



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

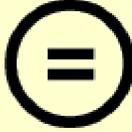
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

도심열섬현상의 저감을 위한 지속가  
능한 해결책으로서의 옥상습지 연구

제주대학교 대학원

생물학과

김 병 우

# 도심열섬현상의 저감을 위한 지속가능한 해결책으로서의 옥상습지 연구

지도교수 송 우 람

김 병 우

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

2021년 2월

김병우의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	<u>고 석 찬</u>	
위 원	<u>이 선 령</u>	
위 원	<u>송 우 람</u>	

제주대학교 대학원

2021년 2월

# **Rooftop wetland as a sustainable strategy to reduce urban heat island**

**Byoung woo Kim**

**(Supervised by professor Uhram Song)**

**A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science**

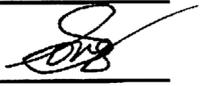
**2021. 2.**

**This thesis has been examined and approved**

Seok Chan Koh 

**Chairperson of the Committee**

Sum Ryung hee 

Uhram Song 

**(Name and signature)**

**DEPARTMENT OF BIOLOGY**

**GRADUATE SCHOOL**

**JEJU NATIONAL UNIVERSITY**

# ABSTRACT

Interests of rooftop gardens are increasing to reduce urban heat island effects and provide ecological space in cities. In this study, I tried to investigate irrigation requirement, plant growth, temperature reduction effect, overwintering and sustainability of pilot-scale rooftop wetland. Two wetland types, one with emerged macrophytes and one with floating macrophytes were created and studied in order to compare the efficiency when used in rooftop gardening. Chlorophyll contents, plant growth, water temperature and other factors were monitored for a two years. Floating plants (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*) grew rapidly, filling the surface completely within a month, and kept growing fast that I needed to harvest half of the plants for several times. In midsummer, the difference in average temperature between water of wetlands and ambient rooftops were about 3 ° C indicating cooling effects of wetlands. As the biomass of wetlands increased rapidly, evapotranspiration of plants would be the reason of temperature drop. On the other hand, water level has reduced much faster than expected. After the first growing season, we left rhizomes of plants unharvested during winter and shoots emerged in spring and revegetated quickly showing that the rooftop wetland could overwinter and sustainable. In conclusion, overwintering ability, great temperature reduction, providing ecological green space makes the rooftop wetland as a very good green area in the urbanized places. Also each emerged and floating macrophyte type wetlands has own advantages for rooftop wetland. Considering each advantages will help to select type of rooftop wetland for future construction.

**Keywords:** Green roof, Constructed wetland, Temperature, Ecological services,  
Urban heat island

# 목 차

ABSTRACT .....	1
LIST OF TABLES .....	5
LIST OF FIGURES .....	7
I. 서 론.....	9
1. 옥상녹화의 개념.....	9
2. 옥상녹화의 효과.....	12
3. 습지의 개념 및 중요성 .....	16
4. 옥상녹화 연구의 필요성 및 목적 .....	17
II. 재료 및 방법.....	21
1. 연구 방법.....	21
1.1 종 선발 .....	21
1.2 실험 디자인 .....	22
1.3 옥상 습지 및 녹지 디자인 .....	24
2. 실험장소 .....	25

3. 연구의 내용 및 구성.....	26
4. 토양 분석.....	31
5. 통계 분석.....	31
III. 결과 및 고찰.....	32
11. 옥상 모니터링.....	32
1.1 조사지역 기상자료 .....	32
1.2 옥상의 생장결과 .....	33
2. 옥상 토양 분석결과.....	37
3. 온도 분석결과 .....	39
4. 식물의 생장 및 생리적 반응 .....	50
V. 요약.....	56
VI. 참고 문헌.....	57



# LIST OF TABLES

Table1. Classification of rooftop greening by management type.....	11
Table 2. Energy Saving Aspects of Roof Garden (한국건설기술연구원).....	13
Table 3. The place where the experiment was conducted.....	25
Table 4. Climate table of 2019 based on the data of Jeju weather station .....	32
Table 5. pH Variation of Eichhornia crassipes.....	34
Table 6. Additional Eichhornia crassipes Experimen.....	35
Table 7. Soil Nitrate nitrogen .....	37
Table 8. Soli Ammonia Nitrogen.....	38
Table 9. Chlorophyll contents 2019 .....	51
Table 10. Height of plant 2019 .....	51
Table 11. Height of plant 2019(육상처리구) .....	52
Table 12. Chlorophyll contents 2019(육상처리구) .....	52
Table 13. Chlorophyll contents 2020 .....	53

**Table 14. Height of plant 2020 ..... 53**

**Table 15. 2019.2020 Rainfall ..... 54**

# LIST OF FIGURES

Figure 1. INTEX swimming pool to make a treatment tool .....	23
Figure 2. The place where the experiment was conducted .....	25
Figure 3. Thermo orion .....	27
Figure 4. SPAD 502 .....	27
Figure 5. Depth of soil given to Emerged plants treatment.....	28
Figure 6. Planting plants by dividing the area of the treatment plant into 5 parts	29
Figure 7. Left) floatin g plant, Right) emerged plant after to plant .....	29
Figure 8. Nonirrigated Treatment Plants Natural Water Experiment .....	30
Figure 9. 2019·2020, The average temperature of the rooftop air temperature and the Emerged plant treatment.....	40
Figure 10. Height of water according to irrigation in 2019 .....	41
Figure 11. Average temperature of all treatment in 2019 .....	42
Figure 12. 2019, Average Temperature of Nonirrigated Treatment Plants.....	42
Figure 13. 2019, Average Temperature of Floating plan Treatment Plants .....	43
Figure 14. 2019, Average Temperature of Emerged Plant Treatment Plants .....	44
Figure 15. 2020, Temperature Difference between Emerged Treatment Plants and Floating Plants.....	44

<b>Figure 16. 2020, Average Temperature of Rooftop Temperature and Emerged plant Treatment Plants .....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 17. 2020, average temperature of the rooftop air temperature and floating plant treatment plants.....</b>	<b>46</b>
<b>Figure 18. 2020, Top Temperature of Floating and Emerged Treatment Plant ....</b>	<b>46</b>
<b>Figure 19. Withering nonirrigation treatme .....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 20. Growing in floating plants from 2019 to 2020 .....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 21. Growing in emerged plants from 2019 to 2020 .....</b>	<b>48</b>
<b>Figure 22. Root cross-section of water purification plant during harvest in 2020 .</b>	<b>48</b>

# I. 서 론

## 1. 옥상녹화의 개념

옥상녹화의 정의

건축물에 의해 토지 피복, 물 순환 차단, 동식물의 서식공간 훼손 등의 문제점을 극복하기 위해 건축물의 옥상부분에 흙을 올리고 식물을 식재하여, 생태적, 경관적 효용을 얻기 위해 시행하는 녹화사업. 옥상 녹화중 조경목적으로 휴게공간을 조성하는 등의 작업은 별도로 옥상조경이라고 구분하기도 하지만, 넓은 의미에서 옥상에 시행하는 일련의 조경사업도 모두 옥상녹화에 포함될 수 있다(이장호 et al. 2011).

국토교통부의 조경기준(2018) 제1장에 따르면, 옥상 조경이란 인공지반조 경 중 지표면에서 높이가 2m 이상인 곳에 설치한 발코니에 설치하는 화훼 시설을 제외한 조경을 일컫는다. 넓은 의미로는 높이가 있는 인공지반에 설치된 조경을 뜻하기도 하나, 본 연구에서는 LH 토지주택연구원(2013)과 동일한 제2조에서 정의하고 있는 "건축물"을 의미한다. 옥상녹화는 인공지반에 조성된 녹지이지만 동일면적 대비 생태적 기능의 1/2을 하는 것으로 간주되어 생태 면적률의 산출 요소로써 포함되어 있으며, 친환경건축물인증제도 및 Green리모델링의 혜택을 받을 수 있는 친환경 공법으로 인증되고 있다.

옥상녹화는 대개 방수/방근층, 보호층, 배수층, 여과층, 식재기반층으로 구성되어있으며, 사람이 거주하는 공간이기 때문에 안전을 최우선시하여 설계 프로세스를 지침으로 설정하고 있다. 설계에 반영되어야 하는 상세한 기준과 사항은 국토해양부의 조경기준 제 4장에 따라 옥상녹화의 면적 산정, 구조적 안전성 확인, 식재 토심 선정, 유지관리를 시행한다. 조경기준을 바탕으로 옥상녹화는 크게 3가지 유형으로 분류가 되는데, 토심, 식재 식생, 토양의 중량, 관리 형태에 따라 저관리 경량형(Extensive), 혼합형(Semi-intensive;Combination), 관리 중량형(Intensive)으로 정리할 수 있다.

**Table 1. Classification of rooftop greening by management type**

관리유형	특징
저관리 경량형	<p>20cm 이하의 토양의 깊이</p> <p>건물의 하중 및 구조적 제약이 있는 건물에 적합 유지관리가 어려운곳에 적합.</p> <p>세덤, 잔디, 야생화, 소관목 등.</p> <p>녹화하중 120kgf/m<sup>2</sup>, 사람하중 100kgf/m<sup>2</sup></p>
관리 중량형	<p>20cm 이상의 토양의 깊이, 교목 식재시 60cm 이상.</p> <p>건물 하중 및 구조적 문제가 없는 곳에 조성가능</p> <p>자피식물, 관목, 교목</p> <p>녹화하중 200kgf/m<sup>2</sup>, 사람하중 200kgf/m<sup>2</sup></p>
혼합형	<p>관리 중량형 옥상녹화 조성이 불가능할 시 혼합하여 사용.</p> <p>유지관리시 범위를 축소하여 진행가능</p> <p>관리시 필요 요구조건이 비교적 낮음</p> <p>녹화하중 300kgf.m<sup>2</sup>, 사람하중 200kgf/m<sup>2</sup></p>

## 2. 옥상녹화의 효과

### 1) 열섬완화 효과

옥상공원화 사업은 도심 내에 별도의 토지보상비 없이 공원과 부족한 생활권 녹지를 확보할 수 있다는 점에서 사업 추진의 가치가 크다. 뿐만 아니라 도시의 열섬현상을 완화시키고, 생물의 서식공간을 확충하고, 대기질을 개선하는 등의 효과가 매우 큰 사업이다. 옥상녹화는 건물 표면에 식물이 그늘을 만들고, 토양이 태양 빛이 건물 표면에 직접적으로 닿는 것을 막아준다. 식물로 그늘이 형성되면 옥상의 표면이 그늘로 인하여 온도가 낮아져 건물에 전달되는 열이 감소한다. 그로인하여 건물에서 대기 중으로 다시 방출되는 열이 감소한다. 건물에서 방출되는 열이 감소하면 건물 주변의 온도 역시 낮아지게 된다. 옥상녹화화를 통하여 Onmura(2001), Yoo(2011)의 결과에 의하면 주변 대기의 온도가 약 4.5℃ 낮아지는 것을 보인다(Onmura et al. 2001, Roh 2011). 또한 토양에 저장된 빗물과 식물의 생장과정에서 증발산작용이 나타나 건물과 건물주변 온도를 낮춘다. 수치상으로는 녹화가 되지 않은 일반적인 옥상의 경우, 태양복사에너지의 95%를 그대로 대기중으로 방출시키는 반면에, 옥상녹화를 진행한 건물에서의 증발산은 유입된 태양복사에너지의 58%를 감소시킴으로써 도시 열섬현상을 완화시킨다(Boivin et al. 2001, 김원주 et al. 2008).



