한국동력기계공학회지 제17권 제6호 pp. 88-94 2013년 12월 (ISSN 1226-7813)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 88-94, December 2013
Research paper

히트펌프 시스템의 시설원예 적용에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Applying Heat Pump System to Facility Horticulture House

김 재 돌*†
Jae-Dol Kim*†

(접수일 : 2013년 07월 22일, 수정일 : 2013년 09월 12일, 채택확정 : 2013년 09월 13일)

Abstract: As the results of analysis that are applying a heat pump using underground water as heat source of facility horticulture house, temperature change in house, growth of cultivated plants and the crop characteristic, the conclusion can be acquired as follows. It was possible to maintain the chamber temperature through operating heat pump with setting goal temperature at 16℃ and temperature variation at ±3℃. And cooling and heating coefficient of performance in heat pump system are different from setting room temperature and operation condition of equipment, totally in case that the setting temperature in house is low, the coefficient of performance and the in case that temperature departure is low.
In case that the house does not heated, the result of the growth characteristic of cucumber planted last 50days is that cucumber grown in house equipped with heat pump is the most favorable growth characteristic due to maintaining a constant room temperature. After 90 days, the quantity and weight cucumber harvested in each house are averagely 9.8%, 13.1% increase and more heavy weight respectively. So it is researched that crop characteristic is superior.

Key Words : Boiler, Heat Pump, Underground Water, Facility Horticulture, Coefficient of Performance

1. 서 론

시설원예는 자본 집약적이고, 고도의 영농기술이 필요한 농업 형태일 뿐만 아니라 우리 농업 중에서 부가가치가 높고, 대외 경쟁력이 큰 산업형 작물생산 체계로 향후 성장 잠재력과 수출 가능성이 매우 높은 산업이다[1,2].

정부에서는 '90년대 초반부터 시설원예 분야를 경쟁력과 자생력이 있는 산업으로 육성하기 위하여 투자확대와 제도개선을 추진하고 있다. 또한, 최근에는 소득향상에 따른 식품 소비의 고급화 및 다양화로 주곡 소비는 감소하는 반면, 시설원예 작물소비는 급속히 증가하고 있는 실정이다. 특히 시설원예의 현대화로 시설이 대형화 및 자동화되면서 연중 재배체계가 도입되고 있다. 이에 따라 시설원예 재배면적과 시설채소의 연간 소비량도 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 최근 유가 상승으로 인하여 시설농업의 난방에너지 부담이 크게 증가되고 있어 시설원예 농업을 대내외적으로 경쟁력 있는 산업으로 육성하기 위해서는 무엇보

*† 김재돌 : 동명대학교 냉동공조공학과
E-mail : kjd@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1682

*† Jae-Dol Kim : Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, TongMyong University.
E-mail : kjd@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1682

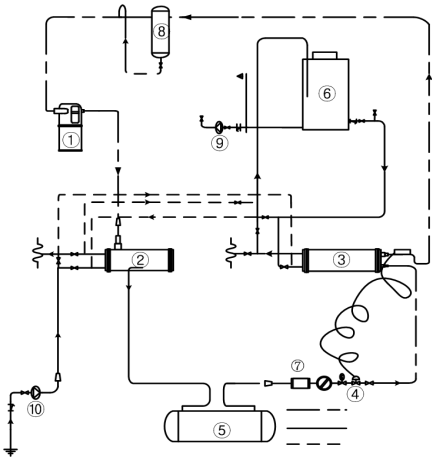
다도 총 생산비의 30~50%를 차지하는 난방에너지 부담률을 줄여야 한다. 이와 같은 문제 해결을 위해 시설원예용 난방에너지 절감기술, 즉 보온력 향상, 난방기의 열효율 향상, 자연에너지 이용 기술 등에 관한 연구가 국내외적으로 꾸준히 수행되고 있다[3,4].

