

## *Acetobacter xylinum* 유래 Biocellulose의 물성기능 특성

이신영 · 전정륜 · 양영국\*

강원대학교 바이오산업공학부, \*바이오프렌씨

### Characteristics of the Physical Function of Biocellulose from *Acetobacter xylinum*

Shin-Young Lee, Jung-Ryun Jeon, and Young-Kuk Yang\*

School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University

\*Bio FNC Co.

#### Abstract

Powders of Biocellulose from *Acetobacter xylinum* was prepared by hot air drying(AD) or freeze drying (FD). The crystalline/surface structures of their powders (100mesh) were examined, and several physical functionalities including, water holding capacity(WHC), oil holding capacity(OHC), emulsion/foam properties and viscosity properties were also investigated. WHC of air dried and freeze dried biocelluloses were  $8.24 \pm 0.15$  and  $9.26 \pm 0.10$ g water retained/g solid, respectively, whileas OHC for soybean or rice bran oil were 7.14~7.46 and 7.20~7.54g oil retained/g solid, respectively. These values of WHC and OHC were 1.5 times higher than that of commercial  $\alpha$ -cellulose. Changes of temperature and pH showed a small effect on WHC and OHC. Emulsion capacity of 2%(w/v) biocellulose was about 40% level of 0.5%(w/v) xanthan gum but emulsion stability after incubation of 24 hours showed about 1.3 times improvement. Also, biocellulose(~2%, w/v) alone had no foam capacity but especially, biocellulose FD improved the foam stability of protein solution(1% albumin+0.5%  $\text{CaCl}_2$ ) by factor of 285%. Biocellulose alone was not dispersed in water, but very good dispersity was obtained by addition of CMC(carboxyl methyl cellulose), and 1.5%(w/v) biocellulose dispersion with 0.3% CMC exhibited the viscosity properties for new potential usage as an excellent thickening agent.

**Key words:** Biocellulose, *Acetobacter xylinum*, physical function

## 서 론

Cellulose는  $\beta$ -1,4-D-glucopyranose 단위로 이루어진  $^4\text{C}_1$  형태의 선형 고분자로, 식물 세포벽의 골격 구조를 형성하는 주요 성분이다. 식물에 의해 생성되므로 지구상의 가장 풍부한 생물고분자인데, 몇몇 세균도 셀룰로오스(biocellulose or bacterial cellulose)를 생산한다. 주로 아세트산 생산균인 *Acetobacter xylinum*에 의해 생산되는 셀룰로오스가

대표적이다(Yang *et al.*, 1998; Son *et al.*, 2001, Cheng *et al.*, 2002). 세균에 의해 생성되는 이들 biocellulose는 식물 셀룰로오스와 동일한 구조를 갖지만 물리화학적 성질은 서로 다르며, 많은 특징을 갖는다(Brown, 2002). 특히, 세균에 의해 생성된 섬유는 길고 얇아서 *Acetobacter xylinum*의 셀룰로오스는 Young's modulus가 aluminum과 비슷하지만 그 직경은 식물 셀룰로오스의 약 1/100~1/300에 불과하다(Eichhorn and Young, 2001). 따라서 biocellulose의 물리적 3차 구조는 식물 셀룰로오스와는 달리, 복잡하게 가교된 섬유 그물구조를 가지며, 현탁액 등에도 영길 수 있어, 식품, 화장품, 환경, 의복, 오디오, 제지, 석유 및 광산 등과 같은 많은 분야에서 새로운 용도로서의 잠재적 가능성이 알려지고 있다

Corresponding author: Seung Shin-Young Lee, School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea  
Phone: 033-250-6273, Fax: 033-243-6354  
E-mail: sylee@cc.kangwon.ac.kr

(Brown, 2002).

이 중에서도 *Acetobacter*의 몇몇 균주에 의해 생산되는 biocellulose는 지난 10년 간 초 미세섬유, 탁월한 기계적 강도, 생분해성, 높은 수분 보유능 및 높은 결정성과 같은 독특한 구조와 성질로 많은 관심을 받아왔으며, 식품, 화장품 및 의료분야에서 원료소재로서의 이용을 비롯한 각종 산업적 용도로 주목되어 왔다(Son *et al.*, 2001; Cheng *et al.*, 2002; Chao *et al.*, 2000, 2001).

하지만 이들 biocellulose에 대한 구체적이고 정량적인 물리화학적 성질이나 기능성에 대한 과학적 정보 및 자료는 찾아보기 힘들다. 이는 아마도 아직 산업적 생산체제가 미흡하고, 또 업체의 Know-How로만 진행되었기 때문인 것으로 생각된다.

일반적으로 기능성 식품 소재 및 성분으로의 잠재성을 알기 위한 예비단계는 그의 기능성에 대한 자료의 우선적 결정이라 볼 수 있으므로 현재 biocellulose에 대한 산업적 생산 체제가 점차 확립되어가고 있는 국내 실정을 고려할 때, 이의 각종 물성 및 생리 기능성에 대한 정량적인 기초자료 마련의 필요성은 매우 높다.

이에 본 연구에서는 기능성 식품개발에서 요구되는 가능한 용도에 대해 이들 biocellulose의 성질을 특성화하고자 하였다. 즉, biocellulose의 열풍 및 동결건조 분말제품을 시료로 이의 결정 및 표면구조 특성을 알아본 다음, 수분 및 오일 흡수능, 거품능과 안정성, 유화능과 안정성, 점도특성과 같은 물성 기능을 표준시료( $\alpha$ -cellulose)와 비교하면서 탐색, 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에 사용한 biocellulose는 *Acetobacter xylinum*의 정지배양에 의해 생산된 제품이었다. 열풍(biocellulose AD) 및 동결건조(biocellulose FD)한 100 mesh 분말을 시료로 사용하였으며, (주) 엔바이오테크놀로지로부터 제공 받았다. 비교 시료로 사용한  $\alpha$ -cellulose는 Sigma-Aldrich사의 제품(product no. C8002, USA)을 사용하였고, 각 재료는 4°C의 냉장고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

### 결정 및 표면구조

결정구조는 X-ray diffractometer(Bruker model D5005, Germany)로 관찰하였다. 조작조건은 40

kV/ 30 mA에서 다음극으로 동(Cu K $\alpha$ )관을 사용하였고, step size 0.04로 2 $\theta$ =10-60°까지 회절시켰다.