**Table 2. Energy Saving Aspects of Roof Garden (한국건설기술연구원)**

구분	1일 소비량	총 소비량	소비율
콘크리트 주택	1.59(KWh/day)	17.5(KWh)	100
옥상녹화 주택(A)	1.49(KWh/day)	16.4(KWh)	94.3
옥상녹화 주택(B)	1.38(KWh/day)	15.2(KWh)	90.2

## 2) 환경오염 저감

환경오염저감으로 이산화탄소, 아황산가스, 질소화합물, 벤젠, 분진 등과 중금속을 흡수하고, 녹화에 사용된 식물이 광합성작용을 하며 산소를 생산하여 대기오염을 완화해준다(김수봉 2012).

## 3) 도시생태계복원

옥상녹화를 통해 도시환경에 녹지를 제공함으로써 다양한 생물의 서식공간을 확보하고 도시개발로 깨진 생태환경을 복원하는 효과를 얻을 수 있다(Choe 2016).

## 4) 기후조절

도시 열섬현상을 완화시키는 효과 외에도 옥상녹화는 환경적으로 긍정적인 효과를 가져온다(김수봉 2007). 도시의 콘크리트나 아스팔트 등의 불투수성 재료로 포장된 지표면으로 인해 하수도로 직접 유입되는 빗물의 양이 증가하여 자연

재해가 발생하게 되었다. 옥상녹화는 일시적이지만 불투수성 면적을 낮추고, 빗물을 잠깐이나마 저장을 함으로써 하수도로 직접적으로 유입되는 빗물의 양이 저감되어 도시의 홍수를 예방하는 효과를 가져올 수 있다(김정연 2014).

#### 5) 사회적 효과

도시경관향상, 휴식공간제공, 시민환경교육의 사회적인 효과를 보일 수 있다 이는 도시 경관의 경우 옥상녹화를 통한 녹화는 무미건조한 경관을 시각적으로 보여주던 건물의 외관을 향상시키고 푸른 공간을 창출하여 도시경관 향상 효과를 가져온다. 옥상을 휴식공간이나 문화공간, 각종 채소나 과일을 재배하는 도시 내 작은 농업 장소로 활용할 수 있기 때문에, 새로운 공간 창출이 가능하고 사람들에게는 생태계 서비스중 하나인 '심미적 효과'를 누릴 수 있다. 이는 정신적인 편안함을 주며 긴장의 완화와 같은 심리적 효과를 누릴 수있다(이장호 et al. 2011). 또한 김은진 외 2인의 연구에 결과에 의하면, 옥상의 용도와는 상관없이 공간을 활용하는 경우의 대부분이 대화와 흡연 등의 휴식을 위해 옥상공간을 이용하는 빈도가 가장 높은 것으로 나타났다(김은진 and 정태열 2014).

휴식공간제공으로는 도시의 복잡한 환경으로부터 동떨어진 듯한 느낌을 주는 격리된 쾌적한 공간을 제공함으로써 이용자들에게 휴식공간을 제공한다. 또한 건물은 녹지의 쾌적한 공간제공으로 인한 건물의 가치가 그만큼 높아지고 임대료 수입이 증대된다.

시민환경교육으로는 생태계 복원을 통한 환경 교육의 장을 제공해주며 옥상에 허브와 같이 간단한 식물을 키움으로서 원예활동 교육장으로 활용이 가능하다. 뿐만 아니라 옥상녹화의 토양층으로 인해 건축물의 방수층이 보호되고 산성비와 자외선으로 인한 콘크리트의 노화가 방지되어 건축물의 내구성을 향상시키는 효과를 얻을 수 있다(류을렬 and 윤용한 2009). 또한 일사 차단효과와 더불어 식생부분의 증발산 작용에 의한 잠열효과 및 토양층이 지닌 물리적인 단열 성능이 복합되어 기존 옥상에 비해 열전도율이 낮아지게 됨으로써 건축물 냉, 난방 에너지 절약에 상당한 효과를 가져올 수 있다(안태경 2003).

#### 6) 지역적 측면

환경저부화 지역구현, 순환형도시구현, 자연공생형도시구현이 가능하다. 환경저부화 지역구현으로는 지역의 대기정화 효과와 도시 및 지역의 열섬현상 경감, 과잉건조방지 등의 개선효과를 얻을 수 있으며 에너지 부하절감을 통한 자원절약형 사회 차출로 자원절약효과를 얻을 수 있다.

### 3. 습지의 개념 및 중요성

습지는 현재 지구에서 생산력이 큰 생태계 중의 하나로서 육상생태계 뿐만아닌 수상생태계의 사이의 전이대로서, 종 다양성 유지에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 새, 수서곤충 그리고 어패류 등 다양한 야생생물에게 우수한 서식처를 제공할 뿐만 아니라, 기후조절기능, 정화작용, 높은 경제적 가치와 심미적 기능을 가지고 있다. 그러므로 호수나 저수지의 부영양화를 억제하기 위한 수단으로서 인공습지의 조성에 관심이 모아지고 있다(Kim et al. 2004).

습지의 중요성으로는 생태계의 다양성을 유지시켜주며 더 넓게는 “생태계의 안정”의 척도로 보고있다. 생산성이 높은 습지에는 많은 종이 서식한다. 서식 종이 많지 않은 경우라도 습지는 환경적인 폐쇄성이 커서 많은 하천유역마다 고유한 종이 서식하는 사례가 많다(Han 1998). 크기와 상관없이 작은 습지여도 크고 다양한 생물다양성을 갖을 수있다(Babbitt 2005). 또 한 습지가 멸종 위기종을 보호하는데도 큰 역할을 한다(Gibbs 1993). 특히 하천 생태계를 구성하는 요소 가운데 하나인 하도습지는 동·식물, 미생물 등의 서식지이며, 홍수 조절, 오염물질의 정화, 그리고 여가, 심미적 기능 등 다양한 기능을 한다. 또한 하도습지는 물이 항상 흐르고, 수문·수리학적 변화가 발생하기 때문에 다른 습지와 달리 하천에 영향을 많이 받는다. 따라서 하천의 기능과 역할이 하도습지에 중요한 요소로 작용한다(안병윤 et al. 2014).

#### 4. 옥상녹화 연구의 필요성 및 목적

세계화와 도시의 열섬효과(Urban Heat Island, UHI)저감과 생태환경 공간 제공 및 녹지확보를 위해 옥상녹화에 대한 관심이 높아지기 시작하였다(전은정 et al. 2011). 이 연구는 옥상녹화의 지속가능성이 가능하다는 것을 보여주며 옥상에 설치된 pilot scale의 습지가 얼마나 많은 관수가 필요한지, 생육상태, 월동가능성 및 온도 저감 효과를 살펴보고자 하였다. 또한 옥상녹화는 도시의 생태적인 녹지확보 문제 해결(Jang et al. 2005)과 도시열섬 현상 완화, 에너지 절약을 동시에 만족시킬 수 있는 대안으로 주목받고 있으며(김수봉 2012), 가속되며 점점 더 넓어지는 도시화로 인해 사라지거나 파괴된 생태계를 옥상을 활용하여 손실된 부분의 일부분이라도 복원한다는 의미 또한 내포하고 있다(Kim and Kim 2011). 이는 수도권 및 주거지의 높은 지가 등으로 녹지공간을 확보하기 힘든 도시에서 무의미하게 낭비가 되어지고 있는 옥상을 녹지로 활용하여 친환경 거주하는 시민들에게 서비스를 제공하는 측면에서도 중요한 의미를 지니고 있다(이명환 and 정군오 2012). 현재 도심부의 공간은 밀도가 높게 건축물들이 조성되어 있어 공간적인 여유공간이 부족할 뿐만 아니라 녹지공간의 확보가 사실상 불가능한 실정이기 때문에 옥상녹화는 더욱 큰 의미가 있다(최희선 et al. 2003). 예를 들어 서울시는 토지이용현황에 있어서 도시화 지역이 57.96%, 기타 지역은 2.21%를 차지하고 있으며 녹지 및 오픈스페이스는 39.83%로 나타났다(최재영 and 이종국 2009).

건축 비용 문제를 제외하면 건축을 희망하는 사람들은 보유한 땅에 '어느 정도'의 규모로 몇세대가 들어가는 건축물을 건축할 수 있을까?'가 최대의 관심사일 것이다. 이는 건물주의 실질적인 수입원과도 관계가 있기 때문이다. 이러한 건축이 가능한 세대 규모는 국토계획법에서 규정하고 있는 최대 건폐율과 용적률에 의해서 정해지며, 「건축법」에서는 이들 건폐율과 용적률의 산정 방식 및 기준을 정하고 있다. 그러한 건폐율과 용적률을 산정하여 건축물을 건설할 경우 녹지가 남을 것이라고는 기대할 수 없다. 수도권 및 주거 단지의 높은 지가를 고려한다면 모든 사람들은 건축물을 가득 채워서 올릴 것이다. 또한 주차공간 또한 만들어야 하기 때문에 실질적인 녹지 공간은 기대하기 힘들다.

