Journal of Bio-Environment Control, Vol. 30, No. 1:72-76, January (2021) pISSN 1229-4675
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.1.072

송악, 노랑조팝, 수호초의 풍속에 따른 증발산량 및 생육의 변화

박지환[1] · 나해영[2]*
[1]목포대학교 조경학과 교수, [2]목포대학교 원예과학과 교수

Changes in Evapotranspiration and Growth of Gold Mound, Japanese Spurge, and Ivy Plants According to Wind Speed

Jihwan Park[1] and Haeyoung Na[2]*
[1]*Professor, Major in Landscape Architecture, Mokpo National University, Muan 58554, Korea*
[2]*Professor, Major in Horticultural Science, Mokpo National University, Muan 58554, Korea*

Abstract. The amount of evapotranspiration (water absorption) according to wind speed showed the same trend in gold mound (*Spiraea* × *bumalda*), Japanese spurge (*Pachysandra terminalis*), and ivy (*Hedera japonica* Tobler). All the three plants showed maximum water absorption at 4 $m \cdot s^{-1}$; water absorption tended to decrease as wind speed decreased. The control group without wind speed treatment had the most amount of water absorption compared with the groups that were subjected to wind exposure. However, the plant growth of all three plants increased to the maximum value when wind speeds were 2 and 1 $m \cdot s^{-1}$. When comparing the relationship among water absorption, air temperature, and relative humidity, the water absorption of plants tended to be low from May 20 to 26, when air temperature and relative humidity were the lowest. The results of this study will help establish an urban wall-planting system taking building wind into consideration. Further, this study may help in the selection of plant types for ecological parks in windy islands.

Additional key words : air temperature, building wind, relative humidity, urban wall-planting system, water absorption

서 론

액체상태의 물이 표면에서 기체상태로 변하여 기화하는 현성을 증발이라고 하며 식물이 뿌리를 통해 흡수한 물을 식물의 잎의 기공을 통해 대기로 내보는 과정을 증산이라고 한다. 증산작용은 식물체 내의 수분의 흡수와 이동의 원동력이 되며, 직사광선 아래에서도 잎의 온도를 조절하고, 광합성 원료를 원활하게 공급해주는 역할을 하기도 한다(Moon과 Yu, 2016; Ryoo와 kim, 2000). 따라서 증산은 식물의 형태 및 구조, 일조, 습도, 기온, 바람, 토양 및 재배 조건에 영향을 받기 때문에 시기 및 계절의 변화에 따라 증발산량도 함께 변화한다(Hophins과 Huner, 2006; Lee 등, 2006). 특히 바람은 지표면에 대하여 공기가 움직이는 현상으로 이 현상은 주로 대기층의 기압차에 의해 발생한다. 바람의 경우 식물의 생육과 밀접하게 관계가 있는데 1.1~1.7$m \cdot s^{-1}$ 이하의 연풍은 증산작용 조장, 양분흡수 증대, 광합성 촉진, 병해 감소 등의 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Ryu 등, 2015). 특히 도서지역에는 다른 지역에 비교하여 바람이 많은 상황이기 때문에 도서지역의 벽면녹화 시스템도입을 위한 식물을 선택함에 있어 여러가지 요인을 고려하여야 할 것이다. 따라서 도서지역의 공원이나 도시내 빌딩에 적용 가능한 벽면녹화 식재를 위한 식물의 경우 바람과 바람에 따른 증발산량의 변화에 대한 사전 지식이 필요할 것이다. 현재 조경 수목으로 많이 이용되고 있고 벽면녹화 시스템에 많이 활용되고 있는 송악은 두릅나무과에 속하는 상록활엽 만경류로 중부 이남의 남부지역에 자생하며 서해안 도서지역에 거의 서식하고 있는 식물로 바닷바람에 강한 특징을 가지고 있다(Kim 등, 2006; Yun, 2017). 또한 회양목과에 속하는 수호초의 경우 저온에 강한 음지식물이기 때문에 벽면녹화에 많이 활용되고 있으며 또한 경사가 심한 구역의 정원이나 공원 등의 녹지 조성에 이용되는 피복식물로 경관을 중요하게 생각하는 장소의 식재용으로 많이 사용되고 있다(Kim 등, 2006; Oh 등, 2006). 노랑조팝은 장미과에 속하는 외래식물로 반그늘과 양지바른 곳의 어떤 토양에서도 잘 자라는 식물로 벽면녹화 시스템에 많이 활용될 뿐 아니라 공원 및 옥상녹화에 많이 사용되고 있다(Ju 등, 2009; Ju 등, 2011).

