

## 알코올 증류폐액의 Pilot Scale 정밀여과와 여과액의 발효 재활용에 대한 연구

김 영 범 · †이 기 세 · <sup>1</sup>남 궁 권 · <sup>1</sup>김 종 현  
명지대학교 환경생물공학과, 동주엔지니어링(주) 기술연구소<sup>1</sup>  
(접수 : 2001. 8. 3., 게재승인 : 2001. 8. 22.)

### A Pilot Study for Microfiltration of Alcohol Stillage Condensate and Permeate Recycle to Fermentation Broth

Youngbum Kim, Kisay Lee†, Kyun Namkoong<sup>1</sup>, and Jong-Hyun Kim<sup>1</sup>  
Dept. of Environmental Engineering and Biotechnology, Myongji University  
<sup>1</sup>Research Center, Dongjoo Engineering, Inc.  
(Received : 2001. 8. 3., Accepted : 2001. 8. 22.)

Distillation condensate generated from downstream processing of microbial alcohol fermentation imposes a serious burden to biological wastewater treatment or anaerobic digestion due to its high contents of SS (suspended solids) and TN (total nitrogen). A pilot scale microfiltration of the stillage condensate with a stainless steel SCEPTER<sup>®</sup> membrane of 0.1  $\mu\text{m}$  pore size was carried out to remove SS which was mostly composed of microbial cell residue. A stable permeate flux was achieved when the decanter effluent containing 0.7% of SS was filtered under the conditions of X10 VCR (volume concentration ratio), 2.5 bar of TMP (transmembrane pressure), and 60°C. When stillage condensate with 2.6% SS was treated directly with microfiltration, VCR below X3 was recommended for a long duration of filtration. The permeate and retentate obtained from microfiltration were recycled to make-up medium of fermentation. Adding permeate or retentate up to 30% of fermentation volume showed no distinguished undesirable influence during the course of alcohol fermentation. Although only slight improvements in the final amount of CO<sub>2</sub> evolution and alcohol content were observed, fermentation rate increased so that the required time to reach 450 L/ton of CO<sub>2</sub> evolution was shortened to 72% of that with normal media.

**Key Words** : alcohol stillage condensate, microfiltration, stainless steel membrane, permeate recycle to make-up media

#### 서 론

공업용 또는 음료용 알코올은 고구마, 감자, 옥수수, 보리, 쌀 등 전분질 원료나 과일즙, 당밀 등 당분질 원료를 이용하여 미생물 발효를 통해 생산한다. 우리나라의 경우 원료로써 돼지감자(tapioca), 고구마를 주원료로 하고 기타 곡물류를 부원료로 섞어 사용하는 경우가 많으며 원료를 분쇄한 후, 수증기와 염산을 이용한 증자 과정과 효소에 의한 당화과정을 거쳐 효모(yeast)에 의한 발효를 수행한다(1,2). 발효액은 증류를 통하여 90% 내외의 알코올 원액을 제조하게 되는데 이때 발생하는 증류 폐액에는 미발효 원료 잔류물과 함께 균체, 단백질, 섬유질, 그리고 기타 현탁성 또는 용해성 물질들이

포함된다(3,4).

돼지감자나 고구마류를 주원료로 하여 발효로 알코올을 생산하는 경우 일반적으로 원료 kg 당 20 liter 이상의 증류폐액이 발생하는데, 이 증류폐액의 pH는 3.5 - 5.0 범위이며 BOD는 20,000 - 40,000 ppm, COD 50,000 - 60,000 ppm, TS 3-8 %, SS 2-4 %, TN 0.05 - 0.2% 정도가 포함되어 있다(5,6). 이 증류폐액은 높은 COD, SS, TN 함량 때문에, 처리하지 않고 배출하거나 다른 폐수와 혼합하여 종합폐수로써 배출하는 것은 수환경에 상당한 피해를 초래할 가능성이 높다(5-7). 이 증류폐액을 탈수하여 얻어진 슬러지는 혐기성 소화(주로 메탄발효)를 통하여 처리하는 것이 한가지 방법인데(6,8), 이 경우 포함된 단백질 성분으로 인한 부패 및 악취문제가 발생하고 메탄 발효 효율도 높지 않은 문제점이 있다. 국내 주정 공장에서 증류 폐액을 처리하는 일반적인 방법은 농축, 건조 과정을 거쳐 증류폐액 중의 슬러지를 회수하여 사료로써 재활용하는 것인데(5,9), 이를 위하여 많이 쓰이는 decanting 방식의 탈수과정은 고형분 회수율이 낮고 국내 원료 특성상 생산된 사료의 품질이 높지 않으며, 또한 탈수된

