

착유로봇을 위한 매니플레이터 개발

A Robotic Manipulator of a Cow Milking System

김 옹* 이대원* 김현태* 김동우* 최동윤** 한정대** 권두중**
정회원 정회원 정회원 정회원

W. Kim D.W.Lee H.T.Kim D.W.Kim D.Y.Choi J.D.Han D.J.Gun

1. 서론

낙농에서의 착유는 낙농가들에게 있어서 소와 함께 할 수 있는 즐거운 작업이다. 그러나 요즘의 낙농은 점차 사육두수가 증가하여 50두 이상 농가가 큰 폭으로 증가하고 있다. 이에 따라 우유생산성이 증가하는 이점이 있으나, 반면에 낙농가는 장시간의 착유작업을 해야한다는 어려움이 있다. 낙농의 경영형태는 대규모 낙농과 가족경영형태로 나눌 수 있다. 여러 낙농가가 공동으로 경영하는 대규모 낙농은 낙농가만으로는 작업을 할 수 없는 실정이기 때문에 고용인을 돕으로써 부족한 노동력을 충당하고 있다. 네덜란드를 중심으로 한 유럽의 선진 낙농국들과 일본, 우리 나라와 같은 가족경영형태에서는 현실적으로 고용인을 두기 어렵기 때문에 고용인을 대신할 수 있는 한 다른 형태의 노동력을 줄일 수 있는 작업방법이 필요하다. 현재 우리 낙농업의 기존 착유시설은 80%이상이 고가의 수입제품에 의존하고 있는 실정이므로 농가에게는 매우 큰 부담으로 작용하고 있다. 이런 시점에서 우리가 해결할 수 있는 방법은 노동집약적인 농업에서 로봇착유와 같은 자동화기술을 접목시킨 기술 집약적 농업으로 바뀌어나가는 것이다.

본 연구는 착유자동화시스템(AMS : Automatic Milking System)을 통해 기술 집약적 낙농업의 발전과 노동력 절감, 착유시설의 국산화를 통한 농가 시설비 절감을 위해 수행되었다. 이를 위해서 착유자동화시스템의 기초가 되는 로봇착유기의 가장 기본적인 시스템 중에 하나인 착유컵 자동 착탈을 위한 매니플레이터(manipulator)의 개발에 있다.

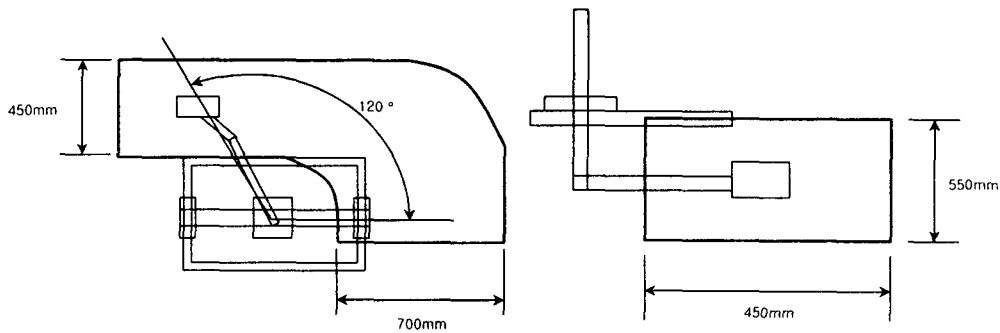
2. 재료 및 방법

본 연구에서는 3차원 설계 컴퓨터 프로그램인 3D Studio Max를 이용하여 설계하였으며, 각 프레임 및 부품은 0.001mm의 정밀도를 가진 CNC조각기를 사용하여 제작하였다. 또한 착유실내의 습기와 오물 등으로 인한 부식을 감안하여 내부식성 재료인 알루미늄 계열의