표면구조는 주사형 전자현미경(Hitachi SEM model S-4300, Japan)으로 관찰하였다. 즉, 시료를 양면 접착 테이프에 얇게 분산시킨 후, Au로 진공증착(100 Å 두께)하여 전압 5 kV, 시료 경사 30°의 조건에서 1,000-20,000배로 촬영하여 관찰하였다.

**보수력(Water holding capacity; WHC):** AACC 방법(1981)을 사용하여 결정하였다. 즉, 시료 5 g을 칭량하여 미리 칭량한 50 ml 원심분리관에 넣고, 각 시료에 증류수를 소량 가한 후 유리봉으로 저어주었다. 혼합물이 완전히 젖은 후 2000 g에서 10분간 원심분리후 상징액 액체의 양을 측정하였고, 수분 보유능(시료 고형분 g당 물의 g)을 다음 식으로 구하였다.

$$WHC = (W_2 - W_1) / W_0$$

여기서,  $W_0$ 는 건조시료 중량(g),  $W_1$ 은 관과 시료의 무게(g),  $W_2$ 는 관과 침전물의 무게(g)이며, 각 시료에 대해 3회 반복 실험하였다.

**보유능(Oil absorption capacity, OAC):** 보유능은 Chakraborty의 방법(1986)으로 측정하였다. 시료 1 g을 칭량하여 미리 칭량된 50 ml 원심분리관에 넣고 10 ml의 soybean oil 또는 rice bran oil과 철저히 혼합하였다. 시료-oil 혼합물을 1600 g에서 10분간 원심분리하고 상징액을 제거하여 관 무게를 측정하였으며, 지방 흡수능(시료 고형분 g당 oil g)을 다음과 같이 계산하였다.

$$OAC = (W_2 - W_1) / W_0$$

여기서,  $W_0$ 는 건조시료 중량(g),  $W_1$ 은 관과 시료의 무게(g),  $W_2$ 는 관과 침전물의 무게(g)이며, 각 시료에 대해 3회 반복 실험하였다.

**유화능 및 안정성(Emulsifying capacity and stability):** 유화능(EC) 및 유화 안정성(ES)은 Yasumatsu 등의 방법(1972)에 따라 3회 반복 실험하였다. 각 시료 8 g을 칭량하고 blender로 옮겨 증류수 100 ml 및 soybean oil 100 ml와 혼합하고 고속으로 1분간 혼합하여 유화액을 형성하였다. 각 시료에 대해 유화액의 고정량(40 ml, Vt)를 취하여 50 ml 원심분리관에 옮기고 1475 × g에서 5분간 원심분리하였다. 유화 분획의 부피( $V_n$ )를 기록하고 o/w 유화분획을 포함한 관은 80°C 수욕(water bath)에서 30분간 가열한 후, 실온으로 냉각하였으며, 이를 원심분리(1475

× g, 5분)후 남아있는 유화분획의 부피( $V_{f2}$ )를 기록하였다. EC 및 ES는 각각 다음 식으로 나타내었다.

$$EC(\%) = (V_{f1}/Vt) \times 100$$

$$ES(\%) = (V_{f2}/Vt) \times 100$$

**거품 형성능과 안정성(Foaming capacity and stability):** 거품 형성능(FC) 및 거품 안정성(FS)은 Mitchell의 방법(1986)을 사용하여 3회 반복 실험하였다. 0~3wt%의 시료(1% egg albumin + 0.5%  $CaCl_2$  함유) 수용액 75 ml( $V_i$ )를 고속 균질기로 3분간 혼합하였다. 메스실린더에 붓고 즉각 foam 부피( $V_f$ )를 측정하였다. Foam은 25°C에서 30분간 그대로 방치하였고, 거품 밑에 생성된 액체부피( $V_0$ )를 측정한다음, FC(액체 ml당 거품 ml) 및 FS(초기부피 ml당 거품에 남아있는 액체의 ml)를 다음 식에 의해 각각 구하였다.

$$FC = V_f / V_i$$

$$FS = (V_i - V_0) / V_i$$

**점도 특성:** 시료 그대로 또는 시료에 0.1~0.5%의 안정제(CMC)를 혼합하고, 증류수에 현탁시켜 1~3% 현탁액으로 하였다. 60°C에서 가운하고, 다시 30°C로 냉각하여 회전점도계(Brookfield DV-II+, Brookfield Eng. Labs Inc., USA)를 사용하여 spindle No. 1으로 점도를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### Biocellulose의 결정구조

2종의 biocellulose(AD 및 FD) 및  $\alpha$ -cellulose의 결정구조를 x-선 회절에 의해 조사한 결과는 Fig. 1과 같다.  $2\theta=10\sim40^\circ$  범위에서 결정성분에 유래하는 peak는 7개인데, 이 중 천연 셀룰로오스에 특징적인 것은 4개( $2\theta=15, 17, 22, 34^\circ$ )이다. 그림에서 보는 바와 같이, 열풍건조 및 동결건조한 biocellulose 시료에 대한 회절 peak의  $2\theta$ 는 14.6, 16.6 및 22.6으로, 전형적인 cellulose I의 x-선 회절도를 보였다. 반면,  $\alpha$ -cellulose 회절 peak의  $2\theta$ 는 15.4 및 22.2로, cellulose IV의 회절양상을 나타내었다.

통상, 천연의 cellulose I 결정은 평행하고 sheet(병풍)간 수소결합이 없는 셀룰로오스 사슬을 갖는 준 안정상태의 것으로 그의 출처에 따라 그 비율이 변하는 cellulose I $\alpha$ (triclinic)와 cellulose I $\beta$ (monoclinic)의 두 가지 공존상을 포함한다. Cellulose I $\alpha$ 의 이웃 sheet는 서로 같은 방향으로 위치한 반면, cellulose I $\beta$ 는 엇갈려 있는데, cellulose I $\alpha$ 와