†Corresponding Author : Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myongji University, Yongin, Kyongki 449-728, Korea  
Tel: +82-31-330-6689, Fax: +82-31-336-6336  
E-mail : kisay@mju.ac.kr

물은 계속 단백질, 당분 및 전분, 섬유질, 균체 등이 포함된 폐수로써 추가적인 처리의 부담으로 작용하고 있다.

본 연구에서는 이와 같이 문제점이 많은 알코올 증류폐액 처리의 한 해결책으로써, 폐액 중의 고형분 회수율을 높이기 위하여 기존의 기계식 탈수 및 농축 단계를 지양하고 스테인레스 재질의 분리막을 이용한 정밀여과(microfiltration) 방식을 채택하여 pilot 규모 실험을 수행하였다. 정밀여과막을 이용하여 증류 폐액 중의 고형분, 단백질, 섬유질, 균체 등의 SS 슬러지 회수율을 높임으로써 향후 이를 이용하여 생산될 사료의 품질 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대하였다. 또한 궁극적인 무방류 시스템으로의 적용을 위하여, 막분리 장치로부터 배출되는 여과액(permeate) 또는 잔류물(retentate)을 알코올 발효조의 배지용수(일명 발효사입수)로 재순환시켜 활용할 수 있는 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 알코올 증류폐액

국내 A 주정공장의 증류폐액을 제공받아 실험에 사용하였다. 이 공장에서는 발효 원료로 평균 75% 율남산 돼지감자(tapioca)와 25%의 국내산 밀 또는 옥수수를 사용하여 하루 40 ton의 주정을 생산하고 있다. 증류폐액은 평균 350 ton/day 발생하며 이 중에는 평균 2.6%의 SS와 50,000 ppm 이상의 COD가 포함되어 있다. 이 공장에서는 증류폐액을 decanter로 탈수 처리하고 있는데, 탈수 결과 얻어지는 decanter 폐액은 SS가 0.7 - 0.8%, COD는 30,000-40,000 ppm 정도 잔류되어 있으며 하루에 300 ton 정도 발생한다. Decanter로부터 wet cake은 44 ton/day 정도 발생하며 이 중 SS는 약 15% 포함되어 있는데 건조과정을 통하여 SS 함량을 80% 이상으로 농축하여 사료로 활용하고 있다. Decanter 폐액은 직접 혐기성 소화를 시키거나 증발 농축시킨다. 증발농축시 SS가 0.05% 정도 포함된 유출수가 280 ton/day 정도 발생하며 활성슬러지 공정을 이용하여 최종 처리하고 있다. 국내 일부 주정회사에서는 메탄발효 후 잔류 슬러지를 매립 등의 방법으로 처리하고 있다.

### 정밀여과 장치

본 연구를 위하여 A사 현장에 설치하여 사용한 막분리 장치는 내경 18.3 mm, 막여과 면적 0.35 m<sup>2</sup>의 stainless steel 재질의 관형막(tubular membrane) module 4개(총 여과면적 1.4 m<sup>2</sup>)로 이루어진 pilot scale test unit로써, 동주엔지니어링(주)에서 module 구성 및 장치 설계·제작하였다. Figure 1에 사용한 정밀여과 시스템의 구성을 나타내었다. 사용된 분리막은 미국 Graver사 (Glasgow, DE)의 SCEPTER<sup>®</sup> 막으로써, 다공성 316L stainless steel 관형 지지체(support)에 titanium oxide를 sintered coating시켜 세공크기(pore size)를 0.1 μm로 조절된 정밀여과(microfiltration)용 분리막이다(10,11). 일반 고분자성 분리막과는 달리 최고 270℃, 60 bar 등의 고온 고압에서도 재질이 물리적으로 안정하며 증기(steam), 강산과 강알칼리, 그리고 상당 농도의 염소 및 기타 산화제와의 장시간 접촉시에도 화학적 안정성이 높은 특징을 가지고 있다. 또한 재질 특성상 분리막 module과 주변 연결장치로의 용접

