

로봇 착유시스템을 위한 착유컵 착탈모듈 개발

김 응 이대원

Development of Teat-cups Attachment Module for Robot Milking System

W. Kim D. W. Lee

Abstract

The purpose of this study was the development of teat-cup attachment module for robot milking system. The teat-cups attachment module was controlled on the two dimensional space independently.

Each teat cup of an end effector was independently controlled via two axis control based on the position information data obtained from the image processing system. This system was developed install of all 4 teat cups at the same time after adjusting positions of each teat sequentially. The individual motion system was operated using two servo motors for the high speed of teat position adjustment.

The errors for the individual motion system of teat cups were maximum 1.0 mm, minimum 0.0 mm, and average 0.6 mm. The operating time for adjusting the teat cups position required about 1.0 second. It is envisaged that teat cups attachment module can be applicate to milking robot being developed in consideration of the experiment results for the teat cups operation accuracy and the actuation speed of servo motors.

Keywords : Teat-cup attachment module, Milking robot, Milking system

1. 서 론

우리 낙농에서 사육농가 수는 감소하는 반면 호당 사육두수는 크게 증가하여 50두를 넘어서고 있다. 이로 인해 경영의 전업화로 노동력 부족현상이 가속되므로 낙농 기자재의 자동화와 기계화가 조속히 이루어져야 한다(Choi and Yuen, 1999).

로봇 착유시스템은 부족한 노동력을 제공할 뿐만 아니라 착유 시 감염될 수 있는 세균을 줄임으로써 유질을 향상시킬 수 있다(Justesen et. al., 2000; Klungel et. al., 2000; Pomies et. al., 2000; Van et. al., 2000). 현재 하루 2번 착유하던 방식에서 여러 번 착유가 가능해짐으로 착유량도 증가되는 것으로 나타나고 있다(Iqema et. al., 1987; Rossing et. al., 1985).

낙농의 기계화는 여러 부분에서 이뤄지고 있으며, 가장 노동강도가 높은 착유작업기의 개발에 많은 노력을 하고 있다.

유럽의 선진낙농국을 중심으로 개발 보급 중인 로봇 착유시스템은 매니플레이터, 유두인식방법, 착유컵 이동방법 등에서 여러 가지 형태와 방법이 개발되고 있다(Frpst et. al., 2002; Lee et. al., 1998; Rossing et. al., 1997; 新出 등, 1994). 국내에서도 로봇 착유시스템의 개발을 위하여 착유컵 착탈 등의 기초연구를 수행한 바 있다(Lee et. al., 2001; Lee and Chang, 1999).

본 연구는 기술 집약적 낙농업의 발전과 노동력 절감, 착유시설의 국산화를 통한 농가 시설비 절감을 위해 수행된 로봇 착유시스템 개발의 한 부분으로 착유컵을 젖소의 각 유두로 동시에 위치시켜주는 착유컵 착탈모듈을 개발하고, 로봇 착유시스템에 적용가능성을 평가하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 시스템 구성

로봇 착유시스템은 영상처리부에서 각 유두의 상대적 위치정보를 얻게 된다(Kim, 2003). 획득된 위치정보에 의해 착유컵 착탈모듈은 시스템의 기준 점으로부터 각각의 착유컵을 동시에, 그리고 개별적으로 각 유두의 상대위치에 맞게 착탈시켜주는 시스템이다.

본 연구를 위하여 앞서 수행한 각 유두간의 상대적 위치를 측정한 연구 결과를 활용하여 시스템의 각 부 위치와 크기를 결정하였다(Kwon et. al., 2002). 그림 1은 설계된 착유컵 착탈모듈을 나타낸 것이며, 그림 2는 실제 제작된 착탈모듈을 나타낸 그림이다.

모듈은 착유컵과 착유컵 홀더, 서보모터, 서보모터 컨트롤러 및 로타리 커넥터로 구성하였다. 우유를 짜기 위한 착유컵은 기존에 농가에서 사용하고 있는 착유컵을 그대로 사용하였다. 착유컵의 위치를 잡아주는 착유컵 홀더는 볼-소켓 연결(ball and socket joint) 형태로 X축과 Y축으로 회전할 수 있도록 하였다.