밀도가 높은 도심지의 열섬현상이 가중되고 있는 것은 현대의 고도로 도시화된 도시들이 부딪히고 있는 문제이다. 온실효과로 인해 연평균 기온이 상승하고 있는 가운데 기온을 더욱 높여 건축물의 에너지 사용도 이와 비례하여 늘어나고 있다. 도시의 기온 상승과 에너지 효율의 향상 방안 등이 모색되고 있고, 특히 건축물에서 소비하는 에너지의 비중이 가장 높아 건축물의 온도상승과 에너지의 관리가 필요하다(안지숙 2007, 제민희 and 정승현 2018).

대부분의 면적이 콘크리트와 시멘트 표면으로 덮여 도심지의 건물표면 때문에 이를 개선하는 것이 도시 열섬현상 완화의 중요한 수단이 된다. 도시공간을 다양한 녹지로 녹화하기 위해 여러 가지 시도를 하고 있고, 그 일환으로 옥상공원화, 벽면녹화 등을 녹지를 확보하며 다양한 지역에서 진행되고 있다. 더욱이 옥상녹화는 미기상적 측면에 있어 건축물 내부의 온도를 줄여서 도시 열섬현상의 완화하는 효과를 주고, 이에 따라 열의 유동량을 낮추어 건물의 에너지 사용량을 줄여 주고, 빗물 유출을 저감하는 효과가 있어 그 필요성이 커지고 있다(김원주 et al. 2008, Song et al. 2013, 김희주 et al. 2018).

일반적으로 건물의 비어있는 옥상 대부분은 적재물이 적재하중이 100kg. m<sup>2</sup>이고, 사무실 및 주거용 건축물의 경우 180~200kg. m<sup>2</sup>로 옥상녹화가 고려되지 않은 옛 건물들은 많은 위험 부담을 가지고 있기 때문에 신축건물에서 도입되고 있는 공법을 적용하는 것은 기존 건축물 옥상녹화에 적용 가능하며 관리가 간편한 옥상녹화 시스템의 개발이 필요한 실정이다(허근영 et al. 2003). 도시의 생태적 문제해결과 빠른 산업화 건축물로 인하여 대지의 부족 및 높은 지가 등으로 녹지공간을 확보와 에너지 절약의 해결책으로 옥상녹화에 대한 관심이 높아지기 시작하였다(황정숙 2010, (김은진 and 정태열 2014)).

이에 옥상녹화의 기반을 구축하려는 목적으로 관수에 따른 생육상태와 월동을 살펴봄으로써 옥상녹화 식물 중으로 활용이 되는 대부분의 식물이 다년생임에도 불구하고 대부분의 실험이 1년으로 마무리되어 다년생의 장점을 활용하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 2년동안 실험을 진행하여 세팅 후 다음 해에도 습지가 잘 작동하는지, 지속가능한지에 대한 연구를 수행하였다. 또한 수심 등의 제약이 없고 수확이 용이한 장점이 있음에도 불구하고 부유식물을 통한 실험이 많지 않아 이를 확인하는 연구를 하게 되었다.

관수구처리구 외에도 자연관수로 진행을 하여도 관수처리과 큰차이가나는지 확인을 하기 위하여 pilot scale을 만들어 추가적인 생존가능성 여부를 조성해 주었으며 엽록소, 식물의 생장길이, 토양의 온도 그리고 습지화 처리구는 수심의 높이를 측정하여 상호 관계를 규명하고자 하였으며 2019년에서 2020년으로 지나는 겨울을 보낸 뒤 모든 자료를 가지고 종합 결론을 하였다.



## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 방법

#### 1.1 종 선발

실험에 사용된 종으로는 갈대(*Phragmites communis* (Cav.) Trin. ex Steud.), 꽃창포(*Iris ensata* var. *spontanea* Thunb.), 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* Carl Linnaeus), 고랭이(*Schoenoplectus nipponicus* (Makino) Soják)를 사용하였다. 갈대(*Phragmites communis*)는 대표적인 종이로 선발했고 노랑꽃창포는 전에 연구가 되어 있어서 사용했다. 또한 제주도 현지에서 채집이 가능한 노랑꽃창포, 고랭이를 야생에서 채집하여 현지의 환경에 더 적응이 되었을 것이라 추측되는 식물도 이용하였다. 그리고 수심 등의 제약이 없고 수확이 용이한 장점이 있음에도 불구하고 부유식물을 통한 실험이 많지 않아 부레옥잠(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), 물배추(*Pistia stratiotes* Carl Linnaeus)을 부유식물 처리구에 선정하였다

## 1.2 실험 디자인

습지 처리구와 육상 처리구 그리고 부유식물 처리구를 만들어 습지(부엽식물) 관수의 효율성과 관수가 식물에게 주는 영향을 확인하고자 하는 실험이다. 현재 상토 12cm에 물높이 5cm를 주었으며 야생 노랑꽃창포, 고랭이, 노랑꽃창포, 갈대, 꽃창포를 심었다. 각 종의 식물은 습지 처리구의 경우 30개씩 심었다. 상토의 경우 신기산업의 원료 황토 25% 규조토15% 질석 19.5% 코코피트 40% 농약 0.1% 유카추출액 0.07% 비료 0.33%의 성분을 갖은 토양을 사용하였다. 간이 수영장의 경우 인텍스사의 무독성 PVC소재의 122\*122\*30 규격을 사용하였다.



**Figure 1. INTEX swimming pool to make a treatment tool**

수영장(Fig 1)의 넓이 (122cm\*122cm) / 5을하여 한 개체당 10cm\*10cm 면적으로 잡았다. 상토 5포대 200L를 넣어 토양을 15cm 구축하였지만 물을 넣어 상토에서 가벼워서 위로 뜨는 토양을 거둬내고 다시 높이를 측정하였을 때에 평균 토양높이(Fig.5)는 12cm로 나왔다

### 1.3 옥상 습지 및 녹지 디자인

부유식물의 경우 가라앉아 있는 토양 2cm와 초기 수심 18cm를 주었다. 이때 사용된 토양은 위 습지(부엽식물)처리구에 사용된 토양과 같은 토양을 사용하였다. 부유식물의 경우 물배추와 부레옥잠을 각 26개를 부유식물 처리구에 띄어 놓았다. 부유식물의 경우 기존 연구가 없어서 그냥 잘 자란다고 알려진 부레옥잠과 물배추를 사용했다. 또한 부레옥잠은 겨울을 못 날 가능성이 있어서 물배추는 조금 더 월동능력이 있어서 사용하였다.

옥상 처리구의 식물의 경우 제주도의 특성상 바람이 많이 불어서 옆 높이를 넉넉히 주었으며 토양12cm 옆 높이14cm를 주었고 각 화분별로 5종의 식물을 2개씩 3종, 4종, 3방법으로 식물을 심어 5개의 화분을 만들었다.

## 2. 실험장소



**Figure 2. The place where the experiment was conducted**

실험 장소로는 지도에 표시된 '제주 제주시 오복1길 9 (이도이동) 석현원룸'의 옥상에서 진행되었으며, 건물의 층수는 4 층이다. 해당 지역의 GPS 값으로는 '126° 534112, 33° 496113'이며 고도는 81m 이며 도심지에서 실험을 진행하였다( Table 3).

**Table 3. The place where the experiment was conducted**

Site	Longitude	Latitude	Altitude
1	126° 534112	33° 496113	81m

### 3. 연구의 내용 및 구성

옥상녹화 식물 중으로 활용이 가능하다고 생각되는 다년생 습지 식물을 정하여 실험을 하였다. 또한 정수식물과 부유식물 중 어떠한 식물이 옥상녹화에 있어 사용시 효율이 좋을지에 대하여 비교하기 위하여 2개의 습지를 만들어 각각 연구하였다. 엽록소 함량의 변화, 식물의 성장, 물의 온도 등을 측정하여 연간 모니터링을 실시하였다.

유식물의 경우 부레옥잠과 물배추를 각 20개씩 122cm 정사각형 모양 수영장에 넣어 두었다. 부유식물은 빠른 속도로 늘어서 한달 이내에 표면을 완전히 채웠으며 이후에도 몇번의 수확을 해야 할 정도로 빠르게 성장하였다. 정수식물 처리구에는 상토 12cm에 물높이 10cm를 주었으며 야생노랑꽃창포, 고랭이, 노랑꽃창포, 갈대, 꽃창포를 심었다. 각 종마다 30개씩 심었으며 빠른 속도로 자라서 매우 빽빽하게 자라 공간이 남지 않을 정도로 성장하였다. 가을에 뿌리까지 수확을 하지 않고 2년차에 새로운 싹이 지속적으로 올라오는지 확인하였다. 그 결과 옥상 습지의 지속가능성이 있음을 도출할 수 있었다.

Thermo orion의 A325모델을 사용하여 측정하였으며, pH, Ec 및 해당일의 수온을 측정하는데 사용하였다. pH meter의 보정을 Thermo에서 판매하는 pH 4.01, pH 7.00, pH 10.01 용액을 이용하여 진행하였다(Fig 3).



**Figure 3. Thermo orion**



**Figure 4. SPAD 502**

2주에 한번씩 엽록소를 SPAD502를 사용하여 측정에 있으며 키는 1달에 한번 습지의 수심은 2주에 1번 육상처리구 화분과 습지에 묻어둔 로거는 반년에 한번씩 회수하여 데이터를 확인하였다(Fig 4).



**Figure 5. Depth of soil given to Emerged plants treatment**





**Figure 6. Planting plants by dividing the area of the treatment plant into 5 parts**



**Figure 7. Left) floatin g plant, Right) emerged plant after to plant**



**Figure 8. Nonirrigated Treatment Plants Natural Water Experiment**

#### 4. 토양 분석

실험을 시작한 년차에 따라 토양의 질산태 암모니아태의 변화를 확인하기 위하여 토양 분석을 실시하였다. 토양분석은 Kjeldahl Protein/Nitrogen Analyze를 사용하여 분석하였다.