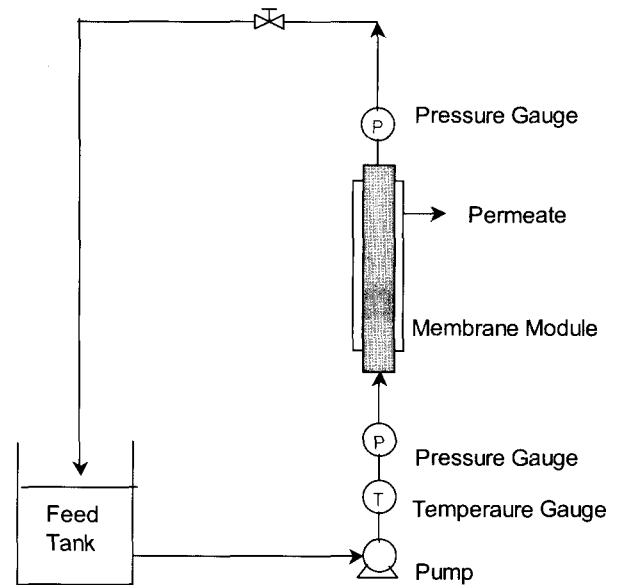


Figure 1. Schematic of pilot microfiltration system for the treatment of alcohol stillage waste.

접합이 가능하므로 접합(sealing)용 gasket이나 에폭시(epoxy) 접착 등의 방법을 사용할 필요가 없어 접합부위의 물리화학적 손상이나 누출(leaking)의 위험이 없기 때문에 고압하에서 SS의 고농도 농축이나 점도가 높은 폐액의 처리에 큰 장점을 가지고 있다.

## 결과 및 고찰

### 증류 Decanter 폐액의 여과

먼저 본 연구에 사용하는 정밀여과 막분리 장치에 의한 안정적 여과의 지속 여부와 SS 농축도에 대한 여과 flux 경향을 파악하기 위해 decanter를 거친 증류폐액을 feed로 이용하여 일정 VCR(volume concentration ratio) 조건 하에서 20 - 24시간 동안 여과를 실시하였다. 발효시 사용한 원료는 tapioca 75%와 밀(wheat) 또는 옥수수(corn) 25%였으며 feed로 사용한 decanter 폐액 중 SS는 약 0.7%, COD는 31,000 ppm였다. 운전조건은 TMP(transmembrane pressure) 2.5 bar, CFV(crossflow velocity) 4.6 m/sec, 온도 60℃을 사용하였다. 한번 운전을 마치고 다른 운전조건의 실험을 하기 전에는 CIP(cleaning-in-place) 작업을 해주었다. CIP는 여과 조건과 동일한 조건에서 2% NaOH 용액으로 수행하였는데 30분 동안 상온에서 80℃까지 세척온도를 상승시킨 후 80℃에서 30분 추가세척을 하였다.

Figure 2와 Table 1에 발효원료로 tapioca 75%와 밀 25%를 사용하여 얻어진 decanter 폐액을 feed로 하여 서로 다른 VCR값 조건에서 여과하는 동안 얻어진 permeate flux 변화를 나타내었다. VCR은 feed의 액상 부분이 permeate로 빠져나감으로써 retentate의 부피가 feed 부피에 비해 감소한 배수를 의미하고 VCR(volume reduction percent)는 초기 feed 부피에 대한 permeate로 빠져나간 부피의 백분율로 정의된다(12).