*Corresponding author: somerze@mokpo.ac.kr
Received January 15, 2021; Revised January 22, 2021; Accepted January 23, 2021

도서지역 관광산업의 발전 및 활성화를 꾀하기 위해서는 대도시와의 차별화된 전략이 필요하고 특히 도서지역의 기후와 같은 다양한 특성을 활용한 관광상품의 개발과 주변 경관과 조화를 이루는 건물의 도입 등 다양한 시도가 필요할 것으로 사료된다. 또한 도시의 급속한 개발과 확장으로 인한 도시 열섬화 등 도시환경문제를 해결하기 위하여 도시의 옥상녹화 및 벽면녹화가 주목받고 있는데 이를 위해 빌딩 사이에서 생겨날 수 있는 빌딩 풍과 식물 생육과의 관계를 면밀히 검토하여 체계를 확립하는 것이 필요하다(Kwoun 등, 2008). 하지만 풍속과 증발산량 산정을 위한 방법들에 대한 제안에 대해서는 보고된 바 있지만 풍속과 녹화 식물 생육과의 관계를 구명한 연구는 보고된 바 없다(Shin 등, 2006). 빌딩풍이 발생하는 도심지역에 노출되어 있는 벽면녹화 식물이 강한 빌딩풍에 호흡, 광합성 및 증발산이 원활하지 않을 수 있으며 그에 따라 생육에 문제가 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 송악, 수호초, 노랑조팝을 대상으로 풍속이 각 식물들의 증발산 및 생육에 어떠한 영향을 미치는지를 구명하여 도심 및 도서지역의 경관 조성 및 건물 벽면 녹화 시도에 활용하고, 바람에 의한 식물피해 경감기술 확립을 위한 기초자료로 활용하기 위해 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 전라남도 무안군에 위치한 목포대학교 부속농장 내 삼중 비닐하우스(8m × 30m)내에서 2018년 5월 21부터 6월 11일까지 3주동안 수행하였다. 본 실험에 사용된 식물은 송악(초장 22 ± 5cm, 엽수 15 ± 5), 수호초(초장 15 ± 3cm, 엽수 40 ± 5), 노랑조팝(초장 10 ± 3cm, 엽수 74 ± 1) 이 사용되었다. 이후 세 식물의 풍속에 따른 증발산량, 초장, 엽수의 변화를 측정하였다. 식물의 하루 증발산량을 측정하기 위해 심지화분을 제작하여 사용하였다. 실험에 사용된 상토는 일반 상토(바이오상토, (주)흥농, 대한민국)를 이용하였으며 화분 구조의 문제로 생길 수 있는 수분 손실 방지를 위하여 상토는 코팅된 부직포 주머니에 상토를 넣어 다시 제작된 화분에 넣어 사용하였다. 심지화분에 사용되는 심지는 폴리에스테르

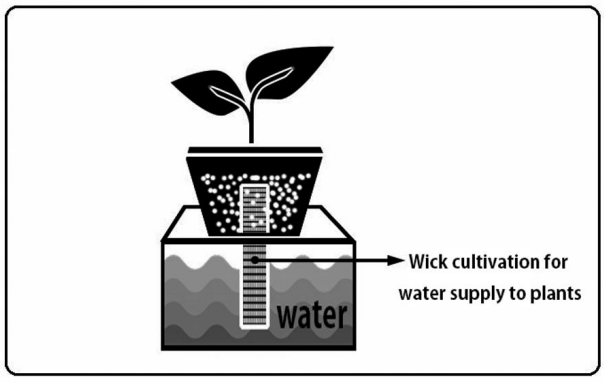

Fig. 1. Composition of flower pot to measure water absorption.