본 연구에서는 지하수를 열원으로 하는 히트펌프를 시설원예 하우스에 적용하여 시스템의 냉수 및 냉각수와 하우스내의 온도변화 및 냉난방 성능 특성을 파악하였다. 또한, 기존의 보일러 난방시와 히트펌프 난방시 하우스 내 작물의 생육 및 작황 특성을 비교 분석하여 지하수를 열원으로 하는 히트펌프의 시설원예 하우스 적용 가능성에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실증 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 지하수 이용 히트펌프 시스템의 전체 개략도이며, Fig. 2는 본 실험에 사용된 히트펌프 시스템(a)과 보일러 시스템(b)의 실제 사진을 나타낸다. 시스템은 크게 압축기, 열원회수용 증발기, 팽창밸브, 쉘엔튜브식 응축기, 냉매저장용 수액기, 장치 운전에 필요한 콘트롤 장치, 지하 열원수 공



① : Compressor
② : Condenser
③ : Evaporator
④ : Expansion valve
⑤ : Receiver
⑥ : Heat source water tank
⑦ : Filter dryer
⑧ : Accumulator
⑨ : Circulation pump
⑩ : Underground water pump

Fig. 1 Schematic diagram of heat pump system

(a) Heat pump system

(b) Boiler system

Fig. 2 Photograph of heat pump system

Table 1 Design parameter and specification

Design parameter	Specification
1. Heat source(℃)	Underground water, 16
2. Heating capacity(RT)	7
3. Heat treatment water	
- Flow rate(Ton/h)	4.5
- In/out temperature(℃)	+32/+55
A. Heat pump unit	
- Compressor	Close-reciprocating type
- Condensing	S&T, size ϕ 216.3×1360
- Evaporator	S&T, Size ϕ 216.3×1090
B. Water pump	
- Flow rate	100 ℓ/min
- Motor	3 ϕ ×380/220V×2HP

급 및 하우스 온수 순환용 탱크와 펌프, 배관 등으로 구성되어 있다. Table 1은 시스템의 설계 인자 및 사양을 나타낸다.

2.2 시험하우스 및 방열관

본 연구에서는 기존의 보일러 사용 하우스와 무가온 하우스 및 히트펌프 가온 하우스를 비교하기 위하여 327 m^2 규모의 시험동 하우스를 설치하여 실증시험을 실시하였다. 하우스는 Fig. 3과 같이 기계실 32.4 m^2, 히트펌프 가온 하우스 97.2 m^2, 기존 보일러 가온 하우스 97.2 m^2 및 무가온 하우스 97.2 m^2로 구분하여 서로 비교 실험을 하였다. 전체 하우스는 표준 하우스로 규격화된 하우스[5]이며, 2중 구조의 단동하우스이고, 각 하우스 내부에는 일정한 높이와 위치에 16개씩의 열전대를 설치하여 내부 온도를 측정하여 평균화 하였다. 그리고 하우스 내 방열관은 파이프 외부에 휜이 부착된 열교환기로서 현재 기존의 하우스에 난방용으로 공급되고 있는 방열관을 사용하였다. 관 길이는 약 8 m, 관경은 30A로 양 측면에 온수 공급온도를 고려하여 히트펌프 하우스에는 4열, 보일러 하우스에는 2열씩 각각 설치하였다. Fig. 4는 방열관 설치 평면도를 나타내며, Fig. 5는 하우스 내부 사진을 나타낸다.

