

가정용 호상 요구르트 발효기를 이용한 유산균 증식환경의 패턴 인식

신승훈 · 최시영[†] · 이은주* · 곽봉순* · 김종부*

Pattern recognition of multiplication environment of *lactic acid bacteria* in curd yogurt prepared by household fermentation system

Seung-Hun Shin, Sie-Young Choi[†], Eun-Ju Lee*, Bong-Soon Kwak*, and Jong-Boo Kim*

Abstract

In this paper, it was investigated that the pattern recognition of multiplication environment of *lactic acid bacteria* in the process of curd yogurt preparation using household fermentation system, which was manufactured by combining incubator with sensor module, data processing circuit and computer. It will be sufficiently applicable to determine the maximum ratio of the amount of air to mixed milk for preparation of high quality yogurt.

Key Word : curd yogurt fermentation system, pattern recognition, sensor module

1. 서 론

유산균과 발효유제품이 인체의 건강 유지에 유효하다는 것이 많은 연구들을 통하여 보고되어 왔다. 발효유를 통해 섭취할 수 있는 *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *bifidobacterium* 등의 경우, 이들의 증식 혹은 대사 생성 물질이 장내 유해균을 억제하고, 혹은 *bifidobacterium*과 같은 이미 장내에 상재하고 있는 유용균의 번식을 촉진한다고 알려져 왔다. 우리나라에서는 1970년대 초부터 일본에서 개발된 유고형분 3% 정도의 액상 발효유가 생산되기 시작한 후 그 소비량이 매년 증가 추세에 있다. 최근에는 생활 수준과 의식 수준의 향상과 더불어 서구식의 호상 요구르트의 소비가 점차 증가하고 있다^[1]. 또한, 가전제품의 다양화 추세에 따라 시판 호상 요구르트와 더불어 가정에서 직접 요구르트를 제조하여 먹을 수 있는 유산균 발효기 장비가 관심을 모으고 있다. 이에 따라 가정에서 쉽게 사용 가능하며, 또한 우수한 품질의 요구르트를 제조할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다.

요구르트의 품질은 배양온도, 공기량, 첨가물에 따라

다양하게 변하며, 일반적으로 유산균 수를 품질 기준으로 사용하고 있다^[1]. 여기서 유산균은 분류학적으로 독립된 개념이 아니고 미생물 중에서 대사산물로서 유산을 50% 이상 생성하는 균을 말하며 대사과정은 산소의 유무에 따라 매우 달라지는 것으로 밝혀져 있다^[2]. 따라서 실내환경에서 배양되는 유산균은 발효기 내부의 공기량 및 환경조건에 따라 그 증식량이 달라질 것이며 이는 제조된 호상 요구르트의 품질에 큰 영향을 미칠 것이다.

본 연구는 전기적인 센서시스템을 통해 유산균의 발효환경을 인식하고, 이 중 공기량에 대한 데이터 변화가 실제 유산균증식과 어떤 관계가 있는지를 생화학적 실험을 통해 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

첫 번째 실험을 통해, 유산균이 증식하는 환경의 패턴을 센서로서 관측가능한지 확인하고, 이에 대한 데이터화 가능성을 판별하였다. 두 번째 실험은 실제 유산균 발효 환경 중에 공기량이 유산균 증식에 미치는 영향을 생화학적 실험을 통해 균체수를 정량적으로 측정하여, 센서로 관측된 패턴과 비교하였다.

실험에서 사용될 유산균 발효기를 그림 1과 같이 준비하였다. 발효기의 하부에는 컨트롤러와 열선이 설치

경북대학교 전자공학과(Department of Electronics, Kyungpook National University)

*NUC Electronics Co. Ltd.

