

## Single Chip Microcomputer를 이용한 潁酒醸酵의 自動計測과 制御方法의 開發

김경만 · 전재근

서울대학교 農業生命科學大學 食品工學科

### Development of Automatic Measurement and Control Method based on Single Chip Microcomputer for Tackjoo Fermentation

Kyung-Man Kim and Jae-Kun Chun

College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

#### Abstract

For the automation of Tackjoo fermentation, a sensor measurable gas production during brewing and a controller were built. The performance tests were carried out at 10 litter Tackjoo fermentor. The sensor was consisted of a transparent acryl cell for bubble formation and photo-interruptor for the detection of bubbles of 0.018 ml size. The fermentation controller was fabricated with a single chip microcomputer (MC68705R3) and provided with both the monitoring module of temperature measurement and the valve controlling device for the cooling water circulation in coil type heat exchanger. The operation programs were developed and systemized in ROM. With this computer system, the gas production amount and rate were acquired during the Tackjoo fermentation. The fermentation curve based on the gas production rate showed a good agreement with that of alcohol concentration. The maximum rate of gas production was found after 24 hr at 30°C. The correlation equation between the gas production and alcohol concentration was established and used as the control algorithm of the fermentation.

Key words: alcohol fermentation, bubble counter, computer, Tackjoo

#### 서 론

알콜발효공정의 제어는 관련 미생물의 발효기작에 알맞은 최적환경을 유지하도록 하는 것으로 programmable controller들이 이용되고 있으며 디지털제어기술이 computer와 연결하여 널리 이용되고 있다<sup>[1~7]</sup>. 탁주발효는 개방법을 채택하고 있어서 오염의 가능성이 상존하여 발효환경의 관리와 진행과정을 계속 감시하는데 많은 인력이 소요되고 있다. 따라서 탁주발효공정을 감시할 수 있는 경제적인 on-line monitoring 방법과 이를 근거로 한 기질의 연속적 공급, 산소공급 및 pH의 조절 등의 공정관리를 이루할 수 있는 기술이 절실히 요구되고 있다. On-line monitoring에는 탁주공정을 계측할 수 있는 sensor가 필요한데 탁주산업에서 충분히 사용될 수 있는 경제성과 실용성을 가질 수 있어야 한다.

전과 이<sup>[8,9]</sup>는 photo-interruptor를 이용한 bubble counter를 개발하여 김치발효에 성공적으로 활용한 바 있다.

즉 김치발효 중에 발생하는 기체를 기포화시켜 기포의 발생속도를 계측함으로써 김치발효의 진행상태를 성공적으로 monitoring하는데 성공하였다.

탁주발효의 경우 개방된 용기에서 이루어지고 있고, 기질의 추가 첨가없이 기포의 발생상태를 감지하여 발효의 완료점을 잡고 있으며, 발효조의 온도상승을 방지하는 단순한 관리기술로 탁주를 생산하고 있다는 점에서 bubble counter의 활용 가능성이 높다. 이 bubble counter은 CO<sub>2</sub>를 일정한 크기의 기포로 형성시킨 뒤 기포를 계측함으로써 디지털값으로 변환시킬 수 있다는 특징을 갖고 있기 때문에 디지털제어기술에 직접 접속하기 편리한 장점을 갖고 있다. 따라서 계측된 기포수를 규의 생육상태 및 발효반응의 kinetics와 연관시키므로써 발효공정의 진행상태를 직접 관찰할 수 있기 때문에 탁주발효시 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양을 측정하여 탁주발효를 효과적으로 제어할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 탁주담금재료

