

로봇 착유시스템을 위한 다관절 매니플레이터 개발

김 웅 이대원

Development of a Multi-joint Robot Manipulator for Robot Milking System

W. Kim D. W. Lee

Abstract

The purpose of this study was the development of a multi-joint robot manipulator for milking robot system. The multi-joint robot manipulator was controlled by 5 drivers with driver controller through the position information obtained from the image processing system. The robot manipulator to automatically attach each teat cup to the teats of a milking cow was developed and its motion was accurately measured with error rate. Results were as follows.

1. Maximum errors in position accuracy were 4 mm along X-axis, 4.5 mm along Y-axis and 0.9 mm along Z-axis. Absolute distance errors were maximum 4.8 mm, minimum 2.7 mm, and average 3.6 mm.
2. Errors of repeatability were maximum 3.0 mm along X-axis, 3.0 mm along Y-axis, and 0.5 mm along Z-axis. Distance error values were maximum 3.2 mm, minimum 2.2 mm, and average 2.5 mm. It is envisaged that multi-joint robot manipulator can be applicate to milking robot system being developed in consideration of the experiment results.

Keywords : Milking robot system, Multi-joint robot manipulator, Position accuracy

1. 서 론

유우의 사육 농가 수 감소 및 호당 사육두수 증가는 경영의 전업화를 가속시키고 있으며, 노동력부족현상을 발생시키고 있다. 이를 해결하기 위해서는 낙농기자재의 자동화, 기계화가 이루어져야 할 것이다. 로봇 착유시스템은 부족한 노동력을 해소하고 착유 시 발생될 수 있는 세균감염을 줄임으로써 유질향상과 여러 번 착유가 가능해짐으로 착유량을 증가시킬 수 있다(Justesen et al., 2000; Klungel et al., 2000; Ipema et al., 1987; Pomies and Bony, 2000; Van and Hogeveen, 2000).

유럽의 선진 낙농국을 중심으로 낙농에서 가장 노동강도가 높은 착유작업을 자동화 하기위해 로봇 착유시스템이 개발되고 있으며, 적용된 매니플레이터는 수직다관절형, 수평다관절형, 직교좌표형 등 여러 가지 형태로 개발되고 있다(Frpst et al., 2002; Kwon et al., 2002; Rossing and Hogewerf, 1997;

新出 and 松田, 1994). 국내에서도 로봇 착유시스템의 개발을 위하여 직교좌표형, 수직다관절형태의 매니플레이터를 이용하여 착유컵 착탈에 관한 연구를 하였다(Lee et al., 2001; Lee and Chang, 1999).

로봇 착유시스템은 사람의 팔 대신 착유컵을 젖소의 유방으로 이동시켜주는 매니플레이터가 필수적이다. 본 연구에서는 5관절로 이뤄진 다관절 매니플레이터를 개발하고 성능분석을 통해 로봇 착유시스템에 대한 적용가능성을 평가하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

1) 시스템 구성

착유컵 착탈을 위한 매니플레이터는 기초실험을 통하여 얻은 체적 측정결과를 이용하여 5관절 매니플레이터로 설계하

였다(Klungel et al., 2000; Kwon et al., 2002). 관절구성은 상하운동을 위한 1번 수직관절과 회전운동을 위한 4개의 관절로 이루어져 있다.

1번 관절은 리드가 5 mm인 스크류와 LM(Linear motion) 가이드를 이용하여 구동되며, 무게조절(Weight balance)용 공압 실린더를 무게중심에 설치하여 과부하로부터 모터를 보호할 수 있도록 하였다(그림 1). 동력전달을 위한 서보모터와 스크류 간 연결은 타이밍벨트와 풀리를 사용하였다(그림 2).

2번, 3번, 4번 관절은 평면상 위치운동을 위한 회전관절로써, 동력은 모터와 관절을 웜기어로 연결하여 전달되도록 하

였다(그림 3). 5번 관절은 수직 회전관절로써, 착유컵 4개를 동시에 부착시킬 때 상이한 각 유두의 높이를 고려하여 유두가 착유컵에 좀 더 쉽게 들어갈 수 있도록 착유컵 착탈시스템의 각도를 조절하기 위한 관절이다. 또한 착유작업에 사용될 작업기의 착탈을 위하여 공압 실린더를 사용한 그립퍼(Gripper)가 부착되어 있다(그림 4).

