

스마트팜 운영시 빗물 재활용을 통한 농촌지역 지하수 사용량 대체 효과 실증 연구

유정현¹ · 김은정² · 윤철구² · 손봉호³ · 이규희^{2*} · 한영수^{1*}

¹충남대학교 환경공학과

²충청북도농업기술원 수박연구소

³주식회사 지엔에스엔지니어링

A Study on the Effectiveness of Rainwater Recycling to Replace Groundwater in a Smart Farming Greenhouse

Jung-Hyun Yoo¹ · Eun-jeong Kim² · Cheol-Ku Youn² · Bong Ho Son³
KyuHoi Lee^{2*} · Young-Soo Han^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Watermelon Research Institute, Chungcheongbuk-do Agricultural Research, Eumsung, Chungcheongbuk-do 27668, Korea

³GNS Engineering, co. Ltd. Cheongju, Chungcheongbuk-do 28395, Korea

ABSTRACT

In this study, an empirical experiment was conducted to assess the feasibility of replacing groundwater with rainwater in melon cultivation using a smart rainwater harvesting system. The rainwater harvesting efficiency was calculated under three different melon cultivation scenarios. After cultivation, the quality of the fruits grown with rainwater and groundwater was compared by examining the weight, degree of sweetness, and flesh hardness of the products. The results revealed that the water quality of the smart rainwater harvesting device was suitable for melon cultivation to provide better hardness and chloride levels than groundwater. It was also estimated that about 40% of the total water demand for full growth of the melon could be supplied by rainwater. The fruit weight and sweetness were equivalent or slightly better for the melons cultivated with rainwater than those cultivated with groundwater. In particular, the flesh hardness was significantly improved by rainwater cultivation. These results collectively suggest that rainwater can be used as a substitute for groundwater to preserve groundwater resources without compromising the produced fruit quality.

Key words: groundwater conservation, rain water reuse, smart farming

1. 서 론

국내의 경우 전체 지하수 사용량 중 농업용 지하수 사용량이 차지하는 비율은 1994년 38.1%에서 2016년 52.2%로 증가하였으며, 국제적으로도 농업용 지하수는 전

체 지하수 사용량의 약 70%를 차지하는 등 농업용 지하수의 과도한 사용은 지하수 고갈을 야기하는 가장 큰 원인으로 주목받고 있다(Jeon et al., 2020). 우리나라는 관리주체 및 관측항목에 따라 국가지하수관측망, 보조지하수관측망, 지하수수질전용측정망, 지역지하수수질측정망, 해수침투관측망, 농촌지하수관리관측망, 먹는샘물측정망, 온천감시정 등 기능이 구분되는 지하수관측망을 설치·운영하고 있다(Mok, 2022). 2018년 지하수 수질측정망 운영결과 보고서에 따르면 전체 지하수 관측지점(2018년 기준 3,219지점) 중 수질 기준을 초과한 개소는 2014년 7.9%에서 꾸준히 증가하여 불과 5년 후인 2018년에는 10.4%에 이르렀다. 그 중에서도 농촌 관측망의 수질 초과율은 모든 측정망 종류 중 가장 높은 수치를 나타내어

주저자: 유정현, 석사과정

공저자: 김은정, 연구사, 공저자: 윤철원, 소장, 공저자: 손봉호, 기업부설연구소장/이사

공동교신저자: 이규희, 팀장

*공동교신저자: 한영수, 조교수

Email: lkh79@korea.kr, hanyoungsoo@cnu.ac.kr

Received : 2023. 09. 18 Reviewed : 2023. 10. 07

Accepted : 2023. 10. 18 Discussion until : 2023. 12. 31

2015년에는 17.8%에 이르렀으며, 2018년에는 15.4%를 기록하였다(MOE, 2018). 뿐만 아니라, 기후변화에 따른 도시 내 홍수피해증가, 불투수층 확대에 따른 지하수 저감 및 용수공급 시설물 공사에 따른 환경 훼손 등으로 친환경적인 빗물 이용에 대한 관심이 증가하고 있다(Sim, 2009).

이에 농업 용수의 대체 수자원으로서 전 세계적으로 유용한 천연자원의 하나인 빗물을 어떻게 활용할 것인지에 대한 기술이 중요해 지고 있다. 더불어 가뭄, 전염병 등의 기후변화와 관련된 위기 하에서 지속 가능한 통합적 접근 방법으로서 스마트 농업의 필요성이 강조되고 있다. 이와 함께 미래의 기후변화에 따른 식량 확보, 경작지 부족 그리고 인구 증가 등의 문제에 대응하고자 도시농업, 수직 농장, 스마트팜 등의 논의가 활발하게 이루어지고 있다(Januszkiewicz and Jarmusz, 2017). 스마트팜에서 빗물의 적극적인 활용은 농업용수의 대체 요인 중 하나로 간주되며, 지하수의 수질 악화와 보존량에 대한 해결책으로서 고려되고 있다.

농촌진흥청은 시설원에 온실의 빗물이용시설을 이용함에 따라 지하수 절약, 작물 품질 향상, 농가 소득 증대, 환경 보전의 다양한 효과를 누릴 수 있으며, 빗물의 수질은 일반적인 농업용수의 수질에 비하여 월등히 좋다고 보고하였다(Republic of Korea Policy Briefing, 2023).

