Kor. J. Food Hygiene 5(1, 2), 35-40 (1990)

유산균배양액의 유체역학적 성질에 관한 연구

丁厚吉 · 姜國熙
성균관대학교 낙농학과

Study on the Rheological Properties of the Lactic Acid Fermented Milk

H.K. Jeong and K.H. Kang
Department of Dairy Science, Sung Kyun Kwan University, Suwon-City, Korea

ABSTRACT-As a link in the studies on the extracellular polysaccharide by lactic acid bacteria, the experiment was conducted to investigate the viscosity variations and rheological properties of 10% reconstituted skim milk and 12% reconstituted whole milk, respectively.

1. **10% reconstituted skim milk cultured by *Str. thermophilus* 510 showed strong flow property of pseudoplastic fluid depending upon the production of exopolysaccharide. And the viscosity reached the highest value within 14% concentration.**
2. **12% reconstituted whole milk cultured by lactic acid bacteria indicated flow property of pseudoplastic fluid. But there was a big difference in the viscosity as compared with 10% skim milk.**
3. **The maximum consistency index (k) and the minimum flow behavior index (n) of the fermented milk by *Str.thermophilus* 510 were 43 and 0.09, respectively. They were 35 and 0.09, in case of *Lb. bulgaricus*.**

Keywords□ Lactic acid bacteria, Polysaccharide, Viscosity.

세균이나 효모, 곰팡이, 그리고 고등생물이 가지는 공통적인 특징 중의 하나는 다당류를 생합성하는 것이다. 이들 다당류는 인공적으로 합성되거나 천연적으로 존재하는 수용성 중합체의 대용품으로 사용되며 농후제, 현탁제, Gel 형성체 또는 식품의 조절제, 안정제, 골격 형성제 등과 같은 특이한 중합체로 사용되기도 한다. 다당류 용액은 전형적으로 점도가 높으며 비뉴우톤 유체로서 의가소성 유체의 유동양식을 나타내는데 이렇듯 배지가 점성을 가지게 되는 이유는 세포 외적으로 생성된 다당류가 배양액으로 유출되기 때문이다(Rees와 Welsh, 1977).

즉 발효가 진행되는 동안에 유산균이 생성하는 유기산, 주로 유산에 의해서 pH는 감소하게 되고 세포벽에 부착되지 않은 Slime 형태의 다당류가 분비되면 배양액의 점도가 증가하게 된다(Walstra와 Jenness, 1984).

이러한 다당류의 상업적인 이용성은 그것의 물리적인 특성에 근거를 두고 있는데(Krumel과 Sarkar, 1975) 다당류의 생성에 수반되는 유체역학적인 성질의 변화에 대하여 특징화한 보고는 거의 없으며 다만 점도를 측정하는 데에만 국한되어 왔다(Pace와 Righelato, 1984).

Received for publication 18 May, 1990
Reprint request: Dr. K.H. Kang at the above address

Table 1. Calibration Factor of Brookfield Viscometer

RPM	LV1	LV2	LV3	LV4
6	10	50	200	1000
12	5	25	100	500
30	2	10	40	200
60	1	5	20	100

*Dial Reading × Factor = Viscosity in CP.
*Brookfield Engineering Laboratories, Inc.

따라서 유산균을 우유에 배양하여 발효유의 유체역학적인 특징을 규명하고자 본 실험을 행하였다.

재료 및 방법

실험균주－본 실험실에서 냉장 보존 중인 *Str. thermophilus* 510, *Str. thermophilus* SKD-1005, *Lb. bulgaricus* SKD-0003 등을 실험에 사용하였으며 10% 환원멸균 탈지유에 2차계대하여 사용하였다.

생균수 측정－10% 환원멸균 탈지유에 2차 계대균액 1%를 접종하여 *Streptococci*는 M-17 Agar Medium (Terzaghi와 Sandine, 1975)에, *Lactobacilli*는 MRS Agar Medium(deMan 등, 1960)에 37℃에 평판배양하여 48시간이 경과된 후에 발생한 집락의 수효를 계측하였다.

산도의 측정－유산균의 생육과 다당류의 생성에 연관되는 산도의 영향을 규명하기 위하여 배양액의 적정산도는 유산 %로 나타냈다.

