

자 료

착유로봇의 연구동향과 전망

Research Trends and Their Perspectives in Milking Robot

이 성 현*	최 광 재*	유 병 기*
정회원	정회원	정회원
S. H. Lee	K. J. Choi	B. K. Yu

1. 서 론

우리나라의 젖소 사육은 '95년 말 23.5천호의 낙농 농가에서 553천두를 사육하던 것이, IMF의 영향을 받기 시작한 '97년 말에는 17.4천호의 낙농농가에서 544천두를 사육하여, 사육농가 호수는 26%가 감소한 반면 전체적인 사육 마리 수는 2.7%의 감소에 불과하였다. 이것으로 소규모 영세 사육농가가 줄어들고 점차 사육규모가 확대되고 있음을 알 수 있다. 또한 사육 규모가 확대됨으로써 낙농의 농작업 시간이 늘어나고 있으며, 매일 2회의 작업을 해야만 하는 착유작업의 노동부담이 과중되고 있다. 낙농의 농작업 가운데 착유작업에 소요되는 노동시간이 10두 미만 사육농가에서는 전체 농작업시간 중 30.6%, 30두 이상을 사육하는 농가에서는 31.9%를 차지하여, 사육규모가 클수록 착유작업에 소요되는 노동투하시간의 비중이 증가하고 있다. 젖소 한 마리를 착유하는 데 소요되는 착유 노동시간은 하루 2회 착유로 10.0~13.4분으로, 착유작업만의 연간 노동투하시간은 마리 당 65.3~80.8시간이다. 우리나라 낙농업의 주체는 가족경영이고 현재의 노동환경은 고용인을

구하는 것이 어렵고, 경제적으로도 여유가 없다.

특히 현재의 착유작업은 전적으로 인력에 의존하는 작업으로, 우리나라와 같이 대부분의 사료를 해외에 의존하고 있는 상황에서는 착유작업 등 사양관리에 투하하는 노동력을 자급사료 생산으로 전환하기 위해 착유의 완전 자동화는 더욱 시급한 일이라 하지 않을 수 없다. 이러한 착유작업에 소요되는 노동력을 줄이기 위해 네덜란드를 시작으로 인력에 의존하지 않고 자동으로 착유를 할 수 있는 착유로봇이 개발되어 판매중에 있고, 독일, 프랑스, 영국 등에서도 활발하게 착유로봇을 개발중에 있다. 또한 우리나라와 가까운 일본에서도 네덜란드의 착유로봇을 도입하여 국산화 연구를 하고 있으며, 이미 상당한 수준의 국산화 된 로봇을 제작하여 시험 농장에서 개량 보완시험을 계속하고 있다. 우리나라에서는 착유로봇에 대한 인식은 크게 확산되고 있으나 그에 대한 연구는 미비한 실정이다.

특히 착유로봇은 움직이는 소를 대상으로 하기 때문에 개발의 어려움은 있으나 센서 및 컴퓨터 기술의 발전에 따라 더욱 개발의 가능성은 증대되고 있다. 따라서 우리나라에서도 착유로봇에 대한 연구의

\* 농업기계화연구소 생물생산기계과 축산기계연구실

활성화가 시급히 요청되고 있다. 여기서는 착유로봇의 개념과 개발현황, 착유로봇의 핵심기술인 유두인식 방법, 착유로봇을 사용하기 위한 우사의 구조 및 소의 이동경로, 착유로봇의 도입 효과 등을 알아보고, 향후 착유로봇 분야의 연구전망을 살펴보고자 하였다.