80%, 폴리아미드 20%로 구성된 극세사천을 이용하여 수분흡수를 유도하였다. 그리고 수분흡수량을 측정하기 위해 심지화분에 수분을 공급하는 3.5L 물통을 설치하여 주 1회 수분의 감소량을 측정하였다(Fig. 1). 풍속 발생을 위해 날개크기 60cm, 풍속 500m/min, 풍량 450m^3/min구격의 대형팬(DIF-60PBS, (주) 동건공업, 대한민국)을 사용하였고 대형팬 앞에 방풍망(망눈간격: 2mm × 3mm)을 설치하여 바람의 균일한 분산을 유도하였다(Fig. 2). 대형팬으로부터 발생되는 풍속은 풍속계(TA400, (주) TROTEC, 독일)를 사용하여 측정하였으며 1, 2, 4$m \cdot s^{-1}$의 풍속이 측정되는 위치에 심지화분을 놓고 3주동안 식물의 생육과 증발산양을 1주일에 1회 조사하였다. 증발산양은 밀폐된 용기의 물을 감소량을 무게로 측정하였으며 생육조사는 주 1회 초장과 잎의 수를 조사하였고, 증발산양은 심지를 통해 흡수한 수분의 양을 측정하였다. 실험 기간 동안 실험 지역 평균 기온과 상대습도 자료는 기상청으로부터 자료를 열람하여 참고자료로 사용하였다(Table 1).

통계분석은 SAS(SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 Duncan의 다중검정법으로 통계처리하였으며 유의수준은 5%로 하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 12.0, Systat Software Inc., San Jose, Ca, USA을 이용하여 나타내었다.

Table 1. Average air temperature and relative humidity during the experiment.

Date	Average air temperature	Average relative humidity
May 20-May 26	18.7 ± 1.11[z]	62 ± 11.2
May 27-June 04	20.9 ± 1.29	72 ± 10.7
June 05-June 11	21.8 ± 0.43	76 ± 3.6

[z]Mean ± standard deviation.