점도의 측정－세포외 다당류의 생성을 측정하기 위한 방법으로서 Synchro-Lectic Brookfield Viscometer LVF Model을 사용하여 유산균 배양액의 점도를 측정하였다. Brookfield Viscometer의 UL(Ultra-Low) Adaptor에 배양액 50 ml를 계량하여 #3 Spindle로 6 rpm에서 30초 동안 회전시킨 다음에 그 때의 눈금값에 Calibration Factor(Table 1)을 적용하여 겉보기 점도로 환산하였다(Bowles 등, 1955 ; Francis, 1965).

한편 배양액은 25℃로 조정하여 점도 측정시의 온도를 균일하게 유지하여 주므로써 온도의 변화에 따른 점도 변화를 최소화하였다(Peeples 등, 1962 ; Nielsen, 1977).

Table 2. Relationship of Brookfield Viscometer RPM to Shear Rate

Speed (rpm)	Shear Rate (sec^{-1})
60.0	73.42
30.0	36.71
12.0	14.68
6.0	7.34

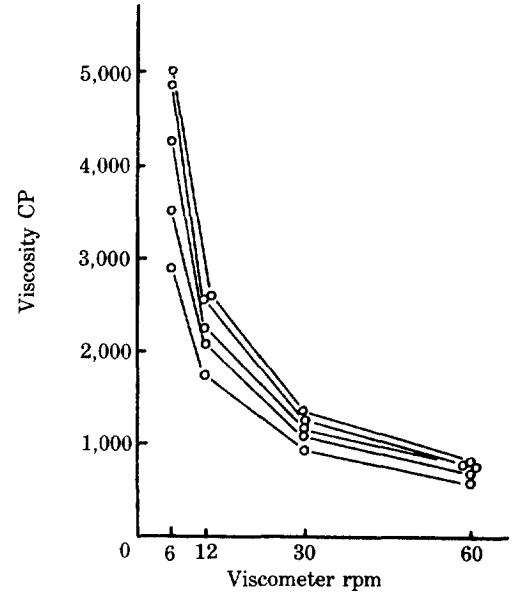

Fig. 1 Rheological properties of 10% reconstituted skim milk cultured by *Str. thermophilus* 510.

결과 및 고찰

미생물의 다당류 용액은 전형적으로 의가소성(擬加塑性) 유체의 유동양식을 나타내는데 다당류가 가지는 각각의 점도 모형은 독특한 지문같은 것으로 생각할 수 있다(Patton, 1969).

이때 의가소성유체란 전단속도가 증가함에 따라 점도가 감소하는 유체를 말하는데 점도계 회전속도의 증가에 따라 점도가 감소하는 비뉴우톤 유체이다.

배양액의 유체역학적인 특성을 결정하기 위해서는 속도의 변환이 가능한 점도계가 필요한데 이러한 요구성을 만족시켜 주며 경제적이고 또한 용이하게 취급할 수 있는 점도계가 Brookfield Viscometer이

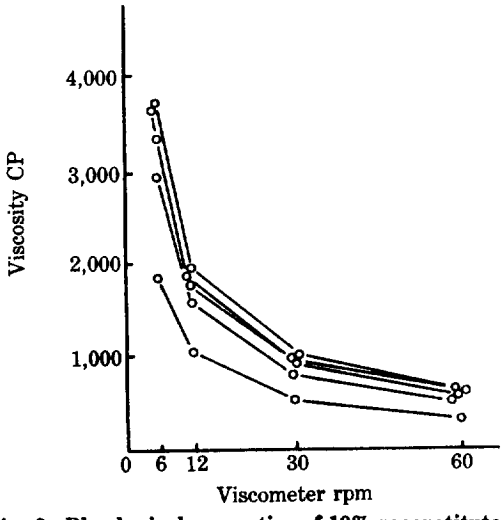

Fig. 2. Rheological properties of 10% reconstituted skim milk cultured by *Str. thermophilus*.

다(Bowles 등, 1955 ; Charm, 1963 ; Francis, 1965 ; Balmaceda 등, 1973 ; Darby, 1976 ; O'neil 등, 1979 ; Labropoulos 등, 1984). Brookfield Viscometer의 rpm과 Shear Rate와의 상관관계를 볼 때 점도계의 회전속도가 증가함에 따라 전단속도도 증가함을 알 수 있다.(Table 2).