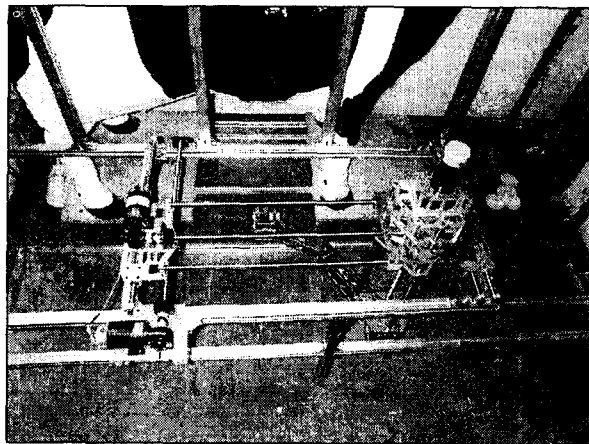
* 성균관대학교 생물기전공학과

** 농촌진흥청 축산기술연구소

드랄미늄과 합성수지인 ABS수지를 사용하여 시스템을 제작하였다. 먼저 $40 \times 40\text{mm}$ 의 알루미늄 프로파일을 사용하여 x축 길이가 1050mm , y축 길이가 750mm 인 기본틀을 제작하였으며, x축의 착유공정의 교체를 고려해 최대이송거리는 700mm , y축은 유두의 위치를 고려하여 최대이송거리가 450mm , z축의 최대이송거리는 550mm 로 하였다. 각 착유공정의 교체를 위해 본 시스템의 기본 운동 외에 650mm 의 길이를 가진 팔이 120° 의 회전을 할 수 있게 한 직각 좌표형 매니플레이터를 제작하였다. Fig. 1, Fig. 2는 본 연구에서 설계된 매니플레이터의 작업범위와 실제 제작된 그림이다.



<Fig. 1> Working area of the cartesian manipulator



<Fig. 2> Picture of the manipulator

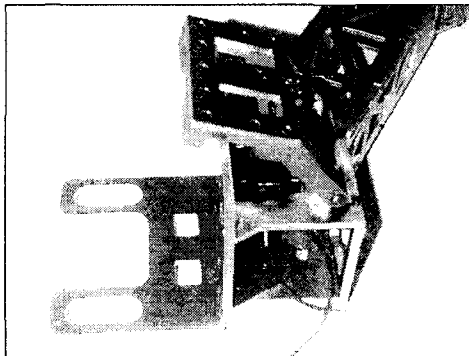
본 연구에서 제작된 매니플레이터의 필요한 모터의 토크를 구하기 위해 모든 마찰, 비틀림, 굽힘은 무시하고 강체로 가정하였다. 소요토크를 구하기 위해서 구동장치로 사용한 스크류의 치수를 알아보면, 반지름 $r = 8.375\text{ mm}$, 피치(pitch) = 5 mm , 사선 길이 $L = 52.859\text{ mm}$ 이며, 가속도 a 를 구하기 위해 최대속도일때 0.5m 를 1초 에 이동한다고 설정하였다. Z축의 모터토크는 수직으로 작동하므로 중력가속도 $g = 980\text{ cm/s}^2$ 을 고려하여 구하였다. 작

업기의 교체를 위한 그리퍼는 SA -2402타입으로 정격전압은 AC100V, 힘은 1kg, 작동거리는 15mm인 솔레노이드를 사용하여 제작하였으며, 작동원리는 해당 작업기가 그리퍼 안쪽에 위치한 리미트 스위치를 작동시키면 솔레노이드에 전원이 공급되고, 작업기에 있는 홈에 그리퍼의 위판이 들어가 잡도록 하였다.

