

무증자당화법 도입에 의한 주정생산공정의 개선과 산업화



李 龍 賢

(경북대학교 유전공학과)
교수 · 공학박사

目 次

- I. 서 언
- II. 무증자당화법을 도입한 개선된 주정 생산공정의 제안
- III. 신 무증자주정생산공정의 세부적 고찰
- IV. 신 무증자주정생산공정의 산업화 전망
- V. 결 언
- VI. 참고문헌

I. 서 언

국내주정생산량은 연간 약 18만 KL(1987년 기준)로 그 매출액이 1천8백억원에 이르는 막대한 것으로 주정산업이 국가경제 및 세입원에 차지하는 비중은 매우 크다.” 오랜 역사를 갖고 있는 국내주정산업계는 전통적인 증자발효법을 채택하여 그사이 축적된 경험을 토대로 국내실정에 맞는 독특한 생산공정을 확립하였고, 경영의 합리화를 추구하면서 생산원가 절감을 위해 노력해 오고 있다.

그러나 현재 주정산업계에서 채택하고 있는 전통적인 증자발효법은 오랜 시행 역사를 통해 입증된 여러가지 장점을 가지고 있으나 그 공정 자체에서 유래되는 다음과 같은 근본적인 문제점을 내포하고 있다. 즉, 증자공정에서 막대한 에너지가 소모되는 에너지소비형 공정일 뿐만아니라 가용 탄수화물에 대한 당수율이 낮고 따라서 알콜수율이 낮은점, 전분질원료의 상당부분을 차지하고 있는 비전분계 성분인 단백질, 섬유질, 조섬유질, 지질 등 비발효성 잔유성분의 분리가 어려우며, 따라서 이들성분의 적절히 회수 활용되지 못하므로 유용성분의 낭비가 큰점, 그리고 발효액과 증류, 폐액에 의하여 심각한 환경오염문제가 유발되는 점 등의 여러가지 취약점을 갖고 있다.

이와같은 공정자체에서 유래되는 근본적인 취약점들은 종전과 같이 원료가격과 에너지 비용이 저렴하고 환경오염에 대한 규제가 엄격하지 않았던 과거에는 별 문제가 되지 않을 수 있었으나 현재와 같이 에너지 비용과 원료가격이 비싸지고 환경오염에 대한 인식이 새로와지고 있는 시점에서는 생산성과 경제성 제고를 위해서 간과해서는 안될 요소로 등장하고 있으며 이에 대한 근본적인 검토와 개선이 요망된다고 볼 수 있다. 따라서 국내 주정산업은 생산가의 절대적 비중을 차지

하는 주정원료의 고효율 이용, 발효수를 향상, 발효시설의 현대화, 발효 및 증류폐액의 효과적 처리에 의한 환경오염방지, 그리고 에너지 절약형 공정개발등 전반적인 문제의 해결책을 모색해야 된다고 본다.

이러한 증자발효법이 안고 있는 문제점에 대한 해결책으로 새롭게 관심의 대상이 되고 있는 주정 생산기술은 원료인 전분질을 증자하지 않고 무증자 상태로 당화시키고 그 당화액을 발효시키는 무증자당화 주정생산법이라 할 수 있으며, 최근 국내외적으로 이에 대한 많은 관심이 모아지고 있고 여러 각도에서 연구가 수행되어져 왔다.⁴²⁾ 그러나 무증자당화법은 증자당화법에 비하여 전분질의 당화속도가 느리고 당수율이 낮아 이에 대한 개선이 요망되고 있으며, 이와같은 낮은 당화속도와 수율이라는 결정적인 제한요소를 극복하지 못함으로써 무증자법이 가진 많은 가능성에도 불구하고 현재까지 국내외적으로 산업화에는 이르지 못하고 있다.

본인등은 지금까지 연구된 무증자당화법과는 아주 상이한 기술혁신적인 고효율 무증자 전분질 당화법을 발명한 바 있으며, 그 대요는 전분질을 무증자 효소 당화시킬 때 유리구와 같은 분쇄마찰매체(attribution milling media)를 첨가하여 교반함으로써 생전분질-효소 현탁액에 분쇄 마찰효과를 주어 전분입자를 구조적으로 변화시키면서 당화를 현저히 촉진시키는 방법이다.⁴³⁾ 지금까지 수년간의 계속적인 연구를 통하여 생전분질의 효소당화속도와 수율을 증자법과 유사 내지는 능가하는 수준으로 얻을 수 있음을 보고한 바 있고^{44) 45)}, 그 당화촉진 mechanism을 규명하였으며⁴⁶⁾, 무증자 전분질 당화액의 알코올 발효성을 검토하였고⁴⁷⁾, 전보에서는 무증자당화법을 주정산업에 활용할 가능성이 있음을 제안한 바 있다.⁴⁸⁾ 또한 분쇄마찰매체의 교반에 소요되는 동력소모를 최소화하면서도 최대의 당화촉진 효과를 얻을 수 있는 각종 bioattritor의 개발·연구와 이를 이용한 동력

에너지 소모에 대해서 분석한 바 있다.⁴⁹⁾

분쇄마찰매체를 이용한 무증자당화법의 주정생산공정에의 도입은 전분질의 고수율 고농도당화, 증자에너지 절감, 가용 탄수화물 이외의 당화 잔류성분의 원심분리 또는 여과에 의한 용이한 분리, 폐액의 낮은 BOD부하, 양호한 발효성, 그리고 분쇄마찰매체에 의한 유해균의 생육억제 등 많은 장점을 갖고 있다.

본 논문의 목적은 분쇄마찰매체를 이용하는 무증자 전분질 당화법을 기존의 알코올 생산공정에 도입시킨 개선된 새로운 무증자주정생산공정을 제안코져 하며, 제안된 신 공정을 세부적으로 고찰하고, 이를 토대로 기존공정과 신 공정을 여러 각도에서 비교·분석함으로써 신 공정의 산업화의 가능성을 전망코져 한다. 본 논문에서는 국가정책적으로 사용이 권장되고 있는 쌀보리전분질을 중심으로 고찰하고 있으나 다른 주정생산용 전분질, 예컨대 절간고구마, 타피오카, 옥수수 전분질등에도 제안된 새로운 주정생산공정이 잘 적용될 수 있다.

II. 무증자당화법을 도입한 개선된 주정생산공정의 제안

1. 현 증자주정생산공정의 문제점

현 증자주정생산공정이 내포하고 있는 문제점으로는 과에너지 소모, 비이용 잔류성분의 분리의 어려움과 이에 따른 유용성분의 낭비, 심각한 환경오염의 유발, 알콜 발효저해물질의 생성, 그리고 낮은 알콜수율 및 당수율 등을 들 수 있다. 주정생산공정의 개선을 위한 올바른 방향을 설정하기 위해서는 이와같은 문제점들에 대한 냉철한 분석·평가가 선행되어져야 할 것이다.

