

우유의 실시간 품질판정을 위한 전처리장치 개발 - 자동 공급, 혼합 및 온도 제어 -

최창현 김용주 김종덕 김기성 노해원

Development of Preprocessor for Real-time Quality Evaluation of Milk - Automatic Supplying, Mixing and Temperature Control -

C. H. Choi Y. J. Kim J. D. Kim K. S. Kim H. W. Noh

Abstract

The purpose of this study was to develop a preprocessor for real-time portable quality evaluation system of milk. The preprocessor consisted of two flow pump to supply milk sample and reaction reagent at given volume, a fan to mix milk with reaction reagent, a thermoelectric device to maintain sample temperatures of 40°C, and I/O interface to control signals. The tests conducted with different level of flow rate of pump, fan speed, ambient temperature, and initial temperature of mixtures. To evaluate performance of the preprocessor, the supplied volumes, color changes, and temperatures were measured and analyzed. The results showed that the preprocessor could control supplying volumes, mixing, temperatures of samples automatically. The preprocessor showed good performance to be used for portable quality evaluation system of milk.

Keywords : Preprocessor, Supplying volume, Mixing, Temperature

1. 서론

현재 해외 낙농 선진국에서는 소득증대와 웰빙시대에 발맞추어 고품질 우유 생산에 심혈을 기울이고 있으며, 국내에서도 국제 경쟁력을 높이기 위해 고품질 우유 생산에 박차를 가하고 있다. 현재 국내에서 시행되고 있는 우유의 품질측정은 여러 젖소로부터 수집하여 혼합된 우유의 샘플을 이용하여 전수조사가 아닌 표본조사에 의존하고 있으므로 품질이 낮은 젖소의 우유를 선택적으로 제거하기가 어렵고 다른 우유 시료와 혼합되어 전체적인 품질 저하를 초래하게 된다. 우유 체세포수의 증가는 전체적인 유량을 감소시키고 유성분 중 지방, 유당, 단백질, 카제인의 감소와 나트륨, 염소의 증가를 가

져오는 등의 전체적인 우유 품질에 영향을 미쳐 축산농가의 경제적 손실이 매우 크며 우유의 경제적 가치를 떨어뜨린다(국립수의과학검역원, 2002). 그러므로 착유 시 축산농가 및 우유 유통현장에서 실시간으로 우유의 체세포수 등을 포함한 유지방, 단백질, 유당 등의 품질 요인을 측정할 수 있는 우유의 품질판정 시스템을 도입하여 등급별 체계적인 우유의 관리가 필요하다.

현재 우유의 품질판정 방법에는 크게 전문가에 의한 이화학적 분석법과 자동화된 장치를 이용한 분석법(Combifoss, FT6000, Denmark)이 있다. 이화학적 분석을 위해 지방은 Gerber법, 단백질은 Kjeldahl법, 유당은 HPLC법, 체세포수는 직접현미경법 등의 각각 다른 분석 방법이 필요하며(정해욱,

This study was conducted by the research fund supported by the Agricultural R&D Center (ARPC), Ministry of Agriculture and Forestry. This article was submitted for publication on 2008-03-31, reviewed on 2008-04-08, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-04-14. The authors are Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, Yong Joo Kim, Research Assistant Professor, KSAM member, Jong Deok Kim, Researcher, KSAM member, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering SungKyunKwan University, Suwon, Korea, Kee Sung Kim, Principal Researcher, and Hae Won Noh, Researcher, Korea Food Research Institute. Corresponding author: Y. J. Kim, Research Assistant Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea; Fax: +82-31-290-7834; E-mail: <babina@skku.edu>.

2003; 송재철, 2006), 오랜 시간이 필요하고 위험한 시약을 사용하는 등의 복잡한 전처리 과정이 필요하여 일반 축산농가에서 사용하기 어려운 실정이다. 자동화된 장치를 이용한 분석법은 이화학적 분석방법의 문제를 해결할 수 있으나 장비의 가격이 비싸 일부 유가공 업체에서만 사용이 가능하고 규모가 크므로 이동 중에 사용하거나 휴대할 수 없어 우유 생산현장에서 실시간 품질측정이 불가능한 단점이 있어 이를 해결할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다.