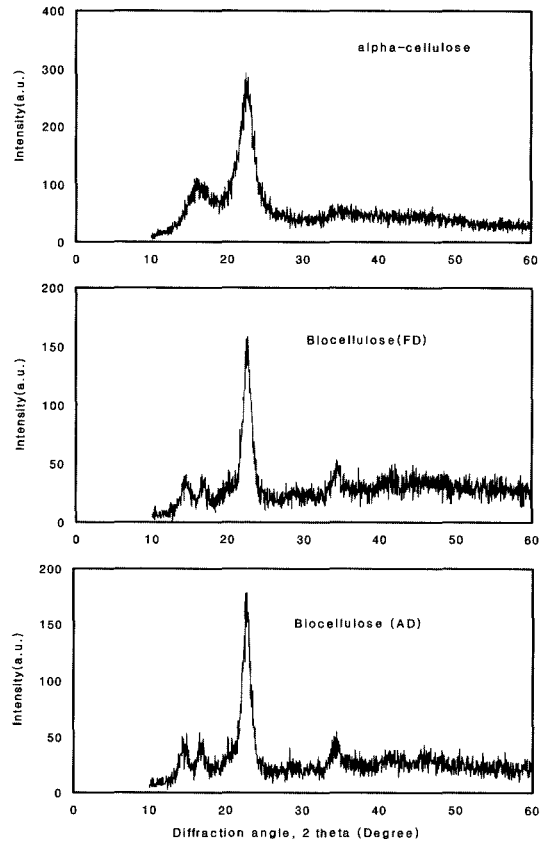


Fig. 1. X-ray diffraction diagrams of  $\alpha$ -cellulose and biocellulose by reflection method.

cellulose I $\beta$ 는 미세섬유 형성 중 bending에 의해 상호교환되며, 준 안정성의 cellulose I $\alpha$ 는 cellulose I $\beta$ 로 전환된다. 만약, cellulose I을 mercerization(alkali-induced conversion of cellulose I to cellulose II)에 의해 재결정화하면 열역학적으로 더욱 안정한 cellulose II 구조를 갖게 되며, 이 구조는 사슬의 반평행 배열과 sheet간 다소의 수소결합을 갖는다. 또 cellulose I, II를 -80°C에서 액상 암모니아로 처리하면 cellulose III가 얻어지며, 이를 다시 glycerol에서 260°C로 가열하면 cellulose IV가 얻어지는 것으로 알려져 있다(Marchessault and Sundararajan, 1983).

본 연구에서 사용한 biocellulose의 cellulose I 형태는 보고된 사실과도 잘 일치하는데, 통상 I $\alpha$ 형(3사결정계; triclinic symmetry)은 세균 셀룰로오스에 많고 I $\beta$ 형(단사결정계; monoclinic symmetry)은 고등식물의 셀룰로오스에 많다고 알려지고 있다. 또, I $\alpha$ 형은 260°C이상의 약 알칼리성 증기하에서 가열하면(annealing) I $\beta$ 형으로 이행하는 것이 알려지고 있으

며,  $2\theta=22^\circ$  부근에 나타나는 회절은 셀룰로오스 섬유 표면의 석출에 기인한다고 알려지고 있다(Wada *et al.*, 1994).

### Biocellulose의 표면구조

Biocellulose 및  $\alpha$ -cellulose의 표면구조를 주사형 전자현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 2 및 3과 같다. 5,000배 배율로 관찰하였을 때(Fig. 2), biocellulose는 열풍(AD) 및 동결건조(FD) 시료 모두 섬유상 구조를 보인 반면,  $\alpha$ -cellulose는 겔 유사 구조를 보였다. 한편, 10,000배 이상으로 관찰한 결과(Fig. 3), biocellulose는  $\alpha$ -cellulose와는 달리 표면에 불규칙한 많은 다공성을 갖는 모자이크 유사구조를 나타냄을 관찰할 수 있었다. 통상, 세균 셀룰로오스의 형태는 서로 다른 배양기에 기초하여 아주 달라서 정치 배양에서는 공기/액체 계면에서 세균 셀룰로오스의 젤라틴성 막이 형성되는 반면, 교반배양에서는 높은 전단력에 기인하여 섬유 형태가 얻어지는 것으로 보고되었다(Chao *et al.*, 2000, 2001).

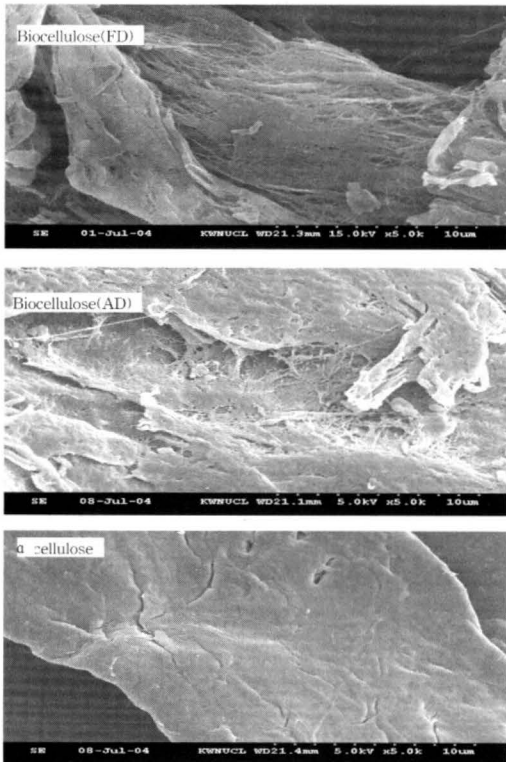


Fig. 2. Scanning electron microscopic view of biocellulose (FD, AD) and  $\alpha$ -cellulose(x5,000).

### Biocellulose의 보수력

분말 셀룰로오스는 불용성의 비칼로리 물질로 총 식이섬유 함량이 99% 이상이 되는 식이섬유인 데(dietary fiber)이다(FDA, 1987), 이들 식이섬유의 보수력과 같은 물성 기능의 탐색은 식이섬유원으로서의 기능성 탐색에 매우 중요한 지표가 되고 있다. 특히, 식이섬유원의 수분 흡착력은 소화력의 저하, 변의 부피와 무게 증가, 혈청 triglyceride를 낮추는 기전과 관련이 있는 것으로 알려지고 있다(Kim *et al.*; 1997; Schneeman, 1987).