위에서 열거한 문제점들을 하나하나 상술하여 보면 원료전분질의 1) 증자당화과정은 많은 증자 열과 특수한 증자시설을 필요로 하는 에너지 소모형 공정으로 알콜 생산에 소요되는 총에너지의

30%가 소모되고 있다. 2) 또한 전분질을 증자하면 호화되는 과정에서 전분질입자 구조 내부로 수분을 흡수하여 팽윤되면서 점도가 200-300c.p로 급속히 상승하게 된다. 이와같은 고점도의 호화전분액은 교반이 어렵고 또 전분질의 액화 및 당화에 적합한 온도로 균일하게 유지하는데 어려움이 있어 원료전분질을 어느 수준이상으로 첨가하여 당화시킬 수 없이 고농도의 당액을 얻기 어렵다. 3) 그리고 전분질의 증자당화법은 당화액에 함유되어 있는 당화되지 않는 일부 탄수화물 및 비탄수화물계 성분의 분리 회수가 어려운 공정이다. 왜냐하면 원료전분질에는 발효에 이용되는 전분 이외에도 단백질, 섬유질, 지질등이 포함되어 있다. 이와같은 성분들은 증자과정중 일부는 용해되고 일부는 현탁물로 존재하며 고점도의 전분당화액에 혼입되므로 원심분리나 여과와 같은 통상적인 방법으로 이들 성분의 회수 이용이 불가능하다. 4) 따라서 막대한 양의 귀중한 자원이 회수 활용되지 못하고 낭비되고 있으며, 5) 문제는 여기서 끝나지 않고 발효공정에서 극히 일부 성분만이 효모의 영양원으로 쓰이고 나머지 대부분의 미활용성분은 그대로 배출되어 발효 또는 증류폐액에 남아 고 BOD부하물질로 환경오염을 유발시키며 이의 처리에는 막대한 시설과 에너지가 소모되게 된다. 6) 증자당화법이 갖는 다른 문제점으로는 증자과정중 생성되는 발효저해물질의 생성을 들 수 있으며, 이와같은 물질은 효모생육에 영향을 주어 알콜 발효속도를 감소시켜 결과적으로 발효시간이 길어지게 된다. 7) 또한, 증자당화법은 전분질원료에 함유된 가용탄수화물의 당화가 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있으며 당수율이 낮으므로 알코올을 고수율로 얻지 못하는 등의 문제점을 내포하고 있다.

특히 쌀보리의 주정원료화는 주정생산업계에 두가지 큰 과제를 부여하고 있다. 하나는 원료전분질인 쌀보리의 가격으로 1987년도 수매가가 47만원 / 톤으로" 수입 전분질인 타피오카의 수입

가 약 10만원 / 톤에 비하여 수매에 달하는 고가로서, 원료비가 주정생산원가에 차지하는 절대적 비중을 감안할 때 주정생산가 인상의 주원인으로 작용하고 있다(표1 참조). 더우기 정부에서는 겨울농한기에 유희농경지를 이용하여 대량재배가 가능하나 국민의 식량소비양상의 변화로 그 사용처가 마땅치 않은 쌀보리의 소비를 촉진시키고져 국가정책적으로 주정생산 원료로 사용할 것을 권장하고 있으며, 이와같은 국가정책은 저소득층 농민들의 수익증대라는 측면에서 당분간 변동이 없을 것으로 예상된다. 따라서 고가의 쌀보리를 주정원료로 사용할 경우에는 원료를 보다 효율적으로 활용할 수 있는 공정개발은 더욱 절실하게 된다.

쌀보리를 주정생산원료로 사용할 때 일어나는 다른 과제는 주정생산기술적인 것이다. 쌀보리 사용이 적극 권장된 최근 수년간 국내주정업계는 주정원료의 전환으로 야기되는 생산기술상의 어려움을 축적된 기술력으로 극복해 왔다. 그러나 아직도 당 및 알코올 수율향상과 발효 및 증류폐액의 처리에 큰 어려움을 안고 있다. 쌀보리는 생산가가 매우 높을 뿐만아니라 표2에서 보듯이 다른 전분질에 비하여 단백질, 지질, 그리고 비타민과 같은 비발효성 성분의 함량이 높아 약 15~20%에 이르는 고영양성 주정생산원료라는 특수성을 갖고 있다²⁰⁾.

따라서 이와같은 고가의 쌀보리에 함유된 영양가가 높은 비발효성 성분을 분리 회수하여 사료와 같은 부가가치가 높은 자원으로 재활용하는 것은 그 경제적 의의가 매우 크다. 그러나 현 증자공정이 갖고 있는 공정상의 모순으로 분리가 불가능하여 전량낭비되어 환경오염의 원인이 되고 저가격의 메탄가스 생산에 쓰인다는 사실은 아이러니컬하다고 할 수 있다. 이 문제를 구체적인 수치를 이용 분석하여 보면 표1에서와 같이 1987년도 주정생산에 소비된 쌀보리는 96만석으로 665억원의 경비가 지출되었으며", 표2에서 보듯이 쌀보리

표 1. 년도별 주정원료로 사용된 쌀보리 현황

구분 년도	주정 총 생산량 (D/M)	쌀보리사용 주정생산실적 (D/M)	고유비 (%)	원료 사용량 (M/T)	단가 (원/kg당)	원료구매 금액 (억원)
84	717,937	123,743	17	64,437	356	230
85	698,376	274,924	31	144,408	363	524
86	749,085	228,190	26	117,180	405	475
87	723,050	249,730	27	132,764	468	666

* 대한주류공업협회 제공자료

표 2. 쌀보리와 절간 고구마의 성분 함유비⁽²⁰⁾

성분	함유비(%)				
	쌀보리*	쌀보리	절간고구마*	절간고구마	
수분	-	14.0	-	23.0	
단백질	12.0	10.2	2.4	1.8	
지질	2.3	2.0	1.0	0.8	
탄수화물	당질	83.6	72.2	91.0	69.6
	섬유질	0.9	0.7	2.9	2.2
기타성분	1.2	0.9	2.7	2.1	
계	100	100	100	100	

* 건량 기준

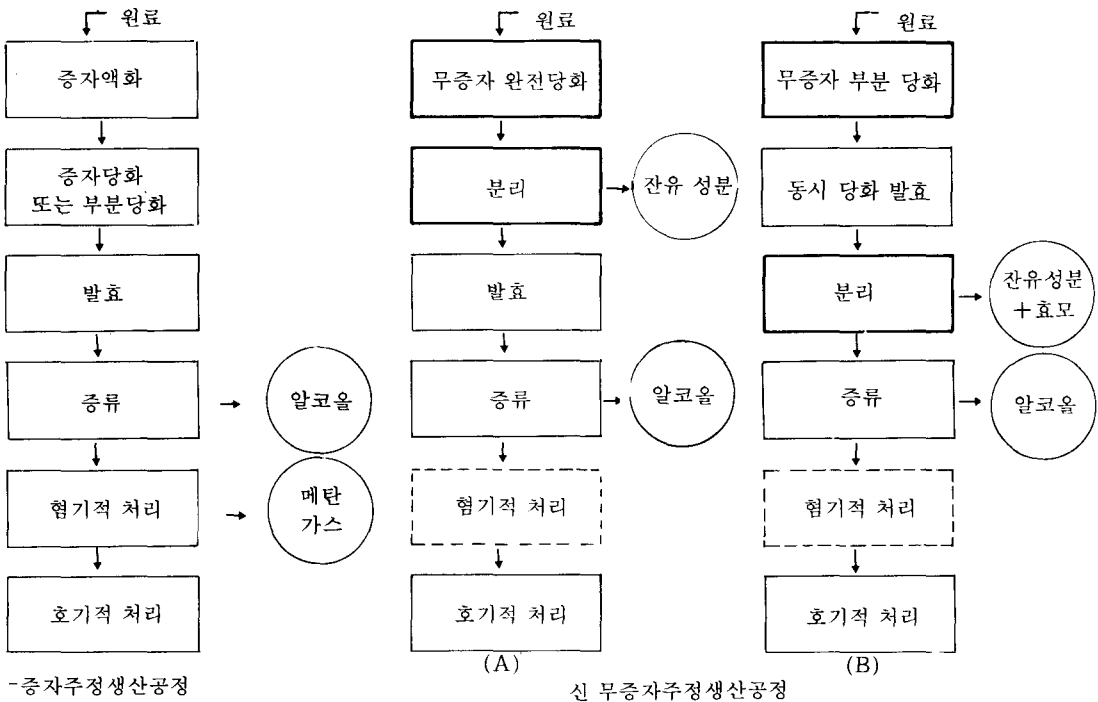
중 단백질, 지질, 섬유질 및 비분해성전분질 등 약 20%가 미이용성분임을 감안 할때²⁰⁾ 이 양은 19만석에 이르며, 이를 금액으로 환산하면 130억 원에 달하며 이와같은 귀중한 자원이 폐액으로 방출 낭비되고 있는 현실은 매우 안타깝다.