실시간 우유 품질관정을 위한 선행연구로는 근적외선 분광 분석법을 이용한 방법이 주로 연구되었으며, Tsenkova 등 (1999)은 체세포수, 단백질, 지방, 유당, 무지고형분 등의 유 성분 예측모델을 개발하여 근적외선 분광분석법으로 우유 품질 측정의 가능성을 제시하였다. Pravdova 등(2001)은 체세포수의 예측력을 높이기 위해 기존의 부분최소자승법(Partial Least Squares, PLS)을 변경한 UVE(Uninformative variable elimination)-PLS 알고리즘을 이용하여 상관계수(R) 0.87의 좋은 예측 모델을 개발하였으며, 이때 유지방과 유당이 온도에 민감한 것을 고려하여 우유 시료의 온도는 착유 시 온도와 유사한 40°C를 유지하는 것이 필요하다고 보고하였다. 최 등 (2006)은 유성분과 반응하는 Methyl Red, Methylene Blue, Bromcresol Purple, Phenosulfonphthalein, Resazurin 등의 염료환원 시험법에 사용되는 시약을 첨가하여 5분간 반응한 후 근적외선 분광법으로 유성분의 예측 모델을 개발한 결과, 전처리 시약을 사용한 경우에 보다 우수한 유성분의 예측 결과가 나타나 우유 시료 전처리의 필요성을 제시하였다.

따라서 근적외선 분광분석법을 이용한 우유의 실시간 품질

관정 시스템을 개발하기 위해서는 우유 시료의 전처리장치 개발이 필요하며, 본 연구의 목적은 우유와 첨가 시약의 공급량, 혼합, 온도를 자동으로 제어할 수 있는 전처리장치를 개발하여 성능을 평가하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 전처리장치

전처리장치는 그림 1과 같이 우유와 시약을 시료 셀에 일정량 공급하기 위한 유량펌프 2개(우유용, 시약용), 혼합을 위한 팬 (Fan), 혼합된 시료의 온도 유지를 위한 열전 소자(Thermoelectric) 및 측온저항체(Resistance Temperature Detector, RTD)로 구성하였으며, 사용된 장치의 사양은 표 1과 같다. 이때, 첨가된 시약은 염료환원 시험법에 사용되는 시약 중 Reasazurin 시약을 사용하였다.

우유와 시약의 일정량을 자동으로 공급하기 위해 유량 조절이 가능한 유량펌프(RP-M50, Furue, Japan)를 사용하였다. 유량펌프는 공급전원(6~12 V)에 따라 공급 속도(mL/min)의 조절이 가능하고 디지털 신호로 작동시간의 제어가 가능하다. 우유와 시약은 내경 2 mm의 테프론 튜브를 사용하여 유량펌프에 의해 자동으로 시료 셀에 공급되었다.

우유와 시약의 혼합은 상용화된 장치로 기계식 또는 전자식 교반 장치를 이용하나, 휴대용 장치에 적용하기 어려우며 혼합되는 시료의 양이 적은 것을 고려하여 직경 50 mm 팬을 혼합 용기에 장착하고 팬의 회전력을 이용하여 혼합하였다.