## 2. 착유로봇의 개념과 개발현황

### 가. 착유로봇의 개념

기존의 착유작업은 사람의 편리함을 위주로 이루어졌다. 즉 낮에는 조사료의 생산이나 사양관리를 하고, 아침과 저녁에 소를 착유실에 들어오도록 해서 정해진 순서에 따라 착유를 하는 시스템으로 구성되어 있다. 착유는 일년 중 하루도 거를 수 없는 작업으로, 매일 2회 또는 3회의 착유를 정해진 시간에 해야만 한다. 따라서 낙농을 하는 사람은 언제나 소에게 구속되어 일을 해야 하기 때문에 일상 행동의 자유를 빼앗기고 있다. 착유로봇은 이러한 문제점을 개선하려는 의도로 개발되었다. 착유로봇의 기본적인 사상은 착유작업으로부터 낙농을 하는 사람을 해방시키고, 젖소가 자신의 의지로 “젖을 짜고 싶을 때 언제든지 착유하는 것” 착유를 할 수 있도록 구성되었지만, 이것은 경영의 수익성 향상과 함께 젖소의 복지 측면에서도 바람직한 것으로 평가받고 있다(野附巖 등, 1998).

착유로봇의 컴퓨터에 의해 완전히 자동으로 작동된다. 로봇의 작동은 다음의 순서 ① 젖소가 로봇의 출입문에 다가서면 착유할 때가 되었는가를 판단하여 착유할 때가 된 소면 출입문을 열어 착유실로 들여보낸다, ② 젖소가 착유스톨 안에 들어오면 앞부분에 있는 농후사료 자동급여기로 소에게 할당된 사료를 급여한다, ③ 센서와 미리 입력한 젖소의 유두 데이터를 참고해서 유두위치를 찾는다, ④ 유두를 세척하고 착유컵을 부착하여 착유를 한다, ⑤ 착유

시의 유량이나 분방별 착유압력을 계측하여 착유를 종료하고 착유컵을 이탈한다, ⑥ 착유가 종료된 소의 유두를 소독하고 출구를 열어 소를 착유스톨 밖으로 내보낸다, ⑦ 소의 건강상태, 유량 등의 데이터를 관리한다.로 이루어진다(鈴木正月土 등, 1995).

### 나. 착유로봇의 개발현황

젖소의 젖을 기계로 짜려고 하는 시험은 지금부터 160년 전에 영국에서 시작되었다. 그 후 1851년에 착유에 진공을 사용하는 방법이 도입되면서 영국, 미국 등에서 상품화 되었으며, 1903년에는 오스트레일리아의 한 낙농가에서 현재와 같은 2실 구조의 착유컵을 발명했으며, 1940년대에는 구미 각국의 낙농가에 일반화되어 보급되었다. 1960년대에는 착유기의 성능을 향상시키기 위해 사용진공압, 박동수, 박동파형 등에 관한 연구가 수행되었으며, 1970년대에는 기계착유시의 유방염 발생 등을 방지하기 위한 개량이 수행되었다. 그리고 착유의 자동화를 위해 자동유량계측장치, 착유컵 자동탈락장치 등이 개발되었고 착유기에 부착되어 현재 많은 낙농가에서 사용되고 있다(野附巖 등, 1998).

착유의 전과정을 무인화하는 착유로봇 개발은 1972년 일본농림수산성 축산시험장에서 수행한 전자동 착유기의 개발이 최초였다. 이 연구는 소를 스톨에 고정하고 격자모양으로 배열한 센서를 이용하여 젖소의 유두를 찾아 착유컵을 부착하는 형식을 이용하였다. 이 연구는 5년간 수행되었으나 유두 센싱 후 착유컵을 장착하기까지의 시간이 많이 소요되어 착유컵이 소의 움직임을 따라가지 못하는 등의 문제 때문에 실용화에는 이르지 못했다. 그 후 본격적인 착유로봇의 개발은 1980년대 후반부터 네덜란드를 중심으로 한 유럽국가에서 수행되었다. 네덜란드에서는 1992년에 착유로봇을 주제로 한 국제심포지엄의 개최를 계기로 급속하게 착유로봇에 대한 관심이 증가했으며, Prolion사에서 최초의 완성된 착유