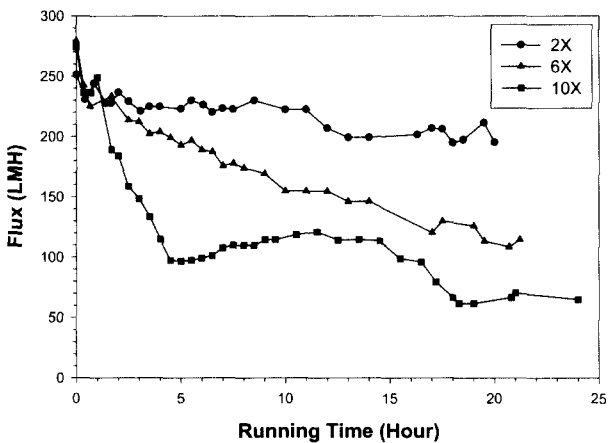
**Table 1.** Changes of permeate flux, SS, and COD in the microfiltration of decanter effluent of alcohol stillage condensate (Figure 2).

VCR	VRP(%)	Average stabilized flux (LMH)	SS (%)		COD (ppm)	
			Retentate	Permeate	Feed	Permeate
1X	0		0.7		35,000	
2X	50	200	1.4	≈0		26,000
6X	83.3	124	4.2	≈0		26,000
10X	90	65	7.0	≈0		26,000

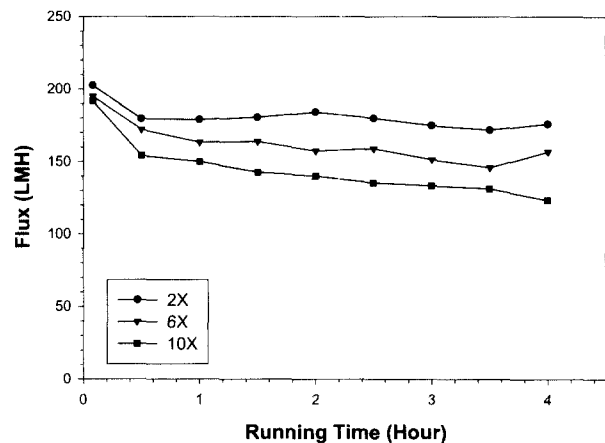
TMP (Transmembrane Pressure) = (Inlet Pressure + Outlet Pressure)/2 - Permeate Pressure, LMH: L · m<sup>2</sup> · h<sup>-1</sup>

**Table 2.** Changes of permeate flux, SS, and COD in the microfiltration of decanter effluent of alcohol stillage condensate (Figure 3).

VCR	VRP(%)	Average stabilized flux (LMH)	SS (%)		COD (ppm)	
			Retentate	Permeate	Feed	Permeate
1X	0		0.7		42,000	
2X	50	180	1.4	≈0		30,800
6X	83.3	155	4.2	≈0		30,800
10X	90	140	7.0	≈0		30,800



**Figure 2.** Flux changes depending on VCR in the microfiltration of decanter effluent of alcohol stillage condensate. Raw materials for fermentation: 75% tapioca and 25% wheat. TMP 2.5 bar, CFV 4.6 m/sec, and temperature 60°C.



**Figure 3.** Flux changes depending on VCR in the microfiltration of decanter effluent of alcohol stillage condensate. Raw materials for fermentation: 75% tapioca and 25% corn. TMP 2.5 bar, CFV 4.6 m/sec, and temperature 60°C.

$$VCR = \frac{V_F}{V_R}$$

$$VRP = \frac{V_P}{V_F} \times 100 = \frac{V_F - V_R}{V_F} \times 100 = \left(1 - \frac{1}{VCR}\right) \times 100$$

여기서 V<sub>F</sub>는 module로 유입되는 feed 부피, V<sub>R</sub>는 retentate 부피, V<sub>P</sub>는 permeate 부피를 나타낸다. VCR 또는 VRP를 일정하게 유지하기 위해서는 permeate 유량을 측정하면서 이에 비례하여 retentate 유량을 자동 밸브에 의해 조절하는 방법을 사용하였다.