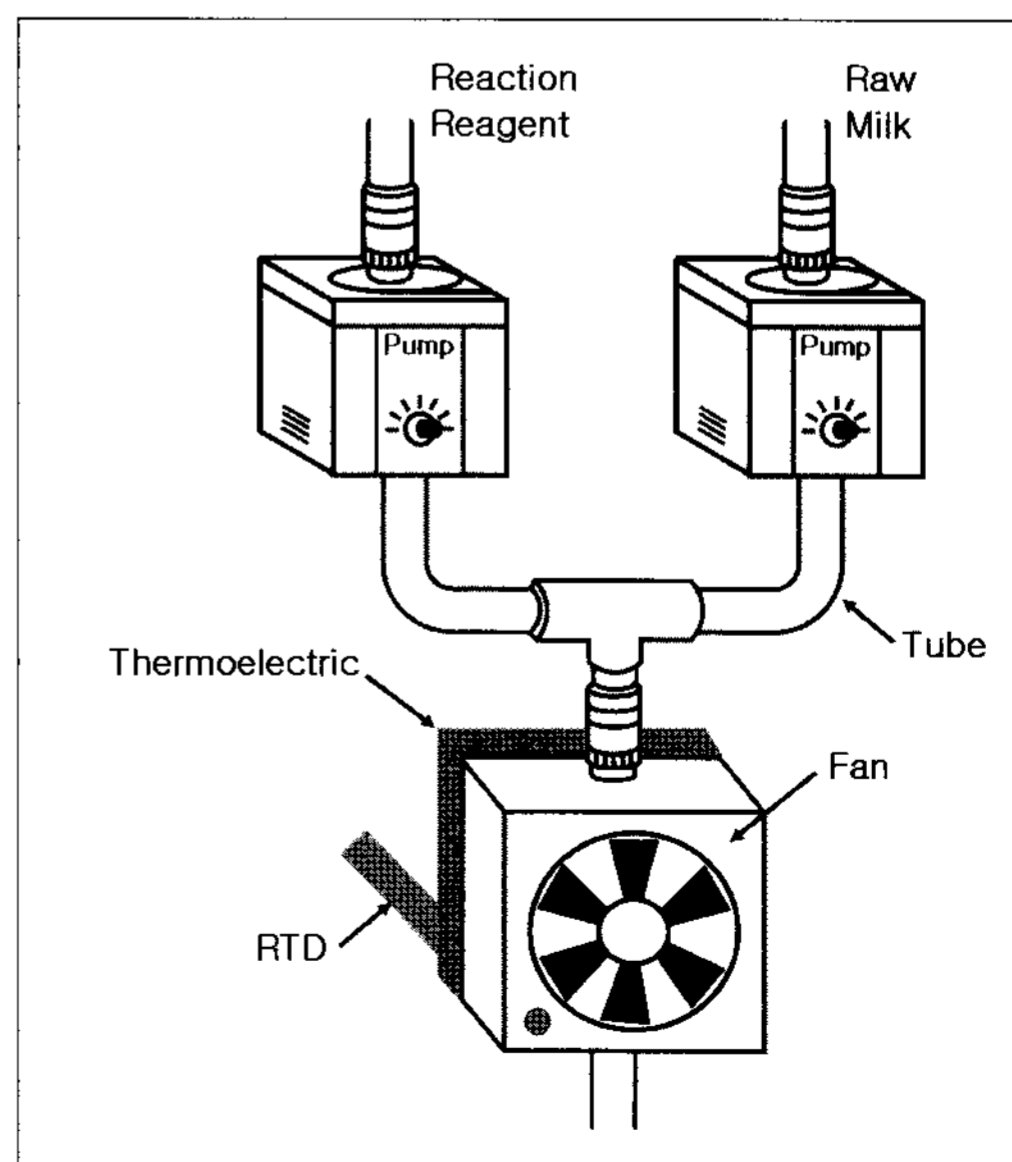
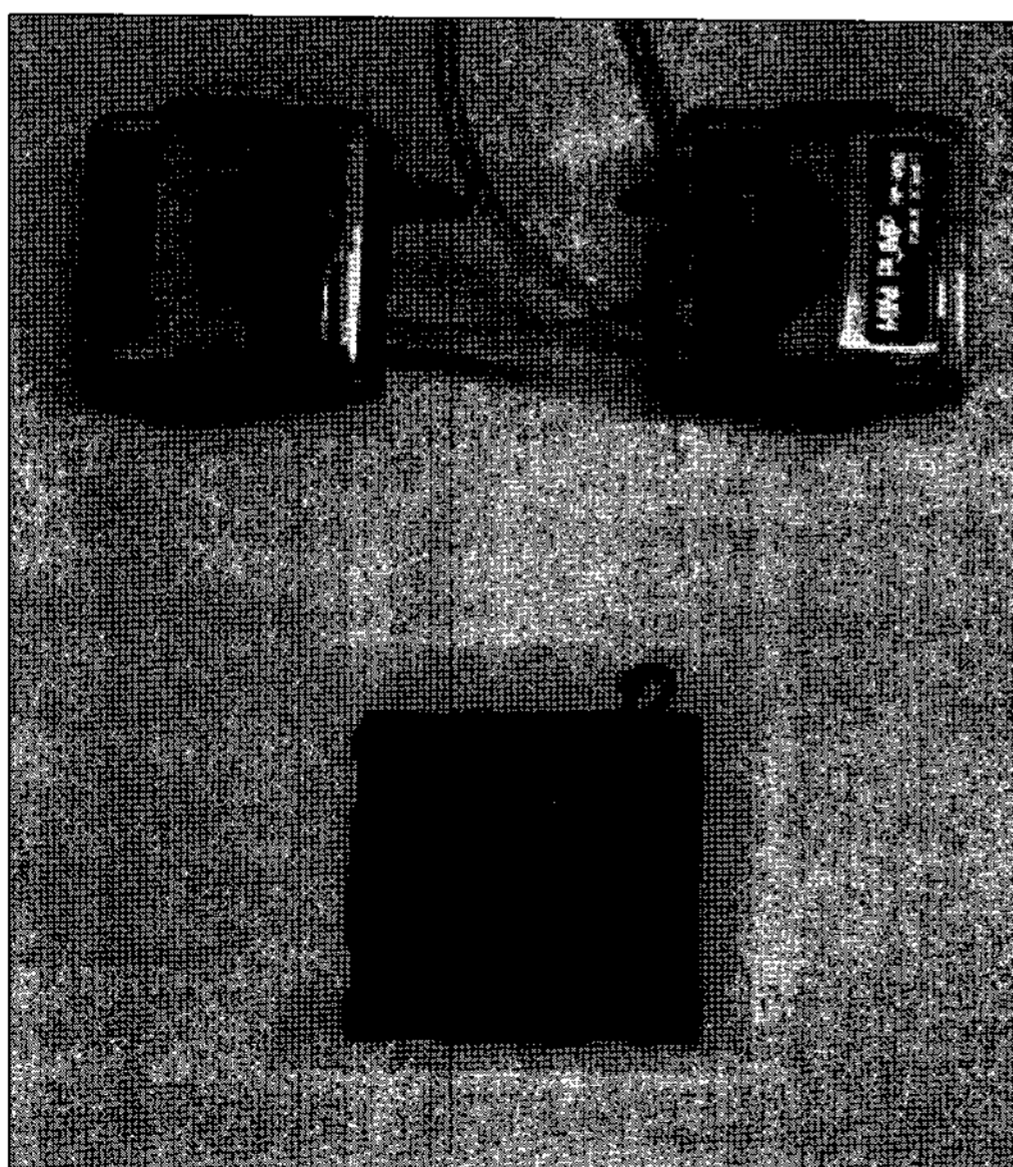