#### 5. 통계 분석

실험한 모든 결과는 평균  $\pm$  표준오차로 표기하였으며, 반복수는 10반복으로 하였다. 통계학 분석 방법으로는 Tukey's honest significant difference Test (HSD)로 분석하여 p 값이 0.05 보다 작을 때 ( $p < 0.05$ ) 유의성 있는 값으로 판단하였다. 통계는 SAS(SAS v. 9. 1, SAS Institute Inc., USA)를 이용하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 옥상 모니터링

##### 1.1 조사지역 기상자료

다음 표에서는 제주지방기상청에서 제공한 기상자료이며(KMA 2019), 2019년 1월부터 2019년 10월까지 조사지의 GPS 고도가 같은 외도 관측소에서 평균 온도, 강수량 자료를 사용하였으며 일사량의 경우 장비가 있는 제주도의 제주라는 기상관측자료를 사용하여 제시하였다(Table 2). 2019년 평균기온은 16.4 °C, 강수량의 합은 1964 mm, 평균 일사량은 5007 MJ/m<sup>2</sup>을 기록하였다. 2020년 평균기온은 16.6 °C, 평균 강수량은 1414.5 mm, 평균 일사량은 4462.71 MJ/m<sup>2</sup>가 기록되었다.

**Table 4. Climate table of 2019 based on the data of Jeju weather station**

Year	Mean Temperature	Mean Precipitation	Mean Sunlight
2019	16.4 °C	1964 mm	5007 MJ/m <sup>2</sup>
2020	16.6 °C	1414.5 mm	4462.71 MJ/m <sup>2</sup>

## 1.2 옥상의 성장결과

2019년도와 2020년도의 엽록소와 키의 성장지표를 표로 나타내었다. 고냉이 (*Schoenoplectus nipponicus* (Makino) Soják)의 경우 잎의 형태가 긴 관의 형태를 갖고 있어 엽록소 측정시 고냉이가 찢어져서 엽록소 측정에서 제외하였으며 대신 키를 측정하였다. 갈대(*Phragmites communis* (Cav.) Trin. ex Steud)의 경우 2019년 9월부터 엽록소의 수치가 떨어지기 시작하였고 10월달에는 모두 피압되어 죽고 사라졌다. 갈대같은 경우에 지하경이 발달하지 못해서 1년차 지나고는 경쟁에서 밀려서 사라져 2년차에는 볼 수 없었다.

그리고 제주에서 채집한 식물의 경우 제주의 기후에 이미 잘 적응하여 다음해에는 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* Carl Linnaeus)와 야생노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus* Carl Linnaeus) 그리고 고냉이 만이 다시 자랐으며 그러한 이유로는 고냉이의 지하경(Fig 29)중식 경쟁에서 밀린 것으로 보인다. 또한 Ec와 pH를 측정하였으며 화분에 심은 식물은 자연적 관수만을 해주는 것을 목표로 한 완전 저관리형태의 처리구는 7월부터는 모든 식물이 측정이 불가능 할 정도로 말라 죽었다. 또한 화분에 심은 옥상처리구의 경우 반 정수 식물 처리구 보다 SPAD502 값이 상당히 떨어지는 것을 보였으며 식물의 키 성장속도에서도 큰 차이를 보였다. 또한 부유식물에 물배추(*Pistia stratiotes* Carl Linnaeus)의 경우 부레옥잠(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)에 피압되어 겨울전에 다 물에 녹아 흡수되었다.

2019년도 부유식물의 pH로 인한 추가적인 실험을 진행하였으며 그를 통하여 해당 pH변화의 요인을 찾고자 시기별 다양한 변수의 pH변화를 조사하였다 (Table 5, 6). 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)의 변수를 이용한 방법중 토양, 물, 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*) 처리구에서만 유일하게 낮은 pH를(Table 6) 보이는 것을 확인할 수 있었으며 이는 충분히 연구해 볼 가치가 있다고 생각한다.

**Table 5. pH Variation of *Eichhornia crassipes***

pH	Jun	Jul	Aug
2019	3.54	3.89	3.95
2020	6.49	6.32	6.31

2019 년도와 2020 년도의 부유식물 처리구의 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)이 성장하는 처리구에서의 물의 pH 변화를 나타낸 표이다.

Table 6. Additional *Eichhornia crassipes* Experiment

Treatment	Treatment hour									
	0	6	12	24	48	72	96	120	144	168
W P	6.51±0.09 <sup>b</sup>	6.42±0.04 <sup>b</sup>	6.16±0.05 <sup>b</sup>	6.02±0.06 <sup>b</sup>	6.01±0.04 <sup>b</sup>	5.87±0.02 <sup>b</sup>	5.86±0.03 <sup>b</sup>	5.64±0.03 <sup>c</sup>	5.57±0.04 <sup>c</sup>	5.36±0.09 <sup>c</sup>
W P UV	6.88±0.09 <sup>a</sup>	6.2±0.10 <sup>c</sup>	6.28±0.01 <sup>b</sup>	6.09±0.03 <sup>b</sup>	5.97±0.03 <sup>b</sup>	5.91±0.05 <sup>b</sup>	5.82±0.07 <sup>b</sup>	5.7±0.09 <sup>bc</sup>	5.64±0.10 <sup>c</sup>	5.51±0.15 <sup>c</sup>
W	7.07±0.04 <sup>a</sup>	7.11±0.02 <sup>a</sup>	7.01±0.03 <sup>a</sup>	6.89±0.07 <sup>a</sup>	6.66±0.02 <sup>a</sup>	6.71±0.04 <sup>a</sup>	6.73±0.04 <sup>a</sup>	6.71±0.03 <sup>a</sup>	6.79±0.01 <sup>a</sup>	7.24±0.16 <sup>a</sup>
W S P UV	6.20±0.02 <sup>c</sup>	5.82±0.03 <sup>cd</sup>	5.77±0.03 <sup>d</sup>	5.54±0.05 <sup>c</sup>	5.22±0.10 <sup>c</sup>	5.24±0.10 <sup>b</sup>	5.31±0.08 <sup>c</sup>	5.39±0.05 <sup>c</sup>	5.49±0.03 <sup>c</sup>	5.48±0.04 <sup>c</sup>
W S	6.13±0.03 <sup>c</sup>	5.99±0.04 <sup>cd</sup>	5.96±0.04 <sup>c</sup>	5.98±0.05 <sup>b</sup>	5.76±0.08 <sup>b</sup>	6.04±0.05 <sup>c</sup>	6.02±0.05 <sup>b</sup>	6.02±0.04 <sup>b</sup>	6.07±0.04 <sup>b</sup>	6.05±0.07 <sup>b</sup>
W S P	6.07±0.03 <sup>c</sup>	5.74±0.03 <sup>e</sup>	5.59±0.02 <sup>f</sup>	5.41±0.03 <sup>c</sup>	4.98±0.11 <sup>c</sup>	4.74±0.12 <sup>d</sup>	4.71±0.13 <sup>d</sup>	4.74±0.16	4.83±0.14 <sup>d</sup>	4.83±0.11 <sup>d</sup>

● Water = W, Plant = P, Soil = S, Ultraviolet = U.V

토양, 물, 부레옥잠 처리구에서만 유일하게 낮은 pH 를 보이는 것이 확인 가능하였다. 단독적인 식물의 영향이 아닌 갯버들과 함께 키웠을 경우 급격하게 pH 가 낮아지는 것을 보인 사례(Jeong and Lee 2007)가있으나, 위 실험은 토양과 식물의 상호작용으로 인한 미생물의 작용이지 않을까 싶으며 물을 산성을 바꿔주는 능력이 있지않을까 사료된다. 토양, 물, 식물, UV 의 처리구의 경우 토양, 식물, 물 보다 pH 감소가 덜 했기 때문이다.



## 2. 옥상 토양 분석결과

토양의 비료 시비와 관하여 확인하기 위하여 질산태 질소와 암모니아태를 분석하였다. 질산태질소는 토양에 화합물로서 존재하는 질소를 유기태 질소와 무기태 질소로 크게 나눌 때 질산태 질소는 암모늄태 질소와 함께 토양에 존재하는 무기태 질소로 중요한 성분이다. 시비에 의한 암모늄 이온은 질산화 작용에 의하여 질산태 질소로 산화된다. 암모늄태 질소와 질산태 질소 모두 식물이 토양으로부터 흡수와 동시에 이용하는 형태이다.

질소 화합물이 토양 속에서 분해되어 식물의 비료가 될 때 암모니아성 질소의 형태, 즉 암모니아태(態)를 가진다고 명시되고 있다. 그러므로 단백질태 → 아미노태, 요소태 → 암모니아태 → 질산태가 되어 식물에 흡수되며 그렇기 때문에 중요한 성격을 갖는다. 처리구에서 채취하여 분석한 위 성분은 질산태와 암모니아태로 구분하여 테이블로 2019 년과 2020 년도를 질산성질소(**Table 7**)와 암모니아성질소(**Table 8**)의 함유량을 나타내었다.