이상과 같은 제반 문제점들은 근본적 모순을 안고 있는 전통적인 증자발효법으로는 만족할 만한 해결을 기대하기 어렵다고 본다. 따라서 무증자당화법을 도입한 개선된 새로운 주정생산공정을 그 해결책으로 다음과 같이 제안코져 한다.

2. 무증자당화법을 도입한 새로운 주정생산공정의 제안

제안하고자 하는 무증자주정생산공정은 기존의 발효시설을 최대한 활용하면서 증자당화공정만을 분쇄마찰매체함유 효소반응계를 이용한 무증자당화공정으로 대체한다는 큰 원칙하에서 도출하였다. 그림 1은 새로운 무증자주정생산공정의 process flow diagram으로 이를 기존의 증자발효공정과 비교하였다.

제안된 무증자주정생산공정은 기존의 증자공정에 비하여 1) 분쇄마찰매체 효소반응계를 활용한 원료전분질의 고효율 무증자당화, 2) 비발효성 잔류유용성분의 분리, 그리고 3) 간소화된 폐액처리 공정을 특징으로 하고 있다. 신 무증자주정생산공정은 다시 비발효성 잔류성분의 분리단계에



-증자주정생산공정

신 무증자주정생산공정

그림 1. 무증자당화법을 도입하여 개선시킨 신 무증자주정생산공정의 process flow diagram.

따라 공정(A)와 공정(B)로 구분된다. 공정(A)는 원료전분질을 무증자당화법으로 완전당화시키고 비당화된 불용성 잔류유용성분을 분리한 후 얻어진 당화액만을 알콜발효과정으로 가져가는 공정이다. 반면 공정(B)는 원료전분질을 무증자당화법으로 일부만 부분적으로 당화시키고 미당화 생전분질은 분쇄마찰매체와 효소의 상승작용으로 구조적으로 크게 변형되어 손쉽게 당화될 수 있는 상태로 전환되어 있으므로, 위에서 얻어진 당화액과 구조변형된 생전분질을 알콜발효과정으로 가져가 전분질의 추가적인 당화와 동시에 알콜 발효과정을 경과한 후 잔류성분과 효모세포를 함께 분리 회수하여 이용하는 공정이다.

새로운 무증자주정생산공정의 가장 큰 장점은 지금까지 연구발표한 바 있고¹⁸⁻¹⁹⁾, 또 다음 장에서 세부적으로 고찰하게 될 분쇄마찰함유 효소반응계의 생전분질 당화의 효율성에 있다. 다른 큰 장점은 비당화성 잔류성분의 용이한 분리 회수에 있다. 왜냐하면 기존의 증자공정과는 달리 무증자

당화의 경우에는 전분질을 열로 처리하지 않으므로 원료전분질의 팽윤, 가용화, 그리고 점도상승등이 일어나지 않으므로 미분해성분들은 고체상의 입자로 남아 여과나 원심분리와 같은 손쉬운 단위 조작으로 쉽게 분리된다. 분리된 미이용 잔류유용 성분들은 사료와 같은 보다 부가가치가 높은 사용처에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 폐액의 오염처리 과정을 크게 감소화할 수 있게 된다.

Ⅲ. 신 무증자주정생산공정의 세부적 고찰

1. 무증자당화공정

가. 분쇄마찰매체 무증자 전분질당화

본 연구에 이용된 분쇄마찰매체함유 효소반응장치는 impeller를 이용하여 반응 조내 혼합액 및 고형매체를 교반하는 agitated bead bioattritor로서 그림2에 나타내었다.¹⁹⁾

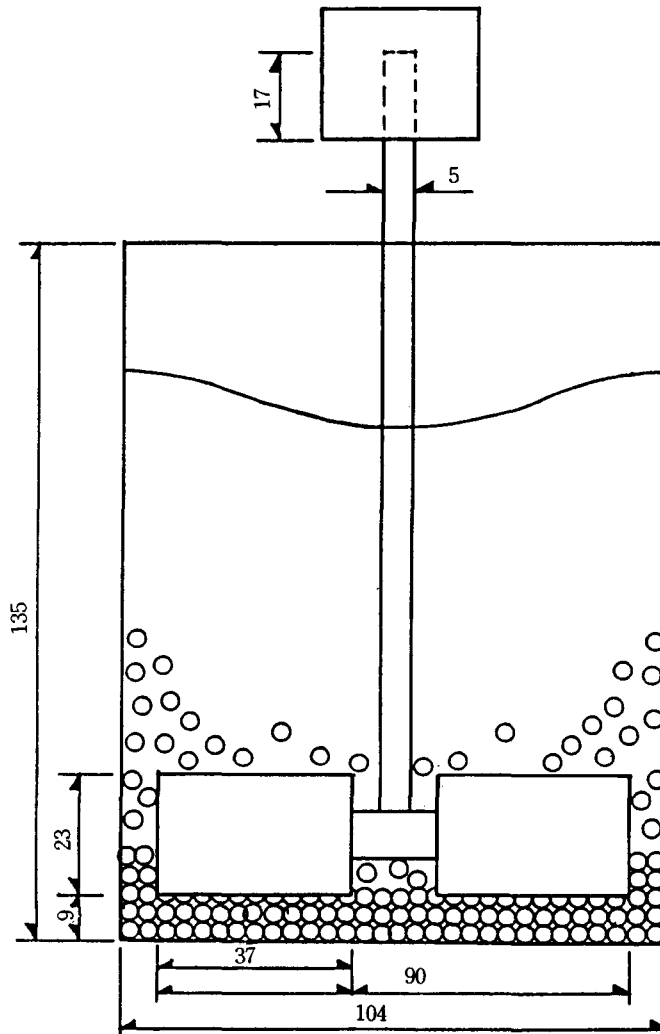


그림 2. Agitated bead bioreactor의 형태, 크기 및 분쇄마찰매체의 교반양상 (크기: mm).