모터는 리모트 컨트롤용(RC) 서보 모터(HS-75BB, HITEC사)를 사용하여 각 착유컵 홀더의 X, Y 평면상 위치제어 및 유지를 위하여 착유컵 하나에 2개씩 사용하였으며, 4개 착유컵의 위치제어를 위하여 총 8개의 서보 모터로 구성하였다(그림 3(a)).

리모트 컨트롤용 서보 모터는 DC모터와 위치제어를 하기 위한 포텐션미터(potentiometer)로 구성된다. 위치제어는 PWM(Pulse Width Modulation)제어방식으로 수행하였다. 토크는 4.8 V에서 0.65 N·m이며, 동작속도는 0.45 sec/60°이다(표 1).

서보 모터의 위치를 제어하기 위한 서보 모터 컨트롤 보드

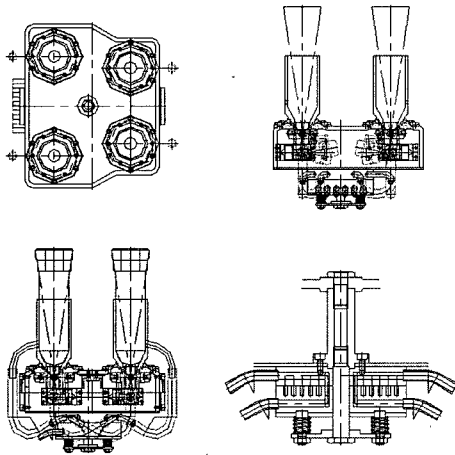


Fig. 1 Drawing of teat-cup attachment module.

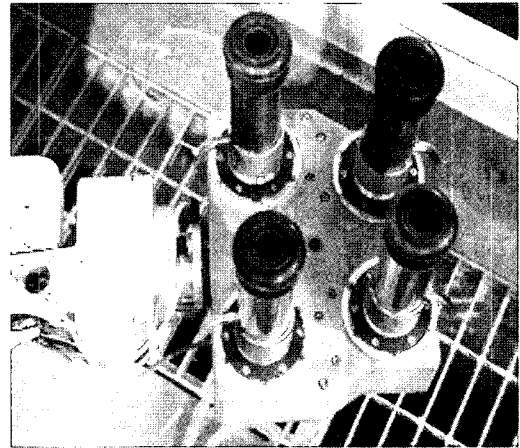
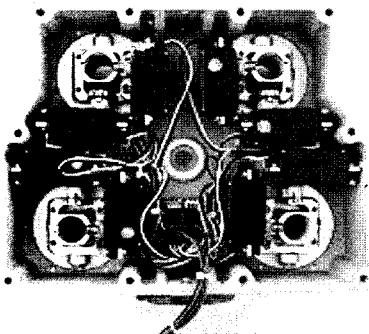
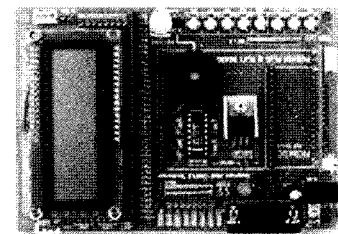


Fig. 2 Teat-cup attachment module at manipulator.



(a) RC servo motor



(b) Control board

Fig. 3 The control system for teat-cups attachment module (a) RC servo motor, (b) Control board.

Table 1 Specification of RC servo motor.

Model	Control system	Operating voltage (V)	Operating speed (sec/60°)	Stall torque (N·m)	Operating angle (°)	Weight (g)
HS-75BB	Pulse width control	4.8~6.0	0.45~0.34	0.65~0.82	90/180	35

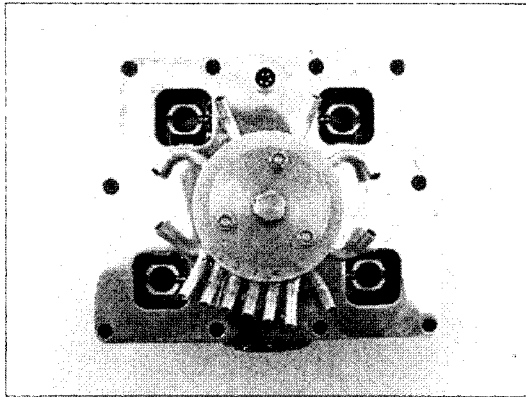


Fig. 4 Rotary connector for test-cups attachment module.