**Table 7. Soil Nitrate nitrogen**

Nitrate nitrogen (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	표시값	단위
2019	705.25	mg/kg
2020 부유	1759.75	mg/kg
2020 정수	2327.5	mg/kg

**Table 8. Soli Ammonia Nitrogen**

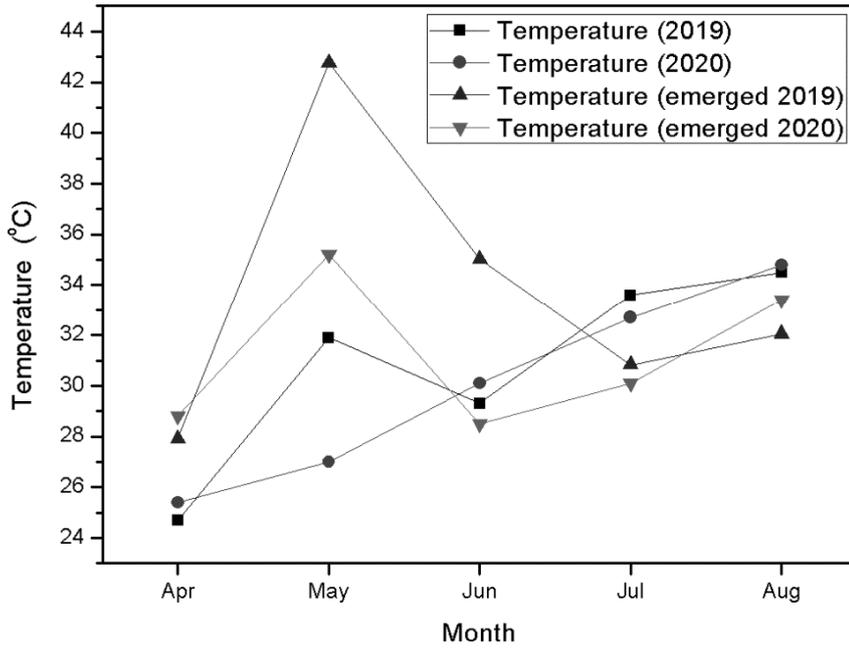
<b>Ammonia Nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)</b>	<b>표시값</b>	<b>단위</b>
2019	35235.5	mg/kg
2020 부유	31776.75	mg/kg
2020 정수	34041	mg/kg

### 3. 온도 분석결과

2019년과 2020년도의 강수량과 온도를 분석하였다. 일반적 기온보다 처리구 들에서 열을 흡수하여 주는 경우가 더 많은 것을 확인할 수 있었으며. 옥상 처리 구 (Fig 12)의 경우 토양에서의 온도가 식물의 캐노피로 가려지지 않아 더 많은 열을 받는 것을 확인할 수 있었다. 한여름에 정수습지와 옥상의 온도 차이를 보였다. 하지만 정수 습지의 경우 그 생물량이 매우 커서 증발산 작용이 심해 예상보다 물이 빨리 줄어드는 것을 보여주었다. 또한 하계에는 열을 흡수하고 동계에는 열을 방출하는 스펀지적 기능을 한다(정지훈 et al. 2019).

2019년도에서 2020년도로 넘어가는 겨울의 온도(Fig 13, 14)가 다른 해에 비하여 기상이변으로 인하여 온도가 높아 수온이 더 따뜻할 것이라는 예상과는 달리 수온과 실온의 차이가 크게 없었기에 그림을 이용하여 시각화 하였다.

또한 2019년도의 온도가 2020년도에 비하여 4월에서 6월(Fig 9) 기온의 폭이 더 큰 것을 기상청 자료를 통하여 확인할 수 있었다. 4월에서 6월 강수량의 경우 2019년도에 비하여 2020년도 107mm 더 많이 내렸다. 또한 한창 더울 때인 7월과 8월에는 오히려 강수량이 2019년도에 비하여 380mm가량 적게 내렸다.



**Figure 9. 2019 · 2020, The average temperature of the rooftop air temperature and the Emerged plant treatment.**

2019 년과 2020 년의 평균기온과 습지화를 한 대표적인 처리구 정수식물의 온도를 나타낸 그림이다. 이를 통하여 정수처리구들이 5 월에 많은 열을 흡수하여 준다는 것을 확인할 수 있었다.

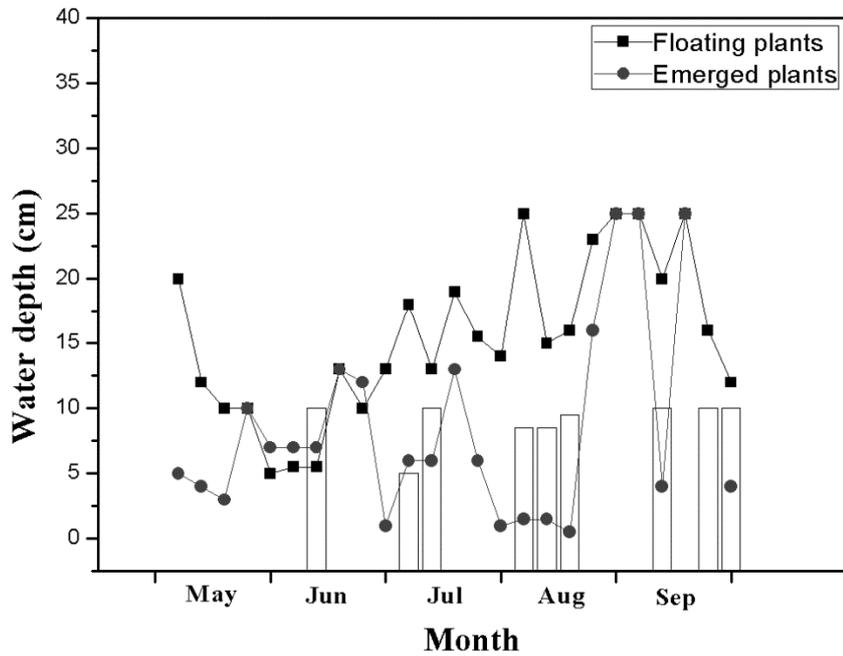


Figure 10. Height of water according to irrigation in 2019

2019 년도 부유식물과 정수식물의 수위를 나타낸 그림으로 해당 그림에서의 바는 처리구의 물의 높이가 사라져 인위적으로 관수를 해주어 물 높이를 일정한 수위를 갖을 수 있도록 물을 추가적으로 넣어준 것을 의미한다.

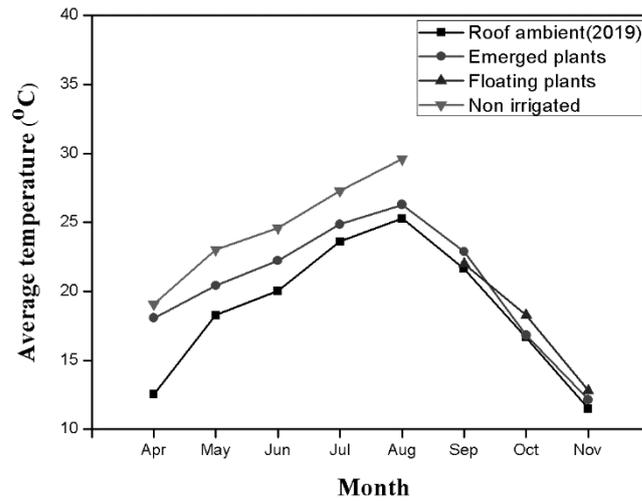


Figure 11. Average temperature of all treatment in 2019

2019 년도 정수, 부유, 육상처리구, 실온을 나타낸 그림으로 Apr 부터 Aug 의 부유식물의 값이 0 인 이유로는 온도를 측정해주는 기기의 고장으로 값이 없다. 하지만 Sep 부터 Nov 의 육상처리구의 경우 식물이 완전히 죽은 뒤 측정을 멈추어 값을 0 으로 표기하였다.

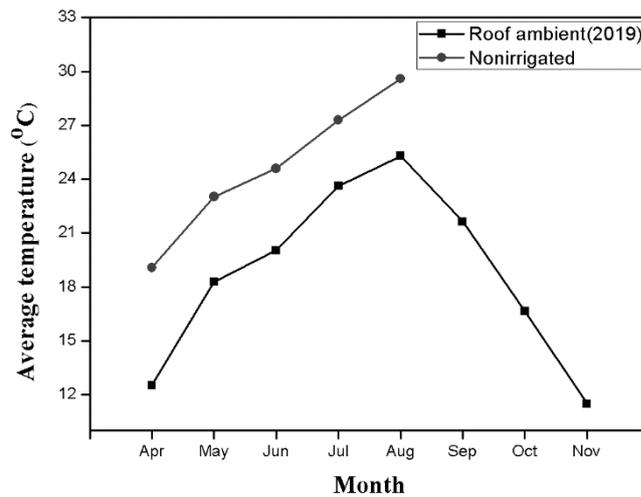
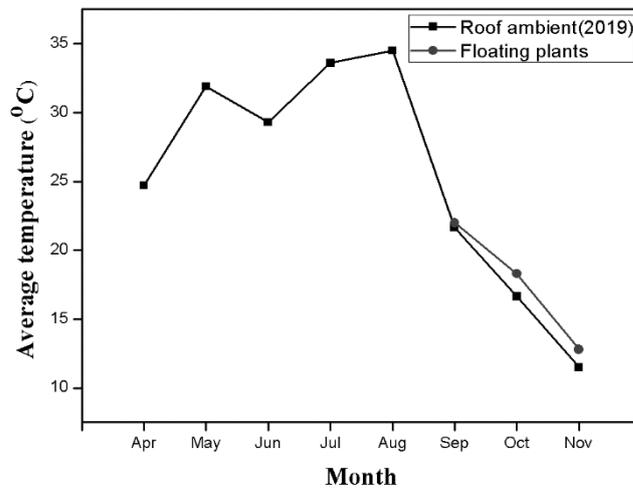


Figure 12. 2019, Average Temperature of Nonirrigated Treatment Plants

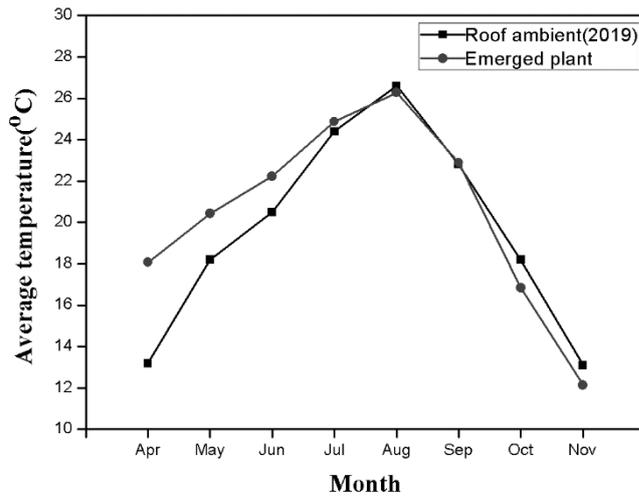
육상처리구의 경우 Apr 부터 Aug 까지는 평균온도가 더 낮게 측정이 되었지만 실질적으로 식물의 컨디션(Table 9, 10)은 좋지 못한 것을 알 수 있다. 키 같은 경우 May 에서 Jun 으로 넘어갈 때의 값(Table 9)을 본다면 알 수 있듯 죽어간 다는 것을 볼 수 있다.