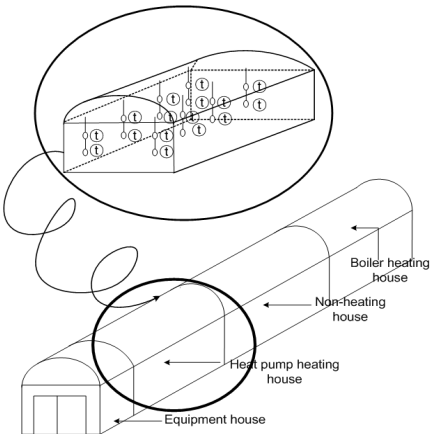


Fig. 3 Schematic diagram of house

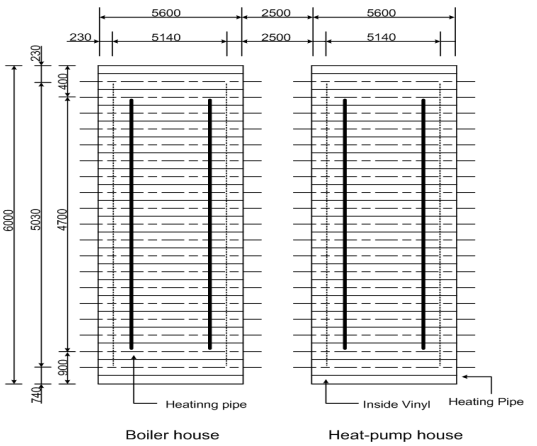


Fig. 4 Floor plan of heat pipe

(a) Heat pump house (b) Boiler house

Fig. 5 Photograph of heat pipe in the state house

2.3 실험방법

실험은 사전에 준비 작업을 완료한 후, 하우스 내 해당 오이 작물의 최저 생육온도 11℃정도를 유지하기 위해 외기온도가 6℃이하로 되면 히트펌프 및 보일러를 동시에 가동하여 난방을 실시하였다. 각 하우스 내로 공급되는 온수 및 히트펌프의 열원수인 지하수 유량은 수유량계로 측정하였으며, 방열관 및 히트펌프 시스템 각부의 온도는 C-C열전대를 부착하여 측정하였다. 하우스 내부 온도는 중앙부분의 지면에서 높이 50, 150 cm되는 위치에 각각 16개씩 열전대를 설치하여 평균화 하였으며, 측정된 데이터는 데이터로그와 컴퓨터를 통하여 실시간으로 기록하였다. 그리고 히트펌프의 압축기 소비 전력은 파워메터를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 순환수 온도변화

Fig. 6은 하우스 실온(Ti) 16℃유지, 온도편차

(Td) ±5℃로 설정한 후, 히트펌프 시스템의 난방 운전시 응축기에 순환되는 냉각수와 증발기에 순환되는 냉수 및 지하수의 온도변화를 나타낸 결과이다. Fig. 6에서와 같이 증발기로 유입되는 냉수 입구온도는 지하수 온도와 동일하며, 이는 약 16℃ 정도이다. 그리고 냉각수 입구온도는 하우스 내를 순환하고 되돌아 온 순환수가 저장탱크에 저장되고 다시 응축기로 유입되는 온도를 말하며, 이 온도는 약 32℃정도로 유지되었다. 장치가 운전 중일 경우에는 응축기 출구 수온, 즉 하우스 내 열교환기로 유입되는 물의 온도는 대략 55℃정도이다. 그리고 장치 운전시 증발기에 유입되는 냉수 입구온도 즉, 지하수 온도는 16℃정도로 유입되어 약 8℃정도로 유출되고, 입출구 온도차는 약 8℃로 유지되었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 지하수 열원에 의한 히트펌프 난방 하우스와 시스템의 적정 설계 용량 등을 확인할 수 있었다.

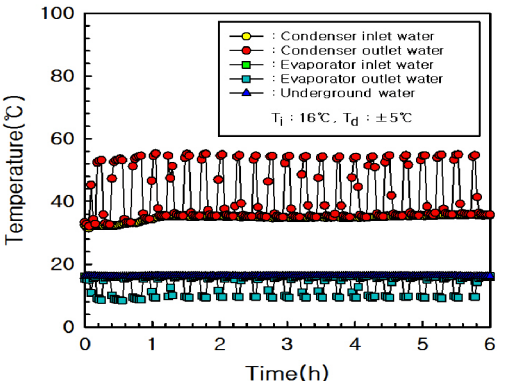


Fig. 6 The change of cooling, coolant and underground water temperature(Ti : 16℃, Td : ±5℃)

3.2 하우스 실내온도변화

Fig. 7은 하우스 실온을 16℃유지, 온도편차 ±3℃로 설정한 후, 히트펌프 및 일반 보일러에 의한 난방 시와 난방을 하지 않은 비 난방시 각 하우스 내의 온도변화를 나타낸 결과이다. Fig. 7에서와 같이 히트펌프 하우스의 경우에는 거의 16℃ 정도로 유지되면서 실온의 온도편차도 약 ±3℃정도로 일정하게 유지되고, 운전주기도 12분 간격으로 일정하게 유지되고 있다. 그러나 기존 보일러 난방시의 경우에는 약 ±6℃정도의 온도편차가 발생되면서, 운전주기도 약 30분 간격으로 유지되어 히트펌프 운전시와는 크게 내부온도에 차이가 발생되었다. 이와 같은 결과는 히트펌프와 보일러에 의한 하우스 내로의 순환수 온도차에 기인한 결과로 판단된다.