[†]Corresponding author: sychoi@ee.knu.ac.kr

(Received : December 13, 2007, Accepted : February 18, 2008)

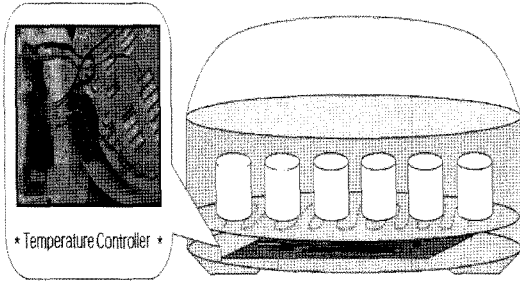


그림 1. 유산균 발효 발효기 모식도

Fig. 1. Schematic diagram of the incubator for lactic acid bacteria multiplication.

되어 있어, 설정된 온도를 유지할 수 있는 기능을 갖추었다. 발효기 내에 삽입될 용기는 세라믹 재질을 사용하였으며, 발효균주로 사용되어질 *L. acidophilus*, *S. thermophilus*는 생육 최적온도가 각각 35~38°C, 40~45°C인 것으로 보고된 바 있다^[1]. 발효기는 이 조건에 맞추어 4시간 동안 40°C까지 발효기 하판의 온도를 상승시킨 후에 다시 4시간 동안 상승된 온도를 유지할 수 있도록 준비하였다.

첫 번째 실험을 통하여 발효기 내에서 유산균이 증식함을 간접적으로 확인하고, 발효환경을 관측하기 위하여 그림 2와 같이 압력, 가스, 습도, 온도를 측정할 수 있는 센서모듈을 발효기 내에 삽입하였다. 이 중 가스센서는 공기의 구성성분과 다른 분자가 감지되면 출력을 나타내는 형태의 센서로서 가스종류에 따라 반응량이 다를 수 있다. 따라서 출력은 특정가스의 정량적인 값을 나타내는 것이 아니라, 초기상태를 기준으로 감지량이 증가하면 상대적인 전압(ADC: arbitrary DC) 증가를 통해 데이터로 변환된다. a)는 온도센서로서 미리 정해진 값에 따라 가열판에서 발생하는 열이 발효기 내부 분위기에 적절히 전달되는지를 관측하도록 설치하였고, b)는 습도센서로서 유산균의 발효환경에 습도가 관여하는지를 관측하기 위해 설치하였다. a)와 b)를 통해 유산균 발효 시 외부환경의 패턴을 기억할 수 있다. c)는 유산균의 증식과정에서 발생하는 가스량의 변화를 관측하기 위해 설치한 가스센서이다. d)는 절대압센서로서 발효 중 공기소모량을 관측하기 위해 설치하였다. c)와 d)를 통해 유산균의 균체수를 실측하지 않고, 간접적으로 유산균이 증식하고 있는지를 실험 중 실시간 관측이 가능할 것으로 판단하였다. 삽입된 센서는 습기로부터 보호된 케이블을 통하여 외부에 준비된 데이터처리 시스템에 연결하였다. 센서자체에서 측정된 값은 발효기 내에서 발생된 온도에 의해 영향을 받을 수 있으므로^[10] 데이터처리 시스템을 통해 온도보상

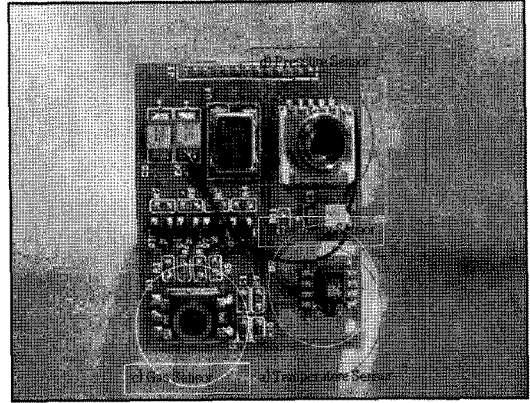


그림 2. 발효기 내에 삽입된 센서모듈

Fig. 2. The feature of sensor module inserted in the incubator.