(SMC Board, COMFILE사)는 원칩 마이컴과 단선 시리얼 통신을 이용하여 총 8개의 서보 모터를 동시에 제어가 가능하다.

서보 모터 컨트롤러로 전송해주는 역할을 하는 원칩 마이크로프로세서는 COMFILE사 PB-1S 모델을 사용하였다. 영상처리시스템과 RS232C 통신으로 전달된 데이터를 변환한다. 또한 16 × 2 라인의 LCD를 연결하여 작동상태를 항상 확인할 수 있도록 하였다(그림 3(b)).

착탈모듈은 맥동과 짠 우유의 이송을 위하여 외부의 맥동기(pulsator)와 버킷(Bucket)으로부터 연결되는 맥동라인 2줄과 우유라인 4줄을 연결하였다. 또한 매니플레이터에 장착되어 움직이므로 여러 가닥의 라인이 꼬이는 일이 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 각 라인을 연결한 라인연결장치를 회전할 수 있도록 설계 및 제작하였다(그림 4).

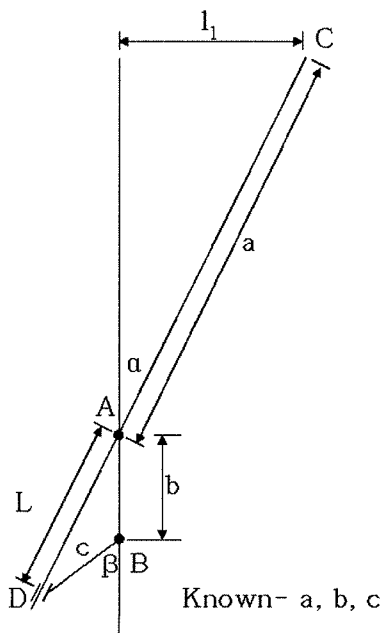


Fig. 5 Schematic diagram of kinematic chain of test-cup attachment system.

나. 기구분석

착유컵 구동의 기구분석을 위하여 그림 5와 같이 기구연쇄(Kinematic chain)를 나타내었다. 점 A를 중심으로 선분 \overline{CD} 길이의 착유컵과 착유컵홀더가 회전하여 위치이동을 하게 된다. 또한 착유컵홀더에는 B점을 중심으로 회전하는 모터에 의하여 각 β 만큼 구동되도록 하였다. 각 β 를 구하기 위하여 카메라로부터 착유컵 기준점으로부터 유두까지의 거리(l_1)를 알게 되면 착유컵 홀더가 회전해야할 각도(α)를 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{l_1}{a}\right) \quad (1)$$

식 (1)에 의해 구한 각 α 와 Cosine 법칙을 이용하여 식 (2)에 의하여 선분 \overline{AD} 길이(L)를 구할 수 있다.

$$L = \frac{2bc\cos\alpha + \sqrt{4b^2\cos^2\alpha + 4(b^2 - c^2)}}{2} \quad (2)$$

길이 L을 알게 되면, 마찬가지로 Cosine 법칙을 이용하여 $\angle ABD$ 를 구할 수 있으며, 식 (3)과 같다.

$$\angle ABD = \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + c^2 - L^2}{2bc}\right) \quad (3)$$

착유컵 홀더를 구동하기 위한 모터의 회전각 β 는 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\beta = 180 - \angle ABD \quad (4)$$

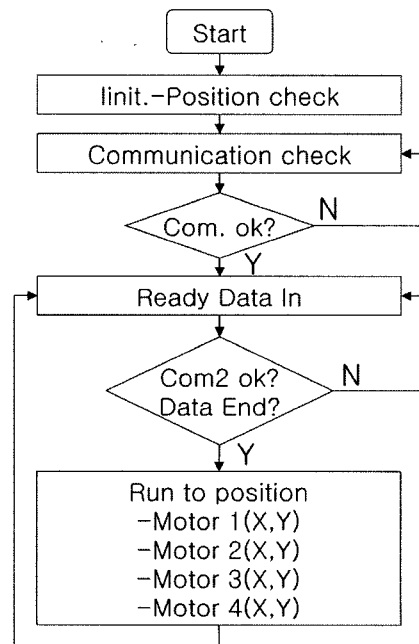


Fig. 6 Operation flowchart for test-cup attachment module.