각 관절에는 근접센서(EXE-X1C1, OMRON) 두 개를 부착하여 관절의 상·하 한계점을 감지하였다. 표 1은 설계된 매니플레이터의 각 관절에 대한 구동각 및 운동구간, 관절 길이, 기어비를 나타낸 것이며, 그림 5와 그림 6은 매니플레이터의

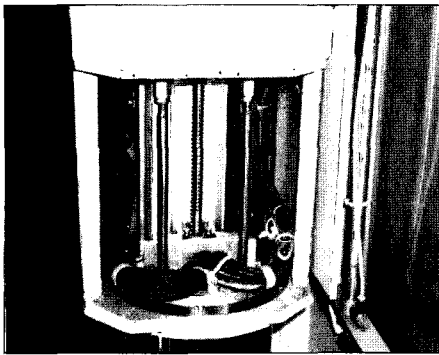


Fig. 1 The LM guide, screw and an air-cylinders of manipulator.

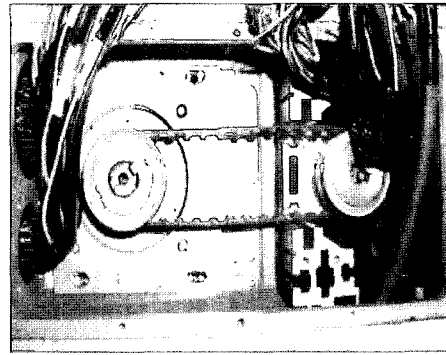


Fig. 2 Timing belt and pulleys for the power transmission.

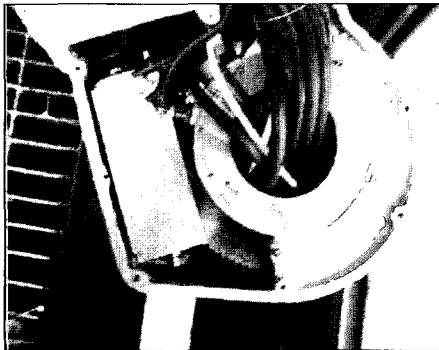


Fig. 3 Gear box and sensors of the 2nd axis joint.

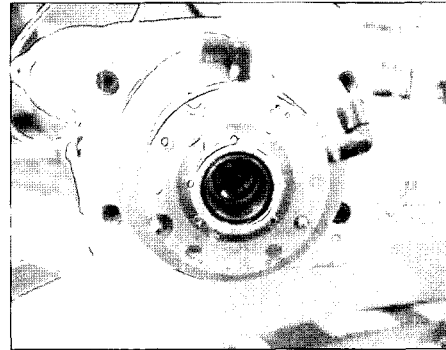


Fig. 4 Gripper of the manipulator.

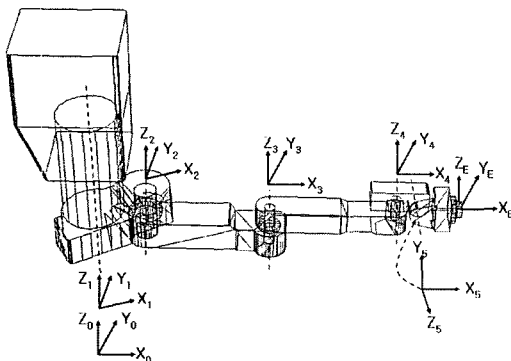


Fig. 5 Schematic diagram of robot manipulator.

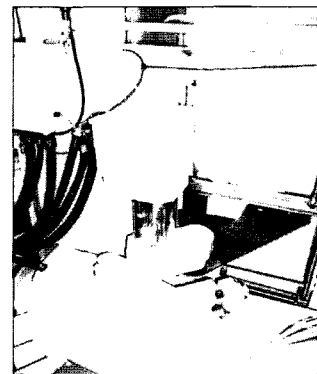


Fig. 6 Picture of the developed robot manipulator.