3.3 히트펌프 시스템 냉난방 성능계수

Fig. 8은 지하수를 열원으로 한 히트펌프 시스템의 냉난방 성능계수를 나타낸 결과이다. Fig. 8(a)는 난방 성능계수를 나타낸 것으로 운전조건에 따라 다르게 나타났으며, 하우스 내 설정온도가 낮을수록 높게 나타났고, 온도편차를 적게(±1℃)한 경우가 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 이유는 장치의 온도편차를 작게 설정함으로서 장치의 운전주기가 짧아 압축기의 기동 동력이 많이 소모됨에 따른 결과로 판단된다. 전체적으로는 난방성능계수는 약 4.1~5.8정도로 나타났다.

Fig. 8(b)는 냉방 성능계수를 나타낸 것으로 각 운전 조건에 따라 3.2~4.0범위를 나타내었다. 냉방 성능계수가 가장 높게 나타난 경우는 난방 시와 같이 하우스 실온을 15℃로 유지하고, 장치의 온도편차를 ±3℃로 설정한 경우였으며, 가장 낮은 경우는 실온 16℃, 온도편차 ±1℃로 운전한 경우로 그 이유는 난방 시와 동일한 것으로 판단된다.

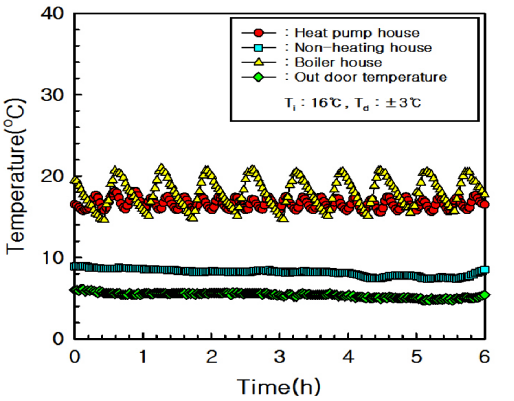
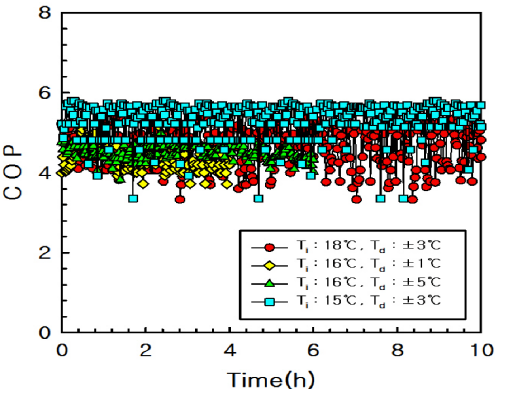
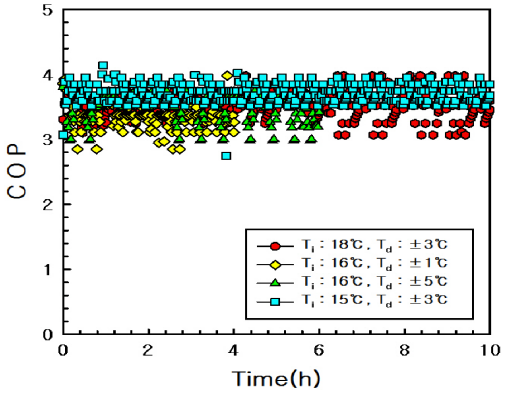


Fig. 7 The change of heat pump, boiler and non- heating house temperature(Ti : 16℃, Td : ±3℃)



(a) Coefficient of performance in heating



(b) Coefficient of performance in cooling

Fig. 8 Coefficient of performance in heating and cooling on heat pump system

3.4 하우스 내 작물의 생육특성

Fig. 9는 히트펌프 및 보일러에 의해 난방된 경우와 난방을 하지 않은 경우 이식 후 50일 경과된 오이의 생육특성을 나타낸 결과이다. 본 실증시험에 사용된 오이들의 경우에는 난방 이외의 조건 즉, 수분의 공급, 채광, 환기 및 비료 공급 등 작물의 성장에 필요한 영양분 공급은 동일하게 공급하였다. Fig. 9에서와 같이 히트펌프 하우스 내에서 자란 오이가 다른 하우스 내에서 성장한 오이에 비해 생육조건이 좋은 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 상기 Fig. 7에서와 같이 히트펌프 하우스의 경우 하우스 내 실온이 거의 일정하게 유지됨에 따라 이것이 작물의 성장에 안정적으로 작용한 결과로 판단된다.