탁주발효의 원료로는 밀가루(중력분)을 사용하였으며,

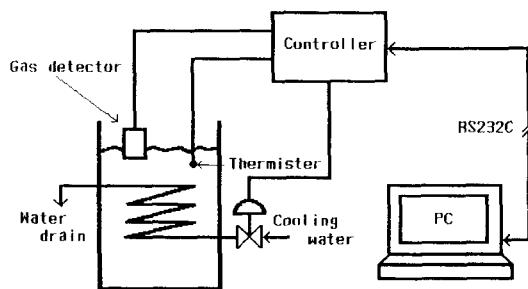


Fig. 1. The overall structure of the Tackjoo fermentational system

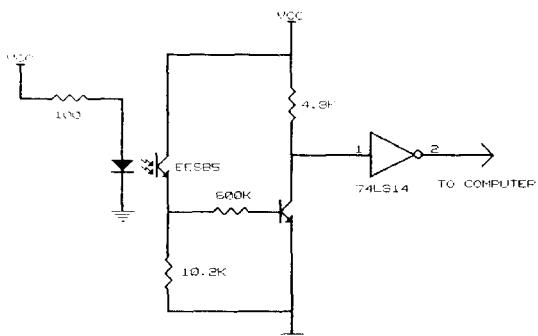


Fig. 3. The circuit of the gas detector

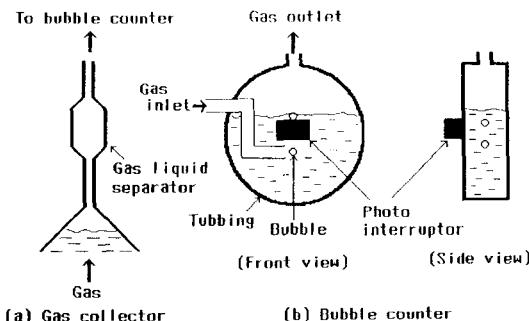


Fig. 2. The structure of the gas detector

탁주발효용 건조효모(송천효모연구소)을 구입, 사용하였다.

### 탁주담금방법

蒸米, 酒母, 물을 1:1:15 비율로 1차 담금하여 25°C에서 효모를 24시간 정도 증식배양시킨 후 1차발효액, 蒸米, 물을 1:40:75 비율로 2차 담금하여 30°C에서 발효시켰다<sup>(10)</sup>.

### 알코올 농도 측정방법

탁주발효중 알코올농도는 dichromate를 사용한 산화방법으로 측정하였다<sup>(11)</sup>.

### 탁주발효 제어장치

발효장치 : 탁주발효장치는 10ℓ의 플라스틱발효조, 냉각코일(ID 5 mm, copper tubing) 및 제어장치로 구성된 pilot 규모로 제작 사용하였으며, 그 구조는 Fig. 1과 같다. 발효조의 온도는 20~30°C 범위에서 사용할 수 있고, 온도센서로는 thermistor로 제작, 사용하였다. 발효액의 온도는 발효조내의 냉각코일에 장착된 solenoid valve (AC100V)를 software적으로 동작시켜 제어설정온도는 30±1°C로 하였다.

제어장치 : 탁주발효 제어장치는 ROM, RAM, I/O port, ADC를 내장한 single chip microcomputer(MC68

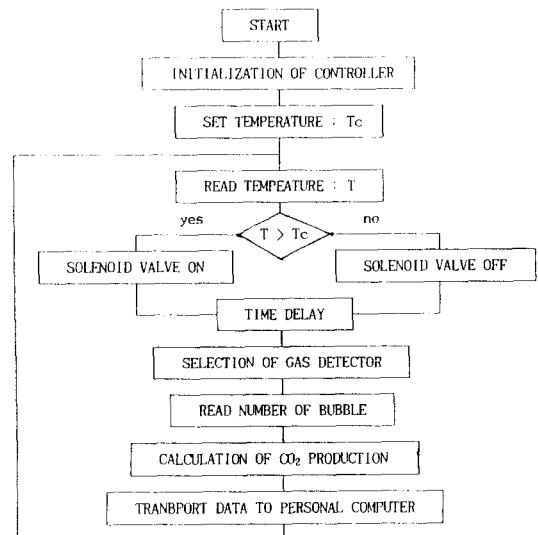


Fig. 4. The flowchart of operating program for Tackjoo fermentational system

705R3)를 사용하였으며 counter를 포함시켜 기포수를 계수할 수 있도록 하였다. 따라서 별도의 접속장치없이도 thermistor 온도계, bubble counter를 직접 연결 사용할 수 있도록 하였으며, RS232C 통신방식을 사용하여 personal computer와 연결할 수 있도록 제작하였다.