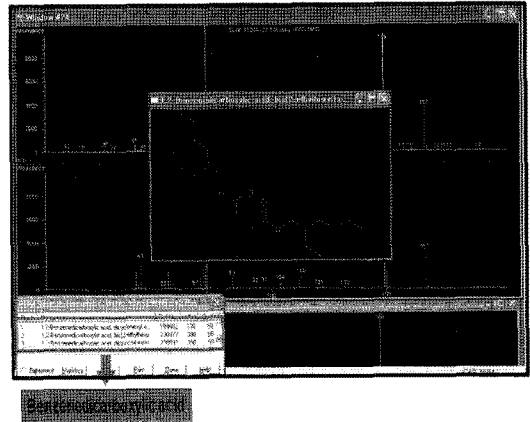


그림 3. GC-mass 측정결과

Fig. 3. The result of measurement : GC-mass.

및 calibration과정을 거쳐 컴퓨터로 전송된다.

이에 앞서 발효 중 발생하는 기체의 화학조성을 확인하기 위해, 본 실험과 동일한 시료 및 조건을 사용하여 요구르트를 제조한 후, 발효기 내의 기체를 채취하여 GC-mass 측정을 실시하였다. 측정장비는 Shimadzu Corporation, QP-1000A를 사용하였다. 가스샘플 채취를 위해 발효기 뚜껑에 구멍을 뚫은 후 가스 콕을 설치하였으며, 발효가 완전히 종료된 직후 가스밀폐형 주사기를 이용하여 샘플을 채취하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 발생된 가스는 benzenedicarboxylic acid가 주된 화학성분임을 확인하였다.

그림 4는 위에서 준비한 각각의 장치들을 결합한 전체 시스템의 모식도를 나타내었다. 센서모듈은 발효기 상부 중앙에 위치하도록 하였으며, 공기가 새어나가지 않도록 실리콘 러버로 단단히 고정하였다. 좌측에 추가

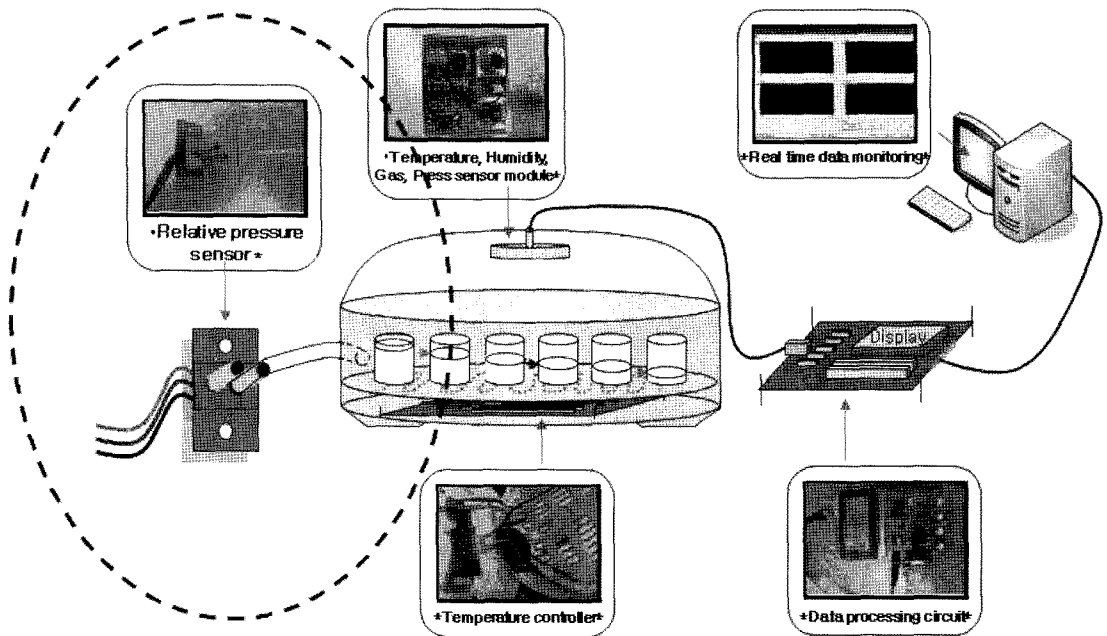


그림 4. 전체 시스템 모식도
Fig. 4. Schematic diagram of total system.