3.5 하우스 작물의 작황특성

Fig. 10은 정식 후 50일 경과시 각 하우스별 오이의 작황특성을 나타낸 결과이다. 작황특성은 평균 초장과 잎 수를 기준으로 비교하였으며, Fig. 10에서와 같이 히트펌프 하우스의 경우 정식 50일 경과 후 초장은 143 cm, 기존 기름 보일러에 의한 온수난방의 경우에는 136.3 cm, 무 가온 난방의 경우는 90.3 cm로 조사되었다. 이 경우 히트펌프 난방 하우스에서 자란 오이가 기름 보일러 난방 하우스에서 자란 오이보다 초장은 평균 7 cm정도 더 큰 것으로 조사되었다.

잎 수도 히트펌프 하우스는 평균 주당 19개이며, 보일러 가동 하우스는 18.5개, 무 가온 하우스는 15.3개로 나타나 히트펌프 하우스 내에서 재배된 오이가 잎 수도 많은 것으로 조사되었다.

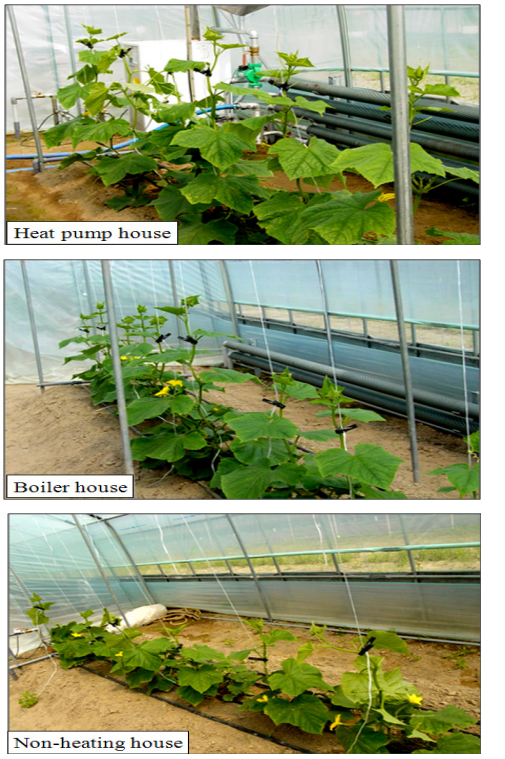


Fig. 9 Growth characteristics of cucumber in each house(after 50days)

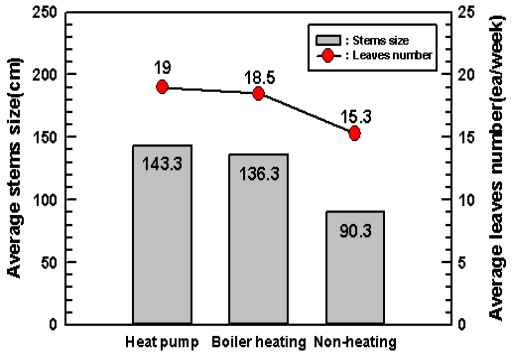


Fig. 10 Crop characteristics of cucumber in each house(after 50days)

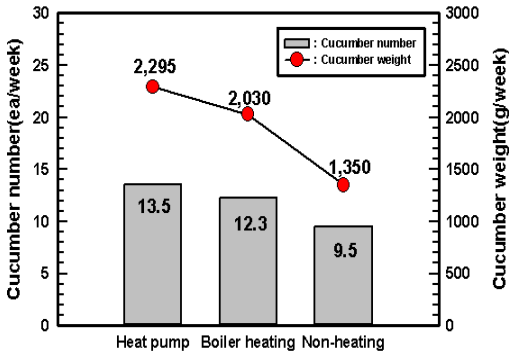


Fig. 11 Comparison of cucumber harvestry in each house(after 90days)

이와 같은 결과들은 히트펌프에 의해 난방된 하우스의 경우, 상기의 결과들에서도 언급한 바와 같이 일정한 실온이 유지되어 작물의 작황특성도 우수한 것으로 판단된다.