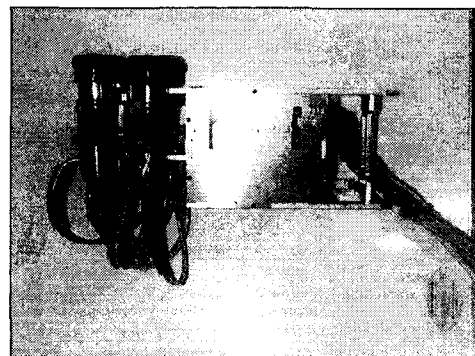
<Table 1> Motor torque for required torque and screw

Torque Axis	Weight (kg)	Acceleration (m/s^2)	Required torque ($N \cdot cm$)	Motor torque for screw ($N \cdot cm$)
X	29	1	24.29	2.298
Y	39	1	32.66	3.089
Z	26	1	235.17	22.25

착유컵 착탈장치는 구동모터로 24V, 12rpm인 Geared 모터를 사용하였으며, 캠을 이용하여 착유컵이 달린 와이어를 순차적으로 끌어당겨 유두로 이동할 때는 고정되고 장착 후에는 자유로워진다. 구동방식은 첫 번째 유두좌표가 입력되면 매니플레이터가 목표점으로 이동하였을 때, 구동장치가 작동하여 자유로웠던 첫 번째 컵이 고정되고 매니플레이터가 상승하여 유두에 장착된다. 이때 착유컵내에 압력에 의해 유두는 착유컵안으로 쉽게 빨려 들어가고, 이와 같은 동작을 4개의 착유컵이 순차적으로 이루어지게 된다. 착유작업이 끝나면 모든 착유컵을 당겨 유두에서 탈락시킨다.



<Fig. 3> The gripper for attaching teat-cups to a manipulator.



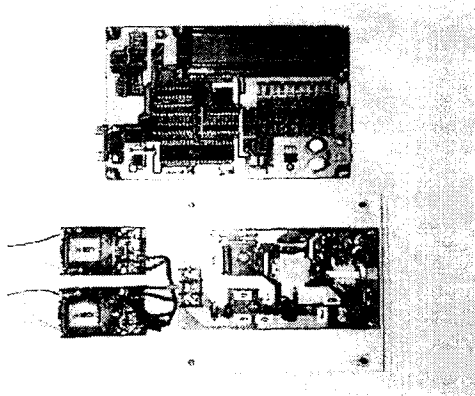
<Fig. 4> Picture of teat-cup attachment system

모터 콘트롤 보드는 원칩 마이크로 프로세서인 89C52칩을 이용하였고, PC와의 통신이 가능한 시리얼 포트가 있어 데이터의 전송을 할 수 있게 하였다. 또한 PC와의 시리얼 통신을 위해 MAX232C칩과 리시버 IC인 SN75179칩을 사용하여 컨버터인 RS422를 제작하였다. Fig. 6은 콘트롤 보드로 데이터를 전송해주는 프로그램으로 GUI(Graphic User Interface)기

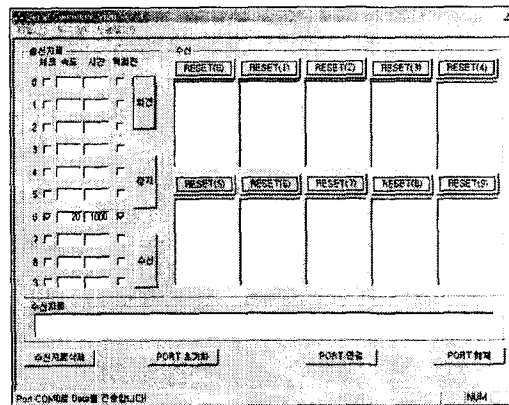
반의 Microsoft사 Visual C++5.0을 이용하였다. 본 프로그램의 목적은 ROM의 번지와 속도, 거리(작동시간), 회전방향의 데이터를 RS422 컨버터를 통해 콘트롤 보드로 전송해주는 것이다. 작동방법은 Communication Protocol중 마지막 데이터인 End command가 입력되면 콘트롤 보드의 89C52칩으로 데이터가 전송된다. 전송된 데이터는 우선 번지수가 맞는지를 확인하고, 맞으면 속도데이터와 거리데이터를 계산하여 모터를 구동하게 된다. 모터의 구동 중 리미트 스위치에 의해 모터의 동작을 멈추게 하거나, 동작 할 수 있게 하였으며, 스크류축에 부착된 Encoder를 통해 속도나 거리와 같은 모터의 동작상태를 확인할 수 있어서 전달된 목표점으로 부드러운 동작을 할 수 있다. 콘트롤 보드로 전송되는 통신프로토콜은 모두 7가지이며 Table 2와 같다.

