



ORIGINAL PAPER

원저

다당류 생산공정에서의 청정기술개발에 관한 연구

전용보*, 김경수, 배우근*

한국생산기술연구원 청정화학공정팀, 한양대학교*
(2003년 7월 20일 접수, 2003년 9월 10일 채택)

A Study on the development of cleaner production technology in the production of polysaccharide

Yong-Bo Jun*, Kyung-Su Kim, Woo-Kun Bae*

Cleaner & Chemical Processing Technology Team, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH),
Han Yang University*

ABSTRACT

In this study, the efficiency of M/F(micro filtration) system was investigated about the wastewater generated from the production process of β -glucan. M/F membrane used the pellicon 2 cassette filter module of millipore(USA) for the operation of M/F plant system. Flux was risen as operation pressure increased, and decreased with the operation time. As concentration ratio increased, the recovery of β -glucan, which was remained in retentate was effective. As the fermentation solution of β -glucan reused, the conversion ratio was 42.5%, and the status of fermentation was stable. Based on these results, we suggested that permeate was applicable as water reuse in cleaner production technology.

Key Words : β -glucan, M/F System, Fermentation, Cleaner Production Technology, Water Reuse

초 록

본 연구에서는 베타글루칸 생산공정에서 발생하는 공정수에 대한 M/F(micro filtration) 분리막 시스템의 효율성을 검토하였다. M/F 시스템의 운전을 위하여 M/F 분리막은 Millipore(USA)사의 Pellicon 2 Cassette Filter Module HVMP 0.45 μ m를 사용하였다. 플럭스는 운전압력의 상승에 따라서는 증가하며, 운전시간의 경과에 따라서는 감소하였다. 농축비가 높을수록 농축액에 남아있는 베타글루칸 제품의 회수가 효과적이었다. 베타글루칸 발효액의 재이용시 투과액의 전환수율이 42.5%로 배양 패턴에 큰 변화가 없었다. 본 연구에서 얻어진 결과를 토대로 청정생산공정에서 투과액을 반응공정수로 재이용 가능하리라 판단된다.

핵심용어 : 베타글루칸, M/F 시스템, 발효, 청정생산기술, 용수재이용

1. 서론

미생물에 의하여 생산되는 천연고분자(biopolymer)인 다당(polysaccharide)은 생산균주와 배양방법에 따라 광범위한 특성을 갖는다. 다당은 식품, 화장품, 석유화학산업 및 제지공업 등 각종 산업의 중요한 소재로 사용되어 왔을 뿐만 아니라 최근에는 콘크리트 구조강화용 혼화제로 및 고부가가치 생물 소재 의약품으로도 사용되고 있다. 베타글루칸(β -glucan)은 인체 면역기능 강화, 생체 항상성 조절 및 항암효능을 보인다는 것이 널리 알려져 있다^{1, 2)}.

미생물 발효에 의한 다당 생산시 발생하는 문제점은 다당 생산이 증가함에 따라 점도 증가로 발효조내 물질전달 효율이 떨어져 다당의 고농도 생산이 어렵고, 발효 종료 후 배양액 내의 다당과 미생물 균체를 분리하기가 쉽지 않다는 점이다. 이를 해결하기 위해서는 새로운 형태의 발효조건과 분리공정의 개발이 필요하다³⁾. 미생물 발효를 통한 베타글루칸의 생산 공정은 이미 지난 수년간의 연구의 결과로 최적화 되었으나 발효 후 발생하는 고농도 폐액과 정제과정에서의 세척(염제거) 및 농축공정의 비효율성 및 낮은 생산성, 그리고 환경오염물질의 대량 발생은 시급히 해결해야할 문제점이다^{4, 5)}.

베타글루칸 생산공정에서의 상징액 재사용 가능성 검토 및 유효물질 조절등의 청정기술 적용을 위하여 분리막공정을 적용하는 생산방법의 변경을 고려하였다. 분리막공정은 고분자 재료의 물질선택성을 이용한 분리기술로서 폐수중의 유기물을 회수하는 자원의 재활용 측면과 폐수의 재사용 측면에서 효과적인 공정이다^{6, 7, 8)}. 염제거 및 농축공정에서 기존의 원심분리공정은 제품의 100% 회수가 불가능하여 제품손실을 초래하고, 연속작업이 불가능하여 생산성이 저하되며 환경오염부하를 증가시키는 경향이 있었다. 반면 새로 도입하려는 M/F(micro filtration) 공정은 제품의 100% 회수로 생산수율을 높일 수 있고, 상징액의 재이용이 가능하여 이에 환경오염부하를 저감하며 연속작업이 가능한 특징이 있다⁹⁾.

