

자주식 시금치 수확장치에 적용된 유압시스템의 잉여유량 분석

Analysis of Surplus Flow in a Hydraulic System Applied to a Self-propelled Spinach Harvester

노대경¹ · 이동원¹ · 이종수² · 장주섭^{3*}

Dae Kyung Noh, Dong Won Lee, Jong Su Lee and Joo Sup Jang

Received: 17 Jan. 2022, Revised: 10 Feb. 2022, Accepted: 15 Feb. 2022

Key Words : Spinach harvester(시금치 수확장치), Oil temperature(유온), Surplus flow(잉여유량), Occasional performance deterioration(간헐적 성능저하), SimulationX(시뮬레이션엑스)

Abstract: This study dealt with a self-propelled spinach harvester, which is capable of carrying out sequential harvesting work. This study aimed to find the cause of the harvester's occasional performance deterioration, which occurs in the process of simplifying the hydraulic circuit, using a multi-domain analysis model. The study was carried out in the following manner. First, a hydraulic system analysis model, which combines linear motion, rotary motion, hydrodynamic behavior, and an electrical signal, was developed through SimulationX software, specialized in multi-domain analysis. Second, a scenario for single behavior and coupled behavior was set out on an actuator basis. Third, the flow rate of the hydraulic system, which is not required for the movement of the actuator, was quantitatively analyzed. The results showed that a change in oil temperature was the cause of the harvester's occasional performance deterioration. And the higher the oil temperature, the more serious the performance deterioration, especially as the number of actuators operated simultaneously was small.

1. 서 론

노령화로 인한 인구구조의 거시적인 변화와 젊은 사람들의 탈농촌 현상으로 인하여 농업에 종사하는 인력들의 평균연령은 점점 증가하고 있다. 이러한 농촌의 노령화 현상은 농사에 사용되는 노동력의 감소로 이어지며, 결국 수확량과 관련되어 국가적인 식량안보 문제를 초래할 수 있다¹⁾.

현재 온실, 온상, 비닐하우스 등을 활용한 속성재

배 영역에서는 노동력을 경감시키기 위한 실내형 스마트팜 보급에 힘입어 농업의 지능화 및 자동화가 상당부분 이루어지고 있다²⁾. 하지만 노지재배의 경우에는 작물에 따라 여전히 파종과 수확 등을 인력에 전적으로 의존해야 하는 경우가 많은 현실이다. 특히, 우리나라 먹거리중 하나인 시금치의 수확이 그러하다³⁾. 시금치는 땅속에 있는 뿌리의 상단부분까지를 절단하여 수확하여야 하는데, 이러한 작업은 보통 Fig. 1에서와 같이 인력에 대부분 의존하고 있다. 노지재배에서 농촌인구의 감소와 노령화는 결국 한 사람이 관리해야 하는 밭의 면적이 크게 증가하는 것을 의미하여, 이를 해결하기 위하여 Fig. 2와 같은 자주식 시금치 수확장치를 개발하였다.

자주식 시금치 수확장치는 추후 무인운전을 염두에 두고 개발하여 무선 원격조종이 가능하고, 내연기관에 유압시스템을 연결하여 가혹한 작업조건에서도 작업이 가능하도록 설계되었다. 하지만 생산단가가 너무 높아서 농촌 보급에 어려움이 있다고 판단하여,

* Corresponding author: jjs1@gachon.ac.kr

1 Daegu, Gyeongbuk Branch, Korea Institute of Science and Technology Information, Daegu 41515, Korea

2 R&D center, DAESIN ACM, Yecheon 36815, Korea

3 Department of Mechanical Engineering, Gachon University, Seongnam 13120, Korea

Copyright © 2022, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Fig. 1 Harvesting spinach



Fig. 2 Self-propelled spinach harvester

개발기업에서는 유압시스템의 구성부품을 저가형으로 바꾸고, 유압회로를 단순화하여 보급형으로 설계 변경을 진행하게 되었다. 보급형 시금치 수확장치는 작동 초기에는 기 개발된 자주식 시금치 수확장치와 비등한 성능을 보여주었으나, 연속으로 작업하는 시간이 지날수록 작업속도가 현저히 느려지는 간헐적 성능저하 현상에 직면하게 되었다.