환경부는 ‘물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’에서 재이용수의 범주에 빗물을 포함하고 있으며, 빗물이용시설은 건축물의 지붕면 등에 내린 빗물을 모아 이용할 수 있도록 처리하는 시설로 정하여 관리하고 있다. 2014년 이후에는 공공 건물이 아닌 일정 규모 이상의 민간 건물에도 빗물이용시설 설치를 의무화하였으며, 의무설치 대상이 아닐 경우 지자체별로 보조금을 지원하는 등 빗물이용 활성화를 위해 노력하고 있다. 그 중 한 예로 제주특별자치도는 농민 등 빗물이용시설 의무설치 대상이 아닌 민간인이 빗물이용시설을 설치할 경우 시설비의 50%까지 지원(2022년 기준)함으로써 빗물재활용 촉진을 통해 지하수 자원을 보호하고자 노력을 기울이고 있다(제주특별자치도 공고 제2022-3693호). 제주특별자치도의 2017년 통계자료에 의하면, 제주도의 빗물이용시설은 총 1,116개소이며, 의무시설은 전체의 3.6%인 40개소이고, 권장시설은 96.4%인 1,076개소로 나타났다(Park, 2020).

이러한 빗물 활용의 필요성 및 지하수 자원 보존의 중요성에도 불구하고, 시설원에 온실의 지붕면을 활용하여 빗물이용장치를 설치할 경우 실질적으로 지하수 사용량의 대체율과 빗물 수질의 활용 시 작물 품질에 미치는 영향 등은 체계적으로 연구된 사례가 거의 없다. 본 연구에서

는 충청북도 음성군의 멜론 경작 온실에서 빗물이용장치를 활용한 멜론 재배시 지하수 수자원 대체율을 빗물이용장치를 활용하여 측정하고, 얻어진 작물의 품질을 비교하는 연구를 수행하였다.

2. 연구 방법

2.1. 연구사이트

본 연구에서는 충청북도 충북농업기술원 부설 수박연구소의 유리 온실을 실증사이트로 선정하였으며, 빗물이용장치를 설치하여 유리온실 지붕면에서 집수한 빗물을 이용하여 멜론을 재배하면서 빗물 활용을 통한 지하수 대체율을 측정하였다. 연구 대상 온실은 벤로형 유리온실로써 천정 면적 400 m² 및 온실 면적 300 m² 규모이다. 실증작물인 멜론은 고온성 작물로 약 90일의 재배 기간을 거치면 과실의 수확이 가능하다. 총 5개의 베드의 재배상을 활용하였는데 그 중 세 개는 빗물을 활용한 실험상으로, 나머지 두 개는 기존의 방법대로 지하수만 사용한 비교상으로 재배하였다. 빗물의 활용은 기상 상태에 따라 빗물 수집이 용이하지 않은 기간이 있을 수 있으므로, 빗물이 부족한 기간에는 실험상에서도 지하수를 사용하여 재배하였다. 재배에 사용한 빗물의 필터링 전후 수질 및 지하수는 각각 2022년 9월 및 3월에 양액기 주입 직전 스마트팜 내로 펌핑된 상태에서 샘플링하였으며, 수질은 pH, Cl⁻, NO₃⁻-N, As, Cd, Pb, Ca²⁺ 등의 항목에 대하여 측정하였다.

연구대상지의 지하수위(Groundwater level)를 파악하기 위해 국가공간정보포털에서 제공한 등수위선 및 지하수의 유동방향 지도를 QGIS(Quantum Geographic Information System) 프로그램을 활용하여 작성하였다(Fig. 1).

2.2. 빗물이용장치

본 연구에서는 사용한 빗물이용장치는 활성탄 카트리지형 ICT기반 스마트 빗물 활용 시스템((주)지엔에스엔지니어링)이다. 빗물이용장치는 집수면을 통하여 집수된 빗물을 초기우수 배제 장치, 빗물 저류조, 활성탄 카트리지 필터를 통하여 미생물과 유무기물질을 효과적으로 제거한 후 장기간 저장한다(Fig. 2-Fig. 3). 정화 후 빗물 저장조에 저장된 처리수를 필요에 따라 농업용수 또는 생활용수로 사용할 수 있도록 고안한 시스템이다.

본 장치가 설치된 수박연구소의 경우 온실 천정 면적에 내리는 빗물을 온실 자체의 경사면을 따라 모을 수 있는 관을 두어 빗물이 저류조에 흘러 들어가도록 설계하

