

착유컵 자동 착탈을 위한 매니플레이터 개발

A Robotic Milking Manipulator for Teat-cup Attachment Modules

이대원	김 웅	김현태	김동우	최동윤	한정대	권두중	이승기
정회원	정회원	정회원	정회원				정회원
D. W. Lee	W. Kim	H. T. Kim	D. W. Kim	D. Y. Choi	J. D. Han	D. J. Kwon	S. K. Lee

SUMMARY

A manipulator for teat-cup attachment modules, which was a part of a robot milking system, was developed to reduce cost and labor for cow milking processing. A Cartesian coordinate manipulator was designed for the milking process, because it was quite flexible and can be constructed more economically than any other configuration. The manipulator was made use of DC motors, screws for power transmission, a RS422 interface system for the transmission of coordinate values and a one-chip microprocessor, 89C52. Performance tests of the manipulator were conducted to measure experimentally the precision of all axes. Some of the results are as follows.

1. The Cartesian coordinate manipulator was designed and built. Dimension of the three perpendicular axes (X, Y, and Z) and one arm's axis (W) to pick up and transfer the modules were 700mm × 450mm × 550mm × 650mm. The arm's axis moved the teat-cup attachment module from the fixed point in the manipulator to the teat-cup, and turned within 120°. 2. The teat-cup attachment module, which attached four teat-cup to four teats, detached four teat-cup from four teats, was designed and manufactured by using CAD, CAM and CNC. 3. After 10 replications of exercising the manipulator, mean precision values (positioning error) of X, Y, Z axes were 0.48mm, 0.20mm, 0.19mm, respectively. Therefore, we conclude the axes to have a precision better than 0.5 mm, had no problem to operate correctly the milking manipulator.

Keywords : Cartesian coordinate manipulator, Teat-cup attachment module, One-chip microprocessor 89C52, RS422.

1. 서 론

낙농에서의 착유는 낙농가들에게 있어서 소와 함께 할 수 있는 즐거운 작업이다. 그러나 요즘의

낙농은 점차 사육두수가 증가하여 50두 이상 농가가 큰 폭으로 증가하고 있다(Lee, 2000). 이에 따라 우유생산성이 증가하는 이점이 있으나, 반면에 낙농가는 장시간의 착유작업을 해야한다는 어려움

The article was submitted for publication in March 2001, reviewed in March 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2001.

The authors are Dea Weon Lee, Associate Professor, Woong Kim, Hyuen Tea Kim and Dong Woo Kim, Graduate Research Assistant, Dept. of Bio Mechatronic Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, Korea, and Dong Yuen Choi, Jung Dea Han, and Due Jung Kwon, Senior Engineer, National Livestock Research Institute, Rural Development Administration, Suwon, Korea, and Sueng Ki Lee, Associate Professor, Dept. of Bio Industrial Engineering, Kong Ju National University, Chungnam, Korea.

The corresponding author is D. W. Lee, Associate Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea. Fax: +82-31-290-7886. E-mail: <deaweon@yurim.skku.ac.kr>.

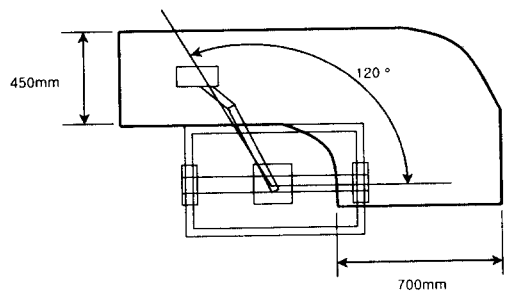
이 있다. 낙농의 경영형태는 대규모 낙농과 가족 경영형태로 나눌 수 있다. 여러 낙농가가 공동으로 경영하는 대규모 낙농은 낙농가만으로는 작업을 할 수 없는 실정이기 때문에 고용인을 뭉으로써 부족한 노동력을 충당하고 있다. 네덜란드를 중심으로 한 유럽의 선진 낙농국들과 일본, 우리나라와 같은 가족경영형태에서는 현실적으로 고용인을 두기 어렵기 때문에 고용인을 대신할 수 있는 한 다른 형태의 노동력을 줄일 수 있는 작업방법이 필요하다. 현재 우리 낙농업의 기존 착유시설은 80% 이상이 고가의 수입제품에 의존하고 있는 실정이므로 농가에게는 매우 큰 부담으로 작용하고 있다(Lee, 2000). 이런 시점에서 우리가 해결할 수 있는 방법은 노동집약적인 농업에서 로봇착유와 같은 자동화기술을 접목시킨 기술 집약적 농업으로 바뀌어가는 것이다.