본 연구는 멀티도메인 해석모델을 이용하여 보급형 기술개발 과정에서 발생한 간헐적 성능저하 현상에 대한 해결책을 제시하기 위하여 해석모델을 개발하고 다양한 해석시나리오를 통해 원인을 규명하는데 목적이 있다. 연구는 직선운동, 회전운동, 유체거동, 전기적신호 등이 복합적으로 구현된 유압시스템 해석모델을 멀티도메인 해석 전문 소프트웨어인 SimulationX를 통해 개발하고, 액추에이터 단위로 단일거동과 복합거동의 시나리오를 수립하여, 운동에 소요되지 못하는 유압시스템의 유량을 정량적으로 분석하는 순서로 진행된다^{4),5)}.

2. 해석모델 개발

분석 대상인 자주식 시금치 수확장치는 초기 개발한 시스템에서 3차례 수정을 통해 현재 시스템이 된 상태이다. 유압 회로도가 단순화되면서 많은 밸브들의 생략 및 교체가 있었고, 공학적 접근이 아닌 경험

에 의한 시행착오방식으로 시스템을 3차례 수정하였기에 현재 기준의 유압회로도가 존재하지 않는 상태이다. 이에 해석모델을 개발하기 위하여 Fig. 3과 같이 장치를 직접 분해하여 해석모델을 개발하였다.

시금치 수확장치는 2개의 주행모터와 4종의 작업기에 유량을 공급하기 위하여 2개의 펌프가 사용되고 있으며, 6개의 방향제어밸브와 5개의 유량제어밸브, 3개의 압력제어밸브가 적용되어 있다. 액추에이터는 5개의 유압모터와 1개의 실린더가 적용되어 있으며, 각 역할은 다음과 같다. 우선 좌우바퀴 구동을 위한 주행모터 2개와 흙을 걷어내는 회전 장치에 연결된 유압모터 1개, 시금치의 뿌리를 잘라내는 커팅 장치에 연결된 유압모터 1개(유압모터에 크랭크축을 연결하여 직선 왕복운동으로 변환), 수확된 시금치를 이송하는 컨베이어에 연결된 유압모터 1개, 수확장치의 자세를 조정하는 실린더 1개이다.

컨베이어, 커팅 장치, 회전 장치에는 모터를 구동하고 탱크로 회귀하는 유량을 제어하기 위하여 각 장치별로 체크밸브 내장형 유량제어밸브가 장착되어 있고, 리프트에는 실린더의 압축방향과 인장방향 모두 속도제어가 가능하도록 2개의 체크밸브 내장형 유량제어밸브가 장착되어 있다.

압력제어밸브는 시스템 메인압력을 제어하기 위한 메인릴리프밸브 1개와 펌프에 내장되어 있는 릴리프밸브 1개, 리프트 라인에 연결되어 있는 릴리프밸브 1개로 구성되어 있다. 매니폴드 내부에서 릴리프밸브 3개 모두 병렬로 연결되어 있기에 제일 낮은 압력으로 설정되어 있는 메인릴리프밸브를 제외한 나머지 2개의 릴리프밸브는 시스템 압력에 영향을 미치지 못하도록 설계되어 있다.

유압시스템 구동에 사용되는 작동유는 HLP46계열의 합성오일이 사용되었다.