설계도와 스톱 측면에 부착된 모습을 나타낸 것이다.

2) 시스템 제어

매니플레이터 제어는 컨트롤 보드와 서보 모터 드라이브 및 컴퓨터로 구성하였다. 컨트롤 보드(PCNC5000, MYCOM)는 동시에 4축제어가 가능하며, 총 5축 제어를 위하여 두 개를 사용하였다. 서보모터 드라이브(표 2, 삼성전자)는 각 관절에 필요한 동력을 계산하여 선정된 모터에 알맞은 드라이브를 선택하였다(그림 7). 그림 8은 매니플레이터구동을 위한

시스템의 구성도를 나타낸 그림이다. 매니플레이터의 구동을 위한 입출력 및 각 시스템의 센서입력을 위한 컴퓨터는 인텔(Intel)사의 펜티엄 III 600 MHZ CPU를 탑재한 데스크탑 컴퓨터를 사용하였다.

3) 작업공간

그림 9는 매니플레이터의 핸드부가 도달 가능한 영역을 나타내는 작업공간을 나타낸 것이다. 작업공간은 각 관절의 회전가능 각도와 링크길이에 의해 결정되며, 총 3개 공간으로

Table 1 Specification of robot manipulator

Axis	Working angle & stroke (mm)	Link length (mm)	Gear ratio
1	200	200	1 : 1
2	340 (+160°, -180°)	450	100 : 1
3	300 (±150°)	450	60 : 1
4	180 (±90°)	100	50 : 1
5	90 (±45°)	156	70 : 1

Table 2 Servo motor drives for the robot manipulator

Axis	1	2	3	4	5
Model No.	CSDJ-1kw	CSDJ-1kw	CSDJ-1kw	CSDJ-400w	CSDJ-200w

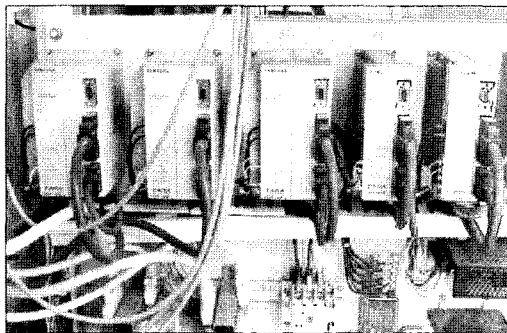


Fig. 7 Servo motor drives for 5 axis of the robot manipulator.

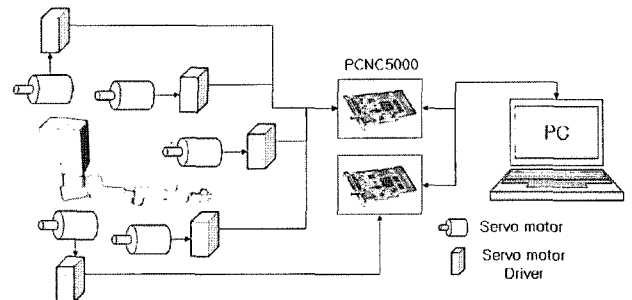


Fig. 8 Block diagram of manipulator control system.

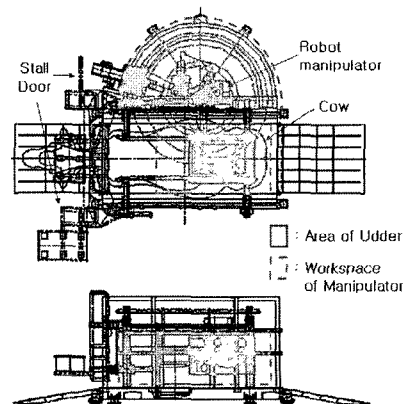
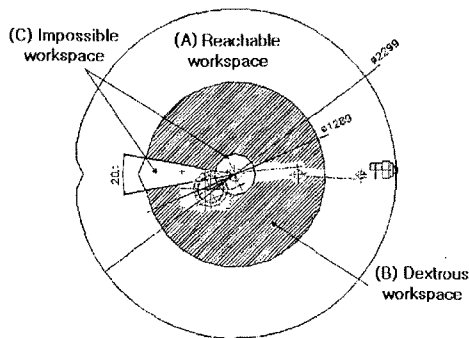


Fig. 9 Workspace of robot manipulator.