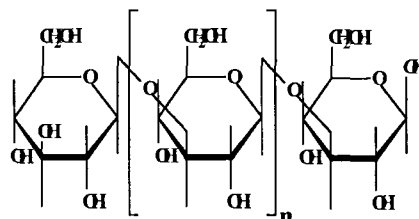
본 연구에서는 베타글루칸 생산공정에서 발생하는 공정수에 대한 M/F 분리막 시스템의 효율성을 검토하고 공정을 개선할 수 있는 기본 자료를 도출하여 경제적이며 효율적인 공정수의 재이용 방안 모색 및 공정의 최적화를 도모한다^{10, 11)}.

2. 연구방법

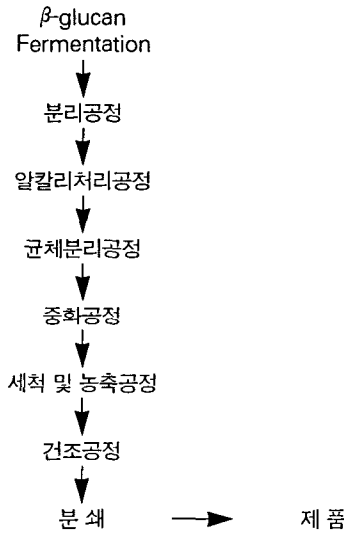
2.1 대상공정

다당의 일종인 글루칸은 포도당 중합체로서 식물, 박테리아, 효모, 버섯 등에 의해 생산되며 연결형태에 따라 α 혹은 β 형으로 구분된다. (Fig. 1)에 베타글루칸의 구조도를 나타내었다.

베타글루칸의 생산공정은 발효공정, 분리공정, 알칼리처리공정, 균체분리공정, 중화공정, 세척 및 농축공정, 건조공정을 거쳐 분쇄하여 최종적으로 제품을 생산하는 방식이다(Fig. 2). 발효공정에서는 토양 미생물인 *Agrobacterium sp.*를 이용한 발효를 통해 베타글루칸을 생산하며 분리공정에서는 발효 생산된 베타글루칸 발효액에서 원심분리를 이용하여 베타글루칸을 분리한다. 회수된 베타글루칸을 균체와 분리하기 위하여 NaOH를 이용한 알칼리처리를 하여 용해하고, 녹인 베타글루칸액에 함유되어 있는 균체를 필터프레스를 사용하여 분리한다. 식품용 또는 의약품 소재로 사용하기 위하여 중화공정에서 생성된 염을 반드시 제거해야하는데 현재는 고속 원심분리기(tubular type)를 사용중이나 수작업으로 운전하는 번거로움이 있어 대량의 제품을 생산하기에는 부적합한 실정이다. 베타글루칸은 염과 불순물이 완전 제거된 후 건조공정을 거쳐 제품용도에 맞게 가공되어 최종제품으로 출하된다.



(Fig. 1) Structural model of β -glucan



(Fig. 2) Schematic diagram of β -glucan manufacturing process

2.2 실험재료

본 연구에서는 D업체의 베타글루칸 발효공정에서 발생하는 공정수를 대상으로 실험을 진행하였다. 발효공정의 발효액 원심분리 상정액을 채취하여 분석한 결과를 [Table 1]에 나타내었다. 샘플 1번은 발효액의 원심분리 상정액이며, 2번은 중화 후 1차 염 제거, 3번은 2차 염 제거 공정에서 채취하였다. 본 실험에서는 샘플 1번을 대상으로 M/F 분리막 적용 실험을 하고자 한다. 실험에 사용할 발효액의 성상은 일반적으로 높은 농도를 갖는 것으로 알려져 있는데 COD_{Cr} 18,340mg/L, BOD 8,596mg/L, T-N 278mg/L, T-P 278mg/L, SS 380mg/L, 그리고 TS 20,750mg/L 이었다. 높은 COD_{Cr} 과 BOD 값의 주원인 물질은 발효단계에서 완전 소모되지 않은 sucrose이다. TS는 발효공정에서 생산되어 균체분리후 정제될 베타글루칸을 의미한다.