Fig. 1 Components of preprocessor for volume, mixing and temperature control.

Table 1 Specifications of preprocessor for volume, mixing and temperature control

Control	Items	Specification	
Volume	Pump	Supplied voltage	DC 6 ~ 12 V
		Decelerate ratio	1/100
		Flow rate	0.7~7 mL/min
	Tube	ID×OD	φ2.0 × φ4.0 mm
Mixing	Fan motor	Diameter	50 mm
		Speed	1,200~6,500 rpm
Temperature	Thermoelectric	V _{max} , I _{max} , ΔT _{max}	5.6 V, 5 A, 67°C
		Resistance	0.83~0.91 Ω
	RTD (Pt-100)	Operating temperature	0~300°C
		Resistance at 0°C	100±0.12 Ω

시료의 온도 제어를 위해 혼합 용기에 열전소자와 측온저항체를 장착하였으며, 혼합된 시료가 40°C로 유지되도록 측온저항체 온도를 입력으로 하는 비례적분미분(PID) 제어를 이용하여 열전소자의 작동을 제어하였다. PID 제어를 위한 최적 계수 설정은 자동 계수 조정이 가능한 Ziegler-Nichols 방법을 이용하였으며(Ogata, 2003), 제어를 위한 보정 신호는 측온저항체로 측정된 온도 신호를 이용하였다.

전처리장치의 신호 측정 및 제어는 I/O 인터페이스(USB-6009, National Instrument, USA)와 임베디드 모듈(Pico-ITX, VIA Technologies, Taiwan)을 이용하였다. 인터페이스 모듈은 아날로그 및 디지털 신호의 입출력이 가능하여 온도의 측정과 유량펌프, 혼합 팬, 열전소자의 제어가 용이하며, 임베디드 모듈은 별도의 USB, TCP/IP 등의 포트가 내장되어 있어 외부와의 통신 및 인터페이스 장치와의 연결이 간단한 장점이 있다.