외국의 로봇착유 개발현황을 살펴보면 네덜란드를 중심으로 한 유럽 선진낙농국가를 주축으로 활발히 연구되고 있다. 네덜란드와 독일은 농가에 실험적으로 설치하여 직접 사용하고 있는 단계에 있으며, 영국, 프랑스 등이 뒤따르고 있다. 미국은 독자적인 착유로봇 개발은 하지 않고 있다. 일본의 최초 착유로봇 연구는 1972년에 시작되었으며, 국립종축시험장과 농업기계화연구소가 개발연구에 착수하였지만 성공하지는 못했다. 1988년에 오비히루축산대학은 한냉지의 농업기술에 대한 국제심포지움을 개최하였으며, 이것을 계기로 일본에서의 착유로봇의 개발에 대한 관심이 급속히 증대되었다. 생물계 특정산업기술연구 추진기구를 중심으로 유럽의 착유로봇 개발상황을 조사하고 낙농 자동화시스템을 개발하기 위한 회사도 설립하였다(新山, 1994).

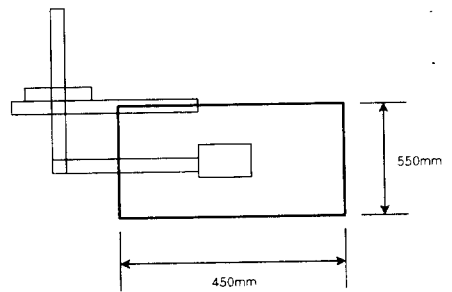
본 연구는 착유자동화시스템(AMS : Automatic Milking System)을 통해 기술 집약적 낙농업의 발전과 노동력 절감, 착유시설의 국산화를 통한 농가 시설비 절감을 위해 수행되었다. 이를 위해서 착유자동화시스템의 기초가 되는 로봇착유기의 가장 기본적인 시스템 중에 하나인 착유컵 자동 착탈을 위한 매니플레이터(manipulator)의 개발이 주목적이다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 3차원 설계 컴퓨터 프로그램인 3D 스튜디오 맥스(3D Studio Max)를 이용하여 설계하였으며, 각 프레임 및 부품은 0.001mm의 정밀도를 가진 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과에 있는 CNC머신을 사용하여 제작하였다. 또한 착유실내의 습기와 오물 등으로 인한 부식을 감안하여 내부식성 재료인 알루미늄 계열의 드랄미늄과 합성수지인 ABS수지를 사용하여 시스템을 제작하였다. 먼저 40×40mm의 알루미늄 프로파일을 사용하여 기본틀을 제작하였으며, x축의 착유공정의 교체를 고려해 최대이송거리는 700mm, y축은 유두의 위치를 고려하여 최대이송거리가 450mm, z축의 최대이송거리는 550mm로 하였다. 각 착유공정의 교체를 위해 본 시스템의 기본 운동 외에 650mm의 길이를 가진 팔이 120°의 회전을 할 수 있게 한 직각좌표형 매니플레이터를 제작하였다. 그림 1, 그림 2는 본 연구에서 설계된 매니플레이터의 작업범위와 실제 제작된 그림이다.



(a) top view



(b) side view

Fig. 1 Working area of the cartesian manipulator.

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

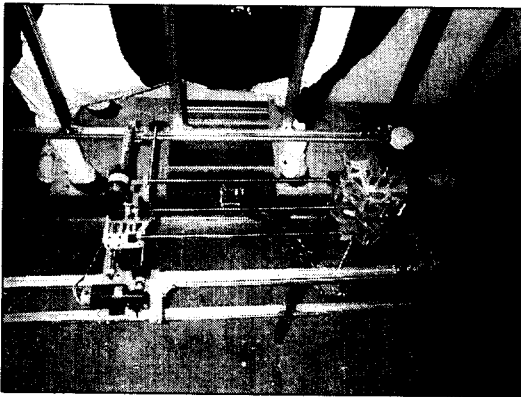


Fig. 2 Picture of the manipulator.

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 $r = 8.375mm$, 피치(pitch) = $5mm$, 사선 길이 $L = 52.859mm$ 이며, 가속도 α 를 구하기 위해 최대속도일때 $0.5m$ 를 $1초$ 에 이동한다고 설정하였다. Z축의 모터토크는 수직으로 작동하므로 중력가속도 $g = 980cm/s^2$ 을 고려하여 구하였으며 표 1은 각 축의 계산된 소요토크를 나타낸 것이다. 그림 3은 작업기의 교체를 위한 그리퍼로써 KOKUSAIDENGYO사(SA-2402)의 것으로 $1.0kg/15mm$ 인 솔레노이드로 제작하였으며, 작동원리는 해당 작업기가 그리퍼 왼쪽에 위치한 리미트 스위치를 작동시키면 솔레노이드에 전원이 공급되고, 작업기에 있는 홈에 그리퍼의 위판이 들어가 잠들었다.