전분의 무증자당화는 상기 bioattritor에 생전분 원료, 직경 3mm의 유리구, pH3.8의 buffer용액 및 액화·당화효소를 첨가하여 50°C에서 200rpm의 속도로 교반하면서 수행하였다. 전분질원료는 시판 쌀보리로서 20mesh를 통과한 분말을 시료로 사용하였으며, 첨가한 액화 및 당화효소의 양은 현재 주정공업에서 증자당화시 사용하는 양과 유사한 수준으로 사용하였다⁴⁰. 또한, 당화율을 증가시키기 위하여 amylase계통의 액화 및 당화효소에 경우에 따라 섬유소분해효소인 Cellu-

clast 와 세포벽용해용 복합효소인 Viscozyme (Novo사)을 병행하여 사용하였다.

나. 당화효율의 비교

무증자당화공정의 효율성을 제시코저 증자당화법의 당화양상과 본 분쇄마찰매체 반응계에서의 무증자당화양상, 그리고 분쇄마찰매체를 첨가하지 않고 무증자당화한 결과를 그림3에 나타내었다. 이때 사용한 쌀보리의 농도는 220g/L (건조중량 기준, 전당함량: 79%)이었다.

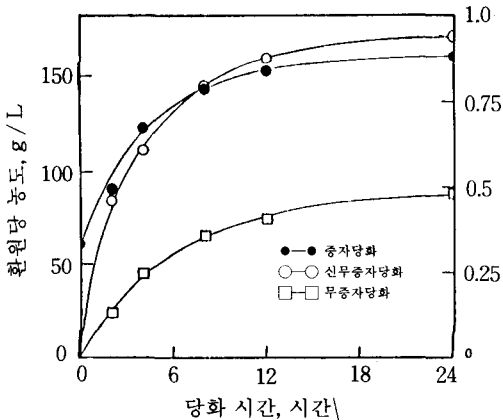


그림 3. 각종 전분당화법에 의한 전분질원료의 당화양상의 비교; 쌀보리 220g/L 유리구 300g/L, 화, 당화효소와 Viscozyme첨가, bioatritor, 200rpm, 50℃.

분쇄마찰매체를 첨가하지 않은 쌀보리의 무증자당화군은 그 분해속도 뿐만 아니라 분해율이 매우 낮아 24시간 경과후에도 쌀보리에 함유된 전당의 약 50%만이 분해되고 있어 무증자당화를 시킬 경우의 한계성을 잘 나타내고 있다. 반면, 분쇄마찰매체를 첨가한 군에서는 무증자 쌀보리의 분해속도 및 수율이 현저히 증가하여 대조적으로 증자군과 비교된다. 환원당생성량을 비교하여 보면 반응초기 수시간은 증자군이 다소 우세하였으나, 분쇄마찰매체를 활용한 무증자군의 경우는 환원당생성량이 급속히 증가하여 증자군과의 차이는 점차 축소되고 8시간 이후로는 증자군을 능가하기 시작하여 최종 환원당농도는 182g/L에 이르고 있으며, 증자군의 166g/L보다 높았다.

다. 첨가효소의 영향

기질로 이용된 쌀보리는 전분질이외의 탄수화물인 섬유질, 조섬유질을 포함하고 있고 전분중 일부는 당화가 쉽지 않은 구조로 존재하므로 이를 효율적으로 가수분해한다면 더욱 높은 당화율을 얻을 수 있게 된다. 따라서 쌀보리효소당화시 amylase 계통효소외에 Celluclast 및 Viscozyme을 각각 0.3, 0.2%(V/V) 씩 첨가하여 당화하였으며 그 결과는 그림4와 같다.

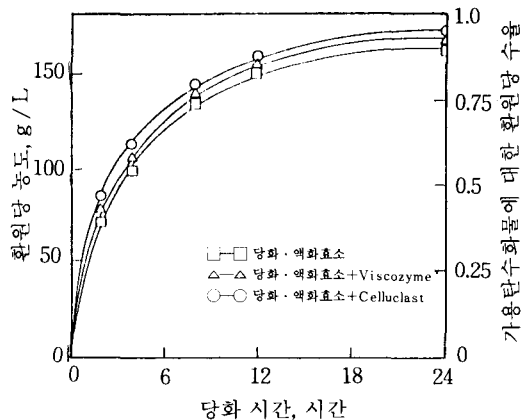


그림 4. 원료 전분질의 당화에 미치는 사용 효소의 영향.

Amylase 계통효소만을 첨가한 경우 24시간 가수분해 후의 환원당농도는 172g/L, Celluclast를 보충첨가한 경우는 176g/L, Viscozyme을 보충첨가한 경우는 182g/L로서 Viscozyme을 보충첨가한 경우가 가장 높은 환원당농도를 나타내었다. 이는 쌀보리에 함유된 가용탄수화물의 95%수준에 해당하는 것으로 증자군의 87%수준을 훨씬 능가하고 있다. 이 높은 당수율은 당화속도의 증가현상과 더불어 분쇄마찰매체를 활용한 무증자당화법의 중요한 특징이며 산업화할 경우 큰 장점으로 작용될 것이다.

라. 고농도 무증자당화

분쇄마찰매체반응계에서 전분의 무증자 효소당화법의 중요한 장점중의 하나는 증자하지 않으므로 전분의 팽윤이 일어나지 않아 전분질을 증자법에 비교하여 고농도로 첨가하여 당화시킬 수 있는데 있다. 따라서 분쇄마찰매체반응계를 이용한 무증자당화 실험에서 효율적으로 당화가 가능한 전분농도를 검토하기 위하여 쌀보리 농도를 220g/L, 330g/L, 400g/L(건조중량)로 증가시켜 각각 당화를 실시한 결과는 그림5와 같다. 이때 전실험에서 이용된 액화 및 당화효소이외에 세포벽분해효소인 Viscozyme을 적절량 첨가하였다.

기질농도가 증가함에 따라 환원당농도가 증가

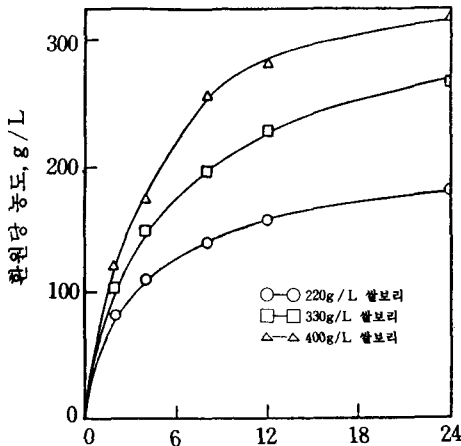


그림 5. 원료전분질의 고농도 첨가에 따른 환원당 농도의 변화: 그림 3과 같은 당화조건, 전분질 농도에 비례한 효소첨가.

합을 알 수 있으며 400g/L의 기질농도인 경우에는 24시간 경과후 가용탄수화물의 92%의 당화가 이루어져 최종 환원당농도가 320g/L라는 높은 수준에 이르렀다. 위와같은 기질농도는 현 주정공업에서 쓰고 있는 전분질당화액의 두배에 해당되는 고농도로써 신 무증자당화법의 다른 중요한 특징이 된다. 이와같은 고농도 고효율 전분질당화는 기존의 증자당화법에서는 얻기 어려운 수준이며, 앞으로 교반조건의 향상, 고농도에 적절한 효소의 개발, fed-batch식 전분질 투입방법의 도입등 무증자당화방법을 최적화함으로써, 보다 단시간내에 고농도 전분질의 고효율당화가 가능하리라 예상된다.