로봇을 개발하여 공공기관의 낙농장 및 일반농가에 보급하기 시작했으며, 뒤이어 Lely사에서도 완성된 착유로봇을 개발하여 일반 낙농가에 보급하기 시작했다(新出陽三 등, 1994). 현재 착유로봇은 개발국인 네덜란드에서의 이용이 압도적으로 많지만 독일에 서 개발한 로봇이 독일 내에서 3대 정도, 프랑스, 영국, 캐나다, 일본 등 연구기관에서 이용시험을 하고 있는 것을 포함해 세계적으로 130개소 이상에서 가동되고 있다. 市戶方丈은 앞으로 2년내에 500개소 이상의 낙농가에서 착유로봇을 이용할 것으로 추정을 하고 있다.

### 3. 착유자동화를 위한 유두인식 방법

착유로봇이 일반 산업용이나 농업용 로봇과 다른 점은 자기 의지를 가지고 움직이는 소를 대상으로 한다는 것이다. 이렇기 때문에 착유로봇의 핵심 기술은 젖소의 유두를 검출하는 데 있다. 표 1은 판매와는 별도로 착유컵 장착에 성공했다고 전해진 순번으로 유두검출에 사용된 센서 및 로봇의 특징을 나

타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 젖소의 유두검출을 하기 위해 사용된 센서로는 유도접촉식, 레이저, 초음파, 광차단센서 등 다양하다(Artmann, 1997; Mottram, 1997; Rossing 등, 1997; 端俊一, 1997; 新出陽三 등, 1994; 野附巖 등, 1998).

그림 1은 네덜란드의 Prolion사에서 개발한 착유로봇에 부착된 초음파 센서의 유두인식 방법이다. 이것은 2개의 초음파 센서를 이용하여 젖소의 오른쪽 앞유두를 찾고, 다음에 1개의 초음파 센서를 4개의 유두 사이에 넣어 회전을 하여 회전 초음파센서를 기준으로 각 유두까지의 거리 및 유두 분포를 얻는 방식으로 구성되어 있다(Rossing 등, 1997).

그림 2는 네덜란드의 Lely사에서 개발한 착유로봇에 부착된 레이저 센서의 유두인식 방법이다. 이것은 1개의 레이저 센서를 착유컵 홀더 앞에 부착하여 레이저 센서를 좌우로 회전하면서 젖소의 유두를 찾을 수 있도록 되어 있다. 레이저 센서가 회전하면서 센서로부터 각 유두까지의 거리 및 회전각을 검출하여 각각의 유두에 착유컵을 부착하도록 되어 있다 (Rossing 등, 1997).

표 1. 착유컵 장착에 성공한 로봇과 특징

형식	개발국	유두센서	구조와 특징, 판매실적 등
A	일본	유도접촉식	실험단계, 소는 거의 움직일 수 없게 되어 있음.
B	네덜란드	없음	잠시 판매를 단념, 새로운 센서를 도입해서 개발을 재개했음.
C	독일	레이저	착유컵을 하나씩 조작, 유두온도 센서도 사용
D	네덜란드	초음파	Prolion사, 판매중, 유두를 착유컵 내에서 세척
E	독일	광차단센서	1999년 판매예정, 유두세정 스텔과 착유스텔로 각각 구성되어 있음.
F	프랑스	레이저	앞유두와 뒷유두를 각각 조작, 광차단센서도 함께 사용
G	영국	초음파등	1999년 판매예정, 여러 가지 센서에 대해 시험 실시
H	네덜란드	레이저	Lely사, 판매중, 분방별 착유종료 감지방식
I	이탈리아	초음파	머니플레이터는 공업용
J	일본	광차단센서	1999년 판매예정, 우체접촉센서도 사용
K	일본	광차단센서	계류식 우사의 이용을 목적으로 연구, 우체 추적방식

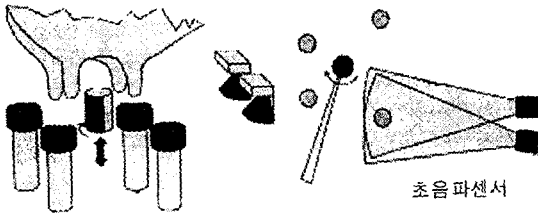


그림 1 초음파센서 이용.