로 설치된 상대압센서는 발효기 내부와 외부의 공기량을 비교하여 보다 정밀한 데이터를 도출하기 위해 설치되었다. 실험은 온도가 24 °C로 일정한 장소에서 실시하였으며, 사용되어진 시료는 시판되고 있는 우유 1000 ml와 *L. acidophilus*, *S. thermophilus*가 균주로 사용된 발효유 150 ml를 섞어 제조하였다. 제조된 시료를 135 ml 용기에 90 % 채워 센서가 장착된 발효기에 삽입하고, 발효를 시작하는 동시에 컴퓨터로 측정을 시작하였다. 데이터는 시간당 120회 추출되도록 설정하였으며, 총 실험시간(8시간)동안 960개의 데이터를 추

출하였다. 그림 5는 실험 준비가 완료된 전체시스템의 모습을 나타내었다.

3. 결과 및 검토

그림 6은 시간에 따른 발효기 내의 온도, 압력, 습도, 가스량을 측정된 결과이다. 네 가지 센서출력은 컴퓨터를 통하여 동시에 측정, 기록되었다. 그래프 a)를 통하여 발열판에서 발생된 열이 발효기 내 분위기에 적절히 전달됨을 볼 수 있었으며, 실험에서 사용된 두 가지 발효균주의 생육온도인 40 °C를 유지함을 관찰 할 수 있었다. 또한, b)와 d)의 비교를 통해 가스량의 증가에도 불구하고, 압력은 오히려 감소하는 모순되는 결과를 관측하였다. 이러한 결과는 발효기 내 온도가 적절한 생육온도(40 °C)에 이르러 시간에 따라 유산균수가 증가하면, 용기 내 가스 발생량이 증가함과 동시에 산소 소비량이 증가하여, 감지된 가스량은 증가하나 산소 소비에 의해 발효기 내의 압력은 감소하는 것으로 예상 할 수 있다.

위 예측을 정량적으로 검증하고, 밀폐 용기 내의 공기량이 발효 시 유산균의 균체수 증가에 미치는 영향을 관측하기 위해 생화학적 실험을 별도로 실시하였다. 시료 및 발효조건은 위 실험과 동일하게 하였으며, 시료로 사용되어진 혼합유 내의 두 종의 균체는 분리하

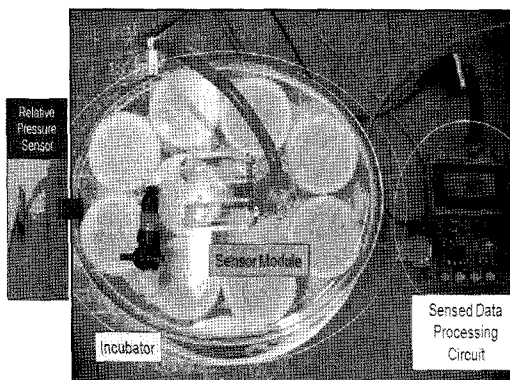
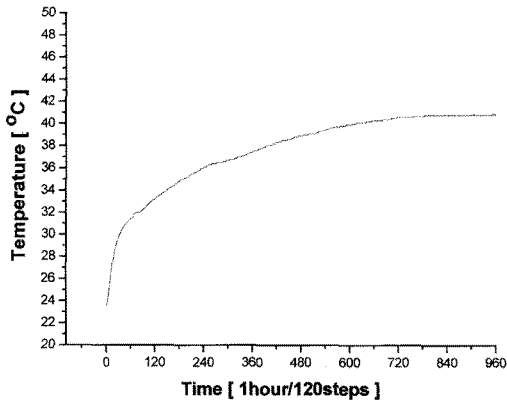
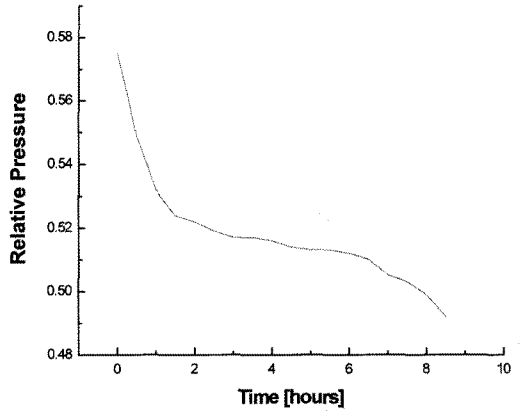