나. 재료 및 방법

1) 시료의 공급량 제어

전처리장치의 우유와 시약의 공급 속도에 따른 제어 성능을 평가하기 위해 각각의 펌프를 통해 토출된 우유와 시약의 체적을 5회 반복 측정하였다. 이때, 각각의 공급량은 우유와 시약의 혼합비(20:1)와 시료 셀(Flow cell)의 체적을 고려하여 5 mL과 0.25 mL로 선정하였다(최 등, 2006). 우유와 시약의 공급량은 유량펌프의 공급 전압을 6 V에서 12 V까지 1 V 단위로 변화시켜 유량 2.1~6.1 mL/min의 범위에서 각각의 토출된 우유와 시약의 무게를 측정하였고, 우유의 밀도(1.032 g/mL)와 시약의 밀도(1.004 g/mL)를 이용하여 환산하는 방법으로 토출된 체적을 각각 계산하였다. 이때, 우유 공급용 튜브에 잔류하는 우유 시료를 세척하기 위해 자동화된 우유 분석 장비에 사용되는 세척액을 이용하여 우유 공급용 튜브를 세척한 후에 다음 시료를 공급하는 방법으로 실험을 수행

하였으며, 측정된 우유와 시약의 체적은 선정된 공급량과 통계분석 프로그램인 SAS(9.1, SAS Institute, USA)를 이용하여 유의수준 1 %에서 t-검정을 수행하였다.

2) 시료의 혼합 상태 제어

전처리장치의 우유와 시약의 혼합 상태 평가를 위해 우유 5 mL과 시약 0.25 mL를 사용하여 시료 셀에 공급한 후, 수동으로 흔들어 섞는 방법, 팬을 사용하지 않은 방법, 전처리장치의 팬을 2,150 rpm(6 V), 2,870 rpm(8 V), 3,580 rpm(10 V), 4,300 rpm(12 V), 5,020 rpm(14 V)로 회전 시키는 방법에 대하여 각각 5 분간 시료를 혼합하였다. 이때, 우유와 시약의 온도는 항온 수조(Water bath)를 이용하여 40°C로 유지한 후 사용하였으며, 외기 온도는 22°C로 측정되었다. 우유와 시약을 혼합한 후에 혼합된 시료의 5개 지점에 대해 동일한 양을 마이크로 피펫으로 수집하여 액체 색차계(JS555, Color techno system, Japan)로 Lab값을 5회 반복 측정하였다. 또한 현재 상용화되어 사용되고 있는 교반 장치와의 혼합 성능을 비교 평가하기 위해 전자식 교반 장치의 Lab값을 기준(Reference)으로 하여 혼합 방법에 따른 각각의 Lab값 차이를 비교하였다. 혼합 성능 평가는 식 (1)과 같이 색차값(Color difference)을 이용하였으며, 통계분석 프로그램인 SAS로 유의수준 1%에서 일원분산분석(One-way ANOVA)과 최소유의차(Least Significant Difference, LSD) 검정을 수행하였다.

$$\Delta E = \sqrt{((L - L')^2 + (a - a')^2 + (b - b')^2)} \quad (1)$$

ΔE : 전자식 교반장치로 혼합한 방법과의 색차값
 L, a, b : 혼합 방법에 따른 Lab값
 L', a', b' : 기준 방법의 Lab값

3) 온도 제어

전처리장치의 온도 제어 성능은 외기 온도와 혼합된 시료 5.25 mL의 온도를 변화시키면서 설정 온도 40°C에 도달하는데 필요한 정착시간(Setting time)과 시료의 초기 온도를 측정하여 분석하였다. 시료의 초기 온도와 외기 온도를 변화하며 시료의 온도가 0.5°C의 오차범위를 유지하는 상태를 정착시간으로 측정하였으며, 시료가 설정 온도(40°C)에 도달한 후 30 초 간격으로 5 분간 시료의 온도를 측정하여 설정온도 40°C와의 온도차이(RMSE)를 비교·분석하였다. 시료의 초기 온도는 우유의 저장조건을 고려하여 냉장보관(4°C), 상온(25°C), 착유 직후(35°C)의 3수준으로 설정하였으며, 외기 온도는 17°C(외부 온도), 22°C(실내 온도), 31°C(난방 상태의 온도)로 변화하며 각각 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시료의 공급량 제어

표 2는 전처리장치에 사용되는 2 개의 유량펌프를 이용하여 시료 셀에 우유 5 mL과 시약 0.25 mL를 공급한 결과를 보여주고 있다. 유량펌프의 속도를 2.1~6.1 mL/min로 변화하며 시료 셀에 우유용 펌프로 공급한 결과 펌프의 속도에 관계

없이 4.996~5.004 mL를 공급하여 유의수준 1%이내에서 5 mL의 공급량이 정확하게 제어되고 있음을 알 수 있다. 또한 시약용 펌프도 공급 속도에 관계없이 0.249~0.254 mL가 공급하였으며, 혼합비도 19.7~20.1 : 1로 유지되어 시료의 공급이 설정된 수준으로 제어되고 있음을 알 수 있다.

