadleaf forest	10M	60.73*	60.31*	50.43	54.43*	58.51*
		20M	61.3	60.64	50.29*	54.58	59.04
		30M	63.21	62.1	51.5	55.31	59.48

* for each site, average minimum humidity of the lowest

Supplementary Table 6. Average humidity variability in Site A Yeongdong, Site B Gongju, Site C Sedong

Value (%)		09. 2017	10. 2017	11. 2017	12. 2017	01. 2018	
Site A	coniferous forest	0M	56.31*	47.83*	52.26*	42.49*	42.78*
		10M	44.32	38.62	49.34	41.07	39.46
		20M	41.88	36.62	47.76	39.88	37.95
	broadleaf forest	10M	45.70*	38.99*	46.71	39.19	37.41
		20M	44.9	38.27	47.70*	39.78*	37.91*
		30M	36.96	31.23	37.61	32.42	29.17
Site B	coniferous forest	10M	46.09*	44.03*	47.70*	40.83*	36.96*
		20M	43.69	42.07	45.92	38.8	34.71
		30M	32.39	35.92	44.02	37.64	33.55
	broadleaf forest	10M	35.39	33.84	35.99	31.15	26.6
		20M	43.03*	41.16*	46.67*	40.01*	35.44*
		30M	41.3	39.65	45.45	39.35	33.79
Site C	coniferous forest	10M	30.95	26.96	34.43	30.23	28.06*
		20M	31.34*	28.43*	35.49*	30.82*	27.81
		30M	30.05	27.43	33.88	30.22	26.9
	broadleaf forest	10M	32.18	29.44	36.66	30.74	29.17*
		20M	32.48*	29.65*	37.28*	31.39*	29.13
		30M	28.89	26.63	34.35	29.34	26.93

* is the most variable average humidity for each site