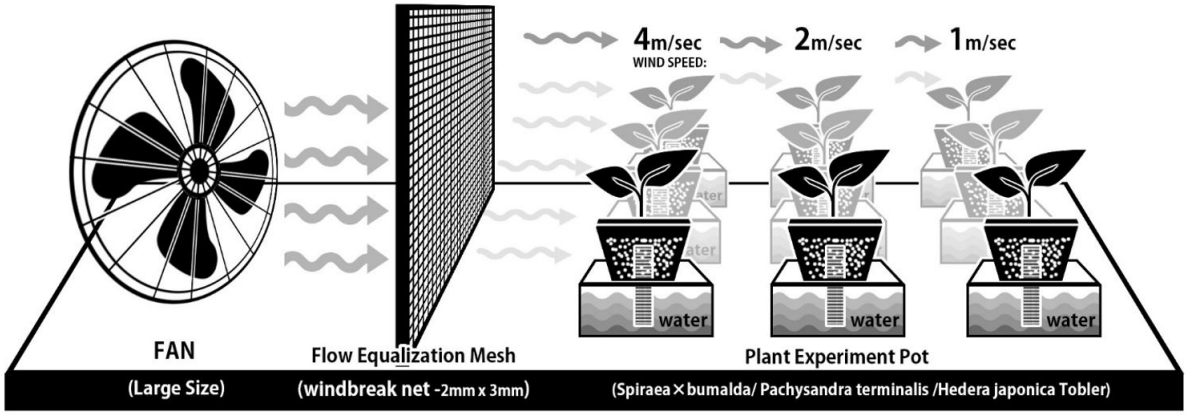

Fig. 2. Wind speed test design and layout

결과 및 고찰

풍속에 따른 증발산량(수분흡수량)은 노랑조팝, 송악, 수호초 모두 같은 경향을 나타내었다. 노랑조팝의 경우 1, 2, 4m·s^{-1} 처리구는 대조구보다 각각 50, 64, 113% 송악의 경우 41, 82, 106%, 수호초는 35, 51, 84% 정도 평균 수분흡수량이 증가하여 풍속이 증가할수록 수분흡수량도 함께 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 하지만 식물의 생육을 조사한 결과는 수분흡수량과는 반대의 결과를 나타내었다(Fig. 4와 5). 노랑조팝의 경우 1m·s^{-1}와 2m·s^{-1}의 풍속을 처리했을 때 식물의 초장이 7.2와 7.0cm 증가하여 대조구와 4m·s^{-1} 처리구의 6.2, 6.5cm 에 비교하여 그 증가폭이 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 그리고 엽수는 1m·s^{-1}의 풍속을 처리했을 때 190.3개 증가하여 다른 처리구의 증가폭보다 더 높은 것을 확인하였다(Fig. 4와 5). 이는 4m·s^{-1}의 강풍때문에 증발산량(수분흡수량)은 현저히 증가하였으나 이 증발산량이 식물의 생육으로 연결되지 못하고 바로 증산으로 끝나버리는 결과를 초래하였다(Choi 등, 2014). 하지만 송악과 수호초의 경우 증발산량에 있어서는 노랑조팝과 비슷한 결과는 보였으나 초장과 엽수의 변화는 노랑조팝과 상이한 결과를 나타내었다(Fig. 4와 5). 송악의 경우 초장은 2m·s^{-1} 풍속에 노출된 식물체가 4.1cm 증가하여 약 1cm 정도 증가한 다른 처리구에 비교하여 가장 높게 증가하였으나, 엽수의 증가는 거의 없이 잎이 약한 바람에도 낙엽되어 엽수가 감소하였다. 따라서 풍속처리를 하지않은 대조구만 엽수의 변화가 없는 것을 확인하였다. 수호초의 경우 초장은 1m·s^{-1} 풍속에 노출된 식물체가 0.7cm, 엽수는 2.7개 증가하여 초장 약 0.5cm, 엽수 약 1개 정도 증가한 다른 처리구에 비교하여 가장 높은 생장률을 보였다. 그러나 송악과 수호초 모두 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

본 연구의 결과 풍속에 대한 반응은 식물마다 다르고 최적 풍속은 조금씩 차이가 있지만 송악의 경우 2m·s^{-1}의 풍속이 수호초와 노랑조팝의 경우는 1m·s^{-1}의 풍속이 식물의 생육에 가장 효과적이었다. 따라서 적당한 바람은 식물의 생육에 유리하게 작용한다는 것을 보여주고 있다. 또한 과도한 바람은

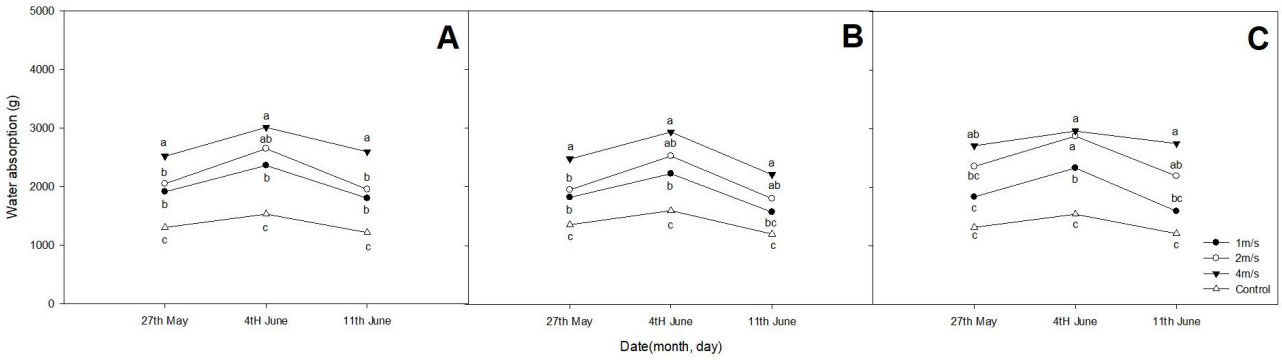

Fig. 3. Changes in water absorption of plants according to wind speed. A; Gold Mound (*Spiraea×bumalda*), B; Japanese spurge (*Pachysandra terminalis*), C; An ivy (*Hedera japonica* Tobler). Letters indicate significant differences within individual sampling date for each plant species at $p \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range tests.