나. 시료의 혼합 상태 제어

표 3은 시료 셀에 공급된 우유 5 mL과 시약 0.25 mL를 수동으로 흔들어 섞는 방법, 팬을 사용하지 않는 방법, 전처리장치의 팬속도를 각각 2,150, 2,870, 3,580, 4,300, 5,020 rpm로 5 분간 작동하는 방법으로 혼합한 후 Lab값을 측정하여 기준 방법인 전자식 교반장치와의 색차값을 인자로 최소유의 차 검정을 수행한 결과를 보여주고 있다.

일반적인 수동으로 흔들어 섞는 경우, 상용화된 장치를 이용한 방법과의 색차는 평균 0.20로 측정되어 동일 시료 내에서도 혼합 상태가 차이가 있음을 알 수 있다. 팬을 사용하지 않은 경우의 색차는 평균 8.77, 팬의 속도를 2,150, 2,870, 3,580, 4,300, 5,020 rpm으로 작동하여 혼합한 경우의 색차는 각각 평균 14.11, 10.60, 7.93, 0.75, 0.41로 나타났다. 유의수준 1 %에서 수동으로 흔들어 섞는 방법, 4300 rpm으로 혼합하는 방법, 5,020 rpm으로 혼합하는 방법의 색차는 차이가 없으며, 기준 방법과 유사함을 보여주고 있다. 팬속도를 4,300 rpm

Table 2 Results of volume control with flow pump

Flow rate (mL/min)	5 mL (milk)		0.25 mL (reaction reagent)		Mixed ratio (20 : 1)
	Mean (mL)	Std. (mL)	Mean (mL)	Std. (mL)	
2.1	4.998	0.0064	0.250	0.0035	20.0 : 1
2.6	5.000	0.0081	0.251	0.0040	19.9 : 1
3.2	4.997	0.0068	0.250	0.0034	20.0 : 1
4.2	4.998	0.0080	0.249	0.0030	20.1 : 1
4.7	5.002	0.0065	0.254	0.0037	19.7 : 1
5.4	4.996	0.0073	0.249	0.0047	20.1 : 1
6.1	5.004	0.0061	0.249	0.0041	20.1 : 1

Table 3 Results of color differences with different mixing methods

Mixing method	Color difference (ΔE)			
	Mean	Std.	LSD	F-value (Pr>F)
With manual	0.20	0.13	a	12.16 (<.0001)
Without fan control	8.77	5.40	b	
With fan speed of 2,150 rpm	14.11	4.93	c	
With fan speed of 2,870 rpm	10.60	3.72	c	
With fan speed of 3,580 rpm	7.93	2.85	b	
With fan speed of 4,300 rpm	0.75	0.15	a	
With fan speed of 5,020 rpm	0.74	0.14	a	

이상으로 작동하면 시료가 균일하게 혼합됨을 알 수 있다. 2,150, 2,870, 3,580 rpm으로 혼합한 경우의 색차는 기준 방법과 분명한 차이를 보이고 있으며, 이것은 팬의 회전 속도가 충분하지 못하여 시료가 균일하게 혼합되고 있지 못한 것으로 판단된다.

다. 온도 제어

외기 온도(17, 22, 31°C)와 시료의 초기 온도(4, 25, 35°C)를 변화하며 설정온도에 도달하는데 필요한 정착시간과 설정온도 40°C와 온도차이(RMSE)를 비교한 결과는 표 4와 같다. 외기 온도가 17°C인 경우의 시료의 초기 온도에 따른 정착시간은 각각 11.5, 11.0, 9.56분으로 측정되었으며, RMSE는 각각 0.24, 0.06, 0.08°C로 측정되어 외기 온도 17°C에서 설정온도에 도달하는 시간은 크게 나타났으나, 설정온도를 유지하고 있음을 알 수 있다. 외기 온도가 22°C인 경우의 시료의 초기 온도에 따른 정착시간은 각각 10.5, 9.0, 7.5분으로 측정되었으며, RMSE는 각각 0.31, 0.10, 0.01°C로 측정되었으며, 외기 온도가 31°C인 경우의 시료의 초기 온도에 따른 정착시간은 각각 6.5, 5.5, 5.0분으로 측정되었으며, RMSE는 각각 0.28, 0.15, 0.06°C로 측정되었다.