Figure 2에서 VCR 2X 조건(VRP로는 50%)에서는 초기 250 LMH로부터 flux가 서서히 감소하여 약 12시간 이후부터는 200 LMH로 안정화되었다. VCR 6X 조건에서도 flux 감소되어 16시간 이후 124 LMH로 안정화하였다. 가장 농축도가 큰 VCR 10X 조건은 VRP로는 90%이며 운전 초기 4시간 동안의 flux가 급격히 감소되었으며 그 이후 100 LMH로 안정되었다가 17시간 이후에 약간 더 감소하여 65 LMH로 안

정화되었다. Table 1로부터 세 경우 모두 permeate에서는 SS가 거의 검출되지 않는 깨끗한 solid-free 여과액을 얻어 SS 여과가 매우 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있다. COD는 feed 35,000 ppm으로부터 permeate에는 26,000 ppm으로 약 25% 정도밖에 감소하지 않았는데 이것은 알코올 발효 특성상 feed 중에 0.1 μm pore size에 여과되지 않는 분자량이 작은 용존 유기물이 다량 함유되어 있기 때문이라고 생각된다 (3,4,6).

Figure 3과 Table 2는 발효원료로 tapioca 75%와 옥수수 25%를 사용하여 발효를 수행한 후 얻어진 증류폐액을 역시 decanter를 거친 후 feed로 하여 Figure 2의 실험과 동일한 조건의 여과실험을 수행한 결과이다. Figure 2의 밀을 원료로 한 경우에 비해 초기 flux 200 LMH 정도로 약간 낮게 출발하였으나 세가지 VCR 조건에서 모두 1시간 이내에 flux가 안정화하였으며 flux 감소폭도 매우 작은 결과를 얻었다. 특히 VCR이 2X로부터 10X로 증가하여도 flux가 크게 감소하지 않았으며 Figure 2에 비해 높은 flux를 유지할 수 있었다.

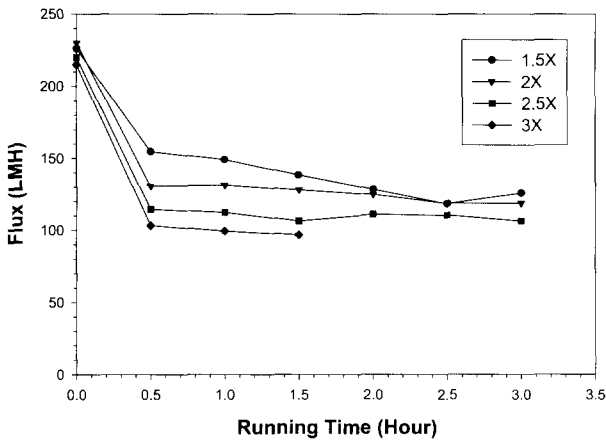


Figure 4. Flux changes depending on VCR in the microfiltration of alcohol stillage condensate. Raw materials for fermentation: 75% tapioca and 25% com. TMP 2.5 bar, CFV 4.6 m/sec, and temperature 60°C.

이것으로 발효 원료로써 주원료인 tapioca와 함께 부원료로 무엇을 사용하느냐에 따라 정밀여과 feed로써 사용되는 증류 폐액이 여과효율에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 여과 측면에서는 부원료로 옥수수를 사용하는 것이 밀을 사용하는 것보다 훨씬 정밀여과 효율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 부재료의 종류에 따른 flux 안정화 경향 차이는 여과되는 feed 용액의 점도나 구성 SS 성분의 크기, 입도분포, 성분의 화학적 구조적 특성 등의 복합적인 물성차이에 기인한다고 볼 수 있다(3,4). COD에 대해서는 여과 결과 밀을 사용한 Table 1의 결과와 유사하게 26-27% 정도의 제거율을 나타내었다.

이상의 결과에서 증류 decanter 폐액을 0.1 μm pore size를 갖은 분리막을 이용하여 정밀여과를 수행할 경우 VCR 농축도 10X 정도까지는 원활한 permeate flux를 얻으면서 장시간 여과가 가능하고 SS가 100% 가까이 제거된 permeate를 얻을 수 있었으며 retentate 중의 SS는 7%까지 농축 가능하였다. COD는 25-27% 정도 제거되어 permeate 중에 26,000-30,000 ppm 범위로 잔류하였다. 발효 원료로는 밀보다는 옥수수를 사용한 경우의 증류폐액이 정밀여과의 부담을 적게 나타내었다.