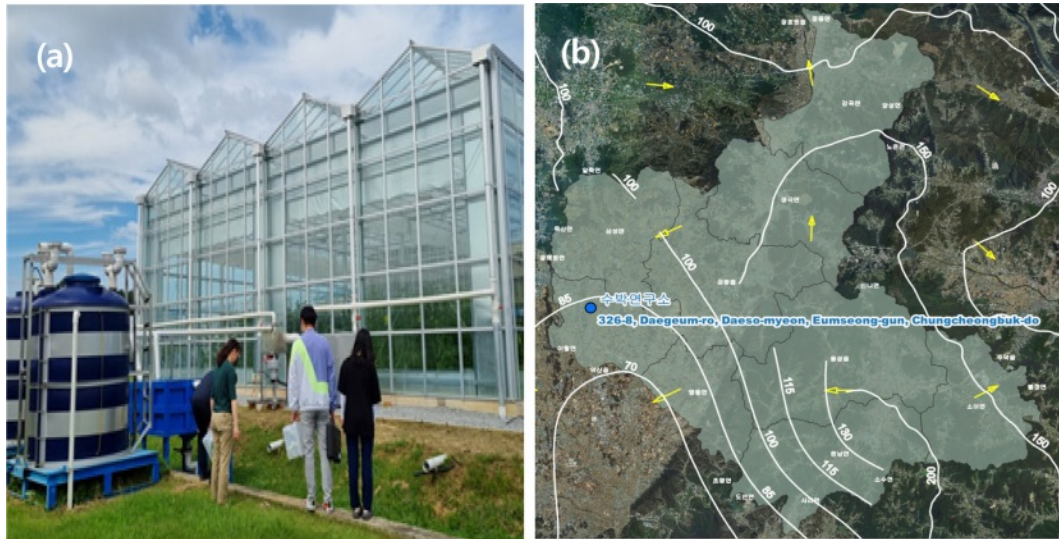


Fig. 1. Photo of the smart rainwater harvesting system installed at the Watermelon Research Center in Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do (a) and the groundwater level contour map around the research greenhouse (b).

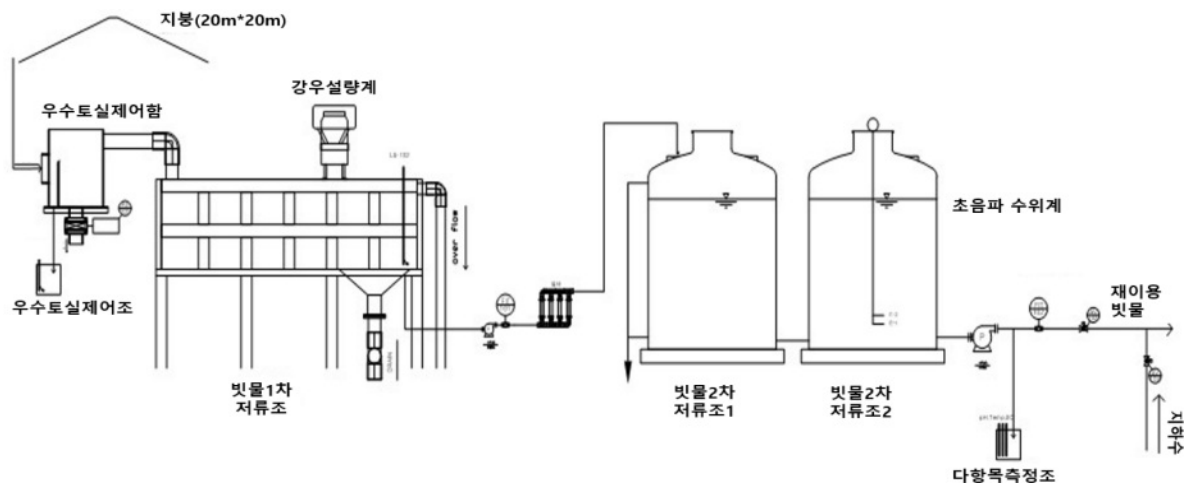


Fig. 2. The schematic diagram of the smart rainwater harvesting system.

였다. 강우가 시작된 후 일정 강우량에 도달하기까지의 빗물은 초기 우수 배제장치를 통하여 제거되며, 이 부분을 통하여 온실 천정에 적재되었던 먼지 및 나뭇잎 등의 불순물의 제거가 가능하다. 1차 저류조를 통과한 빗물은 4단계의 필터를 거쳐 정화된 후 2차 저류조에 저장되어 사용된다. 저장된 빗물의 양이 충분하지 않으면 지하수를 단독으로 혹은 혼합하여 사용하도록 자동운전 시스템을 구축하였다. 빗물 이용장치의 빗물 사용량은 10분마다 정보가 자동으로 저장되도록 설계되어 사용자가 PC 혹은 모바일에서 데이터를 확인할 수 있으며 (주) 지엔에스엔지니어링이 한국기계연구원에서 빗물이용장치 시스템 성능검

사를 완료하였다(성적서 번호 : KIMM-22-0770). 2차 저류조에서 추출된 빗물은 온실 내의 양액기를 거쳐 영양액의 형태로 작물 재배에 활용된다.

본 연구에서는 빗물이용장치의 정화 효율 등은 (주)지엔에스엔지니어링이 한국산업시험기술원에서 성능평가(성적서 번호 : 22-074159-02-1)를 통하여 시험하였으며, 수질에 관련된 내용은 본 연구의 범위에서 제외하였다. 본 연구에서는 상기 성능평가를 통과한 처리된 빗물의 수질이 안전하다라는 가정 하에 멜론 실증 재배를 통해 절약되는 지하수량을 확인하고, 재배된 멜론의 품질을 확인하는 것으로 연구의 범주를 정하였다.