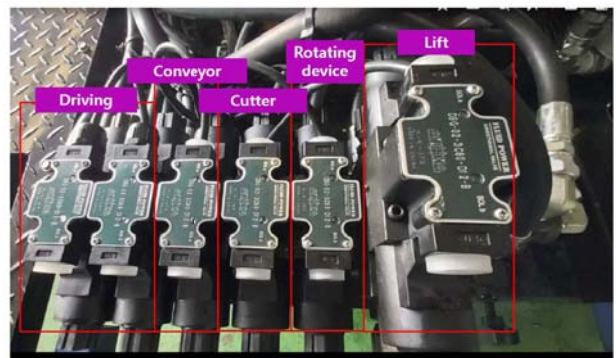


Fig. 3 4port/3position directional control valves

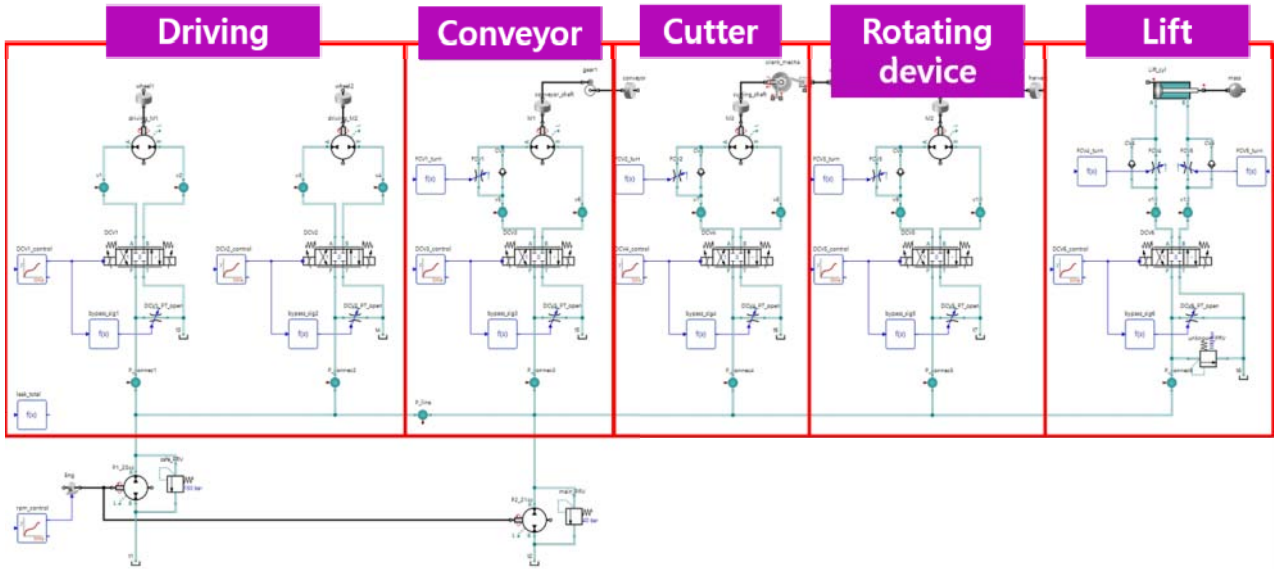


Fig. 4 Multi domain analysis model

위와 같은 시스템 구성부품을 반영하여 Fig. 4와 같이 해석모델을 개발하였으며, 이는 보급을 위하여 3차례 수정 설계되어 성능저하 현상이 발생한 유압 회로를 대상으로 한 것이다. 각 밸브 및 액추에이터의 제원은 시금치 수확장치 개발 기업으로부터 테크니컬데이터를 제공받아 해석모델에 적용하였다.

3. 잉여유량 분석

현재 시금치 수확장치에는 아무런 작업과 주행을 하지 않는 아이들(Idle) 상태에서 시스템에 가해지는 부하를 최소화하기 위한 목적으로 오픈센터형(P-T 접속형) 방향제어밸브가 적용되어있다. 이러한 설계는 아이들 상태에서 안정적이지만, 작업기나 주행을

하여 유압시스템에 압력이 형성될 때는 액추에이터 운동에 소요되어야할 유량이 중립상태의 방향제어밸브를 통해 탱크로 회귀하는 유량손실이 발생하게 된다^(6,7). 이러한 유량손실을 분석하기 위한 해석 시나리오는 실제 작업이 가능한 다양한 동작을 반영하여 수립하였으며, Table. 1과 같다. 또한 작동유 유온 변화에 따른 시스템의 거동을 분석하기 위하여 각 동작 시나리오별로 30/60/90℃로 온도조건을 구분하여 해석을 진행하였다. 메인릴리프밸브 설정압력은 70bar이고, 펌프는 21cc/rev와 20cc/rev로 배제용적이 고정되고, 1800rpm으로 가속 후 유지하는 조건으로 해석을 진행하였다.

해석에 사용된 솔버는 BDF Method이고, 허용 상대 오차는 1e-06, 절대오차는 1e-07로 해석을 진행하였

Table 1 Analysis scenario based on directional control valve signal

Operation classification	DCV1 signal	DCV2 signal	DCV3 signal	DCV4 signal	DCV5 signal	DCV6 signal
Left driving motor (turning motion)	O	X	X	X	X	X
Right driving motor (turning motion)	X	O	X	X	X	X
Driving motors (maximum speed)	O	O	X	X	X	X
Driving motors (medium speed)	O(50%)	O(50%)	X	X	X	X
Conveyor (independent)	X	X	O	X	X	X
Cutting device (independent)	X	X	X	O	X	X
Rotating device (independent)	X	X	X	X	O	X
Lift (independent)	X	X	X	X	X	O
Cutting+Rotating	X	X	X	O	O	X
Conveyor+Cutting+Rotating	X	X	O	O	O	X

다. 그리고 계산시스템사이즈는 최소 1e-12에서 시나리오별로 상황에 맞게 변환하여 해석을 진행하였다. 이러한 해석조건은 다양한 유압시스템 해석을 통해 검증이 된 조건이다^{8)~10)}.