그림 4는 착유컵 착탈장치의 제작된 모습이며, 구동모터는 $24V, 12rpm$ 인 기어모터(g geared motor)

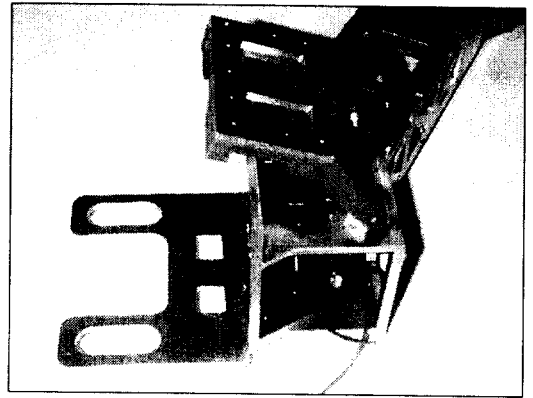


Fig. 3 The gripper for attaching teat-cups to a manipulator.

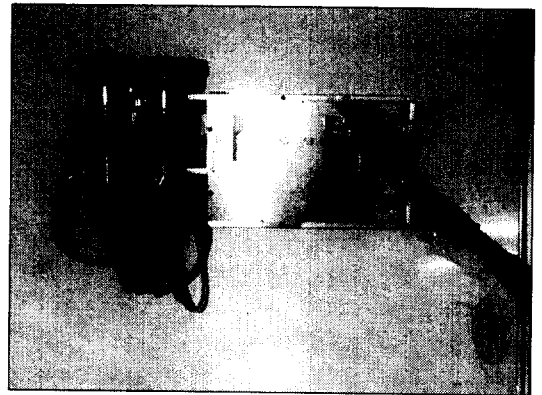


Fig. 4 Picture of teat-cup attachment system.

를 사용하였으며, 캠을 이용하여 착유컵이 달린 와이어를 순차적으로 끌어당겨 유두로 이동할 때는 고정되고 장착 후에는 자유로워진다. 구동방식은 첫 번째 유두좌표가 입력되면 매니플레

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

이터가 목표점으로 이동하였을 때, 구동장치가 작동하여 자유로웠던 첫 번째 컵이 고정되고 매니플레이터가 상승하여 유두에 장착된다. 이때 착유컵 내에 압력에 의해 유두는 착유컵안으로 쉽게 빨려 들어가고, 이와 같은 동작을 4개의 착유컵이 순차적으로 이루어지게 된다. 착유작업이 끝나면 모든 착유컵을 당겨 유두에서 탈락시킨다.

그림 5의 모터 콘트롤 보드는 원칩 마이크로 프로세서인 89C52칩을 메인CPU로 이용하였고, PC와의 통신이 가능한 시리얼 포트가 있어 데이터의 전송을 할 수 있게 하였다. 또한 PC를 통해 여러 개의 모터를 개별적으로 제어하기 위한 시리얼 통신을 위해 MAX232C칩과 리시버 IC인 SN75179칩을 사용하여 컨버터인 RS422을 제작하였다. 그림 6은 콘트롤 보드로 데이터를 전송해주는 프로그램으로 GUI(graphic user interface)기반의 Microsoft사 Visual C++5.0을 이용하였다. 본 프로그램의 목적은 ROM의 변지와 속도, 거리(작동시간), 회전방향의 데이터를 RS422 컨버터를 통해 콘트롤 보드로 전송해주는 것이다. 작동방법은 통신 프로토콜 (communication protocol)중 마지막 데이터(end command)가 입력되면 콘트롤 보드의 89C52칩으로 데이터가 전송된다. 전송된 데이터는 우선 번지수가 맞는지 확인하고, 맞으면 속도데이터와 거리 데이터를 계산하여 모터를 구동하게 된다. 모터의 구동 중 리미트 스위치에 의해 모터의 동작을 멈추게 하거나, 동작할 수 있게 하였으며, 스크류축에 부착된 encoder를 통해 속도나 거리와 같은 모

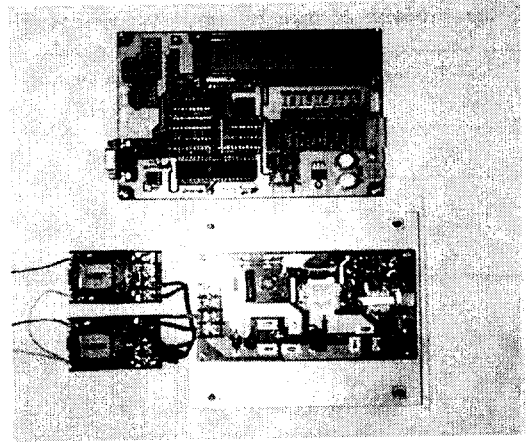


Fig. 5 Motor control-board.