증류 원폐액의 여과

Figure 4는 발효원료로 tapioca 75%와 옥수수 25%를 사용한 발효액을 증류하여 발생된 폐액을 decanter를 거치지 않고 원폐액 상태로 바로 정밀여과 feed로 사용한 결과이다. 증류 원폐액의 SS는 2.6%로 매우 높으며 COD는 54,400 ppm에 달하였다. 따라서 이전과는 달리 급속한 막오염(fouling)을 방지하기 위해 VCR 농축배수를 1.5 - 3의 낮은 범위를 유지하였다. 사용한 feed의 높은 SS 값으로 인하여 이전 결과들보다는 flux가 낮게 유지되었는데 VCR을 1.5, 2, 2.5, 3 으로 운전할 때 각각 125, 118, 110, 98 LMH 근처의 범위에서 permeate flux가 안정화되었다. 특히 VCR 3X의 경우에는 1.5 시간 이후 막오염에 의해 압력이 증가하고 flux가 감소하여 더 이상의 운전을 중단하였다. 각 경우 permeate의 COD는 약 27,000 ppm 정도로 약 50% 정도가 제거된 결과를 보였

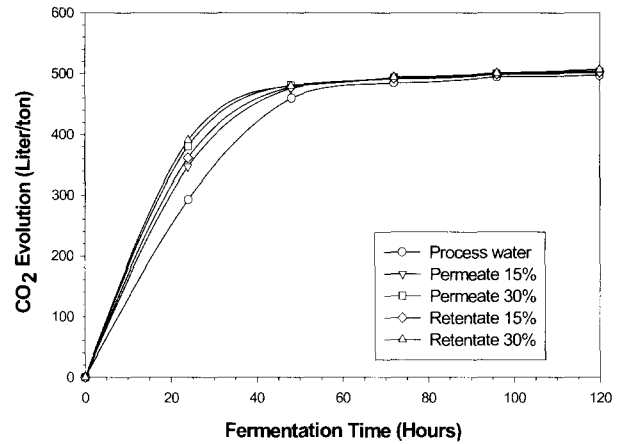


Figure 5. CO<sub>2</sub> evolution during fermentation with/without make-up media supplemented with permeate or retentate generated from microfiltration of stillage condensate.

으며 SS는 역시 0에 가까운 수치를 나타내었다. 결론적으로 decanter를 거치기 전의 증류 원폐액도 0.1 μm pore size의 정밀여과에 의하여 처리 가능하며, VCR 농축도는 3X 이내의 조건으로 여과를 수행하는 것이 바람직하다는 결론을 얻었다. 이와 같이 정밀여과 막분리장치를 이용한 증류폐액의 처리로 SS가 완벽하게 제거됨으로써 폐수처리의 부하를 줄일 수 있으며 decanter를 대체함으로써 부가적인 농축공정을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

역과액을 발효 사입수로의 사용

일반적으로 증류폐액을 처리한 후 얻어진 고형분은 혐기소화 처리를 하거나 품질이 좋은 경우에는 사료로써도 일부 사용하게 되며, 액체부분은 생물학적 폐수처리를 통해 최종 처리를 하게 된다(5-7). 그러나 높은 TN으로 인하여 혐기소화시 악취문제가 발생할 수 있으며, 생물학적 처리에서는 높은 COD가 문제가 될 수 있어 가능하다면 청정생산기술적 접근으로 알코올 생산 공정 중에 어디론가 재활용하는 무방류 시스템을 도모하는 방안이 가장 바람직하다고 볼 수 있다(9).

본 연구에서는 0.1 μm 정밀여과로 얻어진 permeate와 retentate를 발효 원료를 공급하는 배지용수(사입수)로의 재활용을 검토하였다. 이 실험은 증류폐액의 정밀여과 pilot 실험 장소 및 폐액을 제공한 A사 현장의 중형 발효조 및 재료를 이용하여 실시하였는데 발효원료로는 tapioca와 밀을 사용하였으며 균주는 yeast를 포함한 혼합 균주를 사용하였다. 그 외의 자세한 발효 조건과 기타 배지 조성 등은 A사의 사정상 공개하기 어렵다. Table 3에 사입수로 재활용되는 조건과 알코올 발효 후의 최종 결과를 정리하였으며 Figure 5에 발효시간에 따른 CO<sub>2</sub> 발생 경향을 도시하였다. Table 3과 Figure 5의 결과는 각 발효조건에서 3회 실험한 결과의 평균 값을 기록하였으며 여기서 CO<sub>2</sub> 발생량은 현장에서 발효 진척 정도 또는 알코올 생산 정도를 나타내는 지표로 사용되는 항목이다. 대조실험으로 permeate나 retentate를 사입수로 사용하지 않은 정상적인 배지를 사용한 발효 결과를 대조실험으로 수행하여 비교하였다.