Fig. 11은 정식 90일 후 각 하우스별 수확한 오이의 수량 및 무게를 나타낸 결과이다. Fig. 11에서와 같이 히트펌프 및 기름 보일러 가동 하우스의 주당 오이 수확 개수는 13.5개, 12.3개, 무 가온 하우스는 9.5개가 수확되어 히트펌프에 의해 난방된 하우스가 기존의 기름 보일러 하우스에 비해 1.2개, 평균 9.8%정도 많이 수확되었다. 그리고 오이의 무게도 히트펌프 하우스 내에서 수확된 오이는 주당 2,295 g, 기름 보일러에는 2,030 g, 무 가온 하우스는 1,350 g으로 수확되어 히트펌프 하우스 내에서 수확된 오이가 평균 265 g 즉, 13.1% 더 무거운 것으로 나타나 작황특성이 우수한 것으로 조사되었다.

4. 결 론

지하수를 열원으로 하는 히트펌프를 시설원예 하우스에 적용하여 시스템의 성능특성과 하우스 내 온도변화, 재배 작물의 생육 및 작황특성을 실증시험을 통해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 하우스 실온을 16℃로 설정하고, 내부 온도 편차를 ±3℃로 설정한 후, 히트펌프 및 기름 보일러에 의한 난방시, 히트펌프의 경우에는 거의 16℃정도로 유지가 가능하였으며, 보일러 운전에 비해 안정적인 실온유지가 가능함을 알 수 있었다.

(2) 히트펌프 시스템의 냉난방 성능계수는 설정 실온 및 장치 운전조건에 따라 다소 차이를 나타내었으며, 전체적으로 설정 실온이 낮을수록 높게 나타났고, 온도편차를 작게한 경우가 낮게 나타났다. 지하수를 열원으로 하는 본 연구의 범위에서는 전체적으로 난방성능계수는 약 4.1~5.8정도, 냉방성능계수는 3.2~4.0정도를 나타내었다.

(3) 히트펌프 및 보일러에 의해 난방된 경우와 난방을 하지 않은 경우, 이식 후 50일 경과된 오이의 생육특성을 분석한 결과 히트펌프 하우스에서 자란 오이가 일정한 실온유지로 인해 가장 양호한 생육특성을 나타내었다.

(4) 이식 50일 후 각 하우스별 작물의 작황특성을 분석한 결과 히트펌프 하우스가 기름 보일러 하우스에 비해 초장은 평균 7 cm정도 더 크게 자란 것으로 조사되었다. 또한, 정식 90일 후 각 하우스별 수확한 오이의 수량 및 무게도 평균 9.8%, 13.1% 더 많고, 무거운 것으로 나타나 작황특성도 우수한 것으로 조사되었다.

후 기

본 논문은 2012학년도 동명대학교 교내학술연구

비 지원에 의하여 연구되었음.(과제번호 : 2013C011)

References

1. Y. M. Lee, 2007, "The views of economics in the protected horticulture agriculture", KSCS & KBS symposium, pp. 41-67.
2. S. Ueda and Kyau, 1989, "Heat pumps of protected horticulture", Refrigeration, Vol. 64, No. 735, pp. 27-34.
3. Y. C. Yoon and W. M. Seo, 1997, "Function and system of heat pump in the protected horticulture", KSAE, Vol. 39, No. 4, pp 5-13.
4. Y. C. Yoon, W. M. Seo and S. G. Lee, 2005, "The study of performance of heat pump for heating greenhouse", KSAE, Vol. 40, No. 3, pp. 94-102.
5. T. H. Huh, 2012, "On the Application of the Heat Pump System to Facility Horticulture Using Hot Waste Water from Power Plants", Thesis of Graduate School, Jeju University, pp. 6-50.