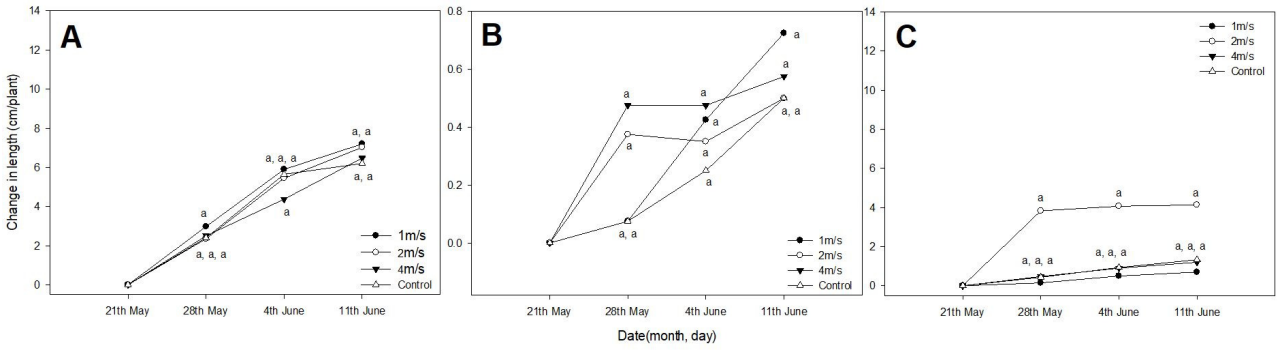

Fig. 4. Variation of plant height according to wind speed. A; Gold Mound (*Spiraea×bumalda*), B; Japanese spurge (*Pachysandra terminalis*), C; An ivy (*Hedera japonica* Tobler). Letters indicate significant differences within individual sampling date for each plant species at $p \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range tests.

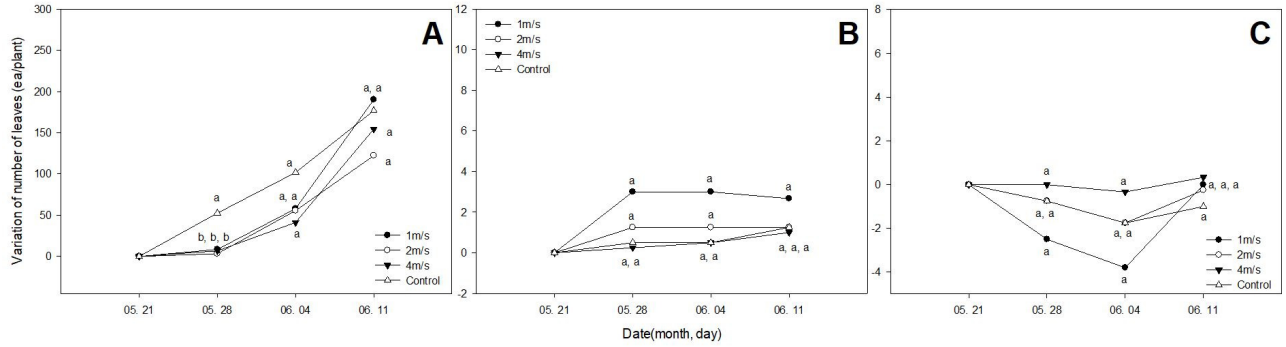

Fig. 5. Variation of number of leaves per plants according to wind speed. A; Gold Mound (Spiraea×bumalda), B; Japanese spurge (Pachysandra terminalis), C; An ivy (Hedera japonica Tobler). Letters indicate significant differences within individual sampling date for each plant species at $p \leq 0.05$ according to Duncan's multiple range tests.