**Figure 13. 2019, Average Temperature of Floating plan Treatment Plants**

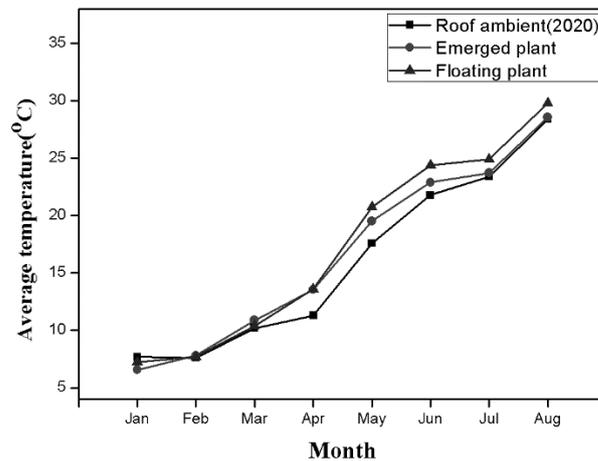
\*Missing of data due to mechanical failure (Apr ~ Aug)

2019 년도의 경우 잦은 태풍으로 기기고장이 발생하여 Apr ~ Aug 의 데이터 값을 얻을 수 없었다.



**Figure 14. 2019, Average Temperature of Emerged Plant Treatment Plants**

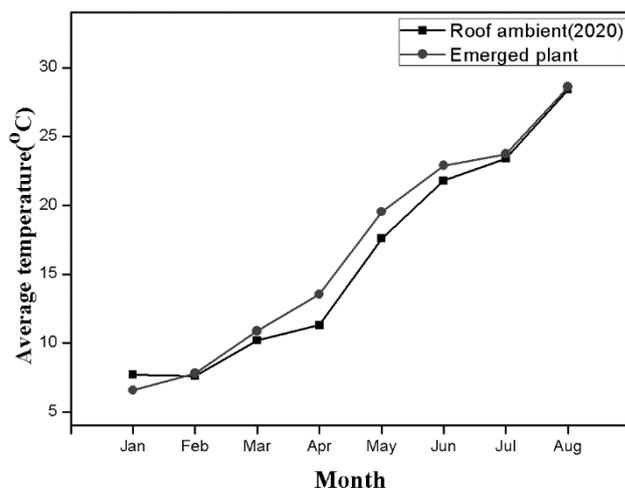
여름에는 정수식물이 스펀지 역할(정지훈 et al. 2019)을 해주기 때문에 열에너지를 많이 흡수하여 건물의 온도를 낮춰주며 겨울에는 외기의 온도로부터 건물의 온도를 보호해주어 에너지 효율을 나타내줄 것이라 생각한다.



**Figure 15. 2020, Temperature Difference between Emerged Treatment Plants and Floating Plants**



2020 년도의 경우 2019 년도의 지하경(Fig 29)의 발달로인하여 확실히 6 월의 온도가 증발산량이 많이 이루어져 온도가 낮춰지는 것을 볼 수 있었다. 또한 부레옥잠의 경우 2019 년도(Fig 20)처럼 많이 덮지 않았지만 많은 열을 흡수하는 것을 확인할 수 있었다.



**Figure 16. 2020, Average Temperature of Rooftop Temperature and Emerged plant Treatment Plants**

2019 년도(Fig 14)와 같이 유사한 경향성을 나타냈다. 2020 년에도 5 월에 토양에서 많은 열에너지를 흡수를 하는 것으로 보였다.

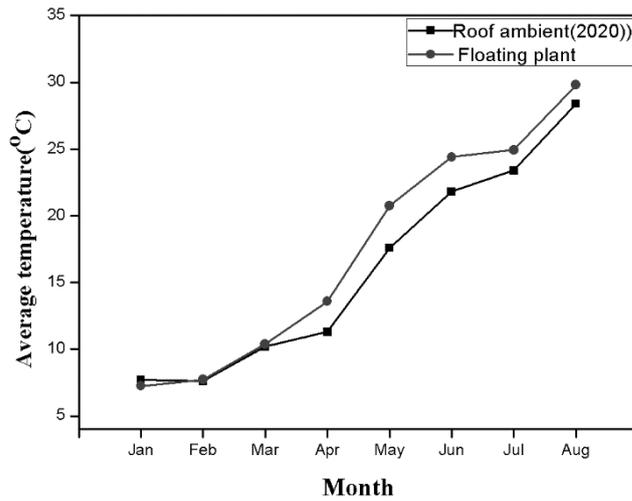


Fig 17. 2020, average temperature of the rooftop air temperature and floating plant treatment plants

정수식물(Fig 16)은 5월에 많은 온도 갭차이르 보였지만 부유식물의 경우 큰 갭을 보이지 않았지만 5월과 6월에 지속적인 열에너지를 흡수했다.

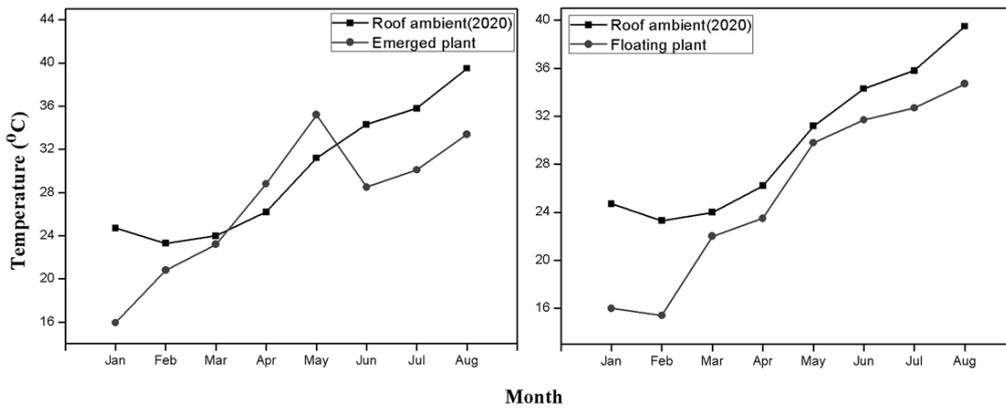


Fig 18. 2020, Top Temperature of Floating and Emerged Treatment Plant

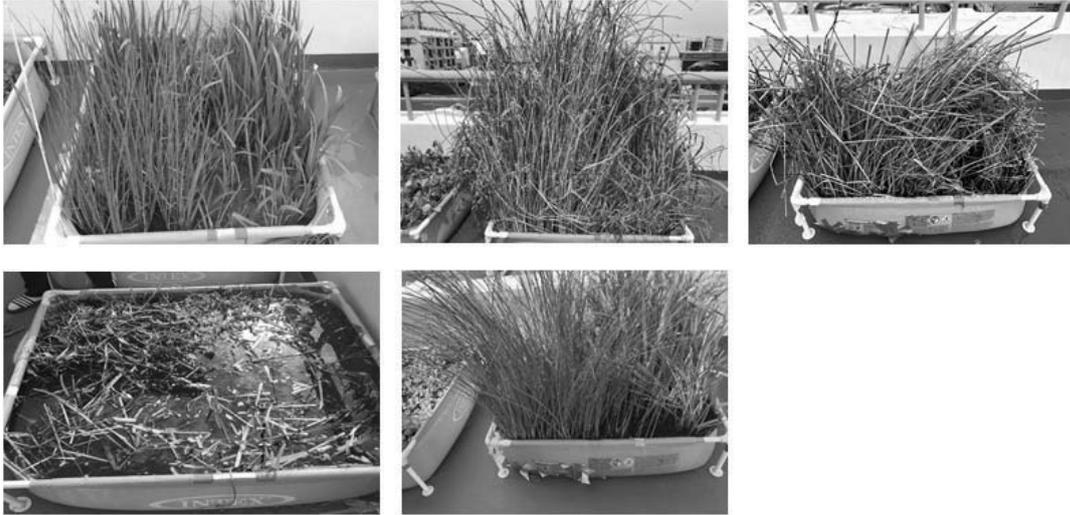
정수식물과 부유식물 중에서는 부유 식물이 Jan ~ Aug 까지 케노피와 증발산으로 최고 온도값을 일반적 옥상의 최고기온보다 낮게 측정되는 것을 알 수 있다(Fig 18).



**Figure 19. Withering nonirrigation treatment**



**Figure 20. Growing in floating plants from 2019 to 2020**



**Figure 21. Growing in emerged plants from 2019 to 2020**

2019 년도 월동에 성공하여 지속가능한 생물량(Fig 20, 21)을 보여주는 것을 확인할 수 있다.



**Figure 22. Root cross-section of water purification plant during harvest in 2020**

조성된 습지에서 자란 식물의 지하경 발달을 보여주는 사진이다. 사진의 부분은 노랑꽃창포가 있던 곳의 단면으로 토양보다 뾰뾰하게 자리하고 있는 뿌리를 볼 수 있다. 사진(**Fig 22**)을 통하여 지하경 경쟁에서 다른 식물 보다 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 식물의 성장 및 생리적 반응

2019년(**Table 9**)도와 2020년(**Table 10**)도의 엽록소와 키의 성장지표를 각각의 년도별로 표를 이용하여 나타내었다. 고냉이 (*Schoenoplectus nipponicus* (Makino) Soják)의 잎의 형태는 빨대와 비슷하게 생긴 형태로 가운데 빈 공간을 갖고 있는 형태를 보여주며 이로인하여 엽록소 SPAD를 이용하여 측정시 고냉이(*Schoenoplectus nipponicus* (Makino) Soják)가 기계에 의하여 찢어져서 엽록소 측정시 식물을 손상시킬수 있어 제외하였으며 대신 키(**Table 10, 11, 14**)를 측정하여기입을 해두었다. 갈대(*Phragmites communis*)의 경우 2019년 9월부터 엽록소(**Table 9**)의 수치가 떨어지기 시작하였고 10월달에는 제주도에서 채집한 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*)와 직접 식재한 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*)에 경쟁에서 밀려 9월 말부터는 아예 관찰을 할 수 없게 되었다. 그 이유로는 갈대(*Phragmites communis*)의 경우에 제주에 적응한 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*)와의 경쟁에서 빠르게 지하경을 확보하지 못하여 뿌리의 발달이 부족해 밀린 것으로 보인다. 또한 육상처리구의 경우 자연적인 수분으로 성장을 하다보니 몇 달을 못버티고 시들기 시작하였다(**Fig 19**).