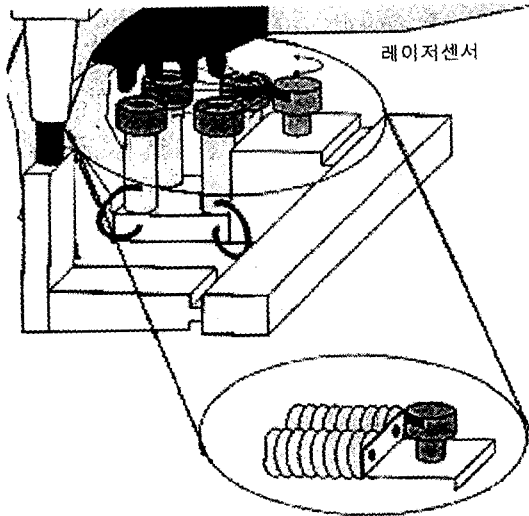


그림 2 레이저센서 이용.

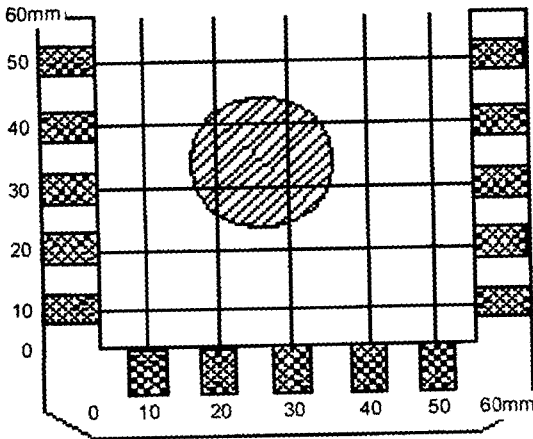


그림 3 광차단센서.

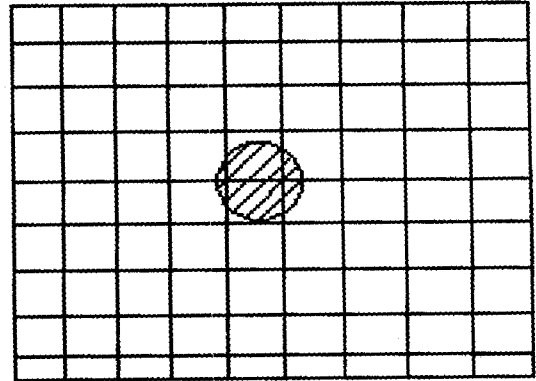


그림 4 광 격자센서.

그림 3은 일본에서 개발한 착유로봇에 부착된 광차단센서를 이용한 유두인식 방법이다. 이것은 투과형 광전소자와 반사형 광전소자를 ㄷ자 모양으로 배열하였으며, 센서안에 젖소의 유두를 넣어 유두를 인식하는 방식으로 구성되어 있다(鈴木正月土 등, 1995; 野附巖 등, 1998).

그림 4는 프랑스의 Cemagref에서 개발하고 있는 착유로봇에서 유두를 인식하기 위해 사용하고 있는 광격자 센서이다. 이것은 광센서를 격자모양으로 배열하여 젖소의 유방 아래에서 위를 향해 광을 보내어 유두를 인식하는 방식을 이용하고 있다(鈴木正月土 등, 1995).