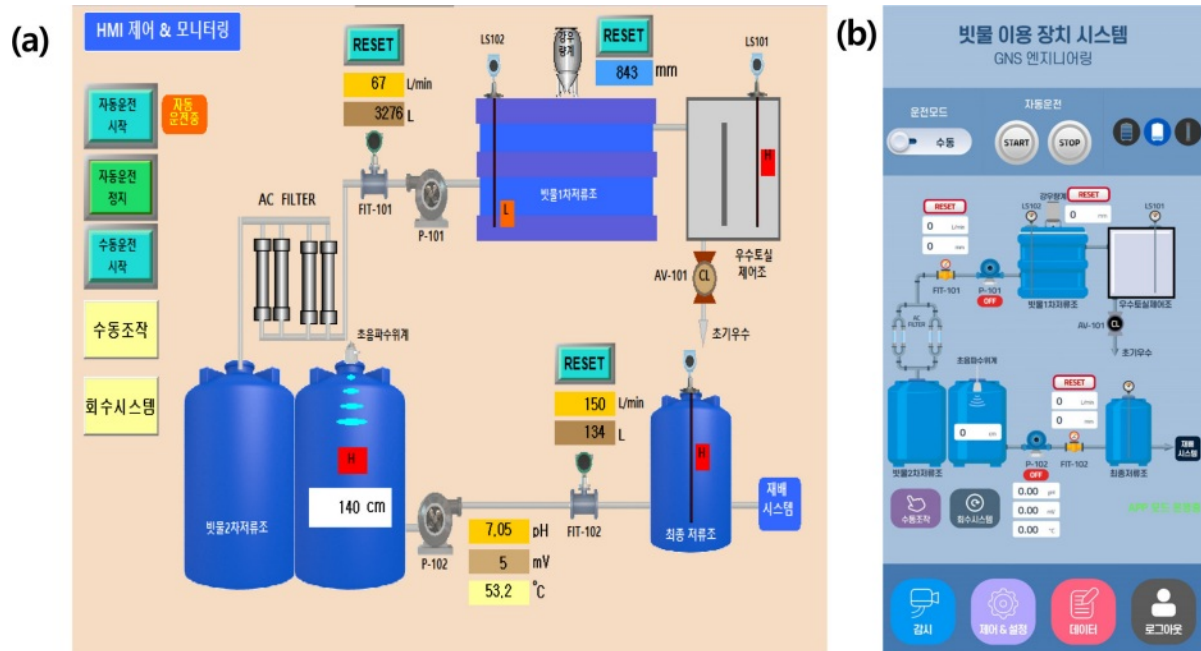


Fig. 3. The images of monitoring dashboard of the smart rainwater harvesting system: a PC version (a) and a mobile version (b).

빗물 사용의 효율을 계산하기 위해 수박연구소의 작물 재배 기간 동안의 물 공급량 데이터를 이용하였다. 데이터는 지하수와 빗물을 혼합 사용한 1, 2, 3번 베드와 지하수만을 사용한 4, 5번 베드의 사용량 데이터로 이루어져 있다.

2.3. 멜론 재배 실증

실증 실험에 활용한 작물은 멜론으로 품종명으로는 1기작 및 2기작에 달타냥(네트 멜론)을 3기작에 PMR헐크(네트 멜론)를 정식하였다. 멜론의 생육 기간은 약 90일이며 수정재배 방식을 활용하여 코어이배지(침: 더스트=5:5)에 정식하여 2022년 2회, 2023년 1회의 3기작 재배를 실증하였다. 멜론의 재배 환경을 파악하기 위해 각 생육기간 동안 스마트 온실 내부 환경 정보를 온도, 습도, CO₂ 농

도, 배지 온도, 배지 습도, 배지 EC 등에 대하여 모니터링하였다. 생육기간을 거친 과실의 품질을 측정하기 위해서는 과중(Fruit weight), 당도(Fruit sweetness), 과육의 강도(Fruit flesh hardness)의 값을 측정하여 비교하였다.

과실의 중량은 일반 저울을 사용하여 측정하였고, 과실의 당도는 브릭스 미터(Master-53T, ATAGO co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 과육에 대하여 측정하였다. 과육의 경도는 과육의 중앙 부위를 5 × 5 × 5 cm³ 크기로 절단한 후 경도계(TA-XT2, Stable Micro Systems Co. Ltd., Godalming, England)를 이용하여 샘플의 중앙을 5 mm probe를 사용하여 2 mm/sec의 속도로 통과시키며 측정하였다. 멜론 실증 온실의 모습과 재배한 과실의 사진은 Fig. 4와 같다.



Fig. 4. Melon growing facility and fruit grown in the research greenhouse.

Table 1. Groundwater and filtered rainwater quality

분석항목	빗물 필터 전	빗물 필터 후	지하수	농업용수 지하수 수질기준
pH	7	7	6.83	6.0~8.5
Cl ⁻	6.7 mg/L	2.7 mg/L	7.13 mg/L	250 mg/L 이하
NO ₃ -N	0.9 mg/L	1.2 mg/L	1.14 mg/L	20 mg/L 이하
As	N.D	N.D	0.02 mg/L	0.05 mg/L 이하
Cd	N.D	N.D	N.D	0.01 mg/L 이하
Pb	N.D	N.D	0.03 mg/L	0.1 mg/L이하
Ca ²⁺	-	-	12.31mg/L	10~100 mg/L