$\text{CO}_2$  발생량 측정장치 : 탁주발효중 발생되는  $\text{CO}_2$ 의 측정은 Fig. 2와 같이 bubble counter를 탁주발효액속에서 사용할 수 있도록 설계, 제작하였다. 발효액 중에서 발생하는  $\text{CO}_2$ 를 포집할 수 있는 원형깔대기 형태의 가스포집기를 발효액속에 설치하고 여기에 포집된 기체를 bubble counter에 유입토록하여 계측하도록 하였다. 기포의 계수는 Fig. 3과 같이 photo-interruptor(EESB5)를 사용하여 기포가 통과할 때 발생되는 신호를 schmitt trigger inverter(74LS14)로 통과시켜 TTL logic에 맞는 파형으로 가공하여 1개의 파가 1개의 기포에 해당되도록 하였다. bubble counter로 계측되는 기포의 용적환산

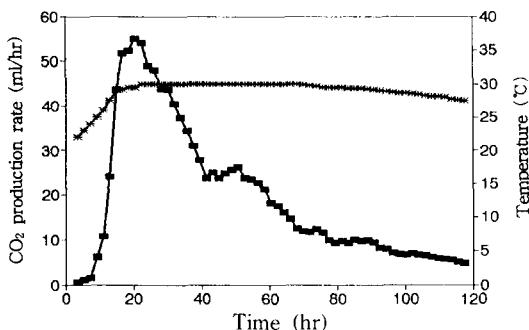


Fig. 5. The time course change of  $\text{CO}_2$  production rate and temperature of the broth during the fermentation process

■—■;  $\text{CO}_2$  production rate (mL/hr), \*—\*; temperature

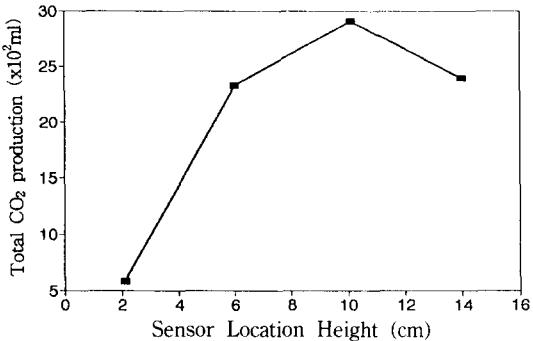


Fig. 6. The relationship between total  $\text{CO}_2$  production and the location of the bubble counter in fermentor

계수값은 0.018 mL/bubble였다.

탁주발효의 운영프로그램 작성 : 탁주발효공정의 계측 및 제어는 제어장치에 내장된 ROM에 운영프로그램을 상주케하였다. 동 프로그램은 microcontroller의 고유명령어로 작성하였다<sup>[12]</sup>. 운영프로그램은 제어장치의 각 포트의 용도를 설정하는 초기화과정을 통하여 이루어졌는데 개략적인 순서도는 Fig. 4와 같다.

## 결과 및 고찰

### 제어장치를 이용한 탁주발효곡선

탁주발효조에 bubble counter를 설치하고 제어장치를 발효액의 온도를 제어하면서  $\text{CO}_2$  발생속도를 계측할 수 있도록 하였는데 Fig. 5는 발효액의 온도와  $\text{CO}_2$  생성속도를 나타내주고 있다. 그 결과 발효를 20°C에서 개시하여 상한 설정온도를 30°C로 제어할 때 발효기간중 온도는 20시간까지는 상승하기 시작하였으며 설정온도에 이르렀을 때는 1~2°C 온도범위 내에서 제어되고 있음을 보여주고 있다. 그리고  $\text{CO}_2$  발생량은 24시간에 이르렀을 때 최대발생속도를 보였고 그 이후 완만한 감소추세를

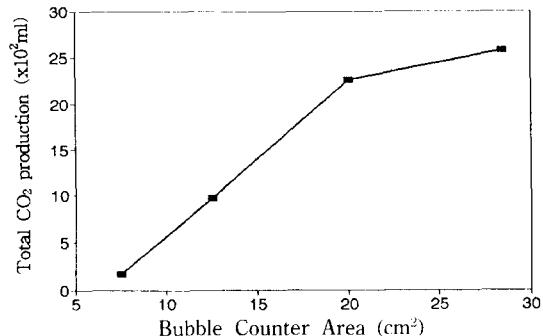


Fig. 7. The relationship between total  $\text{CO}_2$  production and area of the bubble counter