[Table 1] Concentration of each sample in process

Sample No.	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	SS (mg/L)	TS (mg/L)
1	18,340	8,596	278	119	380	20,750
2	1,420	446	6	26	215	16,020
3	300	112	6	9	50	14,940

2.3 실험장치 및 실험방법

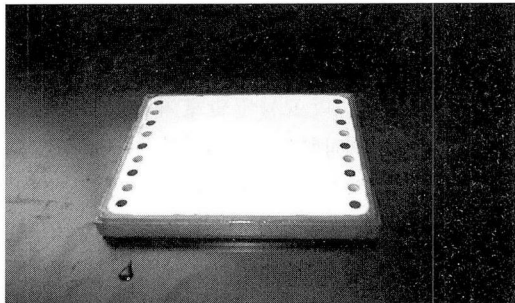
본 연구에서는 M/F 시스템의 Lab Scale 규모의 장치를 베타글루칸 제조공정에서 발생하는 폐액의 재활용성을 검토할 목적으로 사용하였다. 여액속에 녹아있는 베타글루칸의 회수 방법은 베타글루칸 자체가 천연다당류로서 평균 입도는 45.05 μ m 이므로 회수에 유리한 분리막을 적용하였다. [Table 2]에 실험간 사용한 제조사에서 제시하는 분리막의 운전 특성을 정리하였다. M/F는 0.22 μ m 와 0.45 μ m 두 가지를 사용하였으며 각각 Pellicon 2 Mini Filter Module GVPP 모듈과 Pellicon 2 Cassette Filter Module HVMP 모듈이었다. M/F 모듈은 cassette 형으로서 재질은 polyvinylidene fluoride이며 4~50 $^{\circ}$ C의 범위에서 운전가능하다. 여과면적은 Pellicon 2 Mini Filter Module GVPP 모듈은 0.1m²/sheet이고 Pellicon 2 Cassette Filter Module HVMP 모듈은 0.5m²/sheet이었다. [Fig. 3]에 실험간 사용한 M/F 모듈의 사진을 제시하였다.

실험장치는 분리막 모듈에 맞게 제작된 Millipore사의 장치로서 제작하여 사용하였다. 처리용량은 최대 450L/Hr로서 셀 제거, 염 제거 및 농축 기능을 가지며 [Fig. 4]에 실험에 사용한 M/F 시스템의 처리흐름도를 나타내었다. 유입 시료는 집수조에 저류된 후 펌프의 압력으로 분리막으로 이송되며 이때 투과수와 배제수로 구분된다. 투과수는 계량후 배출되며 배제수는 운전모드에 따라서 원 집수조로 재이송되거나 다음 단계의 탱크로 넘어간다.

베타글루칸 공정액은 입자크기를 분석한 결과 2.4~140 μ m에 걸쳐 분포하였으며 평균 입도는 45.05 μ m 상태이므로 별도의 전처리 없이도 실험이 가능하다. 유량, 압력 등의 변화에 다른 샘플의 투과 플럭스 및 농축정도를 측정하였다. 본 연구에서는

[Table 2] Characteristics of M/F Module

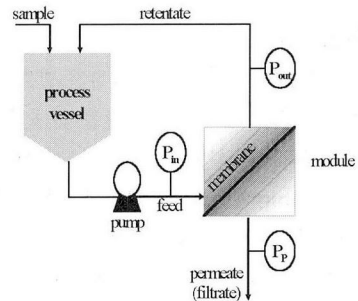
Filter Description	Pellicon 2 Cassette Filter Module HVMP 0.45 μ m V0.5m ²	Pellicon 2 Mini Filter Module GVPP 0.22 μ m C 0.1m ²
Width(cm)	17.8	5.6
Length(cm)	21.0	21
Height(cm)	1.5	1.5
Filtration Area(m ²)	0.5	0.1
Configuration	cassette	cassette
Prefiltration(μ m)	100	100
Operating Temperature Range(°C)	4~50	4~50
Operating Pressure bar < 50 °C	7 at 30°C(100psi)	7 at 30°C(100psi)
Filter Type	Microfiltration	Microfiltration
Filter Material	polyvinylidene fluoride	polyvinylidene fluoride
Filter Brand Name	Durapore	Durapore



[Fig. 3] Pellicon 2 Cassette Filter Module

M/F 모듈을 적용하여 유입유량과 플럭스의 관계, 운전압력과 플럭스의 관계, 그리고 농축시 플럭스의 변화량과 제품수율 향상을 위한 농축정도에 관하여 실험하였다.