* N.D.: Not Detected

3. 결과 및 고찰

3.1. 빗물과 지하수의 수질분석결과

빗물이용장치를 활용하여 얻은 빗물의 활성탄 카트리지를 필터 통과 전 후의 빗물 및 지하수의 수질을 측정하여 Table 1에 나타내었다. 분석결과에 따르면 활성탄 카트리지를 통과하기 전후의 빗물은 수질에서 모두 pH, Cl⁻, NO₃ -N, As, Cd, Pd, Ca²⁺ 등 모든 항목에서 수질 분석기준을 충족하였다. 지하수와 비교하였을 때도 빗물은 대체적으로 지하수와 유사한 결과 값을 보여주었으며, 특히 Ca²⁺ 및 Cl⁻의 농도에 있어 더 낮은 값을 나타내었으므로, 농업용수로서 지하수에 비하여 더 우수한 수질을 가지고 있다고 평가할 수 있다. 특히 지하수의 경우 지역에 따라 다르지만, 석회암 지질 지역에는 Ca²⁺ 등의 농도가 높은 경우가 많고(Kim et al., 2016), 염지하수가 혼합되는 해안가에서는 염분 농도가 높을 가능성이 높는데 이들 이온의 존재는 작물 생장에 부정적인 영향을 줄 수 있다(Kim, 2009). 농업용 수질에 용해된 과도한 이온농도는 토양 및 작물에 물리 화학적으로 영향을 미쳐 작물 생산성 감소를 야기한다(Ebong et al., 2017). 반면 빗물의 경우에는 강우시 대기 상태 및 어떤 표면을 거쳐 유출되었는가에 따라 수질이 변화할 수 있지만, 본 연구에서는 5 L 용량 4개, 4단계의 필터를 활용하여 빗물을 처리하여 일정한 수질을 유지하도록 고안한 장치를 활용하였기 때문에 일정한 수질을 기대할 수 있다. 빗물 처리에 적용한 활성탄 카트리지를 필터의 사용용량은 적용용량의 25,000배까지 정화가 가능하고 PC 또는 모바일을 통하여 필터의 수명 및 교체 주기를 확인할 수 있어 기준치 이내의 비교적 일정한 수질을 유지할 수 있다.

3.2. 빗물의 지하수 대체량

작물 재배에 필요한 수분공급량을 빗물로 대체하였을

때의 효율을 파악하기 위해 빗물과 지하수의 사용량을 비교하였다. 3개의 빗물처리구 및 2개의 지하수처리구에서 측정된 물 사용량의 데이터를 기반으로 일일 지하수 사용량(Daily GW Used, unit:ton), 일일 빗물 사용량(Daily Rain Water Used, unit:ton), 빗물의 대체가 없을 경우 총 물 필요량(Cumulative Total Required, unit:ton), 빗물 대체 후 총 지하수 사용량(Cumulative GW Used, unit:ton)을 계산하여 Fig. 5-7에 나타내었다. 각 그림은 각기 다른 재배 기간동안 해당 지역의 강수량 및 온실 물사용량을 측정한 결과이다. Fig. 5는 2022년 4월부터 6월 말까지 1기작, Fig. 6은 2022년 6월 말부터 10월 초까지 2기작, 그리고 Fig. 7은 2023년 4월 중순부터 7월 초까지 3기작의 세 번의 멜론 경작에 대한 실증 결과이다. 물 사용량의 계산 결과, 재배 기간 동안의 누적 지하수 사용량과 총 수분공급량을 비교해보면 1기작에서 약 508톤, 2기작에서 약 835톤, 3기작에서 약 600톤 정도로 약 40% 정도의 빗물이 지하수 대신 사용된 것을 알 수 있다. 한 연구에 따르면 제주도 의귀지역과 위미지역은 대용량 빗물이용시설을 설치할 경우 의귀지역은 100,341 m³/년, 위미지역은 82,479 m³/년을 농업용수로 공급 가능한 것으로 분석되었다(Kim et al., 2020). 즉, 빗물 재활용은 지하수 의존도를 감소시키는 중요한 대안으로 간주될 수 있으며, 이는 자원의 효율적인 관리와 지속 가능한 농업 시스템 구축에 기여된다고 판단된다.

작물의 물 사용량은 작물에 따라 다르며, 작물 재배 기간 동안의 지역별 강수량이 다르므로 일정 재배 면적의 작물 재배를 위한 물 사용량을 산정하는 것은 일반화하기 어려운 부분이 있다. Maeng et al.(2018)은 충청북도 보은군의 옥수수 재배지에 대하여 빗물 저류조의 적정용량을 산정하기 위한 모의 계산을 수행하였는데, 이를 위해 50년 빈도 및 100년 빈도의 평균 강수량 데이터를 활용하였다. 본 연구에서는 실제 작물 작기 동안의 강수량을