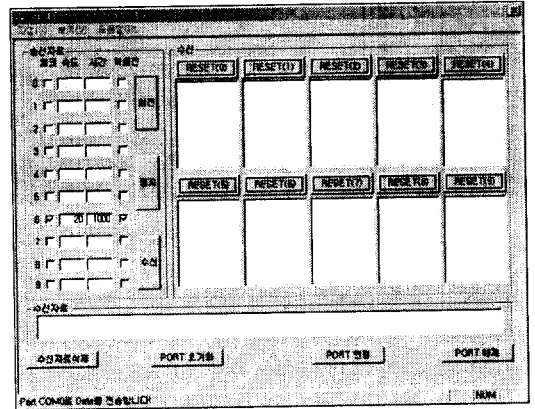


Fig. 6 Computer program for data transmission.

터의 동작상태를 확인할 수 있어서 전달된 목표점으로 부드러운 동작을 할 수 있게 하였다. 콘트롤 보드로 전송되는 통신프로토콜은 모두 7가지이며 표 2와 같다.

동력전달장치로는 $\varnothing 16\text{mm}$. 리드간격이 5mm인 스크류를 사용하였으며, 스크류와 모터의 연결은 설계, 제작시 발생할 수 있는 편심, 편각, 축간 비정렬을 어느 정도 수용할 수 있는 올드햄형 (oldham type) 커플링을 사용하여 직접 연결하였다. 정확한 제어를 위해서 한 펄스 당 6° 간격이며, 한 바퀴에 60 pulse를 가진 엔코더를 스크류축에 직접 부착하여 제작하였다.

Table 3 Experimental design

Power rate	15% (7.5cm/s)	45% (22.5cm/s)	80% (40.0cm/s)
Point	(1)	(2)	(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

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

본 연구에서 제작한 매니플레이터의 성능을 검증하기 위해 2가지의 실험변수를 설정하여 표 3과 같이 설계하였다. 첫 번째 실험변수는 속도에 따른 오차를 검증하기 위해 출력의 15%, 45%, 80%인 7.5cm/s, 22.5cm/s, 40.0cm/s의 3가지의 속도로 설계하였다. 두 번째 실험변수로는 착유우가 착유

틀내에 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 설계하였다.

3. 결과 및 고찰

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

각 축별 최대 및 최소 오차는 표 4와 같으며, X축에서 1.25mm의 최대오차가 발생하였다.

표 5는 10회 반복실험에 의한 각 축의 오차를 나타낸 것이며, 최대오차는 X축에서 0.70mm로 나타났다.

표 6은 작동속도에 따른 위치오차를 나타낸 결과값이며, 출력이 80%일 때 위치오차가 X축 1.03mm, Y축 0.50mm이며, Z축은 45%일 때 0.16mm로 가장 큰 오차가 나타났다.

X, Y, Z축의 최대오차는 모두 1mm내외로 나타나 본 매니플레이터의 목적에 적합한 것으로 판단

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	0.49
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)

Axis	Power rate	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

되었다. 이는 유두에 착유컵이 장착될 때, 착유컵 내의 흡입력으로 유두가 쉽게 빨려 들어가므로 1~2mm의 오차는 무시할 수 있다고 가정하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 착유자동화시스템을 통해 기술집약적 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. 목표점으로서 좌표입력은 PC를 통한 RS422방식으로 하였으며, 원칩마이크로 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 나타났으며, X, Y, Z축의 최대오차는 모두 1mm 내외로 나타났으며, 본 매니플레이터의 작동하고자 하는 목적에는 적합한 것으로 나타났다.

4) 반복작동에 의한 위치오차는 X축 0.48mm, Y

축 0.20mm, Z축 0.19mm로 나타났으며 모두 0.5mm 이하로 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.

참고 문헌

1. Lee, D. W., D. Y. Choi, H. T. Kim, W. H. Lee, D. J. Kwon, J. D. Han and S. K. Lee. 2000. Development of a Robotic Milking Cluster System. Journal of KLHE. 6(2):113-120. (in Korean)
2. Lee, S. H., K. J. Choi and B. K. Yu. 1998. Research Trends and Their Perspectives in Milking Robot. Journal of KSAM 23(6):641-647. (in Korean)
3. Dieter Ordolff. 1997. Melken - Technik - Arbeitsorganisation - Automatisierung. The 3rd Symposium. KLHE. p 19-63. (in Korean)
4. Sonck, B. R. and H. W. J. Donkers. 1995. The Milking Capacity of a Milking Robot. J. Agric. Engng Res. 62:255-38.
5. 新出 陽三・松田 從三. 1994. 搾乳ロボットと酪農. 酪農綜合研究所.