나타낼 수 있다. 매니플레이터의 모든 관절을 뺐을 때 핸드부가 도달 가능하지만 일부 자세로는 도달할 수 없는 곳을 나타내는 공간(Reachable workspace)은 2번 관절의 회전축을 기준으로 하여 직경이 2,299 mm인 공간에 도달이 가능하였다. 어떤 자세에서도 핸드부가 도달할 수 있는 공간을 나타내는 공간(Dextrous workspace)은 2번 관절의 회전축을 기준으로 직경이 1,289 mm의 공간이 도달 가능하였다. 또한, 어떤 자세로도 도달하지 못하는 공간(Impossible workspace)은 1번 축 몸체와 2번 축 몸체가 차지하는 공간과 팔과 반대편 축을 기준으로 20°의 각을 가지는 영역으로 나타났다.

4) 구동 알고리즘

본 연구에서 개발된 매니플레이터는 5축 다관절 구조이며, 스톨 우측면에 부착되어 있다. 스톨 내부로 진입하기 위해서 착유우의 우측 앞·뒤 다리사이 공간의 가로, 세로 길이가 700 mm×440 mm인 좁은 입구를 통과해야하며, 모든 작업은 착유우의 측면에서 접근하여 배 밑부분으로 진입 후 유두 추적을 하게 된다.

신속한 착유작업을 위하여 스톨 밖에서 착유우 배 밑 부분까지는 미리 설정된 경로와 속도에 따라 움직이도록 하였으며, 이를 위해 프로그램에 의하여 사용자가 원하는 경로를 임의로 만들 수 있도록 하였다. 착유우의 배 밑으로 진입이 완료된 후에는 영상처리 시스템으로부터 매니플레이터가 움직일 좌표를 전송 받아 착유작업을 수행하도록 하였다.

영상처리시스템으로부터 좌표를 받아 움직이는 동안에는 사용자 설정에 의한 경로는 무시하게 되도록 하였으며, 착유작업이 완료된 후에는 진입과정의 역순으로 구동된다. 이때 매니플레이터는 초기 위치로 복귀할 때까지 사용자 정의에 의한 경로를 따라 움직이게 하였다.

매니플레이터구동을 위한 프로그램은 Boland사의 Delphi 5.5 프로그램을 사용하여 제작하였다. 프로그램은 CAD엔진을 탑재하여 사용자가 매니플레이터의 움직임을 프로그램의 메인 화면으로 볼 수 있도록 하였다(그림 10).

5) 모형유두 및 착유우

성능시험을 위한 모형유두는 부드러운 플라스틱 재질로써 실물크기로 제작하여 유두와 유방부분을 이용하였다. 착유우는 수원시 축산기술연구소에 보유중인 착유우(초산, 3주 착유, Holstein종)를 대상으로 하였으며, 원활한 시험을 위하여 온순한 성격의 착유우를 선택하였다. 또한, 착유시스템의 소음과 모형 착유컵 등에 대한 충분한 적응훈련을 수행한 후 시험하였다.

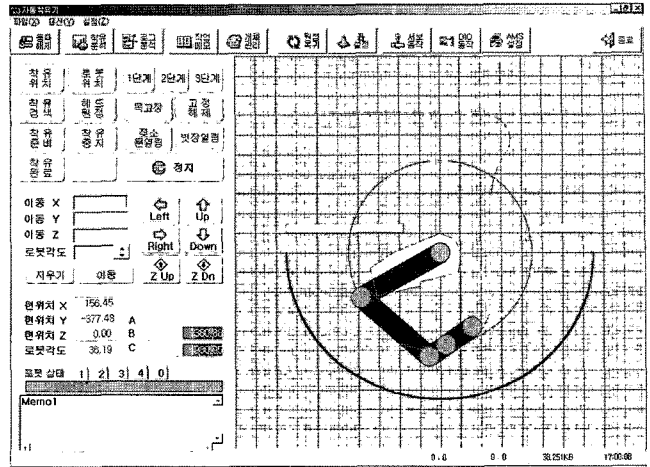


Fig. 10 Main program for controlled manipulator.