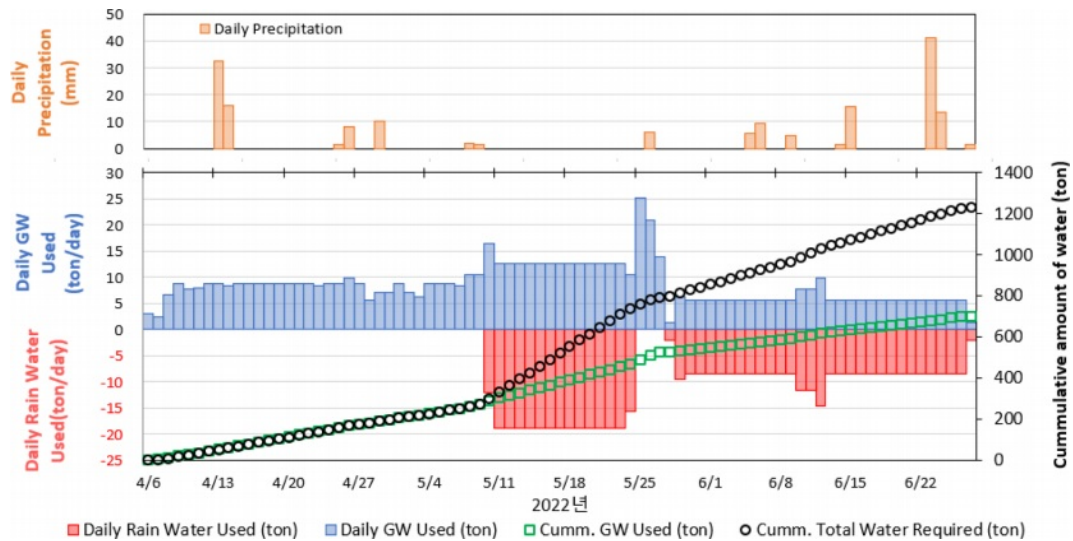


Fig. 5. Comparison of daily and cumulative usage of groundwater and rainwater during the first growing batch (cultivation period: April 6 to June 27, 2022). The usage of rainwater is shown as a negative number to indicate groundwater substitution.

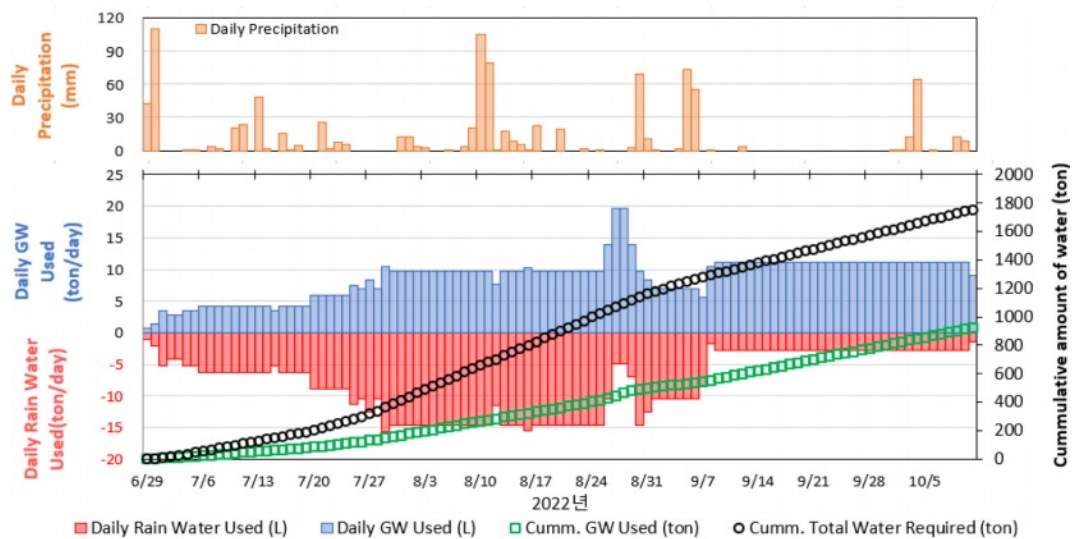


Fig. 6. Comparison of daily and cumulative usage of groundwater and rainwater during the first growing batch (cultivation period: June 29 to October 12, 2022). The usage of rainwater is shown as a negative number to indicate groundwater substitution.

이용하여 실증을 수행하였다는 데에 의미가 있다. 물론 같은 지역이라도 강우의 집수면적 및 빗물 저장 시설의 규모와 작물 재배시 필요한 물의 양 등에 따라 빗물의 지하수 대체율은 달라질 수 있다. 일반적으로 농촌에서 지하수 펌핑을 위해 사용하는 농업용 전기료는 저렴하며, 지하수 자체는 무료로 사용이 가능하므로 산발적으로 존재하는 농가들에 의한 지하수 이용은 무분별하게 이루어지고 있다.

3.3. 빗물 사용에 따른 멜론 품질 비교 결과

멜론 스마트 온실 내부 환경 정보는 생육 전 기간 평균으로 22년 1기작은 온도 26°C, 습도 53%, CO₂ 243 ppm, 배지 온도는 26°C, 배지 습도 40%, 배지 EC는 0.1이었고, 2기작은 온도 28°C, 습도 66%, 배지 온도 27°C, 배지 습도 35%, 배지 EC 0.1이었다. 1기작 비해 2기작에는 온도가 2°C 이상 높아지고 습도도 16% 높아 배지 온도가 30°C 이상 되는 기간이 많아 근권부 피해가 발생한 것으로 분석되어, 과실 품질 면에서 전반적으로 1