이와같은 고농도당액은 효모의 발효를 저해하는 높은 당농도임으로 적절한 농도로 희석하여 사용하거나 또는 알코올발효조에 fed-batch식으로 투입하여 발효하는 등 발효공정 자체를 기술적으로 향상시킬 수 있는 소지가 많으며 앞으로 발효공정의 생산성증대를 기대할 수 있다.

마. 무증자당화 현탁액 및 발효액중의 불용성 잔류성분의 분리성

무증자당화의 경우는 증자하지 않으므로 전분질원료에 함유된 대부분의 미발효성 유용성분은 당화, 발효후에도 불용성상태로 남아있어 원심분

리 및 여과등의 방법으로 쉽게 제거할 수 있다. 분리된 미발효성 잔류성분은 쌀보리에 함유된 단백질, 지질, 섬유질, 그리고 소량의 미당화 전분 등이 주성분을 이루고 있고 유해물질 생성의 가능성이 전혀 없으므로 직접 사료로 이용가능할 것이다. 따라서 발효에 이용되지 않는 전분질 및 미발효성 성분을 적절히 분리할 수 있는 부하 원심력을 검토하기 위하여 rpm을 달리하면서 10분간 원심분리하여 분리되는 침전물의 양을 측정하여 그림6에 나타내었다.

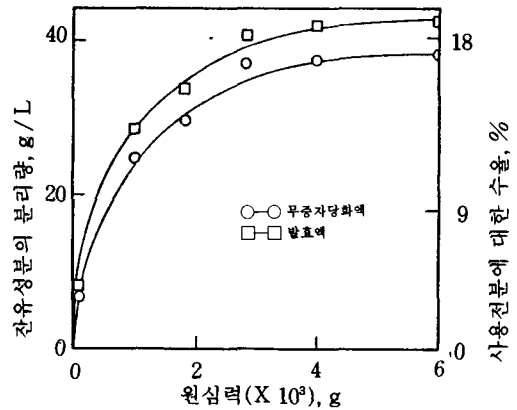


그림 6. 무증자완전당화액과 완전당화액의 발효액에 함유된 잔류유용성분의 분리에 미치는 원심력의 영향

무증자완전당화액의 경우 2,400xg의 원심력에서 거의 완전한 분리가 이루어졌으며 분리량은 37g/L로서 사용기질량의 17wt%에 해당한다. 또한 발효액중의 불용성 잔류성분 및 효모균체의 분리도 무증자당화액의 경우와 유사하게 2,400 xg의 원심력으로 거의 완전한 분리가 이루어졌으며 증식효모가 포함되므로 분리량은 42g/L로 증가하였다. 분리물의 형상은 다량의 고형분이 포함된 점도가 낮은 푸석푸석한 상태로 건조가 매우 용이하였으며 사료로 활용되기에 적합한 성상을 갖추고 있었다.

바. 분쇄마찰매체 무증자 전분질당화장치에 에너지 소모

분쇄마찰매체의 교반은 상당한 에너지 소모가

예상된다. 따라서 무증자당화공정의 산업적 이용 가능성을 평가하기 위해서는 분쇄마찰매체 함유 반응계를 이용한 신 무증자당화공정에 소모되는 에너지를 증자공정시 소모되는 에너지와 비교·검토함이 필요하며 증자공정과 본 무증자 공정에서 소모되는 에너지를 아래와 같이 비교하였다.

두 공정의 에너지 소모에 대한 criteria는 약 10%알코올 생산에 필요한 기질 농도인 쌀보리 220g/L를 당화하는데 소모되는 에너지로 하였으며, 본 무증자공정에 대한 에너지 소모측정은 전술한 bioattritor 장치에서 행하였다.¹⁹⁾

증자당화의 경우는 전분질용액을 120℃까지 증자하여 액화하는 cooking과정에서 약 157 wh/L, 당화과정에서 50℃인 고점도전분액을 교반하는데 15wh/L가 소모되어 증자공정의 전분액화 및 당화공정의 전체 소모에너지는 172wh/L가 된다.

분쇄마찰매체 함유 무증자당화법의 경우는 많은 에너지가 소모되는 증자과정이 수반되지 않고 단지 분쇄마찰매체 함유액을 교반하는 에너지만 소모된다. 본 반응기에서의 소모에너지는 1.61 W/L 정도의 전력으로 24시간동안 분쇄마찰매체

및 혼합액을 교반하는데 소모되는 attrition energy로서 이를 환산하면 최대 39wh/L의 에너지가 소모된다. 이는 증자공정에 소모되는 에너지에 비해 20% 수준의 매우 적은 값으로 증자당화공정을 본 신 무증자당화공정으로 대체한다면 대폭적인 에너지 절약효과를 기대할 수 있으므로 신 무증자당화공정이 증자공정에 비하여 월등한 에너지 절약형 공정일 것으로 사료된다.

사. 당화장치

본 무증자공정을 산업적으로 이용하기 위해서는 저에너지 소모형 고효율 bioreactor를 개발함이 또한 필요하다. 본 실험에 이용된 당화장치 이외에도 그림 7에 표시된 바와 같이 반응조자체를 회전하여 반응조내 용액을 교반하여 주는 tumbling drum type bioreactor(그림 7 C)와 반응조와 평행하게 부착된 impeller에 의해 반응조내 용액을 교반하여 주는 horizontal impeller type bioreactor(그림 7 B)도 고효율의 분쇄마찰효과를 주면서 scale-up이 용이한 장치로 사료되며, 이를 이용한 효용성, 에너지 소비, 경제성 비교 및 scale-up의 용이성등의 관점에서 평가가 필요하며 현재 연구가 진행중이다.

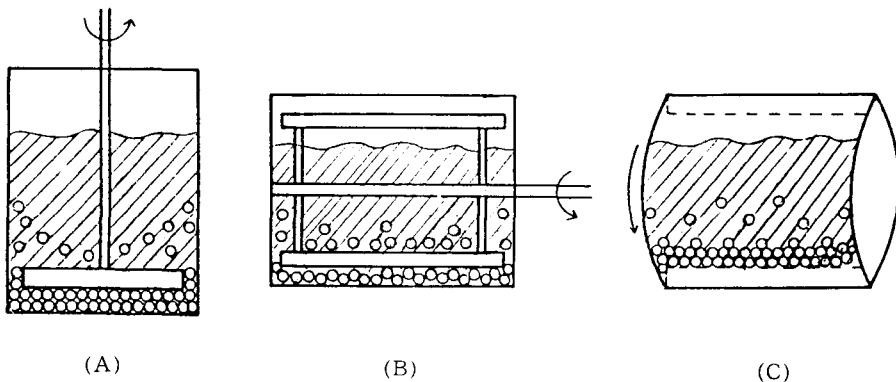


그림 7. 대표적인 분쇄마찰매체 함유 무증자효소당화반응기의 형태.