식물체의 증발산량을 증가시킬 수 있으나 식물의 생육에 영향을 주지 않고 식물의 증산만을 촉진시키며 식물의 건조해를 일으킬 수 있음을 확인하였다. 공기의 유동을 발생시키는 바람은 다양한 경로로 식물에 영향을 미친다. 적정한 바람은 식물 군락 내의 CO_2 농도 유지, 증산작용 촉진, 수분 매개, 고온기의 기온 저하, 저온기의 서리 피해 방지는 다양하게 식물의 생육에 긍정적인 영향을 준다(Lee 등, 2006). 일정 풍속 이상의 과도한 바람은 식물의 과도한 호흡증대, 기공폐쇄로 인한 광합성 능력 감소, 건조해 발생, 작물 체온 저하 등 식물 생육에 피해로 작용하기도 한다(Lim 등, 2014; Sung, 2013)는 보고들과 본 연구의 결과가 일치하였다. 1.1~1.7m·s^{-1} 이하의 적절한 바람은 양분흡수 및 증산뿐만 아니라 광합성을 촉진시킬 뿐 아니라 작물 군락 내의 과습상태를 경감시켜 과습으로 인한 병해를 억제시킨다는 연구결과가 보고된 바 있다(Kim, 1988; Oh 등, 2004; Yim 등, 2014). 그리고 풍속이 강하게 되면 증산이 과도하게 이루어져 식물체가 건조해질 수 있으며 또한 기공이 닫혀 이산화탄소의 흡수가 감소되므로 이산화탄소를 원료로 사용하는 광합성은 현저히 감소하게 되는 결과를 낳게 되고(Chae등, 2006) 강한 바람은 식물 조직에 손상을 입혀 낙과와 낙엽 및 가지의 절상을 초래하기(Lim 등, 2014) 때문에 빌딩풍을 고려하여 도심내 벽면녹화 시스템을 구축하여야 하며 특히 풍속과 생육을 고려하여 식재 식물을 선택하여야 할 것이다.

식물체의 수분흡수 양상을 수분흡수 기간 중의 평균기온 및 상대습도와의 관계를 비교해보면 평균기온 18.7°C로 가장 낮은 기온과 평균상대습도 62%로 가장 낮았던 5월 20일부터 26일까지의 모든 식물들의 수분흡수량이 낮은 경향을 나타내었다(Table 1과 Fig. 3). 이는 5월 20일에 정식의 과정을 거치면서 식물체가 다소 스트레스를 받아 수분흡수가 원활이 이루어지지 않은 것으로 사료된다. 그리고 5월 27일부터 6월 4일까지의 수분흡수량은 6월 5일부터 6월 11일까지의 수분흡수량에 비교해 노랑조팝, 송악 그리고 수호초 모두 높은 수분흡수량을 나타내고 있다. 또한 모든 풍속에서 풍속에 따른 차이는 있지만 그리고 5월 27일부터 6월 4일까지의 수분흡수량이 가

장 높은 것을 확인하였다. 이는 표 1에서 나타내고 있듯이 평균상대습도가 낮은 것에 기인된 것으로 사료된다. 따라서 식물체의 증산은 기온 및 습도 등 다양한 환경요인에 영향을 받기 때문에 식물의 수분 흡수량 예측의 정확도를 높이기 위해서는 다양한 환경데이터를 활용하여 시스템을 구축하여야 할 것이다(Son과 Kim, 1998).

본 연구의 결과는 도서지역의 공원과 수직적 녹지공간조성 시 건립될 수 있는 저면관수형 벽면녹화 시스템 도입에 활용 가능 할 것으로 사료된다. 또한 도서지역의 기후적 특성을 고려하여 도입가능한 식재수종을 선택하고 식재한 식물체의 효율적인 관리를 위해 환경요인을 고려한 수분관리 자료로 활용 가능할 것이며 추후 도서지역뿐 아니라 도심지역 특히 빌딩숲에 적용될 저류관수형 벽면녹화 시스템 구축에 응용되고 활용이 가능할 것으로 기대된다.

적 요

풍속에 따른 증발산량(수분흡수량)은 노랑조팝, 송악, 수호초 모두 같은 경향을 나타내었다. 세 식물 모두 4m·s^{-1}의 강풍에서 가장 높은 수분흡수양상을 보였으며 풍속이 낮아질수록 수분흡수량도 함께 감소하는 경향을 보였다. 풍속처리없이 플라스틱 하우스 내의 기본 환경에 노출되어 있던 대조구는 바람에 노출되어 있던 처리구에 비해 수분흡수량이 가장 작은 것을 확인하였다. 하지만 풍속에 따른 식물의 생육을 조사한 결과 송악, 수호초 그리고 노랑조팝 모두 2m·s^{-1}와 1m·s^{-1}의 풍속을 처리했을 때 식물의 초장과 엽수의 증가에 가장 효과적이었다. 식물체의 수분흡수 양상을 수분흡수 기간 중의 평균기온 및 상대습도와의 관계를 비교해보면 평균기온 18.7°C로 가장 낮은 기온과 평균상대습도 62%로 가장 낮았던 5월 20일부터 26일까지의 모든 식물들의 수분흡수량이 낮은 경향을 나타내었다. 본 연구의 결과는 도심의 열섬화 현상을 경감시키기 위한 기초자료로 활용 가능할 것이며 바람이 많이 부는 도서지역의 녹지공간조성시에 풍속에 따른 식물생육과 활착 안정화에 효과적인 수종검토에 도움이 되고 공간이 협소한 도심지역 녹화에 효과적인 저면관수형 벽면녹화 수종선택에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