이 외에도 젖소의 유두를 검출하기 위한 방법으로는 유두의 좌표위치를 데이터 베이스화 해서 기억하는 것, 유두온도를 이용하는 방법, CCD 카메라를 이용하는 방법 등이 있고, 이것을 단독 또는 병용하여 사용하고 있다(小宮道士 등, 1994). 여기서 CCD 카메라를 이용하는 방법은 로봇 착유실 내부가 먼지발생, 광강도의 변화, 물 또는 소독액을 사용하는 때 따른 환경이 열악하여 널리 이용되지 못하고 있다. 따라서 이것은 CCD 카메라와 초음파 센서 등을 병용하여 이용하는 것이 일반적이다(Artmann, 1997).

#### 4. 착유로봇용 우사의 구조 및 소의 이동 경로

지금까지 개발된 착유로봇은 방사식 우사에서 사용하고 있는 젖소를 대상으로 개발되었다. 이것은 젖소가 자신의 의지로 젖을 짜고 싶을 때 착유실로 들어가 젖을 짜는 것을 기본적인 사상으로 성립되었다(Cooper 등, 1998). 일부 국가에서 계류식 우사에서 사용하고 있는 소를 대상으로 한 착유로봇을 개발중에 있으나 아직 실용화는 하지 못했다. 로봇이 제 성능을 발휘하려면 축사의 구조를 로봇착유에 적합하게 변경해야 한다. 축사의 구조가 복잡하면 소가 착유실에 들어오는 횟수가 적어지고, 어떤 소는 젖을 짜고 싶어도 로봇을 찾아오지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 축사의 구조를 젖소의 행동에 맞추어 단순화 할 필요가 있다.

그림 5는 로봇에 의한 착유를 효율적으로 하기 위한 축사의 구조이다. 여기에는 농후사료자동급이기, 급사조, 운동장, 젖소가 젖을 짜기 위해 로봇으로 향할 때 착유할 대상의 소인가를 판단하여 착유할 소이면 대기장소로 보내고, 아직 착유할 때가 되지 않은 소는 운동장으로 보내는 선택구역, 로봇이 작동중에 있을 때 착유할 대상의 소를 스톨 밖에서 잠시 대기시키는 구역, 로봇착유를 위한 착유스톨 등으로 구성되어 있다(Devir 등, 1996; Reinemann 등, 1994). 이 축사에서 모든 소는 일방향 통행을 할 수 있도록 각 구역을 구분하는 곳에는 일방향 출입문이 설치되어 있다. 이와 같이 로봇착유는 소의 입실행동이 소에게 맡겨져 있기 때문에 기다리는 시간도 소한테 좌우된다. 그렇기 때문에 각각의 소를 유도하고 입실 대기시간을 줄이는 일이 착유로봇을 이용하는 데 매우 중요하다. 따라서 착유로봇의 스톨 내부에는 젖소가 착유스톨로 찾아오는 빈도를 높이기 위해 농후사료 급이기가 설치되어 있다(Cooper 등, 1998; Devir 등, 1996). 착유스톨 내에 설치된 농후사료 급이기는 소량의 사료를 급이하며, 급이하는 양은 각