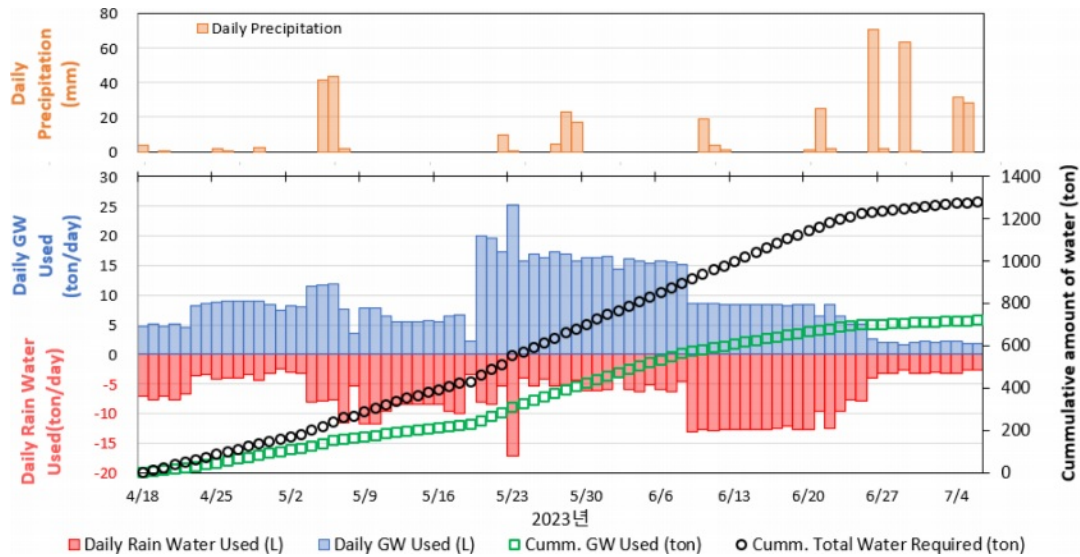


Fig. 7. Comparison of daily and cumulative usage of groundwater and rainwater during the first growing batch (cultivation period: April 18 to July 6, 2023). The usage of rainwater is shown as a negative number to indicate groundwater substitution.

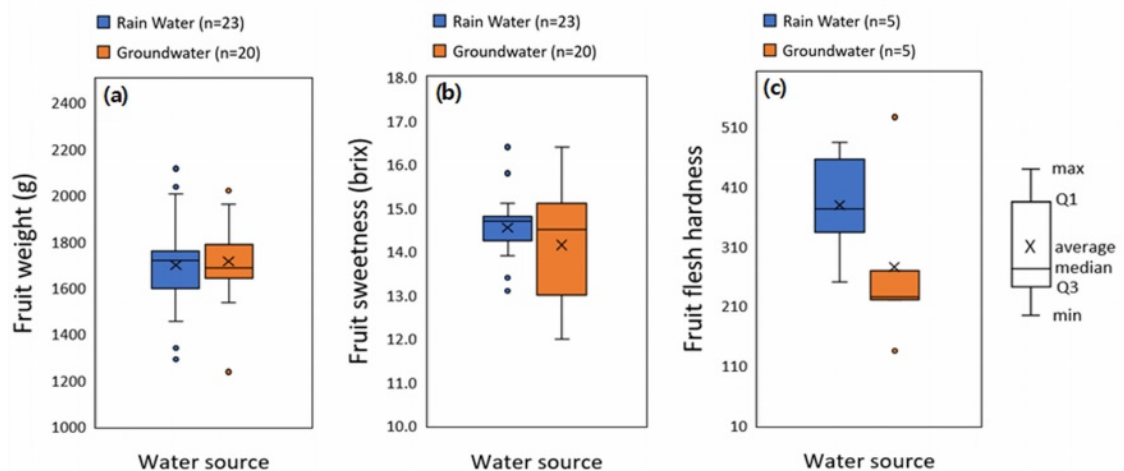


Fig. 8. Comparison of statistics results between fruit weight (a), fruit sweetness (b) and fruit flesh hardness (c) for melon growth using rain water and groundwater.

기작보다 2기작의 결과가 미진한 결과를 보였다. 3기작의 결과 역시 연중 재배시기가 1기작과 비슷한 시기에 재배하여 유사한 결과를 얻었다. 과실의 품질을 비교하기 위한 분석은 1기작-3기작에서 얻은 모든 결과의 통계처리 결과로 Fig. 8에 나타내었다.

빗물과 지하수를 이용하여 재배한 멜론의 품질 항목으로는 과중, 당도, 과육의 강도이다. 과중 측정결과에서 빗물과 지하수 사용 간의 유의미한 차이를 발견하지 못했다. 당도평가에서는 지하수로 재배한 멜론의 경우 당도의 높은 순서로 중량값이 낮고, Q1(상위 25%) 및 Q3(하위 25%)의 값 간에 당도 차이가 더 벌어진다는 사실을 통해

당도 면에서 멜론의 품질이 고르지 않다고 판단할 수 있다. 빗물을 이용한 경우에는 대체적으로 멜론의 당도가 높은 쪽에 결과가 몰려있으며, 측정값 사이의 편차가 적게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 과육 경도 측정 결과는 빗물로 재배한 멜론이 상대적으로 경도가 높게 측정되었다. 과육의 경도가 적절히 높으면 보관 시 유리하며, 과실의 식감을 좋게하므로 멜론 품질이 향상된 결과로 해석할 수 있다. 종합적으로 볼 때, 빗물 사용에 따른 멜론의 생육 크기 변화는 차이가 거의 없으나, 멜론의 품질 면에서 다소 향상된 결과를 얻었다. 이는 처리 장치를 거친 빗물의 경우, 이온 농도가 낮고 수질이 일정하므로 경도 및

염도가 높으며 계절적 차이에 의해 수질의 변화가 나타나는 지하수에 비하여 관개수로 유용함을 보여준다. 뿐만 아니라 지하수 대신 빗물을 활용함으로써 지역 지하수 고갈을 막을 수 있는 환경 보존의 효과를 기대할 수 있다.