Str. thermophilus 510의 10% 탈지유 배양액은 점도계의 회전속도가 증가함에 따라 점도가 감소하는 의가소성 유체의 유동양식을 보여주고 있다(Fig. 1). 이것은 *Str. thermophilus* SKD-1005와 비교했을 때 점도가 감소하는 정도, 다시 말해서 직선의 기울기가 큰 것을 알 수 있는데 이는 다당류의 생성에 의해서 비뉴우톤 유체로서의 의가소성 유체적인 성질이 월등하다는 것을 의미한다(Fig. 2)

탈지유의 농도가 증가함에 따라 점도도 증가하는데 14% 농도일 때 배양 5일째에 7,000 CP로서 가장 높은 점도를 나타냈다. 이는 10% 농도에서의 점도에 비해서 2,000 CP 이상이 증가한 것으로서 16% 이상의 농도가 되면 배양 2일째가 되어서야 비로소 배양액이 점성을 띠게 되면 그 이후로서는 14% 농도의 점도와 동등한 수준이 된다(Fig. 3).

대부분의 세포외 다당류 용액은 점성이 높으며 탈지유 배양액의 조직을 매끄럽고 치밀하게 하는 특성을 가지고 있다. 따라서 유산균을 탈지유에 배양하여 다당류의 생성에 따른 배양액의 물리적, 관

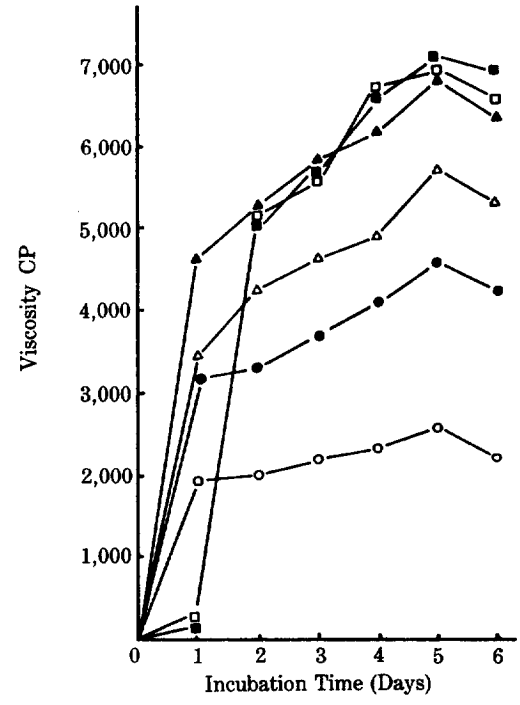

Fig. 3. Effect of silk milk concentrations on Viscosity.

-○- 8% -▲- 14%
-●- 10% -□- 16%
-△- 12% -■- 18%

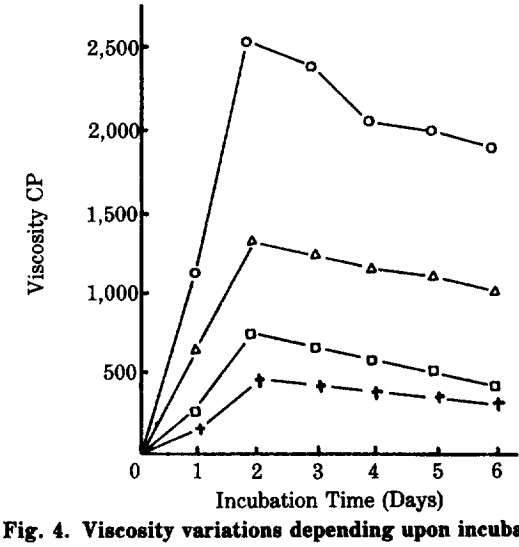

Fig. 4. Viscosity variations depending upon incubation time and Brookfield viscometer rpm in 12% reconstituted whole milk cultured by *Str. thermophilus* 510.

-○- 6 rpm, -△- 12 rpm, -□- 30 rpm, -+- 60 rpm

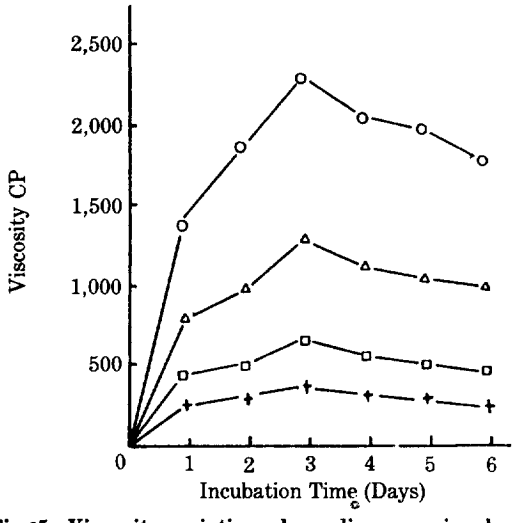

Fig. 5. Viscosity variations depending upon incubation time and Brookfield viscometer rpm in 12% reconstituted whole milk cultured by *Lb. bulgaricus*.
-○- 6 rpm, -△- 12 rpm, -□- 30 rpm, -+- 60 rpm