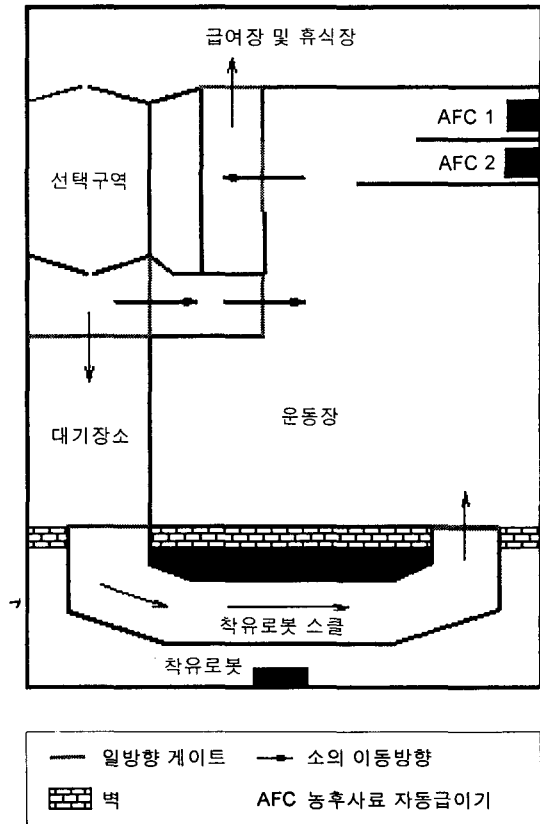


그림 5 착유로봇용 우사의 일반적인 구조.

젖소의 착유 가능시간을 분석하여 착유가 시작될 때부터 종료할 때까지 항상 일정한 양을 급이할 수 있도록 되어 있다.

#### 5. 착유로봇의 도입 효과

우리나라 낙농가의 1일 농작업시간은 규모의 대소에 따라 두당 34.1~44분이며, 이 가운데 착유작업에만 소요되는 노동시간의 비율이 30.6~31.9%로 약 1/3을 차지하고 있다. 또한 착유작업은 착유실 내에서의 이동, 유두세척, 착유컵 장착 및 탈락 등 단시간에 많은 작업을 해야 하는 작업강도가 높은 작업이다. 착유로봇은 이들 작업을 사람을 대신해서 하기 때문에 노력을 사용하지 않고 착유가 이루어진

다. 이것이 로봇착유에 대한 가장 큰 기대이다. '97년 말 우리나라 낙농가 1호당 평균 사육두수는 약 32두이다. 이들 유우는 주로 방사식 우사에서 사육되고 있기 때문에 착유로봇의 도입에는 적합한 구조라 할 수 있다. 정태영(1997) 등이 분석한 연구에 의하면 우리나라의 낙농가에서 사용하고 있는 착유실 형태에 따른 착유기의 작업성능은 시간당 Tandem 24.9, Sideopening 9.47, Herringbone 11.85, Parall(D-5) 13.21두로 나타났다(정태영 등, 1997). 이것은 현재 상품화되고 있는 착유로봇의 1스톨당 시간당 처리능력을 7~8두로 보았을 때 로봇착유보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나 로봇착유는 하루 24시간 연속적으로 작업을 할 수 있기 때문에 단위시간 당 처리능력은 떨어지더라도 전체적인 착유능력이 우수함을 알 수 있다. 착유로봇을 매일 24시간 가동하는 방법을 이용하여 소가 1일 3회 착유스톨에 착유를 한다면 착유로봇 1스톨로서 하루 50두 정도의 착유가 가능함을 알 수 있다(干場秀雄 등 1996; 1998).

또한 착유로봇을 사용하여 1일 2회 착유하던 것을 3회 착유로 늘리면 착유량이 10~15% 증가한다는 연구결과가 있다(1998, K. Cooper 등). Cooper 등은 착유횟수의 증가에 따른 착유량의 증가를 다음 식으로 나타내었다.

$$y = 1.25(1 - 0.45^f) y_0$$

여기서,  $f$  : 1일 착유횟수,

$y_0$  : 1일 2회 착유할 때의 1일 착유량

Amos는 1일 3회 착유에 의한 산유량은 경산우에서 18%, 초산우에서 25%가 2회 착유보다 증가한다고 한다. 이것은 다회 착유에 의해 유방의 내압이 떨어지고 유선세포의 퇴행을 억제하여 유즙분비 속도를 촉진하기 때문인 것으로 알려져 있다(新出陽三等, 1994). 또한 IMAG-DLO의 연구결과로 착유횟수가 증가하면 유우에 포함된 체세포수(SCC)가 감소

하여 우유의 품질이 높아지기 때문에 경제적으로 이득이 된다고 한다.