Table 2. Communication protocol

Order	PROTOCOL	SIZE
1	Start command	1byte
2	Address	1byte
3	Command	1byte
4	Speed data	3byte
5	How long time	4byte
6	Up or down	1byte
7	End command	1byte



<Fig. 5> Motor control-board



<Fig. 6> Computer program for data transmission

동력전달장치로는 $\phi 16\text{mm}$, 리드간격이 5mm인 스크류를 사용하였으며, 스크류와 모터의 연결은 설계, 제작 시 발생할 수 있는 편심, 편각, 축간 비정렬을 어느 정도 수용할 수 있는 Oldham형 커플링을 사용하여 직접 연결하였다. 정확한 제어를 위해서 한 펄스(pulse) 당 6° 간격이며, 한바퀴에 60 pulse를 가진 엔코더를 스크류축에 직접 부착하여 제작하였

나.

본 연구에서 제작한 매니플레이터의 성능을 검증하기 위하여 2가지의 실험변수를 두었다. 첫 번째 실험변수는 속도에 따른 오차를 검증하기 위해 출력의 15%, 45%, 80%인 7.5cm/s, 22.5cm/s, 40.0cm/s의 3가지의 속도로 설계하였으며. 두 번째 실험변수로 착유우가 착유틀내에 있을 때 설 수 있는 위치로 임의의 3지점을 정하였다. 각각의 속도와 위치에 의해 총 9개의 실험구를 10회 반복 실험하며, 왕복작동에 의한 누적오차를 측정하기 위해 5회 왕복작동 후 누적오차를 측정하는 것으로 실험설계를 하였다.

<Table 3> Experimental design

Power rate Point	15%(7.5cm/s) (1)	45%(22.5cm/s) (2)	80%(40.0cm/s) (3)
A Point	1-A	2-A	3-A
B Point	1-B	2-B	3-B
C Point	1-C	2-C	3-C

3. 결과 및 고찰

본 연구의 사용한 모터출력의 15%, 45%, 80% 3가지 출력과 임의의 3지점을 정해 10회 작동하여 각 축의 오차를 10회 측정하였다. 오차측정을 하기 위하여 정밀도 0.05mm단위를 가진 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다.

<Table 4> Minimum, maximum and average error value of each axis (unit : mm)

Axis	Error	Minimum	Maximum	Average
X		0.00	1.25	0.72
Y		0.00	0.95	0.40
Z		0.00	0.50	0.15

<Table 5> Error value by repetition (unit : mm)

Axis	Test	1-A	2-A	3-A	1-B	2-B	3-B	1-C	2-C	3-C	Aver
X-error		0.45	0.70	0.45	0.45	0.40	0.50	0.55	0.50	0.40	0.48
Y-error		0.25	0.05	0.35	0.05	0.15	0.20	0.10	0.30	0.35	0.20
Z-error		0.05	0.10	0.10	0.40	0.15	0.05	0.10	0.45	0.35	0.19

<Table 6> Error value by power rate

(unit : mm)

Power rate Axis	15% (7.5cm/s)	45% (22.5cm/s)	80% (40.0cm/s)
X	0.40	0.88	1.03
Y	0.25	0.47	0.50
Z	0.15	0.16	0.13

X, Y, Z축의 최대오차는 모두 1mm내외로 나타나 본 매니플레이터의 목적에 적합한 것으로 판단된다. 이는 유두에 착유컵이 장착될 때, 착유컵내의 흡입력으로 유두가 쉽게 빨려 들어가므로 1~2mm의 오차는 무시할 수 있다고 가정하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 착유자동화시스템을 통해 기술 집약적 낙농업의 발전과 노동력 절감, 착유시설의 국산화를 통한 농가 시설비 절감을 위해 수행되었다. 착유자동화시스템의 기초가 되는 로봇착유기의 기본적인 시스템 중에 하나인 착유컵 자동착탈 및 기타 착유작업을 위한 매니플레이터를 개발하는데 목적이 있다. 개발한 매니플레이터는 직교좌표 매니플레이터로 구동은 DC모터로 작동되며, 동력전달은 스크류를 사용하였다. 목표점으로서의 좌표입력은 PC를 통한 RS422방식으로 하였으며, 원칩 마이크로 프로세서인 89C52를 이용하여 제어를 구현하였다.