2. 무증자 전분당화액의 발효공정

가. 완전당화액의 발효성

쌀보리전분의 무증자당화액에 대한 발효성을 검토하기 위하여 증자당화시킨 당용액과 전분질액화 및 당화효소와 Viscozyme를 첨가하여 24시간 동안 분쇄마찰 매체반응계에서 무증자당화시킨 당용액 100ml에 효모(3×10^6 cells/mL) 10%를 접종하고, Missell발효관을 부착하여 서서히 흔들어 주면서 30°C에서 발효시켰다. 이때 당화에 사용한 원료쌀보리는 220g/L로 동일한 양을 사용하였으며, 증자당화시킨 당용액의 당농도는 166g/L, 무증자당화시킨 당용액의 농도는 182g/L였으며, 당용액의 pH는 4.4로서 효모의 생육 및 발효에 적절한 범위에 있었다. 사용한 효모균주는 *Saccharomyces cerevisiae*(협회 7호)이며, YE배지에 접종하여 30°C에서 24시간 배양한 후 seed culture로 사용하였다. 발효속도 및 발효율은 발효시 생성된 CO₂량을 측정하여 결정하였으며, 최종 생성 알콜농도는 발효액을 증류하여 alcohol hydrometer로 측정한 후 온도보정하여 정량하였다.

그림8에는 증자당화액, 무증자당화액, 그리고 보조 영양원으로 0.3% ammonium sulfate와 소량의 yeast extract를 첨가한 무증자당화액의 발효성을 비교하여 나타내었다.

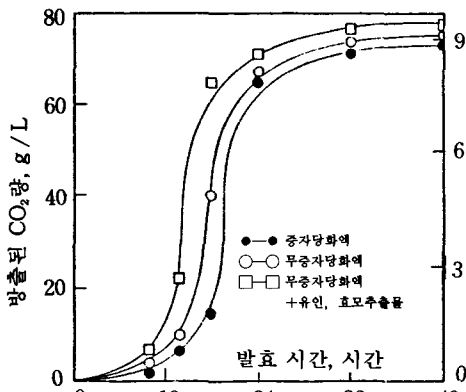


그림 8. 증자당화액, 무증자 완전당화액, 그리고 영양원을 보충한 무증자 완전당화액의 발효성 비교.

무증자당화액을 사용하였을 경우 최종 알콜수율이 증자법에 비하여 증가하고 있다. 최종 알콜 함량을 정량코져 발효액을 증류하여 측정 한 결과 증자당화액의 경우 8.8%(V/V), 무증자당화액의 경우는 9.2%(V/V)이었다. 그리고 최종 알콜농도를 사용원료의 총가용성 탄수화물에 대한 에탄올수율로 나타내면 무증자당화액의 경우는 0.42(W/W)로 증자당화액의 0.39(W/W)를 훨씬 능가하고 있다. 이는 무증자당화공정에서 얻어지는 높은 당수율에 의한 것이라 생각되며 산업화의 경우 사용원료에 대한 높은 알코올수율 획득의 가능성을 보이고 있다. 또한, 24시간 경과후 발효가 거의 종결되어 증자법의 32시간에 비하여 발효시간도 단축되었다.

효모의 생육을 촉진시켜 발효율을 증가시키고자 무증자당화액에 0.02% yeast extract와 0.3% ammonium sulfate를 첨가하여 발효성을 검토한 결과 초기 발효속도 및 최종 알코올수율이 yeast extract와 ammonium sulfate를 첨가하지 않은 무증자 당화액균과 증자당화액균을 능가하고 있어 질소원 및 growth factor를 첨가하여 줌으로써 알코올발효성을 크게 증가시킬 수 있었으며, 값싼 적절한 발효촉진제의 개발과 무증자 당화액에의 보충적 첨가는 발효효율증대에 중요한 요소가 됨을 알 수 있다.

나. 부분당화액의 발효성

위의 실험에서는 원료쌀보리를 분쇄마찰매체 함유 효소반응기에서 24시간 동안 완전당화하여 발효기질로 사용하였으나 그림4에서와 같이 약 12시간 후에는 대부분의 전분질이 분해되고 있어 24시간과 같은 장시간 동안 분쇄마찰상태로 처리하여 완전당화시키지 않고 보다 짧은 시간동안 부분적으로 당화시킨 전분질을 발효기질로 사용할 수 있다면 교반에 소모되는 에너지를 절감할 수 있게 된다. 그림9는 분쇄마찰반응계에서 일정 시간 부분당화시킨 당화액의 발효성을 증자완전당화액의 발효성과 비교하고 있다.

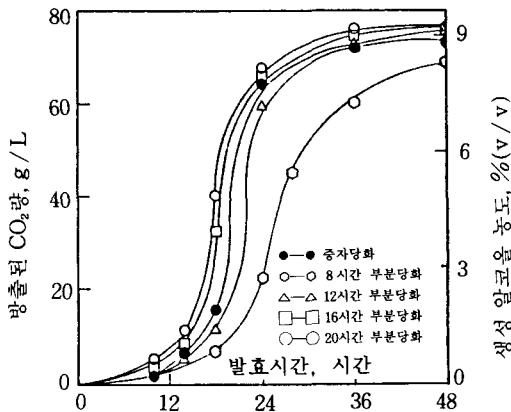


그림 9. 분쇄마찰매체 함유 효소반응장치에서 부분당화시킨 무증자전분질당화액의 알코올 발효성.

그림9에서 보듯이 8시간 부분당화시킨 균은 증자법에 비하여 발효속도도 늦으며 저조한 당화율로 인하여 최종 알콜수율이 낮아 실용화하기에는 부적합하다고 사료된다. 그러나 12시간이상 부분당화시킨 무증자전분액의 경우는 발효속도뿐만 아니라 최종 알콜수율도 증자법보다 우수하였다. 이와같이 부분당화한 전분질도 발효기질로 충분히 이용이 가능하므로 당화시간을 단축하여 교반시 소모되는 에너지를 절감할 수 있어 보다 경제적인 생산공정을 확립하는데 이와같은 개념의 도입(그림1 공정B)이 필요할 것이다.

다. 분쇄마찰매체의 물리적 충격이 오염균 생육에 미치는 영향

무증자당화-발효법에서는 증자과정에서의 고온처리과정이 생략되므로 쌀보리에 부착되어 있는 오염균이 당화·발효도중 증식하게 되어 성공적인 알콜발효에 중요한 변수로서 작용하게 된다. 그러나 분쇄마찰매체반응계에서는 분쇄마찰매체의 물리적 운동이 수반되므로 당화과정에서 전분질에 혼입되어 있는 오염균의 생육에 영향을 미쳐 증식의 억제 또는 사멸의 효과를 나타낼 것도 예상해 볼 수 있다. 분쇄마찰매체의 물리적 충격이 오염균의 생육에 미치는 영향은 전보에서¹⁷⁾ 보고한 바와 같이 분쇄마찰매체의 충돌효과가 오염균을 직접 사멸시키는 효과는

적지만 증식하기 어려운 결손상태로 변형시켜 증식을 억제하는 효과가 있음을 관찰한 바 있는 이는 무증자전분을 기질로 당화·발효시킬 때 일어날 오염문제를 경감시킬 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

라. 발효폐액의 BOD

발효폐액의 BOD₅를 측정된 결과, 20,000ppm 전후로 증자법의 30,000~70,000ppm 수준에 비하여 크게 감소되었는데 이는 불용성 잔유물의 용이한 분리에 의한 사전제거로 환경오염원이 크게 줄어든데 기인하며, 환경처리에 들어가는 시설과 경비를 크게 줄이고 신 공정의 경제성을 제고하는데 중요한 요소로 작용할 것이다.