Table 4 Results of temperature control tests of preprocessor

Ambient temperature	Factor	Mixture temperature		
		4°C	25°C	35°C
17°C	Setting time (min)	11.5	11.0	9.5
	RMSE (°C)	0.24	0.06	0.08
22°C	Setting time (min)	10.5	9.0	7.5
	RMSE (°C)	0.31	0.10	0.01
31°C	Setting time (min)	6.5	5.5	5.0
	RMSE (°C)	0.28	0.15	0.06

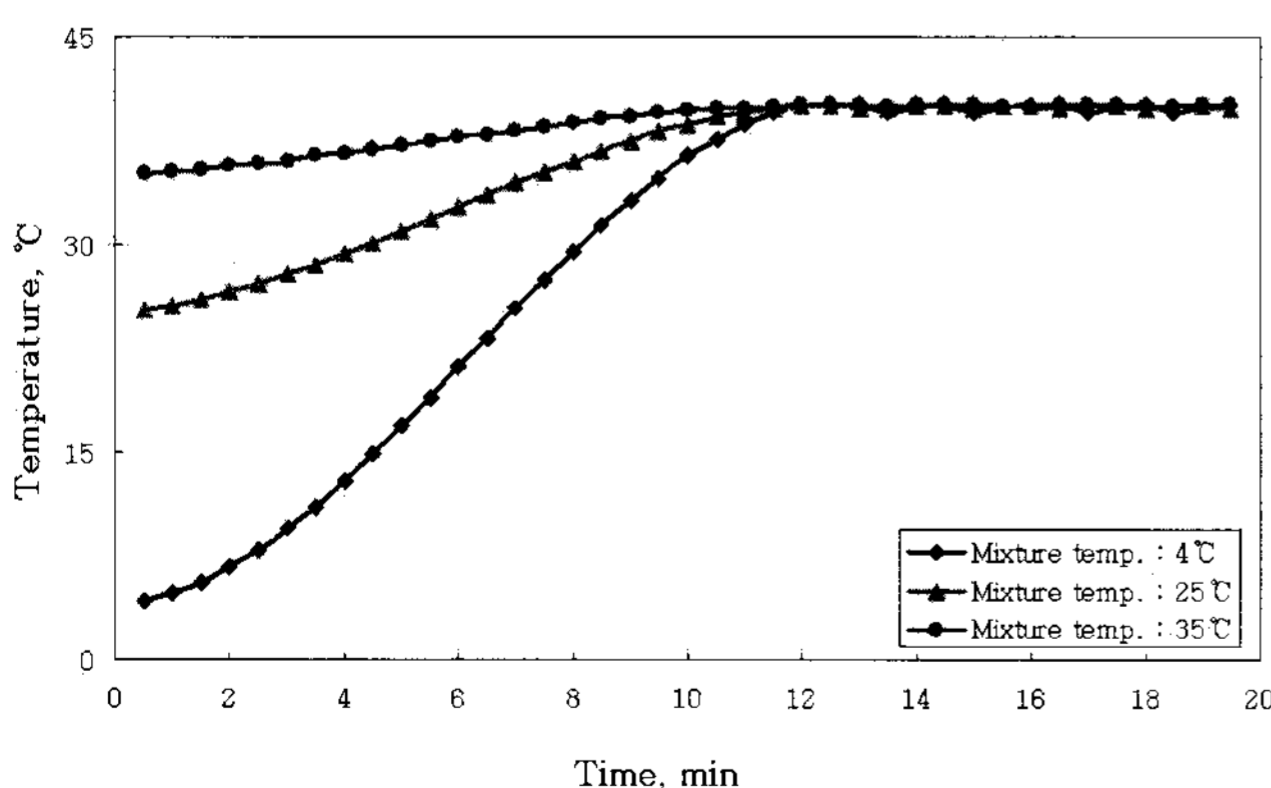


Fig. 2 Results of temperature control tests at ambient temperature of 17°C.