착유로봇을 사용함으로써 기대되는 또 하나의 효과로는 젖소에게 가장 문제가 큰 유방염의 감소이다. 이것은 매회 착유시 우유의 검사를 할 수 있기 때문에 유방염을 조기발견하여 조기치료의 효과가 기대되고, 1일 3회 또는 4회 착유로 유방염 치료법의 하나인 다회 착유와 같은 효과를 기대할 수 있기 때문이다(野附巖 등, 1998).

## 6. 착유로봇의 연구 전망

착유로봇은 동물의 복지를 향상하고 노동력을 절감한다는 목표로 개발이 되어 현재 전세계적으로 약 130개소 정도의 낙농장에서 이용이 되고 있다. 우리나라에서는 아직 동물의 복지에 대한 관심은 적지만, 노동력 절감과 착유량의 증가라는 이유 때문에 앞으로 많이 도입될 것으로 판단된다. 현재 외국에서 이용되고 있는 착유로봇은 착유로봇에 적합하게 선별한 소를 대상으로 해도 착유컵의 장착 성공률은 95% 정도이다. 따라서 현재 이용되고 있는 착유로봇을 더욱 개량해서 착유컵의 장착성공률을 100%에 가깝게 할 수 있도록 개량이 필요하다. 그리고 대상물이 자신의 의지로 움직이고, 주위의 환경에 의해서도 항상 변화하는 동물이기 때문에 착유로봇에서는 일어날 수 있는 불규칙한 사태에 즉 소가 로봇을 발로 차거나 로봇위에 앉아 로봇을 망가뜨리는 등에 대응할 수 있는 사용법을 확립하는 것도 필요하다. 또한 착유로봇을 효율적으로 이용하기 위해서는 로봇착유에 적합한 소를 선발하는 것도 한 가지 방법이다. 즉 유두 배치간격이 지나치게 좁은 소, 극단적으로 말하면 뒷 유두가 접촉 또는 교차하여 있는 경우는 로봇이 더욱 개량된다고 해도 착유를 할 수 없게 될 것이다. 그리고 이러한 현재의 문제점을 해결하고 착유로봇을 안정적으로 가동하기 위해서는 착유로봇의 신뢰성을 향상하고, 유방 및 유두의 세정

을 효율적으로 하고, 착유량, 소의 건강, 출산, 행동 및 복지에 관해 어떠한 착유회수가 가장 좋은가 및 착유회수의 증가에 따른 우유의 냉각방법 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다. 그리고 낙농가에서 착유로봇을 사용하게 됨으로써 소와의 접촉이 작아져 관리를 등한시하는 것도 문제가 된다. 이것은 우군관리 프로그램 및 여러 가지 이상을 감지하는 센서 등으로 어느정도 농가의 일을 대처할 수 있기 때문에 이에 대한 연구를 활성화 해야 할 것으로 생각된다.

착유로봇을 농가에 적용하기 위해서는 농가의 우사 구조를 변경해야 한다. 따라서 현재 낙농가에서 이용하고 있는 우사의 구조변경을 최소화하여 로봇을 적용시킬 수 있는 구조 분석에 관한 연구가 필요하고, 착유로봇을 현재 우리나라 낙농가에 도입했을 때의 노동력 절감 및 착유량 증가, 여유 노동력을 조사료 생산을 위해 전환하는 것에 의한 조사료 자급률 향상 등을 기초로 착유로봇 도입에 적합한 영농규모, 경제성 등을 종합적으로 분석하여 우리실정에 알맞은 로봇착유의 환경을 조성하는 것도 연구의 한 과제로서 수행되어야 할 것이다.