분리막공정은 운전시간에 따라서 분리막의 성능이 감소하는데 주된 원인은 내부적으로는 분리막의 노화를 외부적으로는 처리과정에서 발생하는 막오염 현상을 들 수 있다. 노화는 막자체의 변질에 의해 생기는 불가항력적인 막 성능의 저하현상이고 막오염은 막자체의 변질이 아닌 외부적인 요인에 의해 생기는 막성능 저하로 그 원인에 따라 세척에 의한 성능 회복이 가능하다. 세정 방법은 온수를 이용한 세정방법과 NaOH용액을 이용한 세정방법을 적용



[Fig. 4] Schematic diagram of membrane system

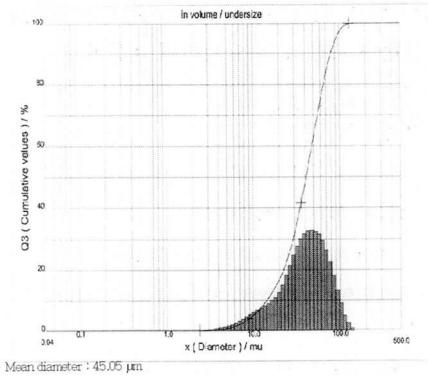
하였다.

수질분석은 수질오염공정시험법에 의해 COD_{Cr}, BOD, T-P, T-N, TS, SS를 각각 측정하였으며 분리막 투과특성 실험에서는 COD_{Cr}과 TS를 위주로 분석하였다^{12, 13)}.

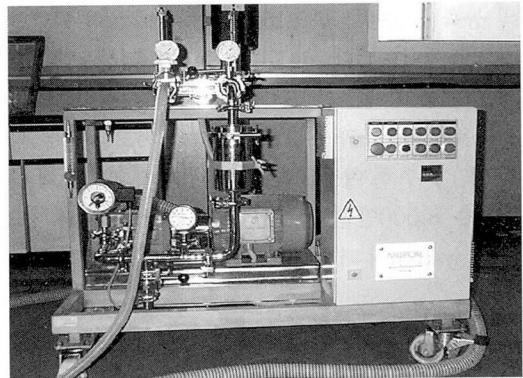
3. 결과 및 고찰

3.1 M/F 분리막의 선정

베타글루칸 생산 공정 중 최대의 관건은 베타글루칸의 중화 후 염 제거공정에서의 생산성 증대와 40%에 달하는 제품 손실 및 그로 인한 경제적·환경적인 부담을 저감하는 방안을 모색하는 것이다.



[Fig. 5] The particle size distribution of β -glucan solution



[Fig. 6] Millipore MF system

[Table 3] Characteristics of membrane

Item	Specification	The object of treatment	Capacity ^{a)} (L/hr)	Production Ratio (kg/day) ^{b)}
M/F	$\phi 0.22\mu\text{m}$ 10sheets, (max.13sheets)	Cell remove Salt remove Concentration	150	4.5
M/F	$\phi 0.45\mu\text{m}$ 10sheets, (max.13sheets)	Cell remove Salt remove Concentration	450	13.5

a) 정제공정 중 중화 후 glucan 10g/L 기준, membrane 1sheet = 0.5m²

b) 1일 9시간 작업, 1달 20일 기준, 1batch = volume × 2배, washing & 4배 농축 ∴ 1cycle=3hr, max.3cycle/day

기존의 연속원심분리를 이용한 방법의 문제점은 베타글루칸의 회수 수율이 약 60% 정도로 매우 낮다는 것과 상징액에 남아있는 제품으로 인한 폐수발생을 꼽을 수 있는데 이는 경제적으로도 큰 손실이다. 식·의약용 소재인 베타글루칸을 정제하는 공정에서 낮은 효율의 고속원심분리기를 대체하여 생산성을 높이고 제품의 손실을 최소화하는 방안을 모색하였는데 그것은 분리막을 이용하는 방법이다. 효과적인 분리막 공정을 도입하려면 분리하고자 하는 대상 물질의 형태, 크기, 분자량 등에 따라서 분리막을 검토하여야 한다. 중화된 베타글루칸의 입자크기를 분석한 결과 2.4-140 μm 에 걸쳐 분포하였으며 평균 입도는 45.05 μm 이었다[Fig. 5].