3.1 주행모터 좌우 독립

시금치 수확장치는 험지 주행이 필수적인 요소로 바퀴에 무한궤도가 적용되어 있다. 주행모터의 독립 동작은 험지탈출 또는 경로전환을 위하여 선회하고자 할 때 한쪽 바퀴만을 구동해야 하는 상황을 모사한 것이다⁶⁾. 한쪽 주행모터에 연결된 방향제어밸브(DCV1, DCV2)에 독립된 신호를 주어 한쪽 바퀴만 최대속도로 구동하면 Fig. 5와 같은 해석 결과를 얻을 수 있다. 우선 유온이 30°C(저온)일 때 주행모터 회전속도는 135.04rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.31lpm이다. 그리고 유온이 60°C(중온)가 되면 주행모터 회전속도는 105.20rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.17lpm이 된다. 마지막 유온 90°C(고온)일 때는 주행모터 회전속도는 96.60rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.68lpm이 된다. 결과를 종합하여보면 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 22.10%의 성능(모터 회전속도) 하락이 이루어지고, 고온이 되면 28.47%의 성능하락이 이루어진다. 그리고 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 2.85% 증가하고, 고온이 되면 3.63% 증가한다.

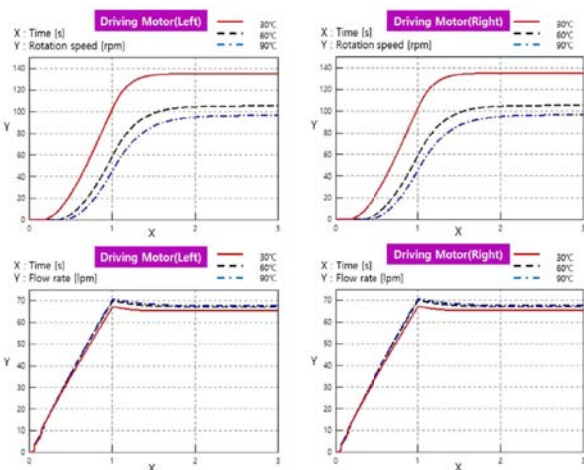


Fig. 5 Analysis results of turning

3.2 주행모터 좌우 동시

시금치 수확장치는 노면 특성과 수확 대상이 되는 작물의 배치에 따라 진행 속도를 조절할 필요가 있

다. 이에 주행모터를 좌우 동시에 최대속도로 주행할 때와 중간속도로 주행할 때를 구분하여 해석을 진행하였고, Fig. 6과 같은 결과를 얻었다.

최대속도 모드에서는 유온 30°C(저온)조건에서 주행모터 회전속도는 143.64rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 56.17lpm이다. 유온이 60°C(중온)가 되면 주행모터 회전속도는 116.62rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 59.47lpm이 된다. 유온이 90°C(고온) 조건이 되면 주행모터 회전속도는 108.97rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 60.38lpm이 된다. 해석결과를 요약하면 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 18.81%의 성능(모터 회전속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 24.14%의 성능하락이 이루어 졌으며, 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 5.88% 증가하고, 고온이 되면 7.50% 증가하는 결과를 얻었다.

중간속도 모드에서는 유온 30°C(저온)조건에서 주행모터 회전속도는 66.94rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.38lpm이다. 유온이 60°C(중온)가 되면 주행모터 회전속도는 52.51rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.18lpm이 된다. 90°C(고온)조건에서는 주행모터 회전속도는 48.21rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.69lpm이 된다. 해석결과를 요약하면 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 21.56%의 성능(모터 회전속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 27.98%의 성능하락이 발생하였으며, 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은

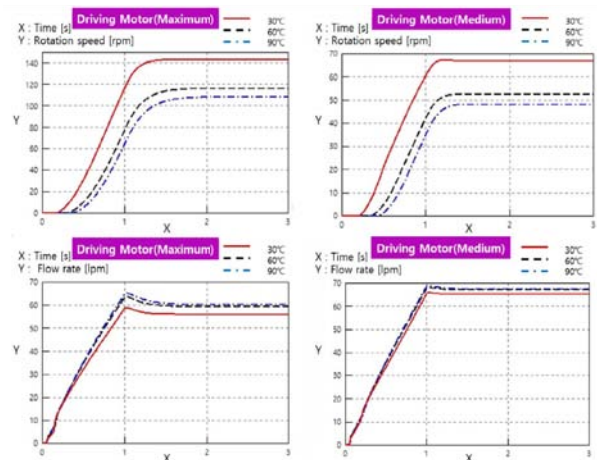


Fig. 6 Analysis results of driving (maximum velocity, medium velocity)

저온일 때를 기준으로 중온이 되면 2.75% 증가하고, 고온이 되면 3.53% 증가하는 결과를 얻었다.