4. 결 론

현재 국내 대부분의 농업용수로 사용되는 지하수는 제한된 자원으로, 이를 대체할 수자원의 확보가 필요하다고 생각한다. 빗물은 환경, 경제, 그리고 지속가능성 측면에서 뚜렷한 이점을 제공하여, 농업 부문에서 자원 효율성을 향상시키며 물 부족 문제를 완화하고 지역 간극을 감소시킴으로써 농업 생산성과 환경 지속가능성을 동시에 촉진할 수 있는 유망한 대체 수자원으로 간주된다.

본 연구에서는 시설원예에서 빗물이 지하수를 대체할 수 있는지에 관하여 실제 작물 재배를 병행하며 스마트팜 현장에서 연구를 진행한 결과를 통해, 400 m²의 집수 규모에 6톤 규모의 빗물 장치를 설치할 경우, 40% 정도의 지하수 사용량 대체 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 빗물과 지하수의 수질을 분석한 결과, 빗물이용장치를 거쳐 처리된 빗물은 지하수에 비하여 관개수로서 수질이 우수함을 확인하였다. 더불어 통계적 유의성을 추가 연구를 통해 확인할 필요가 있겠으나, 멜론의 품질 향상에 도 빗물 사용이 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 가능성을 확인하였다. 이는 빗물 재활용을 통해 장기적으로 농가 지역의 지하수 부존량을 확보하며, 농가 소득 증대에 기여할 수 있다는 면에서 긍정적인 결과라고 사료된다.

본 실증 연구 결과를 통해 시설원예 운영 시 지하수를 대체할 수 있는 방안으로 빗물 사용이 적합한 방법이라는 결론을 얻었으며, 스마트팜 환경에서 빗물 재활용이 지하수 의존도를 줄이는 중요한 방안으로 작용할 수 있음을 시사한다. 이것은 특히 양질의 수자원 공급이 제한적인 지역에서 매우 중요한 시사점이 될 수 있다. 본 연구 결과는 스마트팜 환경에서의 빗물 재활용 가능성을 입증하였으며, 이를 통해 자원 관리의 효율화와 지속 가능한 농업 시스템 구축 시 활용 가능한 실증 데이터를 제공한다는 의미가 있다.

사 사

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421007-04).

References

- Ebong, E.D., Akpan, A.E., Emeka, C.N., and Urang, J.G., 2017, Groundwater quality assessment using geoelectrical and geochemical approaches: case study of Abi area, southeastern Nigeria, *Appl. Water Sci.*, **7**, 2463-2478.
- Januszkiewicz, K. and Jarmusz, M., 2017, Envisioning urban farming for food security during the climate change era. Vertical farm within highly urbanized areas, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, **245**(5), 052094.
- Jeon, C.H., Raza, M., Lee, J.-Y., Kim, H., Kim, C.-S., Kim, B., Kim, J.-W., Kim, R.-H., and Lee, S.-W., 2020, Countrywide groundwater quality trend and suitability for use in key sectors of Korea, *Water*, **12**(4), 1193, <https://doi.org/10.3390/w12041193>
- Kim, H.-J., Hamm, S.-Y., Kim, N.-H., Cheong, J.-Y., Lee, H.-J., and Jang, S., 2009, Characteristics of groundwater contamination caused by seawater intrusion and agricultural activity in Sacheon and Hadong Areas, Republic of Korea, *Econ. Environ. Geol.*, **42**(6), 575-589.
- Kim, J., Ryoo, R., Lee, J., Song, D., Lee, Y.-J., and Jun, H.-B., 2016, Study on major mineral distribution characteristics in groundwater in South Korea, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **38**(10), 566-573.
- Kim, M., Park, W., and Kang, B., 2020, A study on the appropriate size of large rainwater utilizing facilities and estimation of agricultural water availability in namwon eup, Jeju Island, *J. Soil Groundwater Environ.*, **25**(1), 84-94.
- Maeng, S.J., Hwang, J.H., and Lee, S.W., 2018, The process and application cases of determining the capacity of rainwater reservoirs for agricultural use, *Rural Resources*, **60**(3), 38-44.
- Ministry of Environmet (MOE), 2018 Groundwater Quality Measurement Network Operation Results Report, MOE and National Institute of Environmental Research. <https://books.google.co.kr/books?id=ay8TzgEACAAJ> [accessed 23.09.08]
- Mok, J.K., Jang, B.J., Park, Y.C., Shin, H.S., Kim, J.H., Song, S.J., and Hawng, G.Y., 2022, Time series analysis of groundwater level change in the chuncheon area groundwater observation network, *Engineering Geology*, **32**(2), 281-293.
- Park, J.K., 2020, Analysis of drought considering the climate change and research of agricultural water supply in Jeju Island, A doctoral dissertation, Jeju National University.
- Republic of Korea Policy Briefing, <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148719646> [accessed 23.09.01]
- Sim, J.W., 2009, A study in analysis and developmental potentiality of rainwater use on public facilities, A master thesis, Chonnam National University.