다. 작동방법

시스템 작동순서는 전원이 들어오면 초기위치로 각 착유컵을 위치시킨다. 또한, 영상처리 시스템과 시리얼포트를 사용하여 통신상태를 확인하게 된다. 통신상태가 확인되면 영상처리용 컴퓨터에서 유두 4개의 상대좌표로부터 각 착유컵의 기준 점에서 작동할 데이터를 전송 받아 서보 모터를 작동한다. 작동이 완료되면 다시 영상처리 시스템으로부터 데이터를 입력받을 준비를 하게 된다. 본 시스템의 전체 제어 흐름도는 그림 6과 같이 나타내었다.

라. 시험 방법

제작된 착유컵 착탈모듈의 성능검증을 위하여 각 착유컵의 축별 위치오차와 반복작동 후 발생하는 반복오차 측정실험을 수행하였다. 또한 연성이 있는 플라스틱 재질의 모형유두를 제작하여 제작 중인 로봇착유시스템의 매니플레이터에 장착한 후 구동시켜봄으로써 로봇착유시스템에 적용가능성을 알

아보았다.

각 착유컵에 대하여 구동 가능한 범위에서 임의의 좌표 5 지점에 대한 좌표를 전송한 후 작동된 위치와 기준점과의 길이를 측정하여 각 축별 오차를 구하였다. 오차 측정을 위해 그림 7과 같이 두께 30 mm × 30 mm의 알루미늄 프로파일로 오차측정 테이블을 제작하였다. 또한 작동된 위치를 확인하기 위하여 착유컵의 중앙에 펜을 설치하여 위치를 고정시키고, 측정테이블에 맞도록 가로, 세로의 길이가 420 mm × 280 mm인 ABS판을 사용하여 작동 후 움직인 위치를 표시할 수 있도록 구성하였다. 측정된 거리는 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다.

각 착유컵별 반복작동오차를 알아보기 위한 실험은 각 착유컵의 작업공간내에서 임의의 5 지점에 해당되는 좌표값을 설정하여 10회 왕복 구동시킨 후, 실제 구동된 지점과 구동되어야 할 지점의 거리를 버니어캘리퍼스를 이용하여 구하였다.

또한, 로봇 착유시스템의 매니플레이터에 장착하여, 그림 8

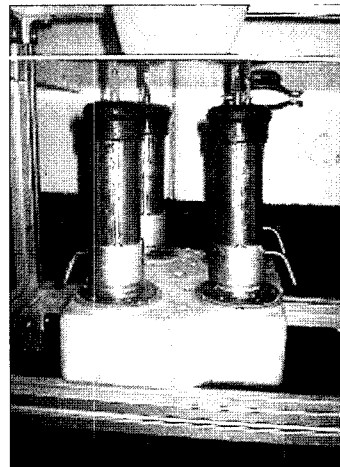
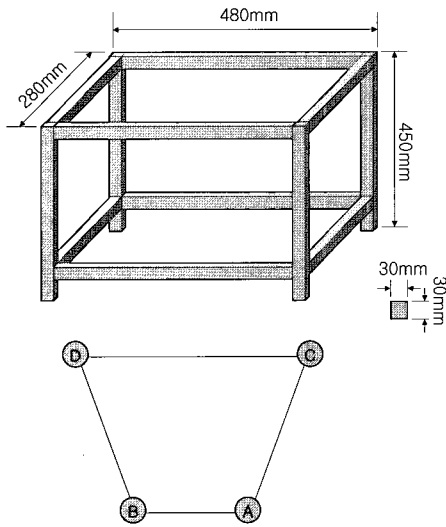


Fig. 7 Experiment for teat-cup attachment module.

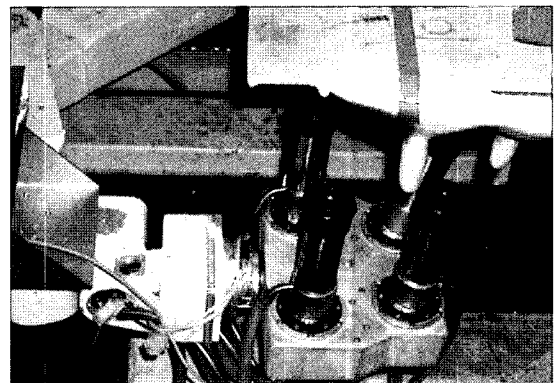
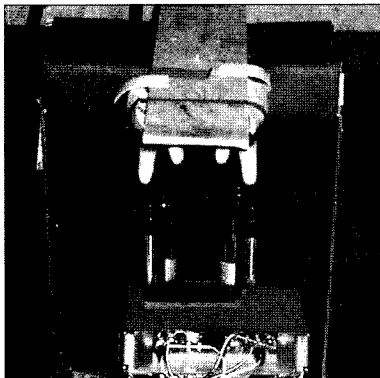


Fig. 8 Model teats for experiment.