3.3 작업기 독립

시금치 수확장치에는 4종류의 작업장치가 장착되어있고, 상황에 따라 액추에이터의 단독 동작이 요구될 때가 있다. 예를 들어 컨베이어에 수확된 시금치가 과적상태일 때는 컨베이어의 단독 동작을 통해 후면으로 이송시켜야 한다. 그리고 시금치가 밭에 조밀하게 분포된 구간을 수확할 때는 고정 상태에서 커팅 장치만을 구동하여 조밀 구간의 시금치를 절삭하여야 원활한 수확이 이루어진다. 만약 수확과정에서 밭에 돌부리가 발견되어 장치의 전진이 어려운 상황이 온다면 회전 장치만을 단독 구동하여 돌부리와 흙을 파헤쳐야 한다. 마지막으로 리프트는 항상 단독으로만 동작하며, 작물의 절단 위치가 달라질 경우 전체 시금치 수확장치의 높이를 조정하는 역할을 한다.

3.3.1 컨베이어

컨베이어는 유압모터에 체인을 결합하여 구동하는 방식으로 수확된 작물을 수확기 후방으로 이동시키는 역할을 한다. 스로틀밸브를 통해 회전속도를 가변할 수 있게 설계되어 있으며, 해석모델에서는 스로틀밸브의 개도량을 고정시켜 놓고 진행하였고, Fig. 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 유온 30°C(저온)조건에서 컨베이어 회전속도는 55.08rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.70lpm이다. 유온이 60°C(중온)가 되면 컨베이어 회전속도는 43.45rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.40lpm이 된다. 유온 90°C(고온) 조건에서는 컨베이어 회전속도는 40.10rpm이 되고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.86lpm이다. 즉, 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 21.11%의 성능(컨베이어 회전속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 27.20%의 성능하락이 이루어지며, 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온

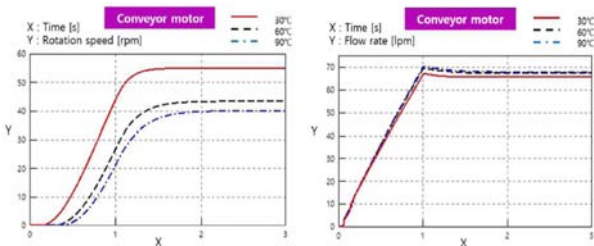


Fig. 7 Analysis results of movement of conveyor

일 때를 기준으로 중온이 되면 2.60% 증가하고, 고온이 되면 3.30% 증가하는 결과를 보여준다.

3.3.2 커팅장치

자동수확기에는 작물을 진동칼날로 절단하는 기구가 포함되어 있다. 이는 유압모터에 크랭크 메커니즘을 적용하여 회전운동을 좌우 진동으로 변환하여 구동되며, 해석에서 진동 칼날의 성능 변화를 정량적으로 살펴보기 위하여 칼날의 변위를 푸리에변환(Fourier transform)을 통해 주파수도메인으로 변환하여 진행하였고, Fig. 8과 같은 결과를 얻었다¹¹⁾. 유온 30°C(저온)에서 칼날 진동수는 1.80Hz이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.70lpm이다. 유온이 60°C(중온)가 되면 칼날 진동수는 1.40Hz이 되고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.40lpm이 된다. 유온 90°C(고온)에서는 칼날 진동수는 1.30Hz이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.86lpm이다. 결과를 종합하여 보면 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 22.22%의 성능(칼날 진동수)하락이 이루어지고, 고온이 되면 27.78%의 성능하락이 이루어지며, 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 2.60% 증가하고, 고온이 되면 3.30% 증가하는 결과를 보여준다.