알코올 발효 120시간 쯤 CO<sub>2</sub> 발생량은 501-504 L/ton으로

**Table 3.** Results of alcohol fermentation with/without make-up media supplemented with permeate or retentate generated from microfiltration of stillage condensate.

Recycled fraction	Recycle %(v/v) in broth	Time to attain 450 L/ton of CO <sub>2</sub> evolution	CO <sub>2</sub> evolution (L/ton) at 120 h	Final alcohol %	Residual sugar %
	0	47 h	498.1	10.5	0.85
Retentate	15	39 h	503.1	10.6	1.21
	30	34 h	504.3	10.6	1.27
Permeate	15	41 h	501.2	10.6	1.14
	30	36 h	503.7	10.6	1.19

재활용 사입수를 사용하지 않은 대조실험의 498 L/ton에 비해 약간 증가하였고 발효후 최종 알코올 함량도 10.5%에서 10.6%로 0.1% 밖에 증가하지 않아 괄목할 만한 개선이 이루어졌다고는 할 수 없다. 그러나 발효배지 부피의 30%까지 재활용 사입수를 사용한 경우 permeate나 retentate에 관계없이 발효 도중 어떤 이상 현상이나 발효속도와 알코올 생산량에 부정적인 영향을 미치는 징후는 발견되지 않았다. 그리고 Figure 5에서 CO<sub>2</sub> 발생량 450 L/ton 까지 도달하는 발효시간을 비교해 본 결과 재활용사입수를 사용하지 않은 경우에는 47시간 정도를 나타내었으나 permeate나 retentate를 15% 사용한 경우는 40시간 내외, 그리고 30%를 사용한 경우에는 35시간 내외로 시간이 상당히 단축된 결과를 얻었다. 이는 정밀여과 부산물을 발효공정 중에 사입수로 재활용함으로써 용수사용량을 절약할 수 있음은 물론 발효속도를 증진시킬 수 있음을 확인한 것이다. 증류 폐액은 그 자체에 이미 최종 생산물인 알코올이 제거된 상태이므로 배지 사입수로 사용하더라도 발효에 대한 product inhibition이 발생되지 않을뿐더러 남아있는 잔당이나 기타 세포 구성물, 비타민이나 미량원소 등 저분자 영양물질들이 발효조에 재순환될 때 발효 미생물 성장을 촉진하고 알코올 발효속도를 증진시키는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 발효속도 증진 효과는 Figure 5에서 볼 때 permeate 보다는 retentate를 사입수로 재활용한 경우가 약간 더 우수한 것으로 보이나 retentate를 사입수로 사용하는 것은 발효조 내에 SS의 계속적인 증가 및 축적을 유발할 수 있으므로 permeate를 재활용하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

## 요 약

알코올 증류폐액은 통상적으로 COD 50,000-60,000 ppm, TS 3-8%, SS 2-4%, TN 0.05-0.2% 정도가 포함되어 있어 높은 SS와 TN 함량 때문에 종합폐수로서 생물학적 처리를 하거나 혐기성 소화를 통하여 처리하는 데 문제가 있다. SS의 주성분으로는 미발효 원료 잔류물과 함께 균체, 단백질, 섬유질, 그리고 기타 현탁성 또는 용해성 물질들이 포함된다. 본 연구에서는 알코올 증류폐액 처리의 한 해결책으로써 0.1  $\mu$  m pore size를 갖는 스테인레스 재질의 분리막을 이용한 pilot scale 정밀여과(microfiltration)를 실시하였다. Decanter로 처리된 증류폐액을 정밀여과 처리한 결과 2.5 bar, 60°C 조건에서 VCR 농축도 10X 정도까지 원활한 permeate flux를 얻으며 24시간 이상 장시간 여과가 가능하였고 feed 중 0.7%였