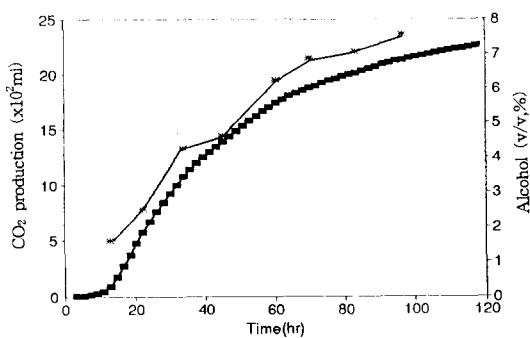


Fig. 8. The relationship between cumulative  $\text{CO}_2$  production curve and alcohol concentration curve

■—■; cumulative  $\text{CO}_2$  production (mL), \*—\*; alcohol concentration (v/v, %)

보였다. 60시간 이후에는  $\text{CO}_2$  발생량이 현저하게 감소되었는데 이는 탁주발효기간이 60시간에 거의 완료됨을 알 수 있으며 이는 일반 시중에서 제조하는 탁주발효기간과 일치함을 보였다<sup>[10]</sup>. 따라서 탁주발효곡선을 bubble counter로 계측된  $\text{CO}_2$  발생속도를 기준으로 작성할 수 있었고 이를 바탕으로 발효의 진행과정을 monitor 할 수 있음을 확인하였다.

### 기포포집부의 설치위치와 면적에 따른 영향

기포포집부에서 포집되는 가스의 양은 효모의 활동에 기인되는 것이므로 발효액중 효모의 분포가 일정하다는 가정하에서 계측된 값이며 발효상태를 대변한다고 할 수 있다. 그러나 실제로 탁주 발효는 교반장치가 없는 상태가 대부분이므로 발효조내의 효모의 농도가 일정치 않다. 특히 발효조의 단면을 기준으로 할 때 효모의 분포가 다를 수 있으므로 기포의 포집장치는 충분히 커서 통계적으로 발효조 전체를 대변할 수 있어야 한다.

따라서 기체포집부의 투영면적과 설치위치를 달리하여 계측되는  $\text{CO}_2$  발생량에 미치는 영향을 조사하였다. 기체포집부의 면적을 16.9  $\text{cm}^2$ 으로 하고 기체포집부를 발

효조바닥으로부터 높이를 달리하여 약 100시간 발효시킨 후 발생된 전체  $\text{CO}_2$  발생량을 비교한 결과 Fig. 6과 같이 발효액 표면에 가까울수록  $\text{CO}_2$  발생량이 증가하지만 표면에 가까울수록 도리어 포집되는  $\text{CO}_2$  양이 감소되었다. 이는 발효조가 개방상태이므로 가스포집부에 미치는 압력이 발효액에 미치는 압력보다 클 때  $\text{CO}_2$  가 가스포집부를 피하여 진로를 바꾸기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 정확한 계측을 위해서는 가포의 이탈현상이 일어나지 않은 지점에 설치해야 함을 알 수 있다.

발효조바닥으로부터 10 cm 높이에서 가스포집부의 면적을 달리하였을 때 Fig. 7과 같이 전체  $\text{CO}_2$  발생량은 가스포집부의 면적이 클수록 계측기용부피가 증가하므로 전체적으로  $\text{CO}_2$  발생량이 증가함을 알 수 있었다. 그러나 가스포집부의 면적이 지나치게 크게 될 경우 증가율의 감소를 보였다. 이는 계측기용부피가 지나치게 클수록 많은  $\text{CO}_2$  양이 포집되므로 기포발생속도가 너무 증가하여 정확한 계측이 되지 않았다. 따라서 bubble counter의 계측한 계속도를 고려해야 함을 알 수 있었다.