**Table 9. Chlorophyll contents 2019**

Date	창포	노란꽃창포	갈대	야생노랑꽃창포
0502	46.37±0.84 <sup>bc</sup>	513.8±0.59 <sup>ab</sup>	40.95±0.97 <sup>c</sup>	56.52±0.51 <sup>a</sup>
0515	44.25±0.80 <sup>b</sup>	53.46±0.74 <sup>a</sup>	40.6±0.86 <sup>b</sup>	56.98±0.70 <sup>a</sup>
0616	46.15±0.93 <sup>b</sup>	59.63±0.65 <sup>a</sup>	35.99±0.57 <sup>c</sup>	54.43±0.81 <sup>a</sup>
0705	46.17±0.64 <sup>a</sup>	51.44±0.66 <sup>a</sup>	35.78±0.79 <sup>b</sup>	49.48±0.65 <sup>a</sup>
0819	44.06±0.87 <sup>ab</sup>	51.09±0.92 <sup>b</sup>	35.47±0.80 <sup>b</sup>	50.96±1.17 <sup>a</sup>
0920	46.75±0.82 <sup>a</sup>	52.93±0.86 <sup>a</sup>	25.18±0.86 <sup>b</sup>	49.14±0.76 <sup>a</sup>
1021	28.8±0.88 <sup>b</sup>	56.82±1.48 <sup>a</sup>	Dead	62.4±1.55 <sup>a</sup>
1115	41.52±0.89 <sup>b</sup>	52.15±1.13 <sup>a</sup>	Dead	44.48±0.90 <sup>ab</sup>

2019 년도 SPAD502 를 사용하여 식재되어 있는 식물을 측정 한 값이며 경쟁에서 밀릴 경우 가을 무렵부터 상태가 좋지 않아진다. 또한 10 월에서 11 월로 넘어가는 사이에는 SPAD 의 결과 값이 변하는 것을 볼 수 있다.

**Table 10. Height of plant 2019**

Date	창포	노란꽃창포	갈대	야생노랑꽃창포	고냉이
0502	16.01±0.77 <sup>c</sup>	19.4±1.25 <sup>c</sup>	27.31±1.98 <sup>b</sup>	37.32±1.88 <sup>a</sup>	33.4±1.85 <sup>ab</sup>
0515	38.02±3.03 <sup>d</sup>	62.7±1.51 <sup>b</sup>	48.1±3.20 <sup>cd</sup>	53.15±2.51 <sup>bc</sup>	83.75±4.02 <sup>a</sup>
0616	59.83±2.31 <sup>c</sup>	77.56±2.43 <sup>b</sup>	68.53±3.36 <sup>bc</sup>	68.9±2.58 <sup>bc</sup>	122±3.13 <sup>a</sup>
0705	76.65±4.01 <sup>c</sup>	130.77±2.31 <sup>b</sup>	68.3±5.37 <sup>c</sup>	144.2±bv4.96 <sup>b</sup>	187.4±5.32 <sup>a</sup>
0819	100±4.63 <sup>c</sup>	129.3±4.27 <sup>b</sup>	146.1±6.31 <sup>b</sup>	135.7±4.47 <sup>b</sup>	182.1±7.55 <sup>a</sup>
0920	71.7±3.55 <sup>c</sup>	125.6±1.98 <sup>b</sup>	141.4±5.25 <sup>b</sup>	134.8±3.35 <sup>b</sup>	179.9±5.97 <sup>a</sup>
1021	77.9±4.10 <sup>c</sup>	101.5±4.65 <sup>b</sup>	114.2±3.55 <sup>b</sup>	102.7±4.12 <sup>b</sup>	186.9±3.85 <sup>a</sup>
1115	65.8±4.39 <sup>c</sup>	106.9±2.43 <sup>b</sup>	Dead	97.6±4.73 <sup>b</sup>	165.5±8.76 <sup>a</sup>

2019 년도의 식물의 키의 경우 기존에 제주도에서 채집한 종이 확연히 다른 종에 비하여 빠른 성장을 보이는 것으로 확인되었으며 노랑꽃창포(*Iris pseudoacorus*) 확연하게 좋은 적응력을 보이는 것을 알 수 있었다.

**Table 11. Height of plant 2019(육상처리구)**

Month	창포	노랑꽃창포	갈대	야생노랑꽃창포	고냉이
Apr	12.3±1.43 <sup>d</sup>	17±2.01 <sup>cd</sup>	24.1±1.46 <sup>bc</sup>	38.2±4.03 <sup>a</sup>	31.6±3.68 <sup>ab</sup>
May	23.1±1.41 <sup>a</sup>	30.9±1.07 <sup>a</sup>	27.65±4.62 <sup>a</sup>	33.35±2.79 <sup>a</sup>	30.9±4.42 <sup>a</sup>
Jun	9.65±4.30 <sup>a</sup>	23.83±6.10 <sup>a</sup>	13.7±5.69 <sup>a</sup>	15.83±3.83 <sup>a</sup>	23.83±8.46 <sup>a</sup>

육상처리구의 경우 인위적인 관수 없이 육성실험을 한 것이다. 기존 정수 처리구의 식물과 같이 식재한 것을 고려한다면 확연한 성장속도 차이와 생존력을 확인할 수 있다.

**Table 12. Chlorophyll contents 2019(육상처리구)**

Month	창포	노랑꽃창포	갈대	야생노랑꽃창포
Apr	36.7±2.70 <sup>b</sup>	52.77±1.79 <sup>a</sup>	32.27±2.79 <sup>b</sup>	40.17±8.79 <sup>b</sup>
May	43.35±7.64 <sup>a</sup>	53.04±3.69 <sup>a</sup>	5.46±5.46 <sup>b</sup>	36.47±8.24 <sup>a</sup>
Jun	19.88±8.9 <sup>a</sup>	42.2±9.71 <sup>a</sup>	17.95±6.01 <sup>a</sup>	36.23±8.06 <sup>a</sup>
Jul	4.71±4.71 <sup>a</sup>	31.89±9.22 <sup>a</sup>	15.34±5.19 <sup>a</sup>	26.18±2.77 <sup>a</sup>



육상처리구의 경우 SPAD 의 값 또한 확연히 떨어지며 6 월에 대다수가 죽었지만 7 월에 다시한번 확인차 측정하였으나 확연하게 SPAD 의 값이 떨어지게 나오는 것을 볼 수 있었다.

**Table 13. Chlorophyll contents 2020**

Date	노란꽃창포	야생노랑꽃창포
0403	34.71±1.23 <sup>b</sup>	41.74±1.30 <sup>a</sup>
0425	36.73±1.77 <sup>a</sup>	40.53±1.11 <sup>a</sup>
0510	39.1±2.31 <sup>a</sup>	41.58±4.96 <sup>a</sup>
0527	46.57±5.89 <sup>a</sup>	38.96±1.78 <sup>a</sup>
0610	38.47±1.99 <sup>a</sup>	39.53±1.66 <sup>a</sup>
0708	35.43±1.90 <sup>a</sup>	37.18±2.01 <sup>a</sup>
0807	35.2±2.56 <sup>a</sup>	26.01±2.87 <sup>b</sup>

\* *Iris ensata* var. *spontanea* Thunb, *Phragmites communis* is dead

**Table 14. Height of plant 2020**

Date	노란꽃창포	야생노랑꽃창포	고냉이
0403	62.9±3.68 <sup>a</sup>	48.9±2.20 <sup>b</sup>	35.5±1.80 <sup>c</sup>
0425	98.5±1.18 <sup>a</sup>	71.1±1.78 <sup>b</sup>	77.1±1.45 <sup>c</sup>
0510	107.2±2.31 <sup>a</sup>	88.5±4.96 <sup>b</sup>	106±5.32 <sup>a</sup>
0527	110.9±4.20 <sup>a</sup>	96.9±2.71 <sup>b</sup>	116.2±2.96 <sup>a</sup>
0610	118.2±7.84 <sup>a</sup>	102.4±2.56 <sup>b</sup>	132.5±3.90 <sup>a</sup>
0708	132.6±3.11 <sup>a</sup>	106.2±2.11 <sup>b</sup>	133.8±3.15 <sup>a</sup>
0807	126.9±3.14 <sup>a</sup>	107±2.57 <sup>b</sup>	128.2±3.97 <sup>a</sup>

\* *Iris ensata* var. *spontanea* Thunb, *Phragmites communis* is dead

**Table 15. 2019.2020 Rainfall**

Rainfall(mm)	2019	2020
Apr	39.5	78
May	48.5	39
Jun	164	242
Jul	450	174.5
Aug	247.5	143
Sep	726	492

결론적으로 옥상녹화를 진행한 물이 사용된 습지처리구의 경우 부유 정수 모두 온도 저감 효과가 있었으며 2 년 이상도 지하경의 경쟁에서만 밀리지 않고 자란다면 지속가능성이 다분하다. 또한 다년생의 경우 지하경이 매년 계속적으로 성장을 하는데 이는 전형적인 다년생 식물의 특징이라고 할 수 있다(홍문기 et al. 2014). 2018 년 여름이 최근 기온중 역대로 가장 더웠으며(김수정 et al. 2018), 이러한 기온의 변화를 본다면 아열대성기후로 변해가는 기후변화에 맞춰 강수량이 많아질 것으로 사료되기 때문에 옥상녹화에 습지식물을 통하여 관리가 되는 옥상녹화는 지속적인 관심을 받을 수 있을 것으로 보인다. 또한 실제 옥상녹화를 통한 건축물의 옥상온도 변화를 볼때에 옥상녹화부분과 비녹화부분의 온도차이가 약 4℃ 가량 차이를 보인 사례가 있다(이웅직 and 김준희 2012). 식생과 질산성질소의 농도가 증가한 토양의 값이 있는데 이는 식생과 습지 바닥에 축적되어 있는 식물고사체의 제거는 용존산소의 증가에 의한 질화작용으로 질산성질소의 농도가 증가한 것으로 사료된다(김범철 et al. 2000).