과 같은 모형유두를 대상으로 적용가능성을 판단하기 위한 실험을 수행하였다. 구동은 카메라시스템으로부터 유두의 좌표를 전송받아 거리를 계산한 후 각 착유컵을 구동시킨다. 그 후, 시스템을 상승시켜 착유컵 구멍에 유두를 삽입시키도록 하였다. 적용가능 판단기준은 구동 후 4개의 모형유두 모두가 착유컵에 1 mm 이상 삽입이 되면 성공으로 보았으며, 총 10 반복하였다.

3. 결과 및 고찰

착유컵 착탈모듈의 성능검증을 위해 각 착유컵에 대해 작업공간 내에 있는 임의의 5 점에 대하여 축별 위치오차와 10 회 왕복작업에 대한 반복오차를 측정하였으며, 오차측정 결과는 다음과 같다.

가. 축별 위치오차 및 반복오차

착유컵 홀더의 작동을 위한 각 서보 모터에 대하여 5점의 데이터를 주어 구동시킨 후 측정한 각 축의 위치오차는 표 2 와 같이 나타났다.

최대 위치오차는 C 착유컵의 X 축, D 착유컵의 X, Y 축에서 1.0 mm로 나타났으며, 최소 위치오차의 경우 B 착유컵의 Y축에서 오차가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 각 축별 5

점에 대한 모든 서보 모터의 평균오차는 0.6 mm로 나타났다. 또한 작동속도는 1.0초 내에 구동되었다.

모든 서보 모터에서 오차가 1.0 mm 내로 나타난 원인은 측정할 때 발생하는 측정오차로 판단되었으며, 발생한 오차와 작동속도는 로봇 착유시스템에 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

나. 반복오차

기준 점으로부터 착유컵이 위치한 거리를 측정한 반복작업에 대한 오차측정 결과는 표 3과 같이 나타났다.

왕복작업에 의한 반복오차 측정결과는 최대오차가 1.8 mm로 나타났으며, 최소 오차는 0.5 mm로 나타났다. 이 결과는 착유컵의 직경과 유두의 크기가 20 mm 이상인 점과 측정 시 발생한 측정오차를 감안할 때 로봇 착유시스템에 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

다. 모형유두

착유컵 모듈을 모형유두에 적용하여 실험한 결과, 10회 모두 모형유두에 장착할 수 있었다. 본 실험 결과, 카메라로부터 전송되는 데이터와 매니플레이터의 정확한 구동이 뒷받침된다면 본 시스템은 로봇 착유시스템에 적용가능 할 것으로 판단되었다.

Table 2 Errors for servo-motors of teat-cups attachment module.

(unit : mm)

Repeat No. Axis	1		2		3		4		5		S	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Teat-cup No.												
1 (A)	0.9	0.4	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7	0.3	0.22	0.12
2 (B)	0.8	0.0	0.2	0.7	0.3	0.8	0.8	0.9	0.6	0.0	0.28	0.44
3 (C)	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8	0.9	0.7	0.9	1.0	0.8	0.21	0.05
4 (D)	0.6	0.5	0.8	1.0	0.6	0.7	0.6	0.7	1.0	0.7	0.18	0.18
Average	0.73	0.40	0.37	0.70	0.53	0.70	0.63	0.70	0.77	0.37	0.14	0.16
S	0.18	0.33	0.25	0.17	0.21	0.22	0.17	0.28	0.21	0.37	0.03	0.08

※ S : Standard Deviation

Table 3 Errors for repeatability of teat-cups attachment module.