따라서 식이섬유원인 biocellulose의 열풍 및 동결 건조 분말의 보수력을  $\alpha$ -cellulose와 비교하면서 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다. Biocellulose (AD), biocellulose(FD) 및  $\alpha$ -cellulose의 보수력은 각각  $8.28 \pm 0.15$ ,  $9.26 \pm 0.0$  및  $6.08 \pm 0.15$ g water retained/g solid로, biocellulose의 보수력은 셀룰로오스의 경우 입자크기가 작을수록 보수성이 증가하여 섬유길이에 따라 4-10배를 유지한다고 한 Ang(1991)의 보고와 비교적 잘 일치하는 값 범위이었다. 또 이 값은  $\alpha$ -cellulose의 약 1.5배에 달하며, 시판용 펙틴과 비슷하였다. 일반적으로 셀룰로오스나 리그닌의 보수력이 낮고, 식이섬유의 통상 물 흡착력이 약 4배임을 고려할 때(Cadden, 1987), biocellulose는 매우 높은 물을 흡수하는 특징을 갖는다고 볼 수 있다.

한편, McConnell 등(1974)에 의하면 수분 흡착력은 식이섬유의 종류, 함량, 입자크기에 따라 크게 영향을 받는다. 주로 식이섬유의 구성성분, 입도, pH 및 이온강도가 주 요인으로 보고되고 있는데(Eastwood *et al.*, 1986), 셀룰로오스의 경우는 높은 결정성을 가지면 직접적인 수소결합에 의해 물의 결합이 적어진다. 하지만 몇몇 섬유제품들은 구멍과 그의 전형적인 짚 유사 공동(straw-like cavity)에서 상당한 물을 보유할 수 있다. 즉, 물 보유능은 무정형(표면적 효과) 및 다공성(다공성)과 잘 상관되는 것으로 볼 수 있다. 따라서  $\alpha$ -cellulose 대비 biocellulose의 높은 보수력은 낮은 결정화도(Fig. 1)와 표면의 다공성(Fig. 2, 3)에 기인하는 것으로 보인다.

한편, Fig. 5는 각 시료 보수력의 pH(~9) 및 온도(25~70°C) 의존성을 조사한 결과이다. 알칼리성 pH에서 다소 보수력이 높아지는 경향이었으나 각 pH에서 보수력의 차이는 매우 미미하였다. 또, 온도 증가에 따른 보수력의 차이도 거의 보이지 않았으며, 따라서 온도의존성도 없는 것으로 나타났다.

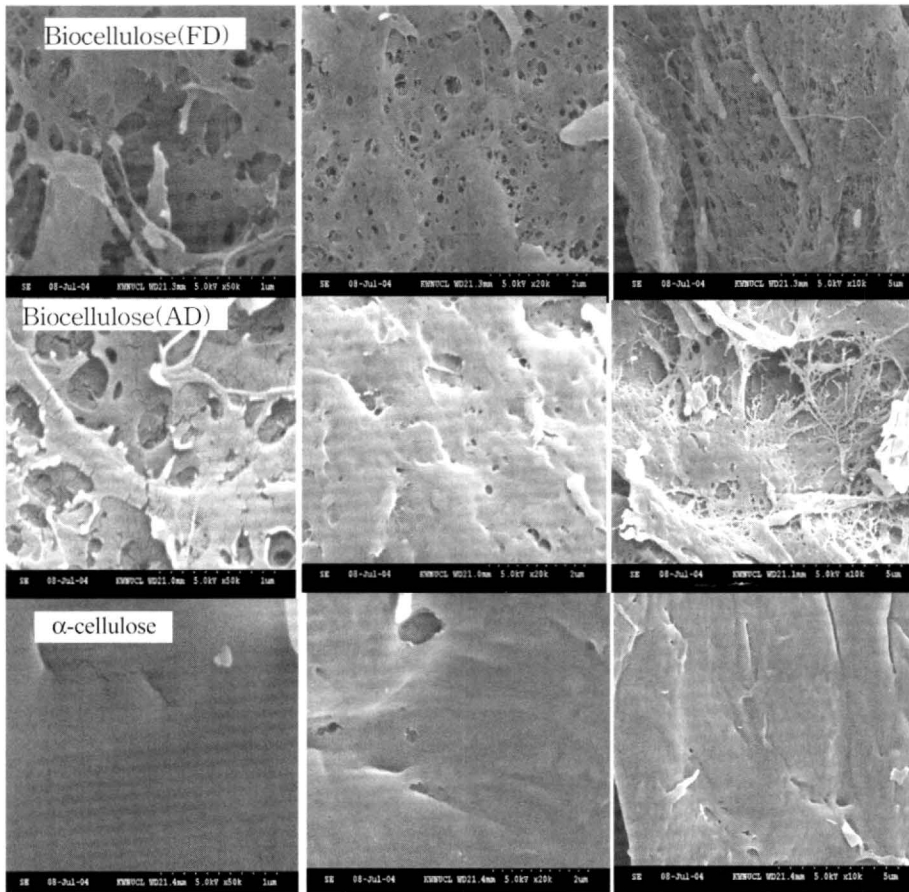


Fig. 3. Scanning electron microscopic view of biocellulose(FD, AD) and  $\alpha$ -cellulose(Top: x10,000, Middle: x20,000, Bottom: x50,000).

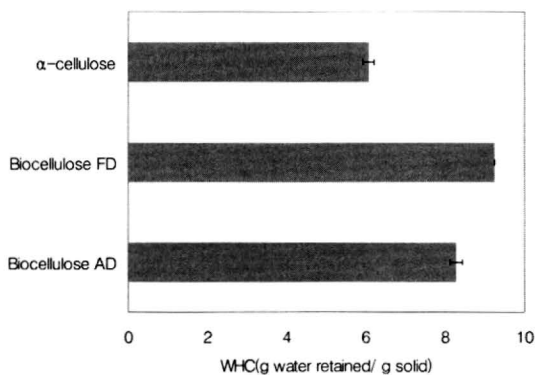


Fig. 4. Water holding capacity of biocelluloses and  $\alpha$ -cellulose.

일반적으로 건조한 무정형 셀룰로오스는 물을 흡수하여 부드럽고 유연하게 되며, 이 물의 일부분은

비 냉동성이지만 대부분은 간단히 trapping된다. 무정형 및 다공성에 의해 보유된 물은 과냉각(supercooling)될 때 얼음의 손상에 대한 보호 효과를 갖는다. 따라서 셀룰로오스는 아이스크림에서 결정화를 방지할 수 있으며, 또 소스 및 드레싱에서 fat replacer로서 용적과 조직을 향상시킬 수 있다고 알려지고 있다(Kai, 1990). 특히, pH 또는 온도변화에 저항하는 성질은 동결/해동 조절 중 stiffness와 whippability를 증가시키므로 열쇼크 중 제품 안정성에 기여할 수 있으므로 아이스크림 배합에서 독특한 성분이 될 것으로 보인다.