IV. 신 무증자주정생산공정의 산업화 전망

1. 증자공정과 신 무증자주정생산공정의 비교

신 무증자주정생산공정의 산업화를 전망해 보기 위해서는 기존공정과 신공정의 특성을 나타내는 중요한 수치를 정리 대비하면서 고찰할 필요가 있다. 표3은 상기 두공정의 가용탄수화물에 대한 당 및 알콜수율, 당 및 알콜농도, 당화 및 발효에 소요되는 시간, 당화에 소요되는 에너지, 사용원료중 분리가 가능한 비발효성 유용성분의 회수량, 그리고 발효액과 증류폐액의 BOD등을 종합적으로 비교하고 있다. 증자공정에서 제시한 수치들은 무증자공정과 같은 규모의 실험실적 연구에서 얻어진 결과이며 현 주정생산업체의 생산현장에서 얻어지는 수치와는 약간의 차이가 있을 수도 있다.

신 공정의 전분질원료에 함유된 가용탄수화물에 대한 당수율은 0.95(W/W)라는 높은 수준으로 증자법의 0.87(W/W)에 비하여 8.4%증가라는 놀라운 향상을 보이고 있다. 또한 가용탄수화물에 대한 알콜수율도 0.42(W/W)로 증자법의

표 3. 증자공정과 신 무증자공정의 특성을 나타내는 중요변수의 수치적 비교

특 성	공 정	증자주정생산공정	신 무증자주정생산공정
(당화공정)			
전분질(쌀보리) 사용량*		220 g / L	220 g / L
환원당농도		166 g / L	182 g / L
가용탄수화물에 대한 환원당수율		0.87 (w / w)	0.95 (w / w)
당화속도**		4 hr	2.2 hr
분리가능 잔유성분량(%)		-	37 g / L(17%)
당화에 소요되는 에너지		172 w.h / L	39 w.h / L
(발효공정)			
알코올농도(%)		69.8 g / L(8.8%)	73.0 g / L(9.2%)
가용탄수화물에 대한 알코올수율		0.39 (w / w)	0.42 (w / w)
이론알코올수율		84.8 %	91.3 %
발효속도**		21 hr	15 hr
분리가능 잔유성분과 효모량(%)		-	42 g / L(19%)
(폐액처리공정)			
BOD ₅ (증류폐액)		30,000-70,000	20,000

* 건조쌀보리(가용탄수화물 79%)

** 1/2 당화및 발효과 진행되는데 소요되는 시간

0.39(W/W)에 비하여 7.2%증가되었다. 또한 분리공정에서 전분질당화액에 함유된 37g/L의 미활용 유용잔유물이 회수되었으며 이는 사용전 분질의 17wt%에 해당된다(그림1 공정A 참조). 반면 잔유물을 발효전에 회수치 않고 발효종료 후 증식된 효모와 같이 분리하였을 때는 42g/L의 고형물이 분리되었다(공정B 참조). 이와 같이 잔류고형물을 공정에서 분리 회수함으로써 이들 잔류고형물의 사료로서 이용가능성은 물론이거니와 발효액과 증류폐액의 BOD를 20,000ppm 수준으로 크게 감소시킬 수 있었다. 이는 증자공정의 BOD부하량 30,000~70,000의 평균치의 40% 수준에 해당된다. 또한 다른 긍정적인 변화로는 당화 시간과 발효시간의 단축 및 당화공정에 소요되는 에너지를 크게 절감시킬 수 있었다.

표3의 data를 종합하여 보면 신 무증자주정생산공정은 기존의 증자공정에 비하여 에너지 소모 및 공해가 적고 당 및 알코올수율이 높고, 그리고 원료의 미활용성분을 적절히 회수 활용할 수 있는 등 여러가지 면에서 크게 향상된, 경제성이 높은 기술혁신적 공정임을 알 수 있다. 더우기 위에서 비교한 신 공정의 수치들은 최적화 단계를 거치지 않은 실험실적 기초연구단계의 결과로써 앞으로 무증자당화효소개발, 무증자당화액에 맞는 균주개발 그리고 고효율 당화발효장치의 개발, 당화 및 발효방법의 최적화등과 같은 후속적인 연구가 수행될 경우에는 보다 향상된 결과를 얻을 수 있으리라 기대된다.

위와같은 수치적 비교에 첨부하여 양공정이 갖고 있는 일반적인 장·단점을 표4에서 비교하고

표 4. 증자와 신 무증자주정생산공정의 장·단점 비교

	증자주정생산공정	신 무증자주정생산공정
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 기존시설의 이용 • 공정의 안정성과 재현성 양호 • 사용효소, 효모의 충분한 연구진행 • 오염균의 완전 살균 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 절약 • 당 및 알콜수율향상가능 고농도 당화가능 • 비당화 잔유성분의 용이한 분리 활용가능 • 환경오염경감 • 매체에 의한 일부오염균 살균효과 • 발효속도의 증가
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지소모형 공정 • 당과 알콜수율향상 필요 • 고농도당화 곤란 • 비당화 잔유성분의 분리의 어려움 • 유용성분의 낭비 • 심각한 환경오염 유발 	<ul style="list-style-type: none"> • 새로운 무증자당화시설 필요 • 발효중 오염방지 극복 필요 • 새로운 효소, 효모개발 필요 • Pilot plat에서의 운영결과 및 경제성평가 미흡

있으며, 이러한 장·단점들은 신 공정의 산업화를 모색하는 과정에서 신중히 참고되어야 할 것이다.

2. 신 공정의 경제성 전망

공정의 경제성을 평가하기 위해서는 pilot 또는 semi-commercial 규모에서의 연구결과가 필요하나, 연구가 아직 실험실적 단계에 있는 현시점에서 신 공정의 경제성을 정확히 평가한다는 것은 매우 어렵다. 뿐만 아니라 현 주정생산업계도 단지 개략적인 주정제조원가만을 발표할 뿐 생산원가를 구성하고 있는 항목별 세부내역을 공개하고 있지 않아 신 공정의 경제성을 평가하고 또 기존 공정의 경제성과 비교하는데 어려움을 더해주고 있다. 따라서 여기서는 단지 현 증자주정생산공정을 개선된 신 무증자주정생산공정으로 대체할 경우 주정생산원가에 영향을 주게 될 변동요인을 고찰함으로써 공정의 경제성을 개괄적으로 전망해보고자 한다(표5 참조).

신 공정의 주정생산가 절하에 큰 영향을 줄 세부항목은 원료비와 utility cost임을 알 수 있다. 특히 쌀보리와 같은 고가의 전분질을 원료로 사용하는 경우에는 원료비 절감이 차지하는 효과가 매우 클 것이 예상된다. 즉 당 및 알콜수율향상에 의한 쌀보리원료의 8-9%의 절약효과와 쌀보리 중량의 20%에 해당되는 미활용 유용성분과 효모의 분리에 의한 고부가가치 상품으로의 활용에 의한 경제성 제고효과가 주정생산가 절하에 미치는 영향은 매우 클 것이다. 또한 스틱, 전력, 냉각수의 대폭적 절약으로 얻어질 utility cost의 절감과 환경처리비의 절약은 주정생산 원가절감에 크게 기여할 것으로 사료된다. 반면 타피오카, 절간고구마 등 비교적 가격이 저렴한 전분질을 원료로 사용할 경우에는 물론 당 및 알콜수율향상과 잔유물이용에 따른 원료비의 절감도 중요한 요소가 되나 utility cost와 환경처리비 절약이 주정생산가에 미치는 영향이 상대적으로 증가할 것으로 예상된다.