현재 생산중인 베타글루칸은 물에 불용성인 gel 상태이므로 U/F(ultra filtration)나 N/F(nano

filtration)보다 플럭스가 상대적으로 큰 M/F를 우선적으로 검토하였다. 또 평균 입도를 고려할 때 현재 상용화된 M/F용 분리막 중 pore size 0.22 μm 와 0.45 μm 의 M/F 분리막을 이용하여 실험을 진행하였다[Table 3]. pore size가 0.45 μm 인 M/F 분리막에서의 시간당 처리용량은 450L/Hr이고 생산수율은 13.5kg/day로서 pore size가 0.22 μm 일 경우보다 3배가 크기 때문에 0.45 μm 의 M/F 분리막을 선정하였다. 실험장비는 Millipore(USA)의 시스템과 Sartorius(독일)의 시스템 중 고압에 견딜 수 있도록 설계된 Millipore사의 시스템을 선정하여 실험하였다[Fig. 6].

실험 결과 $\phi 0.45\mu\text{m}$ 의 분리막이 처리효율이 우수한 것으로 나타났다. 각 분리막의 가격과 유지보수 비용은 거의 비슷한 수준이므로 베타글루칸의 세척

및 농축 공정에는 $\Phi 0.45\mu\text{m}$ MF system이 적합한 것으로 판단하였다. $\Phi 0.45\mu\text{m}$ 분리막을 사용하였을 경우 제품 회수율은 100%였으며 고속원심분리의 처리용량 9L/hr과 처리효율 95%와 비교할 경우 성능이 우수하며 고속원심분리기의 가격이 7,000~8,000만원임을 감안하면 가격대비면에서도 M/F system이 더 유리하다는 것을 알 수 있다.

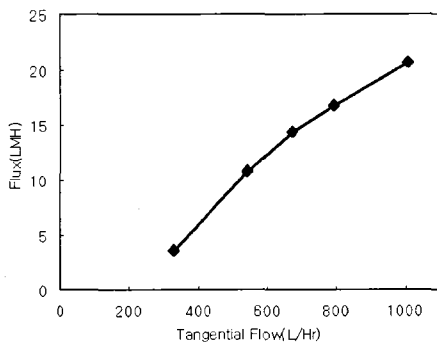
3.2 분리막의 투과특성

M/F 분리막 시스템을 이용한 각각의 운전에 앞서 새로운 분리막은 시료의 투과능을 평가하기 이전에 물로서 충분히 30min 정도 세척되어야 한다. 새로운 분리막의 NWP(Normal-ized Water Permeability)를 측정하기 위하여 탱크를 물로 채운 후 5-10분간 물을 순환시키면서 압력과 온도 조건이 안정되도록 한다. 투과수(permeate) 유량, 유입압력, 유출압력 그리고 물의 온도 등을 측정한다. NWP는 다음의 식에 의하여 계산한다. 분리막 모듈의 NWP는 적어도 원래의 NWP의 80%는 유지하여야 하며 반복사용시 10% 이상의 변동이 있으면 투과특성에 악영향을 준다.

$$NWP = \frac{R \times TCF}{A \times \left[\frac{P_{in} + P_{out}}{2} - P_p \right]}$$

(NWP : LMH/bar 25°C)

A = Total filter Area in m^2



(Fig. 7) Variation of flux with tangential flow

운전압력은 TMP(Trans-Membrane Pressure)를 사용하며 다음의 식에 의하여 계산한다.

$$TMP = \frac{P_{in} + P_{out}}{2} - P_p$$

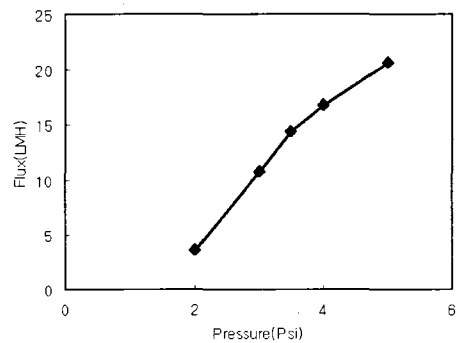
P_{in} : inlet pressure(feed)

P_{out} : outlet pressure(retentate)