그 동안 biocellulose의 고결정성과 분리물의 겔 형성능과 보수성을 이용한 예로서 두부, 가마보고, 소시지, 빵 등에 biocellulose 분리물을 0.1-2wt % 정도 첨가하는 고형 식품에의 응용 시도가 알려지고 있는데, 식감, 보형성이 우수한 제품이 얻어지고

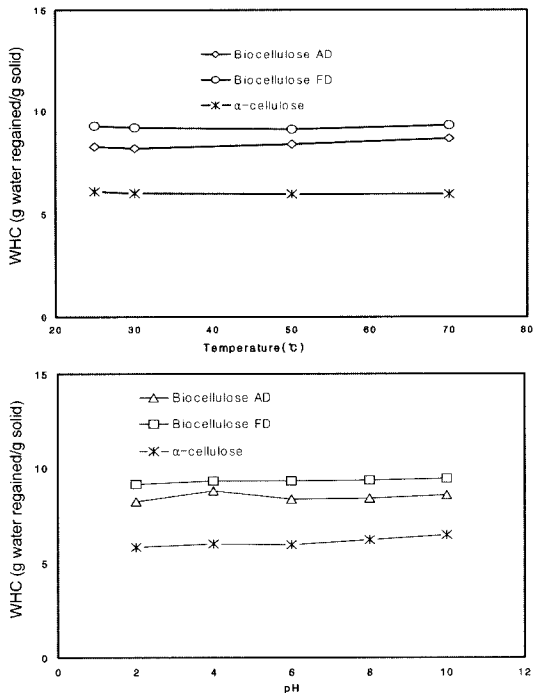


Fig. 5. Effect of pH and temperature on water holding capacity of biocelluloses and α-cellulose.

있다고 한다(Kai, 1990). 또 biocellulose의 망목구조와 친수성 저분자물들의 보유특성(또는 그의 서방성) 및 흡습성을 이용한 예로서 의용 pat, 화장용 pat에의 응용 등이 알려지고 있으며, biocellulose 막의 인공피부나 인공피혁 등에서의 응용이 시도되고 있다(Kai, 1990).

### Biocellulose의 보유력

Biocellulose(AD, FD)와 α-cellulose의 soybean oil과 rice bran oil에 대한 보유능을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다. 이들의 보유능은 soybean oil의 경우, 각각  $7.20 \pm 0.70$ ,  $7.46 \pm 0.02$  및  $5.05 \pm 0.04$  g oil retained/g solid이었고, rice bran oil에 대해서도 각각 비슷한 값 범위이었다. 이는 분말 셀룰로오스에 대한 Ang(1991)의 결과(약 2.5~8.5배)와도 잘 일치하는 값 범위이었다. 일반적으로 보유능은 보수력에 비하여 상대적으로 낮게 나타나며, 그 범위는 30~80%로 알려지고 있다(이 등, 1995). 본 실험의 경우, 셀룰로오스 시료의 보유능은 모두 보수력의 80%이상이나 되는 높은 보유능을 보였다. 따라서 이러한 높은 보유능은 물과 기름이 함께 존재하는 가공식품에 사용할 경우 효율적 흡착의 이점이 있을 것으로 생각

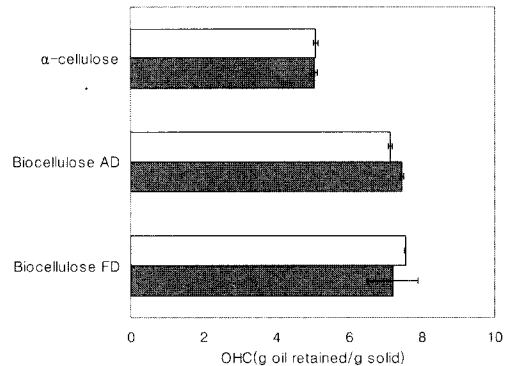


Fig. 6. Soybean oil(white) and rice bran oil(grey) holding capacity of biocelluloses and α-cellulose.

되었다.

### 유화능과 안정성

o/w 유화액은 oil/water 계면에서 계면활성제 또는 유화제에 의해 안정화된 물 속에 지방 방울이 부유된 현탁액이다. 단백질의 경우, 유화제로 작용하는 능력은 용해도, 표면변성 정도, 지방/단백질비, 유화액 점성에 대한 효과와 더불어 양쪽성 특성에 의존한다. 유화 안정제로 널리 사용되는 0.5% xanthan gum의 첨가에 따른 유화 안정성의 경시변화를 조사한 결과, 자료화하지는 않았으나 xanthan gum 무첨가의 대조구는 유화 직후 수분이내에 물과 기름이 분리되었으나 0.5% xanthan gum 첨가구는 24시간까지도 전혀 분리되지 않고 높은 유화 안정성을 보였다. Xanthan의 높은 유화안정성은 높은 항복응력 및 정지상태하에서의 응집력에 기인하는 것으로 밝혀졌는데, 일반적으로 다당류와 같은 고분자 물질은 물과 기름의 분산매속에서 녹아 점도를 높임으로써 크리미명을 방지하거나 점성 및 탄성이 강한 흡착층을 만들어 기름입자간의 합일을 방지하여 유화안정성을 높인다고 보고되었다(Hennock et al., 1984).