여름에는 정수식물이 온도를 많이 흡수하여 건물의 온도를 낮춰주며 겨울에는 외기의 온도로부터 건물의 온도를 보호해주어 에너지 효율을 나타내줄 것이라 생각한다(Fig 14). 또한 2020 년도 정수식물(Fig 16)의 값으로 보았을때에 5 월에

많은 온도 갭차이를 보였지만 부유식물의 경우 큰 갭을 보이지 않는 대신 5 월과 6 월에 지속적인 열에너지를 흡수했다.

최근. 이러한 친환경적인 녹지확보 관리방안들이 많이 수립되어 옥상녹화의 확대를 통하여 도시 생태를 복원하는데 기여를 하였으며, 지속가능성하며 조금 더 확실하고 유지관리에 편한 관리방안과 활용방안을 모색하여 생태적 서비스를 확대하고 연구 했음에 의미가 있다. 본 연구에서는 향후 변하는 기온에 적합한 녹지확보방안과 옥상의 공간의 효율성과 지속가능성 방안을 연구하고 제시하였다. 그 결과, 옥상공간이 비어있지 않고 활용하기 위해서는 현재 조성되어 있는 옥상공간의 접근성과 옥상녹화의 지속가능성의 인식이 개선되어야 한다. 또한 옥상녹화의 면적 확대에 중점을 둘 것이 아니라 옥상녹화의 활용도와 변화하는 기후에 맞춰 마련된 옥상을 모두가 이용할 수 있도록 접근성과 편의성을 갖춘 개방이 가능하도록 노력이 필요할 것으로 판단되었다. 또한 해당 연구는 현재 활용가능한 옥상에 한정된 한 곳의 옥상에서 지속가능성의 분석 연구가 중점이었으므로, 옥상공간의 에코서비스 활성화에 효율성을 일반화하기에는 한계가 있다. 그러므로 향후 진행될 연구에서는 토양의 면적에 따른 비료시비로 지속가능성의 여부 및 실제 옥상녹화가 진행된 건물의 입주민의 인터뷰를 통하여 옥상공간 활용상 및 활성화 방안에 효율성에 대한 다양한 연구가 이루어지는 것을 기대한다.

## V. 요약

도시 열섬 효과를 줄이고 도시에 생태 공간을 제공하기 위해 옥상정원에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는, 옥상습지의 관개 요건, 식물 성장, 온도 감소 효과 및 지속가능성에 대해 조사하려고 노력했다. 옥상 정원 가꾸기에 사용될 때의 효율을 비교하기 위해 정수식물 처리구와 부유식물 처리구 이렇게 두 가지 습지 유형을 만들어 연구하였다. 엽록소, 식물의 키, 수온 등 요인을 2년간 모니터링했다. 부유식물은 한 달 만에 표면을 완전히 채우며, 식물의 절반을 수확해야 할 정도로 계속 빠르게 자랐다. 한여름에는 습지의 물과 주변 옥상의 평균 온도 차이가 약 3°C로 나타나 습지의 냉방 효과를 나타냈다.

이는 습지의 바이오매스가 급격히 증가함에 따라 식물의 증발도 기온 하락의 원인이 될 것이다. 반면 수위는 첫해에는 예상보다 훨씬 빠르게 줄지만 2년차에는 그리 빠르게 줄지 않았다. 첫 번째 성장기가 지난 후, 우리는 겨울 동안 식물의 뿌리를 수확하지 않고 남겨두었고 봄에 새싹이 돋아나 옥상 습지가 겨울을 넘기고 지속가능할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로, 옥상 습지는 생태적 녹지공간 제공, 온도저감, 옥상습지가 도시화된 곳에서 활용이 가능할 것이다. 또한 각각 생겨났고 떠다니는 마크로피테형 습지는 옥상 습지에 대한 장점이 있다. 각각의 장점을 고려한다면 향후 건축을 위한 옥상 습지의 유형을 선택하는 데 도움이 될 것이다.

## VI. 참고 문헌

- Babbitt, K. J. 2005. The relative importance of wetland size and hydroperiod for amphibians in southern New Hampshire, USA. *Wetlands Ecology and Management* **13**:269-279.
- Boivin, M.-A., M.-P. Lamy, A. Gosselin, and B. Dansereau. 2001. Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology* **11**:409-412.
- Choe, H.-S. 2016. 도시부에서의 그린인프라 (Green Infrastructure) 확보방안-뉴욕시 사례를 중심으로. *한국도로학회지: 도로* **18**:15-24.
- Gibbs, J. P. 1993. Importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland-associated animals. *Wetlands* **13**:25-31.
- Han, S.-H. 1998. 습지생태계와 그 중요성. *공원문화*:88-97.
- Jang, S.-W., D.-U. Kim, D.-Y. Kim, W.-Y. An, and M.-R. Han. 2005. 모듈형 옥상녹화시스템을 이용한 옥상녹화에 관한 연구. Pages 71-74 *in* Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference. Korean Institute of Landscape Architecture.
- Jeong, O.-Y., and D.-G. Lee. 2007. 갯버들과 부레옥잠이 수질에 미치는 영향. Pages 203-206 *in* Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference. The Korean Environmental Sciences Society.
- Kim, B.-J., and S.-B. Kim. 2011. 대구시 저관리. 경량형 옥상녹화에 적합한 식물선정 연구-큰평의비름, 섬기린초, 돌나물을 중심으로. Pages 149-152 *in* Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference. Korean Institute of Landscape Architecture.
- Kim, I.-S., Y.-J. Cho, H.-K. Choi, and E.-J. Lee. 2004. Biological treatment of processed-leachate from landfills by Reed (*Phragmites australis*)-Bed in a continuous flow system. *The Korean Journal of Ecology* **27**:375-381.
- KMA, K. M. A. 2019. Annual weather report. Available at: <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>.
- Onmura, S., M. Matsumoto, and S. Hokoi. 2001. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and buildings* **33**:653-666.
- Roh, Y.-S. 2011. Corrosion Level Measurement Technique for RC Reinforcement Using Non-Destructive Test Methods. *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing* **31**:24-31.
- Song, U., E. Kim, J. H. Bang, D. J. Son, B. Waldman, and E. J. Lee. 2013. Wetlands are an effective green roof system. *Building and Environment* **66**:141-147.
- 김범철, 김호섭, 전만식, and 황길순. 2000. 습지에 의한 수질개선 효과. *한국하천호수학회*

- 지 **33**:295-303.
- 김수봉. 2007. 대구지역 대기환경 개선을 위한 인공지반 및 옥상녹화의 도시환경 개선효과에 대한 정량적 평가에 관한 연구. 대구지역환경기술개발센터 보고서.
- 김수봉. 2012. 옥상녹화 유형별 거주자 이용행태와 건강효과. 한국조경학회지 **40**:60-68.
- 김수정, 최정희, 이성은, 임주연, 김동준, and 김세원. 2018. 2018 년과 1994 년 폭염 사례 비교 분석. 한국기상학회 학술대회 논문집:594-594.
- 김원주, 조용모, 남미아, 신상희, and 고병조. 2008. 에너지 절감을 위한 옥상녹화의 활성화 방안과 모니터링. 서울연구원 정책과제연구보고서:1-137.
- 김은진, and 정태열. 2014. 건물용도별 옥상공간의 이용행태 및 선호도 분석-서울특별시의 사례를 중심으로. 한국조경학회지 **42**:10-20.
- 김정연. 2014. 분산형 저류시설의 설치 위치와 운영 방식에 따른 침투유출저감효과 분석. 서울대학교 대학원.
- 김희주, 오규식, and 이승재. 2018. 중규모 기상모델 (WRF-ARW) 을 활용한 서울시 옥상녹화와 쿨루프의 기온저감 효과 분석. 서울도시연구 **19**:39-57.
- 류을렬, and 윤용한. 2009. 기후변화대응 옥상녹화시스템 개발. 연구보고서:1-79.
- 안병윤, 김택민, 홍승진, 김길호, 김수전, 김재근, and 김형수. 2014. 하도습지의 생태보전 및 치수를 고려한 하천관리 방안 연구. 한국습지학회지 **16**:463-476.
- 안지숙. 2007. 환경친화적 도시계획을 위한 열환경 평가에 관한 연구. 계명대학교 대학원 박사학위논문 **167**.
- 안태경. 2003. 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지절약 평가. 한국생활환경학회지 **10**:182-186.
- 이명환, and 정군오. 2012. 주거용 지가와 아파트가격간의 인과관계에 관한 연구. 사회과학연구 **31**:45-64.
- 이응직, and 김준희. 2012. 옥상녹화와 비 옥상녹화 표면의 온도변화 상관관계 고찰: 대전 지역을 중심으로. 한국태양에너지학회 논문집 **32**:134-140.
- 이장호, 박진희, and 이상호. 2011. 옥상공간의 조망기능 활성화 방법 고찰: 일본 입체/복합 건축물 사례를 중심으로. 대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계 **31**:11-12.
- 전은정, 정순형, and 이태호. 2011. 옥상녹화 이용자분석을 통한 옥상녹화 활성화 방안. 환경관리학회지 **17**:131-140.
- 정지훈, 이용관, and 김성준. 2019. Terra/Aqua MODIS LST 를 이용한 폭염 및 한파기간 동안 습지의 지면온도 완화효과 분석. 한국습지학회지 **21**:123-133.
- 제민희, and 정승현. 2018. 토지이용 유형별 도시열섬강도 분석. 한국콘텐츠학회논문지 **18**:1-12.
- 최재영, and 이종국. 2009. 친환경 주택에서 옥상녹화 시스템의 가치에 관한 연구. 한국주거학회 학술대회논문집:129-133.
- 최희선, 홍수영, 김귀곤, 양병이, and 오휘영. 2003. 서울시청 옥상정원'초록뜰'모니터링을 통한 식재식물과 이입식물의 관리방안에 관한 연구. 한국조경학회지 **31**:114-124.
- 허근영, 김인혜, and 강호철. 2003. 저토심 옥상녹화 시스템에서 돌나물 (Sedum

sarmentosum) 의 생육에 대한 인공배지 종류, 토심, 그리고 배수 형태의 효과.  
한국조경학회지 **31**:102-112.

홍문기, 허영진, and 김재근. 2014. 대형정수식물을 활용한 높은 생산성의 인공습지 조성  
및 관리. 한국습지학회지.