3.3.3 회전 장치

회전 장치는 유압모터에 회전력 전달기구를 부착하여 구동되며, 유압회로도 상으로는 스로틀밸브를

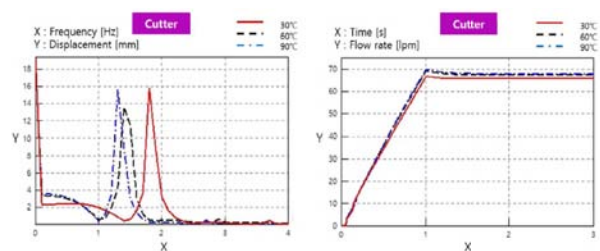


Fig. 8 Analysis results of movement of cutter

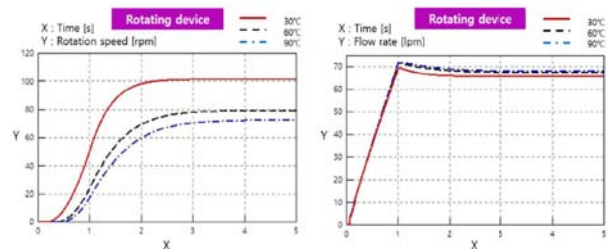


Fig. 9 Analysis results of movement of rotating device

통해 회전속도를 조정할 수 있지만, 해석에서는 개도량을 고정하여 진행하였다. 해석결과는 Fig. 9와 같으며, 유온 30℃(저온)에서 회전 장치 회전속도는 101.47rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.80lpm이다. 유온이 60℃(중온)가 되면 회전 장치 회전속도는 79.19rpm이 되고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 67.54lpm된다. 유온이 90℃(고온)일 때는 회전 장치 회전속도는 72.66rpm이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 68.02lpm이 된다. 즉, 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 21.96%의 성능(회전 장치 회전속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 28.39%의 성능하락이 이루어지며, 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 2.64% 증가하고, 고온이 되면 3.37% 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

3.3.4 리프트

리프트는 수확장치의 높낮이를 조절하는 장치로 유압 실린더 끝단에 회전조인트를 부착하여 바디와 결합된 형태이다. 유압실린더가 인장으로 상사점에 도달하는 과정에서 등속으로 최고속도가 되는 부분을 본 해석을 통해 분석하였으며, Fig. 10과 같다. 유온 30℃(저온)에서 실린더 인장속도는 89.13mm/s이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 62.94lpm이다. 유온이 60℃(중온)일 때 실린더 인장속도는 69.41mm/s이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.32lpm이 된다. 유온 90℃(고온)가 되면 실린더 인장속도는 63.73mm/s이고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 65.98lpm이 된다. 결과를 종합해보면 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 22.12%의 성능(실린더 인장속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 28.50%의 성능하락이 이루어진다. 또한 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 3.78% 증가하고, 고온이 되면 4.83% 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

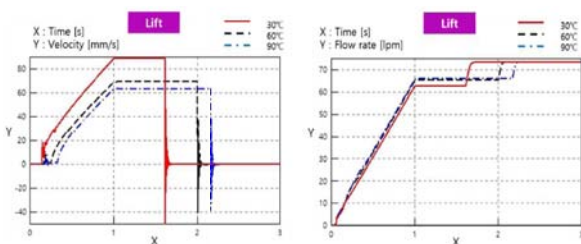


Fig. 10 Analysis results of movement of lift

3.4 작업기 동시

자주식 시금치 수확장치가 실제 밭에서 수확할 때는 리프트를 제외한 모든 작업기가 복합적으로 동작한다. 흙을 파헤치며 시금치를 절단하는 상황을 모사하기 위하여 커팅과 회전을 동시에 시뮬레이션 환경에 구현하였고, 여기에 컨베이어 구동까지 더하여 수확된 작물을 이송하는 동작까지 모사하였다. 앞서 수행한 분석과 마찬가지로 유온 변화에 따른 액추에이터의 성능과 잉여유량의 변화를 중점적으로 분석하였다.