(unit : mm)

Repeat No.	1	2	3	4	5	S
Teat-cup No.						
1 (A)	1.5	0.8	0.5	1.3	1.1	0.40
2 (B)	1.8	0.7	1.3	1.1	1.2	0.40
3 (C)	0.9	1.1	1.1	0.7	1.0	0.17
4 (D)	1.4	0.9	0.9	0.5	0.9	0.32
Average	0.90	0.87	1.27	1.73	2.10	0.21
S	0.37	0.17	0.34	0.37	0.13	0.12

4. 요약 및 결론

본 연구는 착유시설의 자동화를 위해 수행된 로봇 착유시스템 개발의 한 부분으로 착유컵을 젖소의 각 유두위치로 이동시켜주는 착유컵 착탈모듈을 개발하고, 로봇 착유시스템에 대한 적용가능성을 판단하기 위하여 각각의 착유컵에 대한 위치오차와 반복작동에 의한 오차를 측정하였다. 구체적인 결과는 다음과 같다.

- (1) 기존에 사용되는 착유컵과 위치를 제어하기 위한 서보 모터, 원칩 마이크로프로세서를 사용하여 착유컵을 개별적으로 위치제어가 가능한 착유컵 착탈모듈을 개발하였다.
- (2) 각 착유컵의 축별 최대 위치오차는 1.0 mm로 나타났으며, 최소 위치오차의 경우 오차가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 각 축별 5 점에 대한 모든 서보 모터 작동의 평균오차는 0.6 mm로 나타났으며, 작동속도는 모든 축이 1.0초 내에 구동되었다.
- (3) 왕복작업에 의한 반복오차 측정결과는 최대오차가 1.8 mm로 나타났으며, 최소 오차는 0.5 mm로 나타났다. 이 결과는 착유컵의 직경과 유두의 크기가 20 mm 이상인 점을 감안할 때 로봇 착유시스템에 적용이 가능할 것으로 판단되었다.
- (4) 모형유두에 적용한 결과, 10회 모두 모형유두에 장착할 있었으며, 이 결과는 카메라로부터 전송되는 데이터와 매니플레이터의 정확한 구동이 뒷받침된다면 로봇 착유시스템에 적용가능 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Choi, H. R and Yuen, J. H., 1999, “국내의 축산기자재 표준화 기술 현황 비교”, *5th Symposium of Livestock Housing and Environment*, pp. 7-19. (in Korean)
2. Frpst, A. R., t. i. Mottram, M. J. Street, R. C. Hall, D. S. Spencer and C. J. Allen. 2002, “A Field Trial of a Teatcup Attachment Robot for an Automatic Milking System”, *J. of agriculture Engineering Research*, pp. 325-334.
3. 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, 9-11 September 1987, IMAG-DLO, Wageningen, Netherlands*, pp. 283-293.

4. Justesen, P. and M. D. Rasmussen, 2000, “Improvement of milk quality by the Danish AMS self-monitoring program”, *Proceedings of the international Symposium Robotic Milking*, pp. 83-88.
5. Kim, W., 2003, *Development of a Milking Robot System*, SungKyunKwan University, Suwon, pp. 87-101. (in Korean)
6. Klungel, G.H., B.A. Slaghuys, and H. Hogeveen, 2000, “The effect of the introduction of automatic milking on milk quality”, *J. Dairy Sci.*, Vol. 83, pp. 1998-2003.
7. 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*, Vol. 8, No. 3, pp. 159-164. (in Korean)
8. 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*, Vol. 26, No. 2, pp. 163-168. (in Korean)
9. Lee, S. H., Choi K. J. and Yu B. K., 1998, “Research Trends and Their Perspectives in Milking Robot”, *J. of Bio-systems Engineering*, Vol. 23, No. 6, pp. 641-647. (in Korean)
10. 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*, Vol. 4, No. 2, pp. 159-164. (in Korean)
11. Rossing, W. and P. H. Hogewerf, 1997, “State of the art of automatic milking systems”, *J. of Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 17, No. 1, pp. 1-17.
12. Pomies, D. and J. Bony, 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*, pp. 122-123.
13. Van der Vorst, Y. and H. Hogeveen, 2000, “Automatic milking systems and milk quality in The Netherlands”, *Proceedings of the International Symposium Robotic Milking*, pp. 73-82.
14. Rossing, W., A. H. Ipema and P. F. Veltman, 1985, “The feasibility of milking in a feeding box”, *IMAG-DLO, Wageningen, the Netherlands. Research Report*, 8552.
15. 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)