1. 최대이송거리가 x축 700mm, y축 450mm, z축 550mm이며, 각 착유공정의 교체를 위해 650mm의 길이를 가진 팔이 120 °의 회전을 할 수 있게 한 직각좌표형 매니플레이터를 설계, 제작하였다.
2. 캠을 이용해 착유컵을 하나씩 순차적으로 장착할 수 있는 착유컵 착탈장치를 설계, 제작하였다.
3. 제작한 매니플레이터는 X축의 최대오차 1.25mm로 나타났으며, Y축의 최대오차 0.95mm로 나타났으며, Z축의 최대오차 0.50mm로 나타났다. X, Y, Z축의 최대오차는 모두 1mm내외로 나타났으며, 본 매니플레이터의 작동하고자 하는 목적에는 적합한 것으로 나타났다.
4. 반복작동에 의한 위치오차는 X축 0.48mm, Y축 0.20mm, Z축 0.19mm로 나타났으며 모두 0.5mm이하로 매니플레이터 작업에 적합한 것으로 나타났다.
5. 작동속도에 따른 위치오차는 출력이 80%일 때 위치오차가 X축 1.03mm, Y축 0.50mm이며 Z축은 45%일 때 0.16mm로 가장 큰 오차가 나타났다. X, Y축은 출력의 증가에 따라 위치오차도 증가하였지만 Z축은 출력이 80%일 때 최소로 나타나 가장 안정적인 작동을 하였다. 최대 위치오차는 1.03mm로 본 연구의 목적에는 적합한 것으로 나타났다.

5. 참고 문헌

- [1] PD Dr. Dieter Ordolff, Melken - Technik - Arbeitsorganisat- ion - Automatisierung. 착유생산성 제고방안. 한국축산시설환경학회. 제3회 학술심포지움 p19~63. 1997.
- [2] 김태윤, 김홍복. 산업용 로봇. 도서출판 성능. 1991
- [3] 이성현, 최광재, 유병기. 착유로봇의 연구동향 및 전망. 한국농업기계학회지 23(6): 641 ~ 647 1998
- [4] Iwao NOTSUKI, Development History of Milking Technology and Milking Robot in Perspective. Journal of JSAM. 60(6): 1998.
- [5] Kazutomo ICHITO. Recent Progress and Trend of Developmental Research on Milking Robot. Journal of JSAM. 60(6): 1998.
- [6] Tamaki KIDA. Introduction and Technical Problem for Utilization of Milking Robot. Journal of JSAM. 60(6): 1998.
- [7] Fumiro KASHIWAMURA. Robot Milking System and Dairy Cow Management. Journal of JSAM. 60(6): 1998.
- [8] Yoshifumi HONDA. Physiology of Dairy Cattle in Automatic Milking System. Journal of JSAM. 60(6): 1998.
- [9] Akira HIRATA. Automation of Milking in Stanchion Barns. Journal of JSAM. 60(6): 1998.
- [10] Hideo HOSHIBA. Kazutaka UMETSU. Hidehiko TAKAHATA. Comparison of Periodic and Continuos Milking Operations Using Automatic Milking System. Journal of JSAM. 60(1): 107~114 1998.
- [11] Hideo HOSHIBA. Kazutaka UMETSU. Hidehiko TAKAHATA. Milking Performance of Auto-milking Systems. Journal of JSAM. 60(1): 105~114 1996.
- [12] B. R Sonck, H. W J. Donkers. The Milking Capacity of a milking Robot. J. agric. Engng Res. 62: 255~38 1995.