P_p : permeate pressure(filtrate) often = 0

선정된 M/F 분리막의 NWP는 초기에는 236.6LMH/bar이었고 M/F 분리막모듈을 사용한 후 재측정한 결과 220.1LMH/bar로서 93%의 재현성이 있으므로 정상적인 운전이 가능한 분리막이다. 실험장치는 제작한 M/F Pilot Plant 규모의 장비를, M/F 분리막은 $\Phi 0.45\mu\text{m}$ 2장을 장착하여 단위 면적 1m^2 으로 하였고 운전압력은 6psi로 일정하게 유지하였다. 시료는 베타글루칸 발효원액의 농도가 50g/L인 것을 4배 희석하여 12.5g/L하여 20L를 사용하였다. 일정한 압력조건에서 유입 유량의 변동과 관련한 플럭스의 변화 특성을 알아보기 위한 실험을 하였다(Fig. 7). 유입유량의 증가에 따라서 투과플럭스가 증가하는 경향을 보이는데 유량이 327.6L/Hr에서 플럭스는 3.6LMH, 유량이 671.4L/Hr에서 플럭스는 14.4LMH, 그리고 유량이 1008.0L/Hr에서 플럭스는 20.7LMH를 나타내었다.

압력(TMP)과 관련한 플럭스의 변화 특성을 다음(Fig. 8)에 정리하였다. 운전압력의 증가에 따라 플



(Fig. 8) Variation of flux with pressure

럭스가 증가하는 경향을 보이는데 TMP가 2일 경우 플럭스는 3.6LMH, TMP가 3.5일 경우 플럭스는 14.4LMH, 그리고 TMP가 5일 경우 플럭스는 20.7LMH로 측정되었다.

운전시간 경과에 따른 플럭스의 변화 특성을 알아보기 위한 실험을 하였다(Fig. 9). 운전시간은 40min이었으며 TMP는 3psi, 초기 유입유량은 680L/Hr, 그리고 초기 투과플럭스는 26.7LMH이었다. 운전시간이 10min 경과시 12.3LMH로 53.9%, 20min 경과시 9.3LMH로 65.2%, 30min 경과시 8.1LMH로 69.7%, 그리고 40min 경과시 7.2LMH로 73.0% 각각 감소하였다. 플럭스의 감소는 운전시간과 관련이 있으며 새로운 분리막의 사용시 운전초기에 플럭스의 급격한 감소가 있었다. 운전시간이 30min 경과시 플럭스는 정상상태에 도달하여 거의 일정한 처리 경향을 나타내고 있다.

샘플의 농도에 따른 플럭스의 변화 특성을 알아보기 위한 실험을 하였다(Fig. 10). 시스템은 농축모드로 운전이 되는데 투과수는 시스템에서 배출되고 배제된 물질은 농축된다. 시스템은 최적의 조건에서 운전되어야 하는데 플럭스와 운전농도의 관계는 농도가 증가함에 따라 플럭스가 감소하는 경향을 보인다. 초기 운전압력 TMP는 6psi이고 유입유량은 936L/Hr 이었다. 운전간 농축비가 증가하면 플럭스의 감소가 예상되므로 본 실험에서는 베타글루칸 발효원액을 4배로 희석하여 실험간 원수로 간주하고 농축 실험에서는 투과수를 75% 배제한 후 잔존

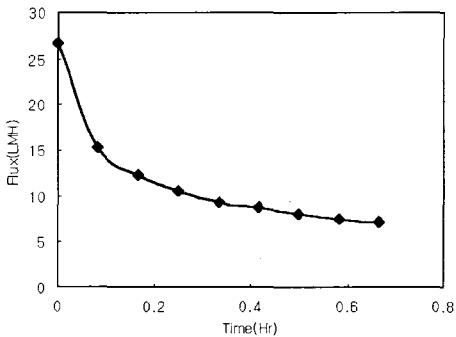
액이 25%가 될 때까지 운전을 계속하였다. 샘플의 농도가 12.5g/L일 경우 플럭스는 31.2LMH이고 20g/L일 경우 플럭스는 18.9LMH, 그리고 50g/L일 경우 플럭스는 18.0LMH로 나타났다. 샘플의 농도가 20g/L 이상일 경우에는 거의 일정한 정상상태의 플럭스 경향을 보이고 있다.

농축모드로 운전할 경우 샘플의 농축정도를 확인하기 위하여 COD_{Cr}과 TS를 각각 분석하였다. (Fig. 11)은 COD_{Cr}의 농도변화를 (Fig. 12)는 TS의 농도변화를 각각 나타낸 것이다. COD_{Cr}의 경우 투과수는 1,134mg/L이었는데 샘플원액인 12.5g/L 농도에서는 8,820mg/L, 25g/L 농도에서는 17,440mg/L, 그리고 50g/L 농도에서는 34,660mg/L로 분석되었다.