#### $\text{CO}_2$ 발생량과 알코올농도 관계

$\text{CO}_2$  발생량과 알코올생성과의 관계를 조사하기 위하여 가용면적이  $16.9 \text{ cm}^2$ 인 가스포집부를 발효조의 바닥으로부터 10 cm에 설치하여 계측된 누적  $\text{CO}_2$  발생량과 알코올농도를 비교한 결과는 Fig. 8과 같았다. 이 결과 탁주발효중  $\text{CO}_2$ 와 알코올곡선이 서로 형태가 유사함을 보여주므로 상호 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서  $\text{CO}_2$  측정으로 발효과정 뿐만 아니라 발효산물 생성과정을 잘 반영하는 것을 알 수 있었다. 알코올농도(A, %)와 bubble counter로 계측한  $\text{CO}_2$  양(V, ml/m)과의 관계는 식 (1)과 같이 높은 상관관계( $r=0.992$ )를 보이는 직선식으로 나타내었다.

$$A = 1.02 + 2.99 \times 10^{-3} V \quad (1)$$

즉 탁주발효중 bubble counter로 측정한  $\text{CO}_2$  발생은 발효생성물의 대용변수로 사용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 알코올농도와  $\text{CO}_2$  발생과의 관계식에서  $\text{CO}_2$  발생량에서 알코올 농도를 계산하여 목표값의 알코올농도에 도달할 때 발효의 종말점을 지정하는 제어알고리듬을 작성할 수 있었다.

#### 요약

탁주발효의 자동화를 위하여 발효중 발생하는 기체를 측정할 수 있는 bubble counter와 제어장치를 개발하였다. 동 장치를 활용하여 pilot 규모의 탁주발효에 적용하였다. 탁주발효중 발생하는 기체를 계측하는 bubble

counter는 photo-interruptor와 acryl판으로 구성하였으며, 계측되는 기체용적은 기포당  $0.018 \text{ ml}$ 였다. 그리고 탁주발효의 제어장치는 single chip microcomputer(MC 68705R3)로 제작하였으며, 발효액의 온도를 측정, 제어하기 위하여 온도계측회로를 제작하였고, 냉각수 순환을 결정하는 solenoid valve의 작동으로 온도제어를 하였다. 동 장치를 운영하기 위하여 software를 작성하여 ROM에 구조화하였다. 동 장치로  $\text{CO}_2$  발생량과 속도를 자동적으로 측정한 결과 알코올농도곡선과 형태가 서로 유사함을 보여주었으며,  $30^\circ\text{C}$  발효조에서 24시간에 최대 발생량을 보였다. 알코올농도와  $\text{CO}_2$  발생량은 뛰어난 상관관계를 보였으며, 이로부터 제어알고리듬을 작성할 수 있었다.

#### 문현

1. Veres, A., Nyeste, N. and Kurucz, I.: Automated fermentation equipment I. program-controlled fermentor. *Biotech. and Bioeng.*, 23, 391(1981)
2. Wu, W.-T. and Chiou, H.-W.: On-line optimal control for fed-batch culture of baker's yeast production. *Biotech. and Bioeng.*, 27, 756(1985)
3. Nyeste, L., Szigeti, L. and Veres, A.: Automated fermentation equipment-computer fermentor system. *Biotech. and Bioeng.*, 23, 405(1981)
4. Prest, J.A.: Electronics and computer. *Food Technology*, 21, 1488(1967)
5. Bernhard Mütz: Continuous measurement of the ethanol concentration in fermentors by means of an infrared gas analyzer. *Biotech. and Bioeng.*, 26, 390 (1984)
6. Cordonnier, M. and Kernevez, J.P.: Microprocessor in fermentation control. *Biotech. and Bioeng. Symp.*, No.9, 227(1979)
7. Beaverstock, M.C. and Trearchis, G.P.: Fermentation control systems-A time for change. *Biotech. and Bioeng. Symp.*, No.9, 241(1979)
8. Lee, Y.J. and Chun, J.K.: Development of pressure monitoring system and pressure changes during Kimchi fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 22(6), 686(1990)
9. Lee, Y.J. and Chun, J.K.: Development of Gas Production Measurement System by Bubble Counting during Fermentation, *Korean J. Food Sci. Technol.*, 25(3), (1993)
10. 배상호: 탁주양조기술, 매한산업부설연구소, (1987)
11. Amerine, M.A. and Ough, C.S.: *Methods for Analysis of Musts and Wines*, John Wiley & Sons, p.93(1979)
12. Barbara, A.C.: *M6805 HMOS Family Microcomputer/Microprocessor User's Manual*, Motorola Inc., (1983)