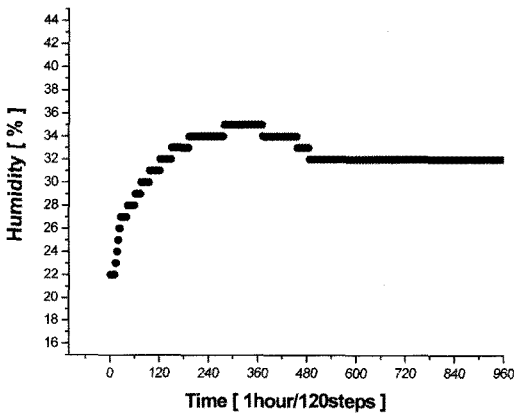
그림 5. 실제 제작된 전체시스템
Fig. 5. Feature of total system.



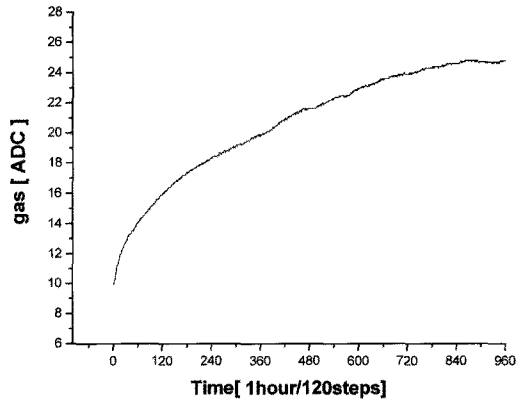
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 유산균 증식 환경을 관측한 4가지 요소에 대한 측정 결과 a) 온도, b) 압력, c) 습도, d) 가스량

Fig. 6. The result of the measurement for four factors which enable us to predict the relationship between air and *lactic acid bacteria* a) temperature, b) pressure, c) humidity and d) gas.

지 않고 측정하였다. 밀폐용기에 시료량은 공기량이 15 ml, 35 ml, 65 ml, 95 ml, 105 ml가 되도록 채워 공기량의 변화가 유산균 발효에 주는 영향을 관측할 수 있도록 하였다. 유산균수의 측정방법은 세균수(일반세균수) 측정방법에 준하여 시험하고 검체의 회석액은 멸균생리식염수를 사용하였다. 배지는 BCP 첨가 평판 측정용 배지를 사용하여 35~37 °C에서 72시간 배양한 후 발생한 황색의 집락을 유산균의 집락으로 계측하였다. 그림 7은 위 실험의 결과로서 밀폐용기 내의 공기량이 증가함에 따라 유산균의 균체 수가 비례하여 증가하다가 공기량이 65 ml일 때 최고치에 이른 후 다시 감소하는 모습을 볼 수 있다. 이러한 결과는 생육을 위해 어느 정도의 산소가 필요하나 그 이상이 되면 오히려 증식에 장애가 되는 요구르트 유산균의 통성혐기적

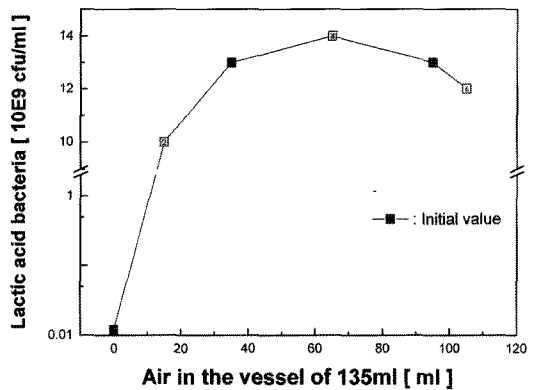


그림 7. 밀폐용기 내의 공기량과 유산균 균체수와의 관계
Fig. 7. The relationship between amount of air and the number of *lactic acid bacteria*.