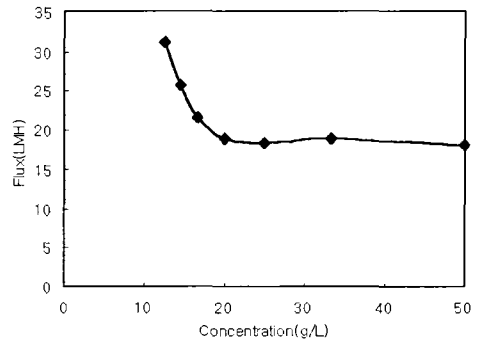
TS의 경우 투과수는 2,100mg/L이었는데 샘플원액인 12.5g/L 농도에서는 8,379mg/L, 25g/L 농도에서는 15,552mg/L, 그리고 50g/L 농도에서는 31,370mg/L로 분석되었다. COD_{Cr}과 TS는 농축비가 증가할수록 거의 비례적으로 그 농도가 증가함을 알 수 있다. 본 실험에서는 4배까지 농축한 결과를 설명하였으나 실제 농축비가 높을수록 농축액에 남아있는 베타글루칸 제품의 회수가 용이한 것으로 예상할 수 있다.

3.3 베타글루칸 발효액의 재이용

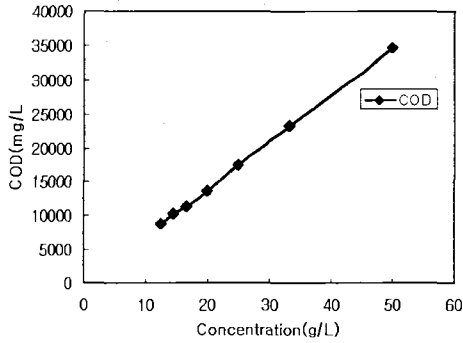
앞서 제시한 (Table 1)의 분석결과와 같이 발효액의 원심분리 상정액은 유기물이 다량 함유되어 환



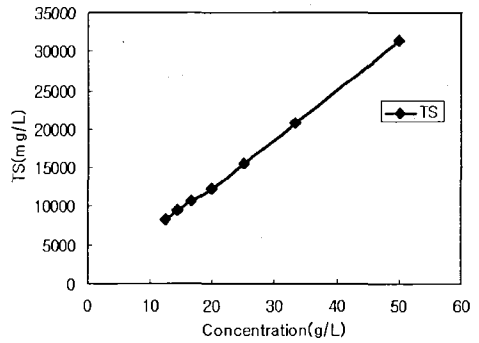
(Fig. 9) Variation of flux with time in concentration operation



(Fig. 10) Variation of flux with concentration (TS)



(Fig. 11) Variations of CODCr with concentration



(Fig. 12) Variations of TS with concentration

경부하가 큰 폐수이므로 발생량을 줄이는 것이 꼭 필요하다. 베타글루칸의 발효는 배양조건에 따른 민감도가 높지 않다고 판단되어 원심분리 후 상징액을 다음 발효에 재사용 가능성을 검토하였다. 우선 연속 원심분리하여 회수된 상징액을 고속원심분리를 통해 미세한 입자들까지 다시 한번 제거한 후 그 액을 다음 발효배지 제조단계에 투입하고 멸균 후 발효를 시도하였다. 잔류 phosphate 량을 측정하여 배지 조제시에 가감하였다.

(Fig. 13)은 발효 상징액을 재사용하여 실험실 규모에서 발효한 결과이다. 실험결과를 보면 최종 베타글루칸은 51g/L이었으며 전환수율은 42.5% 로 기존 발효의 45%와 크게 차이가 나타나지 않았으며 전반적인 배양 패턴에도 별 차이점을 발견하지 못하였다. 상징액 재사용 실험은 실험실 규모로 7L jar fermenter에서 2회 걸쳐 수행하였으며, 그 결과들

은 모두 재현성을 나타내었다. 그러나 이 결과를 6톤, 34톤 규모의 제품 양산에 바로 적용하기에는 무리가 있으나 M/F 분리막공정에서 발생하는 발효 상징액을 1회씩만 재사용한다고 가정하더라도 그 저감 비용은 상당할 것이다.