나. 시험 방법

제작된 매니플레이터의 성능검증을 위하여 스톨에 부착된 매니플레이터를 스톨 내 작업공간으로 이동한 상태에서 유방이 위치하는 공간 내에서 임의의 위치로 이동하도록 하였으며, 계산된 위치와 움직인 위치의 거리오차를 측정하였다.

스톨의 측면에 부착되는 매니플레이터는 스톨에 장착하는 과정에서 조립오차가 발생하게 되며, 조립오차를 보정하기 위해서는 매니플레이터를 직선으로 작동시키면서 발생하는 오차를 측정하여 각 관절의 각도를 수정함으로써 보정할 수 있다.

매니플레이터의 오차를 측정하기 전 조립오차 보정을 위하여 4번 축을 스톨의 측면에 해당하는 Y축에 대해 일정간격으로 직선운동을 하였으며, 발생하는 오차를 측정하여 두 번째 관절과 세 번째 관절이 이루는 각과 3번째 관절과 4번째 관절이 이루는 각을 보정하였다. 보정실험은 매니플레이터의 핸드부가 스톨의 Y축에 대해 직선운동을 할 때까지 수행하였다.

성능검증은 위치오차와 반복 작동에 의해 발생하는 오차를 측정하였으며, 모형유두와 착유우를 대상으로 착유컵 착탈 성공률을 측정하였다. 위치오차 측정실험을 위하여 매니플레이터의 핸드부를 스톨 내부로 진입시킨 후 유두가 위치하는 공간에 대해 10개 임의위치로 이동시켰으며, 이때 발생한 거리오차를 줄자와 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 반복 작동에 의한 매니플레이터 오차는 위치오차실험과 같이 스톨 내 작업 영역에서 임의의 10점으로 각각 10회씩 왕복 작동 후 오차를 측정하였다.

위치오차 검증 후 착유컵 착탈시스템과 영상처리 시스템을 장착하여 모형유두와 착유우를 대상으로 시험하였다(그림 11). 시험을 위하여 영상처리시스템으로부터 유두의 좌표

를 전송받아 거리를 계산한 후 각 착유컵을 구동시킨다. 그 후, 시스템을 상승시켜 착유컵 구멍에 유두를 삽입시키도록 하였다.

적용가능 판단기준은 모형유두의 경우 구동 후 4개의 유두 모두가 착유컵에 5 mm 이상 삽입이 되면 성공으로 보았으며, 착유우는 착유가 가능한 경우에 성공이라 판단하였다. 모형 유두 시험은 총 10회 측정하였으며, 착유우는 10일간 오후착유(오후 6시) 때 10회 동안 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 위치오차 및 반복 작동오차

매니플레이터의 착유 로봇 적용가능성을 알아보기 위하여 10곳의 임의 위치로 이동시켜 위치오차를 측정된 결과는

표 3과 같다. X축의 오차는 최대 4 mm, 최소 1 mm, 평균 2.8 mm로 나타났으며, Y축의 오차는 최대 4.5 mm, 최소 0.5 mm, 평균 2.3 mm로 나타났다. Z축의 오차는 최대 0.9 mm, 최소 오차는 0 mm로 오차가 없었으며, 평균 0.5 mm로 나타났다.

X, Y 평면의 이동에 의한 오차는 평균 약 2~3 mm, 상·하 이동인 Z축에서는 0.5 mm로 나타났으며, 상대적으로 Z축 오차가 작은 것으로 나타났다. 이는 다관절 작동에 의해 위치가 결정되는 X, Y축은 각 관절의 오차가 누적되어 오차가 발생하고, Z축은 1번 축에 의한 오차로 정밀이동이 가능한 스크류와 LM가이드에 의해서 오차가 적게 발생하는 것으로 판단되었다. 실제 거리오차(E)는 최대 4.8 mm, 최소 2.7 mm이며, 평균 3.6 mm로 나타났다.