한편, 유화능은 통상 농도의 함수로서 증가되므로 biocellulose AD, FD 및 α-cellulose의 유화능을 농도를 서로 달리한 시료를 사용하여 조사한 결과에서도 역시 자료로 나타내지는 않았으나 α-cellulose의 경우, 0.5-3% 첨가시 1시간까지는 유화 안정성을 보였으나 2시간 이후부터 크림층이 분리되었다. 분리정도는 농도가 낮을수록 컸으며, 동일 농도에서 시간 경과에 따라 증가하였다. 반면, biocellulose AD는 0.5% 및 1% 첨가시 각각 2시간 및 4시간 부

터 미량 수준의 크림층 분리가 있었으나, 24시간까지도 그 수준을 유지하여 비교적 양호한 유화 안정성을 보였다. 또, 1%의 biocellulose FD 첨가의 경우는 xanthan gum과 마찬가지로 24시간까지 안정성을 보였다. 그러나 0.5% 첨가시에는 0.5시간 후 크림층의 분리가 시작되었으며, 이후 시간 경과에 따라 분리 정도가 점차 커져 24시간 후에는 약 20% 정도가 분리되었다. 따라서 biocellulose AD와 FD는  $\alpha$ -cellulose보다 높은 유화 안정성을 보였으며, 1% 첨가로 본 실험에서 설정한 24시간까지 안정함을 알 수 있었다. 이들 자료를 근거로 유화능과 유화 안정성을 산출한 결과, Fig. 7에서 보는 바와 같이, biocellulose(2%)의 유화능은 xanthan gum(0.5%)의 1/2 수준인 약 40% 수준이었으나 유화 안정성은 xanthan gum의 75%보다도 매우 높은 100% 수준의 높은 안정성을 보였다.

거품 형성능과 거품 안정성

거품은 물리적 교반 및 통기에 의해 공기가 수용액에 혼입된 것으로 식품의 부드러움(smoothness), lightness, 향미, 분산 및 감칠맛에 기여한다. 더 작은 공기세포의 형성은 조직 및 입안에서의 느낌을 향상시키며, 또, 지방구 주위의 물상(water phase)을 조직화하는 것으로도 알려지고 있다. 특히, 단백질 용액의 거품은 많은 식품 응용에서 바람직한데, 높은 거품 형성능과 거품 안정성은 케이크, 빵, whipped topping, 아이스크림, 디저트에서 요구된다(Dickinson, 1989).

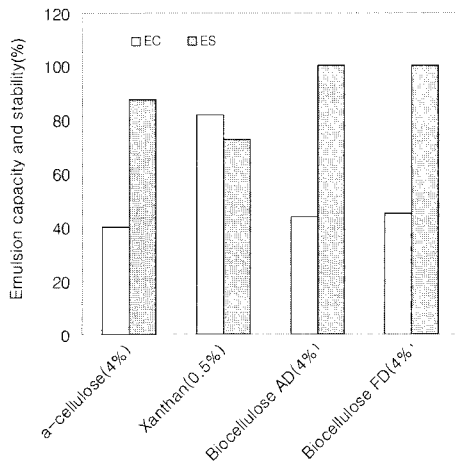


Fig. 7. Emulsion capacity and stability of biocelluloses and  $\alpha$ -cellulose.

Fig. 8은 albumin(1%)과 CaCl<sub>2</sub>(0.5%)의 혼합 용액에 각 시료를 1 또는 2% 첨가한 후의 거품 형성능과 안정성을 산출한 결과이다. 셀룰로오스 시료들은 1 및 2% 첨가구 모두 거품의 형성을 다소 저해하였으며, 농도가 높을수록 저해정도도 더 커졌다. 즉, 대조구인 albumin(1%)과 CaCl<sub>2</sub>(0.5%) 혼합 용액의 거품 형성능은 1.67ml foam/ml liquid이었으나  $\alpha$ -cellulose를 1 및 2% 첨가한 경우는 각각 1.42 및 1.06 ml foam/ml liquid로 거품 형성을 약 40-15% 저해하였다. Biocellulose AD의 경우는 1% 첨가시는 거의 저해를 보이지 않았으나 2% 첨가시 1.36ml foam/ml liquid로 약 19%의 거품형성을 저해하였다. Biocellulose FD의 경우도 비슷한 경향이었으나 저해정도는 농도에 상관없이 약 15% 정도이었다.

하지만 형성 거품의 시간 경과에 따른 안정성은 역시 Fig. 8에서 보는 바와 같이,  $\alpha$ -cellulose를 제외한 나머지 시료들은 거품 안정성을 크게 향상시켰다. 즉 대조구의 거품 안정능은 0.13mg remaining liquid/ml initial liquid이었으나 1% biocellulose AD

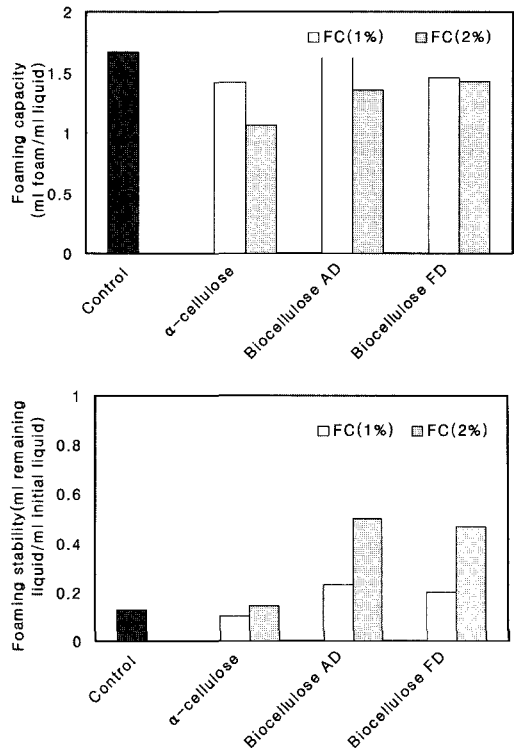


Fig. 8. Foaming capacity and stability of biocelluloses and  $\alpha$ -cellulose.

및 FD 첨가구는 0.2-0.23mg remaining liquid/ml initial liquid로 약 54-76% 상승하였고, 2% 첨가시는 261-285%나 향상시켰다.

일반적으로 거품형성은 주로 분자간의 빠른 흡착과 재배열에 관계되는 반면, 중력 및 기계적 응력에 대해 거품을 안정화시키는 안정능은 계면에서 유연성 응집필름의 형성에 의해 부여되는 것으로 알려져 있다(Dickinson, 1989).

이상의 거품 및 유화 성질은 냉동 및 특수 케이크 제품에서 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서 공급된 이들 자료들은 제품개발 및 식품 가공의 기본 정보로서 활용될 수 있을 것이다. 아울러 이들 기능성의 특성화를 통해 적정 제품으로의 이들 이용을 안내하거나 최대화 할 것으로 생각된다.