(facultative anaerobes) 특성에 의한 것으로 판단된다^{5,6)}.

참고 문헌

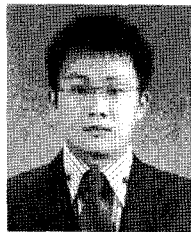
4. 결 론

본 연구를 통하여 유산균 증식환경의 패턴을 센서로서 관측하고, 이를 데이터화하여 발효환경을 제어할 수 있는 가능성을 보였다. 또한, 가정용 발효기를 이용하여 요구르트 제조 시 용기내의 채워지는 혼합유와 공기량의 비가 유산균 증식량에 영향을 줄 수 있음을 규명하였다. 보다 정밀한 요구르트 발효 환경요소를 관측할 수 있도록 센서를 추가하여, 본 연구에서와 같이 생화학적인 실험과 관련지으면 구체적인 요구르트 제조환경의 제어가 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 ‘공통 핵심 기술 개발 사업비’ 지원으로 수행되었습니다.

[1] 임용숙, 김순희, 이신희, “시판 요구르트 starter의 생리적 특성”, *HSJAS*, 제3권, pp. 199-201, 1994.
 [2] 강국희, “유산균의 분류특성 및 이용방향”, 한국생명과학회 '98 춘계심포지엄, pp. 9-14, 1998.
 [3] 소명환, “요구르트 젖산균의 특성과 스타터 선발시의 고려사항”, 한국축산식품학회 학술대회지, pp. 73-87, 1997.
 [4] 이창준, 강신원, 최시영, “SDB웨이퍼를 이용한 절대압 압력센서의 제조”, *센서학회지*, 제4권, 제1호, pp. 29-34, 1995.
 [5] 소명환, 김수화, 오현진, 박서영, “국내호상 요구르트에서 분리한 젖산균의 동정 및 균종별 균수 측정”, *Korean J. Food SCI. Resour.*, 제14권, 제2호, pp. 204-210, 1994
 [6] S. H. Shin, S. W. Jang, S. Y. Choi, B. S. Kwak, N. J. Kim, and K. J. Lee, “Effect of the amount of air on multiplication of lactic acid bacteria in preparation of curd yogurt”, *211th The Electrochemical Society*(Chicago), Abs. 0044, 2007.



신 승 훈

- 2006년 영남대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2006년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 반도체형 센서 공정



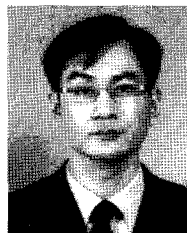
최 시 영

- 1972년 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1974년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 1986년 日本 東北大學(공학박사)
- 현 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수



이 은 주

- 1988년 영남대학교 응용미생물학과(이학사)
- 1990년 영남대학교 응용미생물학과 생물공학전공(이학석사)
- 2004년 영남대학교 응용미생물학과 응용미생물학전공(이학박사)
- 현 (주)엔유씨전자 바이오연구소 선임연구원



곽 봉 순

- 1996년 금오공과대학교 생산기계공학(공학사)
- 1999년 금오공과대학교 생산기계공학(공학석사)
- 2002년 금오공과대학교 기계설계공학(박사 수료)
- 현 (주)엔유씨전자 기술연구소 주임연구원



김 종 부

- 1976년 송전대학교 경영학과
- 1978년 한일네쇼날 대표
- 1990년 엔유씨전자 대표
- 현 (주)엔유씨전자 대표이사