3.4.1 커팅과 회전 동시 구동

절단 기구와 회전 장치는 작물 수확장치의 수확 성능에 가장 큰 영향을 미치는 액추에이터 조합이다. 두 액추에이터가 동시에 구동될 때를 해석모델에 구현하여 유온에 따른 성능 변화를 살펴보았으며 Fig. 11과 같은 결과를 얻었다. 유온 30℃(저온)에서 칼날 진동수는 2.00Hz이고, 회전 장치 회전속도는 108.77rpm이며, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 56.98lpm이다. 유온이 60℃(중온)가 되면 칼날 진동수는 1.60Hz이 되고, 회전 장치 회전속도는 88.47rpm, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 60.09lpm이 된다. 고온 조건인 90℃에서는 칼날 진동수가 1.50Hz, 회전 장치 회전속도는 82.65rpm, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 60.98lpm이 된다. 이를 종합하여 보면 커팅 장치는 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 20%의 성능(칼날 진동수)하락이 이루어지고, 고온이 되면 25%의 성능하락이 이루어진다. 회전 장치는 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 18.66%의 성능 하락이 이루어지고, 고온이 되면

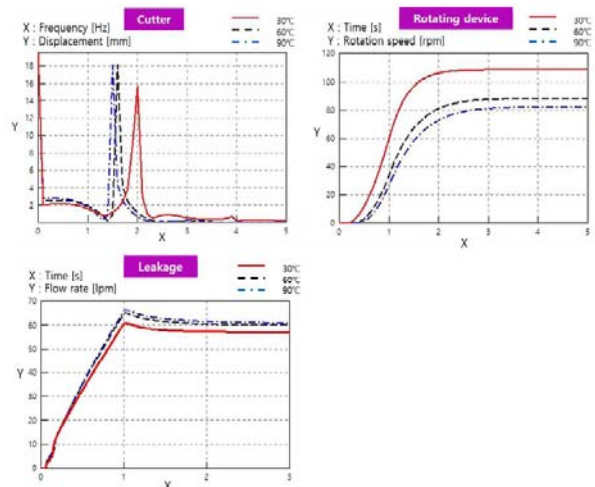


Fig. 11 Analysis results of simultaneous movement of cutter and rotating device

24.01%의 성능하락이 이루어진다. 그리고 방향제어 밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 5.46% 증가하고, 고온이 되면 7.02% 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

3.4.2 컨베이어, 커팅, 회전 동시 구동

앞서 수행하였던 커팅 장치와 회전 장치에 컨베이어의 구동을 추가하여 해석을 진행하였으며, Fig. 12 와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 유온 30°C(저온)에서 칼날 진동수는 2.10Hz, 회전 장치 회전속도는 117.64rpm, 컨베이어 회전속도는 63.71rpm이며, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 46.72lpm이다. 유온이 60°C(중온)이 되면 칼날 진동수는 1.80Hz, 회전 장치 회전속도는 99.91rpm, 컨베이어 회전속도는 54.42rpm이 되며, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량은 50.69lpm이 된다. 유온 90°C(고온) 조건에서는 칼날 진동수 1.70Hz, 회전 장치 회전속도 94.90rpm, 컨베이어 회전속도 51.83rpm이 되고, 운동에 소요되지 못하는 잉여유량 51.78lpm이 된다. 결과를 종합하여 보면 커팅 장치는 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 14.29%의 성능(칼날 진동수) 하락이 이루어지고, 고온이 되면 19.05%의 성능하락이 이루어진다. 회전 장치는 유온이 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 15.07%의 성능(회전 장치 회전속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 19.33%의 성능하락이 이루어진다. 컨베이어는 유온이 저온일 때를 기준으로 기준으로 중온이 되면 14.58%의 성능(컨베이어 회전속도)하락이 이루어지고, 고온이 되면 18.65%의 성능

하락이 이루어진다. 마지막으로 방향제어밸브 센터 P-T접속에 의하여 운동에 소요되지 못하고 탱크로 회귀하는 잉여유량은 저온일 때를 기준으로 중온이 되면 8.50% 증가하고, 고온이 되면 10.83% 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 자주식 시금치 수확장치의 해석모델을 개발하고, 주행모터와 작업 장치에 대한 다양한 해석 시나리오를 수립하여, 액추에이터의 성능하락과 운동에 소요되지 못하는 잉여유량에 대한 분석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시금치 수확장치는 오픈센터(P-T 접속형) 밸브의 적용으로 액추에이터의 단독 동작 또는 복합 동작에서 운동에 소요되지 못하는 잉여유량이 발생한다.
- 2) 시뮬레이션 상으로 유온이 상승함에 따라 액추에이터의 성능하락이 심화되고, 잉여유량은 증가하는 결과를 보여주었으며, 이는 실제 시금치 수확장치의 간헐적 성능저하 현상의 원인이 유온상승에 따른 작동유의 점도 하락에 있음을 말해준다.
- 3) 작업 장치를 독립적으로 구동할 때 유온에 따른 성능하락이 심화되는 경향을 보여주었으며, 동시에 구동하는 액추에이터의 숫자가 많아질수록 유온상승에 따른 성능하락의 폭이 둔화되는 경향을 보여준다.