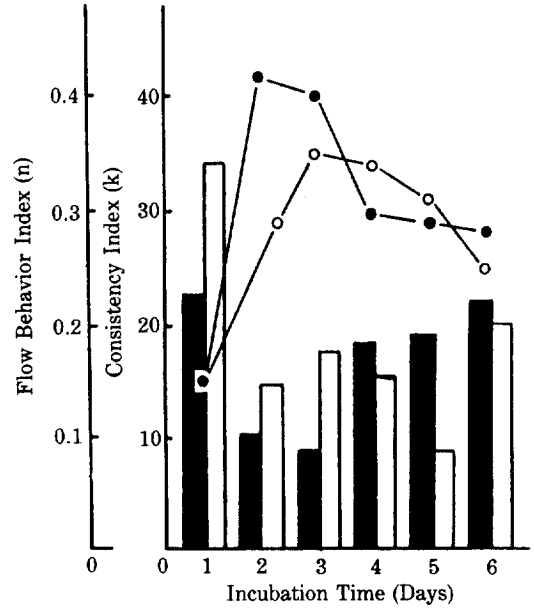

Fig. 6. Consistency Index (k) and Flow Behavior Index (n) of 12% reconstituted whole milk cultured by *Str. thermophilus* 510 and *Lb. bulgaricus* at 37°C.
Consisrency index
-●- *Str. thermophilus* 510
-○- *Lb. bulgaricus*
Flow Behavior Index
-■- *Str. thermophilus* 510
-□- *Lb. bulgaricus*

능적 특성을 향상시키고 농후발효유와 같은 신제품의 개발을 도모할 수 있는데 이 때 탈지유의 임계농도는 14%라고 할 수 있다.

한편 지방함량이 점도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3% 지방함량의 12% 환원전지유를 사용하여 점도의 변화를 관찰하였다. *Str. thermophilus* 510을 12% 환원전지유에 배양했을 때 탈지유의 경우와 달리 배양 2일째에 최대 점도에 도달한 다음에 감소하는데 그 점도값도 2,500 CP에 불과하였다(Fig. 4). *Lb. bulgaricus* 12% 환원전지유 배양액은 배양 3일째에 최대점도에 도달하였다(Fig. 5).

이렇듯 우유 배양액이 특징적인 Ropy Consistency를 나타내는 것은 유산균이 Exponential Growth Phase에서 우유 중으로 분비하는 Slime 때문인데 (Macura와 Townsley, 1984) 전지유 배양액이 탈지유 배양액과 마찬가지로 의가소성 유체적인 성질을 가지면서도 현저한 점도의 감소현상을 보이는 것은 지방산의 억제효과가 일어나기 때문이다. 실제로 Ranganathan 등(1979)은 지방함량이 2%일 때 우유배양액이 가장 높은 Ropiness를 나타냈다고 하였다.

다당류 용액의 유동특성 Francis(1965)의 방법에 따라 점조도계수 K와 유동지수 n에 의해서 표현되는데 n값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$n = \frac{\text{Log(Scale Reading No. 2)} - \text{Log(Scale Reading No. 1)}}{\text{Log(Rpm No. 2)} - \text{Log(Rpm No. 1)}}$$

이 n값은 비뉴우톤 유체적인 유동특성에 반비례한다. 다시 말해서 n값이 작을수록 의가소성유체적인 유동특성이 증가하게 된다.

K값도 Brookfield Viscometer를 사용하여 구할 수 있는데 위의 방정식에서 n값을 구하면 $S = K \times D^n$ 방정식에 Scale Reading S와 Rpm D를 대입하여 K를 구할 수 있다. 이 K값은 용액의 농후력과 밀접한 관계가 있어 K값이 클수록 전체적인 점성력이 높다는 것을 의미한다.

12% 전지유 배양액의 유체역학적 특성을 규명한 결과 *Str. thermophilus* 510의 경우 초기의 점조도

계수가 *Lb. bulgaricus*보다 훨씬 높은데 이는 배양액의 농후력이 월등하다는 것을 의미한다. 따라서 점조도 계수의 최대치와 최고 점도치를 나타내는 배양일은 일치함을 알 수 있다.

유동지수의 경우 *Str. thermophilus* 510은 배양 3일째, *Lb. bulgaricus*는 5일째에 제일 작아 이 때 의가소성 유체적인 성질이 가장 강함을 알 수 있다 (Fig. 6).