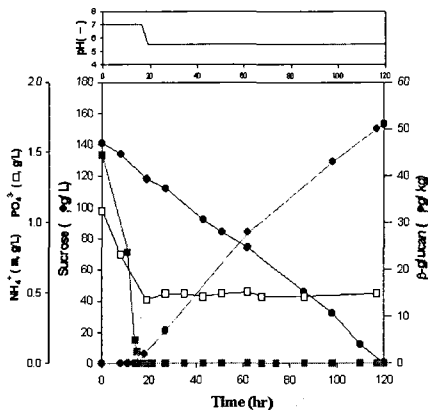
이상의 결과를 통하여 원심분리 대체 공정으로 M/F 시스템의 도입을 제한하여 제품의 손실을 40% 이상 줄일 수 있었고 단위공정상의 생산성도 5배 이상 향상시키는 성과를 보였다.

폐수 배출량 저감방안으로 간접냉각수의 재활용과 발효액 원심분리 상징액의 재사용을 통해 폐수 발생량의 저감효과를 들 수 있다. 총 발생량의 5%에 불과하지만 환경부하가 가장 큰 원심분리 상징액의 100% 재사용을 통한 저감 성과가 가장 크다 하겠다. 또 발효 원료 중 잔당의 완전소모를 유도하여 COD 부하를 20% 이상 저감하였다.

4. 결론

1. M/F 분리막의 선정은 베타글루칸의 평균 입도는 45.05 μ m으로 실험장비는 Millipore(USA)의 시스템이고 분리막 실험에서 ϕ 0.45 μ m이 가장 좋은 처리효율을 나타내어 Pellicon 2 Cassette Filter Module HVMP 0.45 μ m을 선정하였다.

2. 분리막의 투과특성은 운전압력의 증가에 따라 플럭스가 증가하는 경향을 보이며 TMP 5psi에서 플럭스는 20.7LMH로 측정되었고, 운전시간 40분 경과시 73%까지 플럭스가 감소하였다. 농축모드에



(Fig. 13) Results of fermentation reusing permeate

서 운전시 4배까지 농축이 가능하였고, 실제 농축비가 높을수록 농축액에 남아있는 베타글루칸 제품의 회수가 용이하였다.

3. 베타글루칸 발효액의 재이용은 상징액을 이용한 배양실험에서 최종 베타글루칸은 51g/L이었으며 전환수율은 42.5% 로 기존 발효의 45%와 크게 차이가 나타나지 않았으며 전반적인 배양 패턴에도 별 차이점을 발견하지 못해 상징액을 반응공정수로 재이용 가능할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통하여 원심분리 대체 공정으로 M/F 시스템의 도입을 제한하여 제품의 손실을 40% 이상 줄일 수 있었고 폐수 배출량 저감방안으로 간접냉각수의 재활용과 발효액 원심분리 상징액의 재사용을 통해 폐수 발생량의 저감효과를 얻을 수 있었다.

사 사

본 연구는 국가청정생산지원센터에서 지원하는 청정생산이전확산사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Yalpani, M., and Sandford, P. A. Commercial polysaccharides : Recent trends and development In : Yalpani, M. (Ed.): Industrial polysaccharides, Progress in Biotechnology, Vol. 3, Amsterdam: Elsevier, pp311~335(1987).
2. Anonymous, Bioproducts : bio concrete, Bio Industry 13 pp56~57(1996).
3. Paul, F., Morin, A., and Monsan, P. Microbial polysaccharides with actual potential industrial applications, Biotechnol Adv. 4, pp245~259(1986).
4. Amcmura, A., Hisamastu, M., and Harada, T., "Spontaneous mutation of polysaccharide production in *Alcaligenes faecalis* van myxogenes 10C3". Appl. Environ. Microbiol., 34, pp617~620(1977).
5. 통상산업부, "선진 청정기술의 사례분석 및 국내적용 청정기술의 도출", (1997).
6. Munir Cheryan, Ph.D. : "Ultrafiltration handbook", Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, (1986).
7. Erik R. Christensen, Kurt W. Plaumann : "Ultrafiltration of industrial and municipal wastewaters", Journal WPCF, Vol. 53, No. 7, (1981).
8. Mitsuda, S., Miyata, N., Hirota, T., and Kikuchi, T. High viscosity polysaccharide produced by *Bacillus polymyxa* Hakkokogaku 59, pp303~309(1981).
9. Nelson Leonard Nemerow : "Zero pollution for industry", John wiley & sons, Inc., (1995).
10. Daniel W. Bromley, "The Handbook Of Enviromental Economics" (2000).
11. 환경부 : 수질오염공정시험법, (2000).
12. Frederick W. Pontius : "Water quality and treatment", American Water Works Association, 4th edition. ☎