전처리장치의 온도 제어 성능은 외기 온도와 시료의 초기 온도가 낮을수록 정착시간이 길어져 시료의 측정을 위하여 대기하는 시간이 증가하고 있다. 그림 2와 같이 외기 온도 17°C에서 정착시간이 11.5분으로 가장 많은 시간이 소요되었으나, 이는 근적외선 광원이 안정화되는데 걸리는 시간인 30~40분 (Choi 등, 2001)보다 짧은 시간이기 때문에 휴대용 우유 품질관정 시스템에 온도 제어 장치를 이용하는데 무리가 없을 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 휴대용 우유 품질관정 시스템에 이용할 수 있는 우유와 시약의 공급량, 혼합, 온도를 자동으로 제어할 수 있는 전처리장치를 개발하여 성능을 평가하였으며, 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 우유와 시약의 정량공급을 위한 성능평가는 유량펌프의 속도를 2.1~6.1 mL/min로 변화하며 시료 셀에 우유 5 mL과 시약 0.25 mL를 공급하여 토출된 체적을 측정 한 결과, 우유용 펌프와 시약용 펌프에서 토출된 체적은 각각 4.996~5.004 mL, 0.249~0.254 mL로 측정되었으며, 혼합비는 19.7~20.1 : 1로 측정되어 유량펌프의 공급 속도에 관계없이 시료가 설정된 수준으로 공급되고 있음을 알 수 있었다.
- (2) 우유와 시약의 혼합 상태 평가를 위해 시료 셀에 공급된 우유 5 mL과 시약 0.25 mL를 수동으로 흔들어 섞은 방법, 팬을 사용하지 않는 방법, 팬속도를 각각 2,150, 2,870, 3,580, 4,300, 5,020 rpm로 5분간 작동하는 방법으로 혼합된 시료의 Lab값을 측정하여 전자식 교반장치로 방법으로 혼합한 상태를 기준으로 색차값을 계산하여 최소유의차 검정을 수행한 결과 수동으로 흔들어 섞는 경우에도 색차는 평균 0.20로 측정되어 동일 시료 내에서 혼합 상태가 일정하지 않음을 알 수 있었다. 유의수준 1%에서 일반적인 흔들어 혼합한 경우와 4,300, 5,020 rpm으로 혼합한 경우의 색차는 차이가 없는 것으로 나타났으며, 약 4,300 rpm의 팬속도로 혼합하는 경우 시료가 균일하게 혼합됨을 알 수 있었다.
- (3) 외기 온도(17°C, 22°C, 31°C)와 시료의 초기 온도(4°C, 25°C, 35°C)를 변화하며 설정온도에 도달하는데 필요한 정착시간과 설정온도 40°C와 시료의 온도차이(RMSE)를 비교한 결과, 외기 온도와 시료의 초기 온도의 변화에 따라 정착시간은 5.0~11.5분으로 측정되었으며 RMSE

는 0.4°C 이하로 시료의 온도가 일정하게 유지되고 있다. 전처리장치의 온도 제어는 외기 온도와 시료의 초기 온도가 낮을수록 정착시간이 증가하여 시료의 성분 측정을 위한 대기시간이 증가되었다.

참 고 문 헌

1. Choi, C. H., W. J. Yang, J. H. Son and J. H. Kim. 2001. Prediction of quality parameters of honey by reflectance spectra. Proceeding of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference 6(1):352-358. (In Korean)
2. Ogata, K. 2003. Modern Control Engineering. Prentice Hall. New York, USA.
3. Pravdova, V., B. Walczak, D. L. Massart, S. Kawano, K. Toyoda and R. Tsenkova. 2001. Calibration of somatic cell count in milk based on near-infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*. 450:131-141.
4. Tsenkova, R., S. Atanassova, K. Toyoda, Y. Ozaki, K. Itoh and T. Fearn. 1999. Near-infrared spectroscopy for dairy management: Measurement of unhomogenized milk composition. *J. Dairy Sci.* 82:2344-2351.
5. 국립수의과학검역원. 2002. 우유가 산정체계 기준 변화에 따른 체세포수 관리대책.
6. 송재철. 2006. 최신 식품가공학. 유림문화사.
7. 정해옥. 2003. 식품영양학. MJ미디어.
8. 최창현, 김용주, 김종혁, 남은혜, 김기성. 2006. 반사 스펙트럼을 이용한 우유의 체세포수 측정기술 개발. *성균관대학교논문집 생명공학연구* 12(1):48-52.