던 SS가 100% 가까이 제거된 permeate를 얻을 수 있었다. SS는 retentate 중에 7%까지 농축 가능하였으며 COD는 25-27% 정도 제거되었다. SS가 2.6%인 decanter를 거치지 않은 증류 원폐액의 경우, VCR 3X 이내의 조건으로 여과할 때 SS를 100% 가까이 그리고 COD는 약 50% 정도 제거 가능하였다. 무방류 시스템으로의 적용을 위하여 정밀여과로 얻어진 permeate와 retentate를 발효배지 사입수로 재활용하여 알코올 발효에 미치는 영향을 검토한 결과, 재활용 사입수를 사용하지 않은 경우에 비해 발효 도중 이상 현상이나 발효속도와 알코올 생산량에 부정적인 영향을 미치는 징후는 발견되지 않았다. 발효에 의한 총 CO<sub>2</sub> 발생량과 최종 알코올 함량은 약간 증가하고 큰 차이를 보이지 않았으나, 발효시간 동안의 CO<sub>2</sub> 발생속도는 비교적 빨라져서 CO<sub>2</sub> 발생량 450 L/ton에 도달하는 시간은 재활용 사입수를 15% 사용했을 때 83-87%, 30%를 사용했을 때 72-76% 정도 단축되는 효과를 얻었다. 증류폐액을 처리하기 위해 사용되는 기존 decanter를 대체하여 정밀여과 막분리장치를 이용한다면 SS가 완벽하게 제거됨으로써 폐수처리의 부하를 줄이는 한편 추가적인 농축공정을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 여과 permeate를 발효배지 사입수로 재활용함으로써 발효속도를 증진시킬 수 있으며 용수사용량을 절약할 수 있다.

## 감 사

이 연구는 한국과학재단과 경기도 지원 RRC 사업으로 수행되었으며 김영범은 2000, 2001년 교육부 BK21사업의 장학금 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. Prescott, S. C. and C. G. Dunn (1959), *Industrial Microbiology*, Chapter 4, McGraw-Hill, NY, USA.
2. Atkinson, B. and F. Marvituma (1991), *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*, 2nd ed., Sections 6.8 and 20.9, Stokton Press, NY, USA.
3. Dowd, M. K., P. J. Reilly, and W. Trahanovsky (1993), Low molecular weight organic composition of ethanol stillage from corn, *Cereal Chem.* **70**, 204-208.
4. Dowd, M. K., S. L. Johansen, L. Cantarella, and P. J. Reilly (1994), Low molecular weight organic composition of ethanol stillage from sugarcane molasses, citrus waste, and sweet whey, *J. Agr. Food Chem.* **42**, 283-288.
5. Yim, J. M., et al. (2001), *Industrial Wastewater*

- Treatment Technologies*, pp. 269-277, Shin Kwang Publ., Korea.
6. Wilkie, A. C., K. J. Riedesel, and J. M. Owens (2000), Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks, *Biomass & Bioenergy*, **19**, 63-102.
  7. Beltran, F. J., P. M. Alvarez, E. M. Rodriguez, J. F. Garcia-Araya, and J. Rivas (2001), Treatment of high strength distillery wastewater by integrated aerobic biological oxidation and ozonation, *Biotechnol. Progr.* **17**, 462-467.
  8. Grady, C. P. L., G. T. Daigger, and H. C. Lim (1999), *Biological Wastewater Treatment*, 2nd Ed., Chapter 13, Marcel Dekker, NY, USA.
  9. Shojaosadati, S. A., H. R. Sanaei, and S. M. Fatemi (1996), The use of biomass and stillage recycle in conventional ethanol fermentation, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **67**, 362-366.
  10. Stainless Membranes, <http://www.dongjooeng.co.kr/main.html>, Dongjoo Engineering, Inc.
  11. Microfiltration, <http://www.eurodia.com/html/ulb.html>, Graver Technologies, Inc.
  12. Cheryan, M. (1998), *Ultrafiltration and Microfiltration*, pp. 293-299, Technomics, PA., USA.