국문요약

유산균이 생성하는 다당류에 관한 연구의 일환으로서 *Str. thermophilus*와 *Lb. bulgaricus*를 10% 환원탈지유와 12% 환원전지유에 배양하면서 다당류 생성에 따른 우유 배양액 점도의 경시적 변화 및 그의 유체역학적인 특성에 대하여 조사하였다.

1. *Str. thermophilus* 510의 10% 탈지유 배양액의 의가소성 유체의 유동양식을 가장 강하게 나타냈다. 한편 14% 농도에서 가장 높은 점도를 나타냈다. *Lb.blugaricus*를 10% 환원탈지유와 12% 환원전지유에 배양하면서 다당류 생성에 따른 우유 배양액 점도의 경시적 변화 및 그의 유체역학적인 특성에 대하여 조사하였다.
2. 12% 전지유배양액의 경우 의가소성유체의 유동양식을 나타내지만 탈지유 배양액에 비해서 현저한 점도의 저하를 나타냈다.
3. *Str. thermophilus* 510 배양액의 최대 점조도 계수와 최소 유동지수는 각각 43, 0.09이며 *Lb. bulgaricus*는 35, 0.09이다.

참고문헌

1. Balmaceda, E., C. Rha, and F. Huang. Rheological properties of hydrocolloids. *J. Food Sci.*, **38**, 1169-1173 (1973).
2. Bowles, R.L., R.P. Davie, and W.D. Todd. A method for the interpretatin of Brookfield viscosities. *Modern Plastics.*, **33**(5), 140-148 (1955).
3. Charm, S.E. The direct determination of shear stress-shear rate behavior of foods in the presence of a yield stress. *J. Food Sci.*, **28**, 107-113 (1963).
4. Darby, R. Chemical Processing and Engineering. Vol. 9, "Viscoelastic Fluids". An introduction to their properties and behavior. Marcel Dekker, Inc. New York and Basel (1976).
5. deMan, J.C., M. Rogosa, and M.E. Sharpe. A medium for the cultivation of Lactobacilli. *J. Appl.Bacteriol.*, **23**, 130-135 (1960).
6. Francis, P.S. Determination of thixotrophy and pseudoplasticity. *Method. Carbohyd. Chem.*, **5**, 207-211 (1965).
7. Krumel, K.L. and N. Sarkar. Food properties of gums useful to the food industry. *Food Technol.*, **29**, 36-44 (1975).
8. Labropoulos, A.E., W.F. Collins, and W.K. Stone. Effects of ultra-high temperature and vat processes on heat induced rheological properties of yogurt. *J. Dairy Sci.*, **67**, 405-409 (1984).
9. Macura, D. and P.M. Townsley. Scandinavian ropy milk-Identification and characterization of endogeneous ropy Lactic Streptococci and their extracellular excretion. *J. Dairy Sci.*, **67**, 735-744 (1984).
10. Nielsen, L.E. "Polymer Rheology". Marcel Dekker, Inc. New York and Basel (1977).
11. O'Neil, J.M., D.H. Kleyn, and L.B. Hare. Consistency and compositional characteristics of commerical yogurts. *J. Dairy Sci.*, **62**, 1032-1036 (1979).
12. Pace, G.W. and R.C. Righelato. Production of extracellular microbial polysaccharides. *Adv. Biochem. Eng.*, **15**, 41-70 (1984).
13. Patton, T.C. Viscosity profiles of typical polysaccharide in the ultra-low shear rate range. *Cereal Sci. Today.*, **14**(5), 178-183 (1969).
14. Peeples, J.L., I.A. Gould, C.D. Jones, and W.J. Harper.Forced convection heat transfer

characteristics of fluid milk products. *J. Dairy Sci.*, **45**, 303-310 (1962).
15. Ranganathan, B., H. Chander, and M.P. Tiwari. Studies of factors affecting ropiness in *Str. lactis*. Milchwissenschaft. **34**(6), 333-335 (1979).
16. Rees, D.A. and E.J. Welsh. Secondary and tertiary structure of polysaccharides in solutions and gels. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **16**, 214-224 (1977).
17. Terzaghi, B.E. and W.E. Sandine. Improved medium for lactic acid Streptococci and their bacteriophages. *Appl. Microbiol.*, **29**, 807-813 (1975).
18. Walstra, P. and R. Jenness. "Dairy Chemistry and Physics". p. 294. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York (1984).