반복 작동에 의한 성능검증 결과는 표 4와 같이 나타났다. X축의 오차는 최대 3 mm, 최소 0 mm, 평균 1.7 mm로 나타났

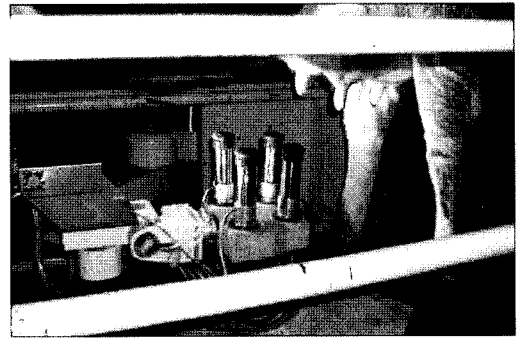
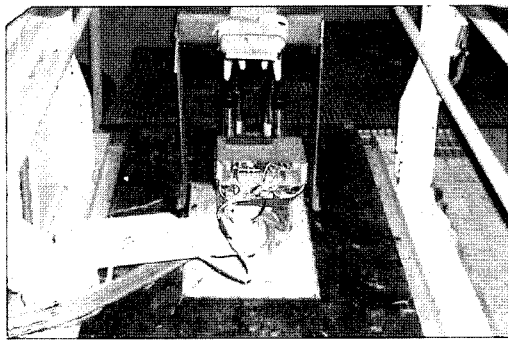


Fig. 11 Model teats and cow for experiment.

Table 3 Position error of robot manipulator

(unit : mm)

Point \ Axis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
X	3.5	3.5	4.0	3.5	2.5	3.0	1.0	2.5	1.5	2.5	2.8
Y	1.5	1.0	2.5	2.5	1.0	0.5	2.5	3.0	4.5	3.5	2.3
Z	0.5	0.4	0.6	0.9	0.2	0.0	0.4	0.8	0.4	0.5	0.5
E	3.8	3.7	4.8	4.4	2.7	3.0	2.7	4.0	4.8	4.3	3.6

∴ |X|, |Y|, |Z| : Error of length per axes

$$E = \sqrt{|X|^2 + |Y|^2 + |Z|^2}$$

Table 4 Repeatability of robot manipulator

(unit : mm)

Point \ Axis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
X	1.0	0.0	1.5	2.5	3.0	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	1.7
Y	2.5	3.0	1.5	2.0	0.5	1.0	2.0	2.5	2.0	1.0	1.8
Z	0.5	0.0	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	0.3
E	2.7	3.0	2.2	3.2	3.0	2.3	3.2	2.7	2.5	2.3	2.5

∴ |X|, |Y|, |Z| : Error of length per axes

$$E = \sqrt{|X|^2 + |Y|^2 + |Z|^2}$$

다. Y축의 오차는 최대 3.0 mm, 최소 0.5 mm, 평균 1.8 mm로 나타났다. Z축의 오차는 최대 0.5 mm, 최소 0 mm로 오차가 발생하지 않았으며, 평균 0.3 mm로 나타났다. 실제 거리 오차(E)는 최대 3.2 mm, 최소 2.2 mm, 평균 2.5 mm로 나타났다.