추가 주제어 : 수분흡수량, 상대습도, 바람, 평균기온, 열섬화

Literature Cited

Chae J.C., S.J. Park, B.H. Kang, and S.H. Kim. 2006. Principles of crop cultivation, Hyangmunsa press. Seoul, Korea. p. 198-201.

Choi B., M.Y. Chun, and C.H. Lee. 2014. Evaluation for soil moisture stabilization and plant growth response in horizontal biofiltration system depending on wind speed and initial soil moisture, Korean J. Plant Res. 27:546-555.

Hopkins W.G. and N.P.A. Huner. 2006. Plant physiology. Worldscience, Seoul, Korea.

Ju J.H. and J.H. Han. 2009. Response of the growth and root development of shade landscape plants by slit ventilation treatment into indoor container. J. Korean Inst. Landsc. Architecture 37:105-112.

Ju J.H., H.R. Kim, and Y.H. Yoon. 2011. Effect of organic fertilizer ratios on the growth of *Spiraea*×*bumalda* 'Gold Mound' in container green wall systems with rainwater utilization. J. Environ. Sci. 20:1417-1423.

Kim K.S. 1988. Wind. In: Agricultural meteorology. Hyangmunsa Press, Seoul, Korea. p. 84-110.

Kim Y.S., K.D. Kim, D,Y. Kim, M.S. Byeon, G.J. Song, H.T. Shin, Y.H. An, G.G. Oh, K.J. Lee, Y.M. Lee, D.O. Lim, S.H. Jeon, S.H. Choi, and B.H. Han. 2006. Landscape Botany. KWANGIL Press, Suwon, Korea.

Lee I.B., N.K. Yun, T. Boulard, J.C. Roy, S.H. Lee, G.W. Kim, S.K. Lee, and S.W. Hong. 2006. Development of aerodynamic simulation for studying microclimate of plant canopy in greenhouse-(1) Study on aerodynamix resistance of tomato canopy through wind tunnel experiment. J. Bio-Environ. Control 15:289-295.

Lee I.B., N.K. Yun, T. Boulard, J.C. Roy, S.H. Lee, G.W. Kim, S.W. Hong, and S.H. Sung. 2006. Development of an aerodynamic simulation for studying microclimate of plant canpoy in greenhouse-(2) Development of CFD model to study the effect of tomato plants on internal climate of greenhouse. J. Bio-Environ. Control 15:294-305.

Moon W. and D.J. Yu. 2013. Cultivated Plant Physiology. KNOU PRESS, Seoul, Korea.

Oh S.D., J.M. Park, and D.G. Choi. 2004. Tree growth. In: S. D. Oh (Ed.). Fruit tree physiology in relation to temperature. Gilmogm Press, Seoul, Korea. p. 192-255.

Ryoo S.B. and Y.A. Kim. 2000. Variation of evapotranspiration over forest site at Kwangneung: from fall to early winter. Asia-Pacific J. Atmospheric Sciences 36:43-50.

Ryu S.N., K.S. Kim, and S.H. Woo. 2015. Cultivation theory. KNOU PRESS, Seoul, Korea.

Shin S.C., M.H. Hwnag, I.H. Ko, and S.J. Lee. 2006. Suggestion of simple method to estimate evapotranspiration using vegetation and temperature information. J. Korea Water Resour. Association 39:363-372.

Yim J.H., Y.M. Choi, and D.G. Choi. 2014. Effect of wind velocity on photosynthesis, sap flux, and damage of leaves in apple trees. Korean J. Agric. For Meteorology 16:131-136.

Yun J.B. 2017. APG Tree encyclopedia. Jinseon PRESS, Seoul, Korea.