## 7. 결 론

착유로봇의 개발 및 이용은 낙농업에 있어 하나의 변혁이라 할 만하다. 사람이 착유하던 것을 로봇에 의해 완전히 무인화 된 로봇에 의해 착유한다는 것은 낙농을 하는 사람들에게는 하나의 꿈이었다. 그러나 그러한 꿈이 현실화 되어 유럽 등 낙농선진국에서 이미 일부 사용하고 있다. 그러나 우리나라의 낙농가는 아직 그것을 꿈으로 생각하는 사람이 많고, 일부 연구자들에게만 그것이 머지않아 우리나라에서도 현실화 될 것이라는 생각에 있다. 보다 완벽한 착유로봇의 개발을 위해 선진 외국에서는 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 다양한 연구 결과가 발표되고 있다. 그러나 우리나라에서 착유로

봇에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 1992년 네덜란드가 착유로봇에 대한 국제 심포지엄을 개최한 후 착유로봇에 대한 관심이 확대되어 현재의 착유로봇을 개발한 것과 같이 우리나라에서도 착유로봇에 대한 국제심포지엄을 개최하여 착유로봇에 대한 관심을 확산시키고 아울러 착유로봇 개발에 대한 발판을 마련했으면 하는 것이 개인적인 생각이다. 현재까지 착유로봇 관련 연구를 고찰해 본 바에 따르면 외국의 착유로봇 기술은 매우 높은 수준에 있다. 우리나라에서도 향후 연구의 필요성을 인식하여 체계적인 연구과제를 확립하고 연구를 활성화시킬 때 우리나라 낙농업은 장래성있는 첨단기술로서 경쟁력을 갖추게 될 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 정태영, 김형화, 김동일, 이정호, 이홍표, 김종민, 이연섭. 1997. 착유시설 형태에 따른 착유 노동 생산성에 관한 연구. 한국축산시설환경학회지 3(2):87-95.
2. Reinemann, D. J. and G. A. Mein. 1994. Transition from Stratified to Slug Flow in Milklines. Transactions of the ASAE 37(2):655-660.
3. Cooper, K. and D. J. Parsons. 1998. A Simulation Model of an Automatic Milking System Applying Different Management Strategies. J. Agric. Engng. Res. 69:25-33.
4. Artmann, R. 1997. Sensor systems for milking robots. Computers and Electronics in Agriculture 17:19-40.
5. Devir, S., J. P. T. M. Noordhuizen, P. J. Huijsmans. 1996. Validation of a Daily Automatic Routine for Dairy Robotic Milking and Concentrates Supply. J. Agric. Engng. Res. 64:49-60.
6. Toby Mottram. 1997. Requirements for teat inspection and cleaning in automatic milking

- systems. Computers and Electronics in Agriculture 17:63-77.
7. Rossing, W. and P. H. Hogewerf. 1997. State of the art automatic milking systems. Computers and Electronics in Agriculture 17:1-17.
8. 干場秀雄, 梅律一孝, 高火田英彦. 1998. 自動搾乳システムによる定時搾乳業と連続搾乳作業の比較. 日本農業機械學會誌 60(1):107-114.
9. 干場秀雄, 梅律一孝, 高火田英彦. 1996. 自動搾乳システムの搾乳能率. 日本農業機械學會誌 58(4):105-114.
10. 端俊一. 1997. 超音波おを用いた計測 -距離・位置・速度の超音波計測. 日本農業機械學會誌 59(2): 101-104.
11. 鈴木正月士, 唐橋需, 木下源一郎, 津村俊弘, 安村充弘. 1995. 農業ロボット開發の課題と展望 (1). 日本農業機械學會誌 57(6):143-168.
12. 新出陽三, 松田從三. 1994. 搾乳ロボットと酪農. 酪農総合研究所 酪農研特別選書 No. 30.
13. 小宮道士, 川上克己. 1994. 自動搾乳装置開發のための基礎研究 - 画像處理による乳頭位置の檢出 -. 日本農業機械學會誌 56(3):85-92.
14. 野附巖, 市戸方丈, 喜田環樹, 柏村文郎, 本田善文, 平田晃. 1998. 搾乳ロボットの開發と普及の現状. 日本農業機械學會誌 60(1):133-154.