위치오차 및 반복 작동에 의한 오차는 모두 5 mm 내로 발생하였으며, 오차측정 시 발생하는 측정오차와 착유컵의 직경과 유두의 크기가 20 mm 이상인 점을 감안할 때 로봇 착유시스템에 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

나. 모형유두 및 착유우

영상처리시스템과 착유컵 착탈모듈을 장착시킨 후 모형유두를 대상으로 실험한 결과, 10회 모두 모형유두에 장착할 수 있었다. 또한 착유우를 대상으로 시험한 결과, 착유가 모두 가능하였다. 본 연구에서 개발된 매니플레이터는 카메라로부터 전송되는 데이터와 착유컵 착탈모듈의 정확한 구동이 가능하다면 로봇 착유시스템에 적용가능 할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

로봇 착유시스템은 사람의 팔 대신 착유컵을 젖소의 유방으로 이동시켜주는 매니플레이터가 필수적이다. 본 연구에서는 5관절로 이뤄진 다관절 매니플레이터를 개발하고 성능분석을 통해 로봇 착유시스템에 대한 적용가능성을 평가하는데 있다. 구체적인 결과는 다음과 같다.

1. 위치오차 및 반복 작동에 의한 오차는 모두 5 mm 내로 발생하였으며, 오차측정 시 발생하는 측정오차와 착유컵의 직경과 유두의 크기를 고려할 때 로봇 착유시스템에 적용이 가능할 것으로 판단되었다.
2. 영상처리시스템과 착유컵 착탈모듈을 장착시킨 후 모형유두를 대상으로 실험한 결과, 10회 모두 모형유두에 장착할 수 있었다. 실험 결과, 카메라로부터 전송되는 데이터와 착유컵 착탈모듈의 정확한 구동이 가능하다면 로봇 착유시스템에 적용가능 할 것으로 판단되었다.

참고 문헌

1. Frpst, A. R., Mottram, T. T., Street, M. J., Hall, R. C., Spencer, D. S. and Allen, C. J. 2002. A Field Trial of a Teatcup Attachment Robot for an Automatic Milking System. *J. of Agriculture Engineering Research*. 325-334.
2. Ipema, A. H., Benders, E. and Rossing, W. 1987. Effects of More Frequent Milking on Production and Health of Dairy Cattle. *Proc. Third Symp. Automation in Dairying*. Wageningen. 1987. IMAG-DLO Wageningen Netherlands. 283-293.
3. Justesen, P. and Rasmussen, M. D. 2000. Improvement of Milk Quality by the Danish AMS Self-monitoring Program. *Proceedings of the International Symposium Robotic Milking*. 83-88.
4. Kim, W. 2003. Development of a Milking Robot System. Sung Kyun Kwan University. Suwon. 111-117. (in Korean)
5. Klungel, G. H., Slaghuis, B. A. and Hogeveen, H. 2000. The Effect of the Introduction of Automatic Milking on Milk Quality. *J. of Dairy Sci.* 83:1998-2003.
6. Kwon, D. J., Kim, W. and Lee, D. W. 2002. Position Analysis of Cow Teats for Teat-cup Attachment System on Robotic Milking System. *J. of Livestock Housing and Environment*. 8(3):159-164. (in Korean)
7. Lee, D. W., Kim, W., Kim, H. T., Kim, D. W., Choi, D. Y., Han, J. D., Kwon, D. J. and Lee, S. K. 2001. A Robotic Milking Manipulator for Teat-cup Attachment Modules. *J. of Bio-systems Engineering*. 26(2):163-168. (in Korean)
8. Lee, S. H., Choi, K. J. and Yu, B. K. 1998. Research Trends and Their Perspectives in Milking Robot. *J. of Bio-systems Engineering*. 23(6):641-647. (in Korean)
9. Lee, Y. J. and Chang, D. I. 1999. Basic Study for the Development of Teat Cup Handling System Operated by a Robot. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*. 4(2):159-164. (in Korean)
10. Pomies, D. and Bony, J. 2000. Comparison of Hygienic Quality of Milk Collected with a Milking Robot vs. With a Conventional Milking Parlor. *Proceedings of the International Symposium Robotic Milking*. 122-123.
11. Rossing, W. and Hogewerf, P. H. 1997. State of the Art of Automatic Milking Systems. *J. of Computers and Electronics in Agriculture*. 17(1):1-17.
12. Van der Vorst, Y. and Hogeveen, H. 2000. Automatic Milking Systems and Milk Quality in The Netherlands. *Proceedings of the International Symposium Robotic Milking*. 73-82.
13. 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. 北海道. (in Japanese)