본 연구에서 개발된 해석모델을 활용하여 실제 시금치 수확 연속작업에 사용되는 모든 액추에이터를 동시에 구동할 때(주행과 작업 동시 구동)를 가상환경에 구현하여 성능 및 잉여유량 변화를 살펴볼 필요가 있다. 그리고 그 결과를 본 연구결과와 종합·분석하여 유온에 영향을 받지 않고, 잉여유량을 활용하는 근본적 방법론에 대한 후속연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국과학기술정보연구원 「수요대응형 지역혁신 생태계 활성화 및 AI 솔루션 실용화 지원 체제 구축」 사업의 지원을 받아 진행되었습니다.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

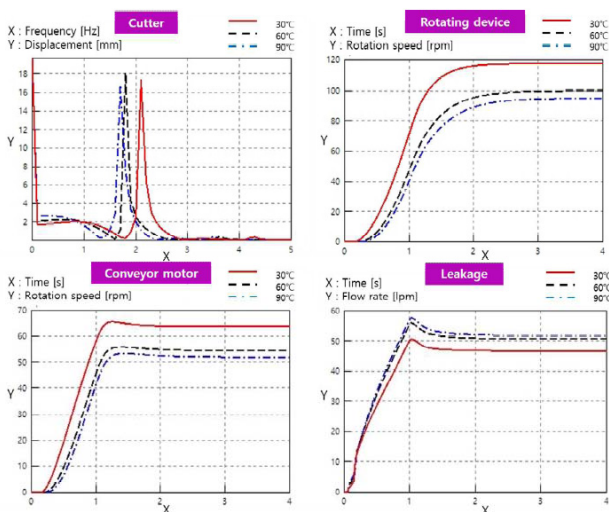


Fig. 12 Analysis results of simultaneous movement of conveyor, cutter and rotating device

References

- 1) J. S. Kim and E. K. Kim “Agricultural Autonomous Robots System for Automatic Transfer of Agricultural Harvests”, Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences Vol.16, No.4, pp.749-754, 2021.
- 2) Y. T. Ju, S. C. Kim and E. K. Kim, “Development of a Low Cost Smart Farm System for Cultivating High Value-added Specialized Crops” Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences Vol.16, No.4, pp.743-748, 2021.
- 3) H. J. Jun et al., “Development of a Harvester for Crawled Spinach”, Journal of Biosystems Engineering, Vol.30, No.4, pp.210-219, 2005.
- 4) D. K. Noh, D. S. Jung, and J. S. Jang, “Developing Analysis Model for Evaluation of HCVT Materialization Possibility, and Examining It’s Characteristics”, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.24, No.1, pp.39-46, 2016.
- 5) Y. H. Yoon and J. S. Jang, “SimulationX, Multi-domain Simulation and Modeling Tool for the Design, Analysis, and Optimization of Complex Systems”, Journal of Drive and Control, Vol.9, No.1, pp.56-69, 2012.
- 6) G. H. Lee et al., "Development of Analysis Model of Pressure-Flow-controlled Swash Plate Type Pump for Evaluating Feasibility of Design", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol.25, No.4, pp.53-63, 2016.
- 7) J. M. Jin, "Development of an Analysis Model Swash Plate Angle-the Load-flow of Swash Plate-type Hydraulic Piston Pump", Gyeongsang National University Graduate School Master’s Thesis, 2017.
- 8) D. K. Noh and J. S. Jang, "Shape Design Sensitivity Analysis Case of the Valves installed in the Hydraulic Driving Motor", Journal of Korea Society for Simulation, Vol.22, No.3, pp.81-87, 2013.
- 9) D. K. Noh et al., "Case of Developing Analysis Model for Recoil System for Automatic Gun", Journal of Korea Society for Simulation, Vol.24, No.4, pp.35-41, 2015.
- 10) D. K. Noh et al., “Lubricant Flow Analysis for Effective Lubrication of Tractor Forward/reverse Clutch”, Heliyon, Vol.3, No.4, e00295, 2017.
- 11) D. K. Noh et al., “Development of Analysis Model and Sensitivity Analysis for High-Power Hydraulic Drifter Design”, Journal of the Korea Society for Simulation, Vol.27, No.2, pp.11-24, 2018.
- 12) Fluid Power China, Technical Data.