**점도 특성**

점성 및 겔 형성능을 갖는 식이섬유는 소화관 내용물의 점도를 높여줌으로써 내용물의 소화관 이동 속도 및 흡수에 대해 영향을 주는데, 소장 내용물의 점도에 대한 영향은 식이섬유의 종류에 따라 다른 것으로 알려져 있다(Ebihara와 Kiriya, 1990). 따라서 biocellulose, α-cellulose 및 psyllium의 점도를 3-100 rpm에서 회전점도계를 측정하였으며, 그 결과는 각각 Fig. 9와 같다.

Biocellulose 대비 20%의 CMC를 함유한 0.5-1.5%(w/v) biocellulose AD와 FD 분산액의 점도는 점도계 회전속도(rpm)의 증가에 따라 급격히 감소하고 의가소성 성질을 나타내었다. 또 α-cellulose의 경우도 비슷한 의가소성 경향을 보였다. 하지만 Fig. 10에서 보는 바와 같이, 회전속도 60 rpm의 경우, 0.5-1.5%(w/v) biocellulose의 점도는 AD에서 2900~12800 cp, FD에서 1700~9400 cp로 0.1~0.2% xanthan gum의 점도와 비슷한 반면, α-cellulose와 psyllium은 36~50 cp에 불과하였다. 각 시료 모두 농도 의존성의 점도 증가현상을 보였으며, 특히 biocellulose는 농도에 따른 점도의 증가 현상이 현저하여 1.5% 농도에서 0.5%보다 약 5배의 점도 증가를 보였다.

한편, biocellulose 자체만으로는 물에의 분산능을 나타내지 못하였으므로 안정제(0.3% CMC) 용액중의 1.5%(w/v) biocellulose 분산액의 유동 거동을 조사하였는데, 전단속도와 전단응력의 관계는 원점을 지나지 않는 비선형곡선을 나타내어 항복응력을 갖는 비뉴턴유체로서 거동하였다(Data not shown). 또,

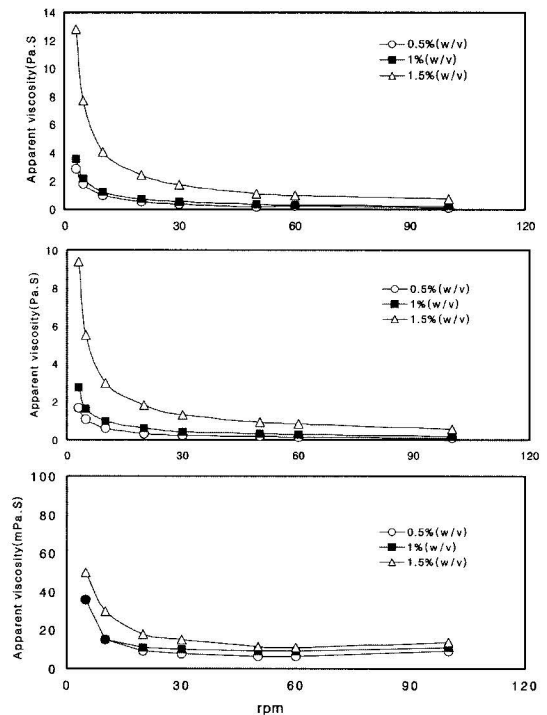


Fig. 9. Apparent viscosity vs. viscometer speed plot of biocellulose AD(top) and FD(middle) and α-cellulose (bottom) dispersions containing CMC solution with different concentrations.

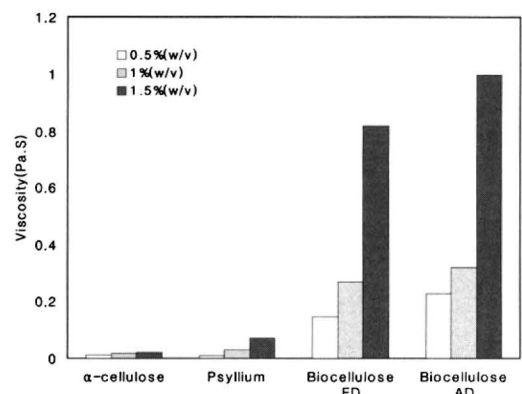


Fig. 10. Effect of concentration on the viscosity of biocellulose, α-cellulose and psyllium dispersions at viscometer speed of 60rpm.

Casson 식에 의해 구한 항복응력 값은 biocellulose AD 및 FD에서 각각 6.41 및 4.42 Pa의 매우 높은 값을 나타내었으며, 이러한 높은 항복응력값이 biocellulose의 유화안정능과 관계되는 것으로 생각



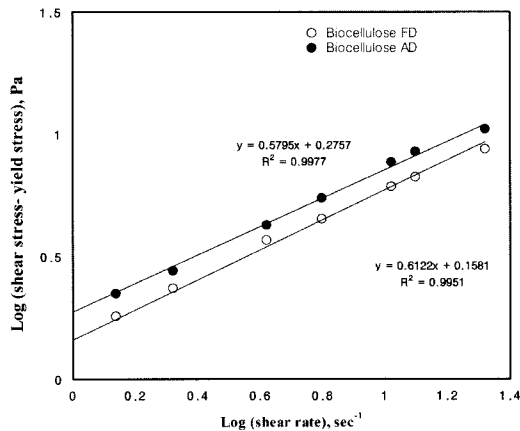


Fig. 11. Log plot of shear stress vs. log shear rate for 1.5%(w/v) biocellulose dispersions containing 0.3% CMC solution.

되었다(Henlock *et al.*, 1984). 이들 자료들로부터 전단응력과 전단 속도의 양대수값을 도기한 결과는 Fig. 11과 같이 직선관계를 보였다. 직선의 기울기 및 절편값으로부터 각각 유동지수  $n$ 값과 점조도지수  $K$ 값을 구한 결과, biocellulose AD와 FD의  $n$ 값은 각각 0.58 및 0.61이었고,  $K$ 값은 각각 약 1.89 및 1.44 Pa · S<sup>n</sup>이었다.

이러한 안정제(CMC)와 biocellulose의 조합에 의한 점증효과, 높은 항복응력, 의가소성 등 점도특성의 자료는 biocellulose의 AD와 FD 모두 1.5%(w/v) 농도 이상에서 안정제와의 조합에 의해 점증제로서의 새로운 용도가 가능함을 제시하는 것으로 볼 수 있다.

## 결 론

*Acetobacter xylinum*의 정치배양에 의해 생산된 biocellulose를 열풍 또는 동결건조하고 분말화(100 mesh)하였다. 이들의 결정 및 표면구조를 조사하였고, 보수력, 보유력, 유화특성 및 거품특성 등의 몇몇 물성 특성을 조사하였다. Biocellulose AD(air dried) 및 FD(freeze dried)의 보수력은 각각 8.24±0.15 및 9.26±0.10 g water retained/g solid이었고, 대두유 및 미강유에 대한 보유력은 7.14~7.46 and 7.20~7.54 g oil retained/g solid로, 시판의  $\alpha$ -cellulose 식이섬유의 보수력 및 보유력보다 1.5배 정도 높은 특징을 보였다. 또 biocellulose AD 및 FD의 보수력은 pH나 온도 변화에 거의 영향을 받지 않았다. 한편, 2%(w/v) biocellulose의 유화능은 xanthan

gum(0.5% w/v)의 40% 수준이었으나 24시간후의 유화 안정성은 xantha gum보다 1.3배나 더 좋았다. 또 biocellulose AD 및 FD(1-2%) 단독으로는 거품 형성능을 갖지 못하였으나, 거품 형성능을 갖는 단백질 용액(1% albumin + 0.5% CaCl<sub>2</sub>)의 거품안정성을 285%나 향상시켰다. 아울러, biocellulose 자체만으로는 물에의 분산능을 가지 못하나 0.3% CMC를 함유한 1.5%(w/v) 이상의 biocellulose 용액은 우수한 분산능을 가지며, 이의 점도 특성을 매우 우수한 점증제로의 새로운 용도 가능성을 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 (주)엔바이오테크놀러지의 일부 연구비 지원에 의하여 수행된 결과로, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

- American Association of Cereal Chemists(AACC). 1981. Method for water hydration capacity of plant protein material. *Cereal Foods World*, **26**, 291-293
- Brown, R J. 2002. POSITION PAPER, Microbial Cellulose: A New Resource for Wood, Paper, Textiles, Food and Specialty Products. <http://www.botany.utexas.edu/facstaff/facpages/mbrown/position1.htm>
- Ang, J.F. 1991. Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *J. Food Sci.* **56**(6): 1682-1684
- Cadden, A.M. 1987. Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J. Food Sci.* **52**(6): 1595-1599
- Chakraborty, P. 1986. Coconut protein isolate by ultrafiltration. In *Food Engineering and Process Applications*, LeMeguer, M., Jelen, P., Eds., Elsevier Applied Science Publishers, New York, pp. 308-315
- Chao, Y.P., Ishida, T., Sugano, Y. and Shoda, M. 2000. Bacterial Cellulose Production by *Acetobacter xylinum* in a 50-L Internal-Loop Airlift Reactor, *Biotechnol. Bioeng.*, **68**: 345-352.
- Chao, Y. P., Sugano, Y. and Shoda, M. 2001. Bacterial Cellulose Production under Oxygen-Enriched Air at Different Fructose Concentrations in a 50-L Internal Loop Airlift Reactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **55**: 673-679.
- Cheng, H.P., Wang, P.M., Chen, J.W. and Wu, W.T. 2002. Cultivation of *Acetobacter xylinum* for bacterial cellulose production in a modified airlift reactor. *Biotechnol. Appl. Biochem.* **35**: 125-132
- Dickinson, E. 1989. Protein adsorption at liquid interfaces and the relationship to foam stability. In *Foams: Physics*.

- Chemistry and Structure*. Wilson, A. J., Ed., Springer-Verlag, London, pp. 39-54
- Eastwood, M.A., FRCP, M.B., Brydon, W.G., MRCP, BSc., and Anderson, D.M.W. 1986. The effect of the polysaccharide composition and structure of dietary fiber on cecal fermentation and fecal excretion. *Am. Soc. Clin. Nutr.* **44**: 51-55
- Ebihara, K., and Kiriya, S. 1990. Physico-chemical property and physiological function of dietary fiber. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* **37**(11): 916-933
- Eichhorn, S. J. and Young, R. J. 2001. The Young's modulus of a microcrystalline cellulose. *Cellulose*, **8**: 197-207
- FDA. 1987. Nutrition labeling of food; caloric content. *Federal Register*, **52**(148): 28690
- Hennock, M., Rahalkar, R.R. and Richmond, P. 1984. Effect of xanthan gum upon the rheology and stability of oil-water emulsions. *J. Food Sci.* **49**: 1271-1274
- Kai, A. 1990. Productivity of cellulose by bacterium and its utility. *Bioindustry*, **7**(3): 173-182
- Kim, Y.S., Ha, T.Y., Lee, S.H., and Lee, H.Y. 1997. Properties of dietary fiber extract from rice bran and application in bread-making. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **29**(3): 502-508
- Marchessault, R. H. and Sundararajan, P.R. 1983. Cellulose. In *The Polysaccharides*, Vol. 2. Aspinall, G.O. Ed., Academic Press, New York, pp.12-95
- Mitchell, J.R. 1986. Foaming and emulsifying properties of proteins. In *Development in Food Proteins-4*; Hudson, B.J.F. Ed., Elsevier Applied Science Publisher. New York, pp. 326-330
- Schneeman, B.O. 1987. Soluble vs. insoluble fiber - Different physiological response. *Food Technol.* **41**: 81-82
- Son, H.J., Heo, M.S., Kim, Y.G., and Lee, S.J. 2001. Optimization of fermentation conditions for the production of bacterial cellulose by a newly isolated *Acetobacter* sp. A9 in shaking cultures. *Biotechnol. Appl. Biochem.* **33**: 1-5
- Wada, M., Okano, T. and Sugiyama, J. 1994. Two crystalline phase(I $\alpha$ /I $\beta$ ) system of native cellulose. In *Proceedings of '94 Cellulose R&D*, 1st Annual Meeting of the Cellulose Society of Japan. Tokyo, pp.1-6
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Toda, S., and Ishii, K. 1972. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agric. Biol. Chem.* **36**: 719-727
- Yang, Y. K., Park, S. H., Hwang, J. W., Pyun, Y. R. and Kim, Y. S. 1998. Cellulose production by *Acetobacter xylinum* RBC5 under Agitated condition. *J. Ferment. Bioeng.* **85**: 312-317