표 5. 무증자주정생산공정의 도입이 주정생산가에 미칠 변동요인의 분석

항 목	기존증자공정	신무증자공정	비 고
원료비			
원료전분질	기존수준	절약	• 알콜수율향상으로 원료비의 9% 절약효과
효소, 약품, 기타	·	변동없음	• 원료전분질에 함유된 잔유성분(20%)의 분리사용으로 원료비의 많은 절약가능
미당화, 발효잔유성분	미회수	회수	
Utilities			
전력	기존수준	큰 절약	• 매체교반에너지 및 분리공정용 전력추가소비되는 반면 전분액 교반, 발효, 당화, 폐액처리 소요동력의 절약으로 전체적으로 많은 절약가능
스팀	·	·	
냉각수	·	·	
증류비	·	변동없음	• 무증자임으로 스팀, 냉각수의 많은 절약가능
노동비	기존수준	변동없음	
고정비			
시설비			
(당화)	기존증자당화조	신무증자효소당화조	• 무증자효소반응기 및 잔류물과 효소분리시설 필요한 반면 기존 증자당화조는 불필요하며 험기적 처리시설의 대폭 축소가능
(발효)	기존시설	기존시설	
(분리)	없음	원심분리또는 여과기	
(증류)	기존시설	변동없음	
(환경처리)	·	·	
감가상각	기존수준	·	
세금	·	·	
보험	·	·	
유지비	·	·	
연구개발비	·	필요	• 연구개발비 필요

이와같은 여러가지 주정생산원가 절하요인이 있는 반면, 무증자효소당화 반응기와 원심분리기나 여과기등 분리공정용 장치 구입에 소요되는

시설비의 추가적 부담 그리고 신기술개발에 소요되는 연구개발비의 부담등은 주정생산원가의 절상 요소가 된다. 그러나 이런 원가절상 요소는

위에서 언급한 원가절하요소에 비하여 상대적으로 아주 적다고 생각된다.

표5에서 대비한 바와 같이 신 공정은 많은 생산 원가 절감요소를 포함하고 있어 그 경제적 전망은 매우 밝다고 판단되며, 보다 구체적인 경제성 평가와 산업화를 위한 pilot-plant 또는 semi-industrial scale 연구가 요망되고 있다.

V. 결 언

주정은 인류의 기호품으로 오랫동안 애용되어 왔으며, 주류생산기술의 발전은 발효공업기술 발전의 원동력이 되어 왔다. 주정은 이미 음료용으로의 소비를 넘어 대체에너지로서 그 사용범위가 확대되고 있다. 몇몇 국가들은 자국의 풍부한 재생자원인 당질 또는 전분질원료와 축적된 발효기술을 이용 대체에너지로서의 알코올생산에 적합한 경제적인 대량생산공정을 확립하여 산업적으로 활용하고 있으며, 주정생산기술의 여러 분야인 당화, 발효, 증류등에 걸쳐 주목할 만한 발효기술의 발전을 얻고 있다.²⁴⁻²⁵⁾

우리나라 경제는 바야흐로 국제화의 길로 접어들고 있으며 국제자유경쟁체제로의 이동은 필연적이며, 수입개방압력은 가중될 것이다. 주정산업도 예외가 될 수 없으며, 여러가지 어려운 여건에 있는 현 주정산업계가 국제적 경쟁력을 갖추기 위해서는 국제화 추세에 맞추어 기존의 주정생산체제의 면밀한 검토와 과감한 개선 내지는 새로운 생산기술의 도입을 통하여 주정생산비를 절감함으로써, 주정을 원료로 하는 주류제품의 가격인하, 품질향상, 주정원료의 이용률증대 그리고 다른 주류에 대한 가격 경제성 확보를 도모하여야 할 것이다. 뿐만 아니라 한발 더 나아가 국제경쟁력을 확보할 수 있는 우수한 주정생산기술을 개발하고, 축적된 기술력을 바탕으로 주정원료인 전분질이 풍부하고 가격이 저렴한 해외 자원국으로의 진출과 조주정의 현지생산도 고려해 볼 직하다.

지금까지 논술한 분쇄마찰매체 함유효소반응계를 이용한 전분질의 무증자 당화법과 이를 기존의 주정생산공정에 접목하여 제안한 새로운 무증자 주정생산 공정은 지금까지 외국에서도 연구된 바 없는 독특한 생산공정이라 할 수 있다. 지금까지의 연구결과를 분석하여 판단하건데, 새 공정이 포함하고 있는 많은 장점과 잠재성 때문에 산업적 활용의 가능성을 충분히 예측할 수 있다. 그러나 본 연구는 아직 기초적 개념적 단계에 있으며, 기술성과 경제성이 뒷받침되어야 하는 산업적 활용까지는 아직 해결하여야 할 많은 과제가 있다.

이와 같은 산업적 활용을 위한 개발 연구는 필자와 같은 대학연구실 단독으로 추진하기에는 벽찬 과제이며, 실제로 이 분야산업에 종사하는 생산업체의 연구 개발의 필요성에 대한 공통적 인식과, 대학과 산업계의 긴밀한 산학협동 연구, 더 나아가 정부기관의 적극적 협력에 의하여서만 가능할 것이다. 국내 주정생산업체가 갖고 있는 누습적인 보수성을 탈피하고 새로운 기술개발에 과감히 도전하는 적극적인 자세로, 본 공정에 대한 냉철한 분석·비판·평가가 이루어지길 바라며, 이를 토대로 한 과감한 연구개발투자가 이루어져 제안하는 무증자주정생산공정이 산업적으로 활용되는 날을 기대해 본다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 86~88년도 목적기초연구비로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 본 연구수행에 노고를 아끼지 않은 대학원생 박진서, 박동찬군에게도 감사의 뜻을 전합니다.

VI. 참고문헌

1. 대한주류공업협회 자료

2. Ueda, S., Y. Koba: J. Ferment. Technol., 58(3), 237(1980).
3. Matsuoka, H., Y. Koba, S. Ueda: J. Ferment. Technol., 60(6), 599(1982).
4. Park, Y. K., B.C.Rivera: Biotechnol. Bioeng. 24, 495(1982).
5. 배무, 이재문: 산업미생물학회지 11(3), 181 (1983)
6. 배무, 이재문: 산업미생물학회지 12(4), 261 (1984)
7. 이상열, 신용철, 이석희, 박성숙, 김형수, 변시명: 한국식품과학회지 16(4), 463(1984)
8. 박관화, 오병화, 이계호: 한국농화학회지 27 (1), 52(1984)
9. Fujio, Y., D. Suyanada, P.S.Attasampunna, S. Ueda: Biotechnol. Bioeng. 26, 315(1984)
10. Svendsby, O., K. Kakutani, Y. Matsumura, M. Itazuka, and T. Yamamoto: J. Ferment. Technol., 59, 485(1985)
11. 오평수, 차두중, 서항원: 산업미생물학회지 14(5), 415(1986)
12. 오성권, 권호정, 오평수: 산업미생물학회지 15(6), 408(1987)
13. 이용현: 특허공보(B₁) 88-1443호, 대한민국 특허청, 1988
14. 이용현, 조구형: 산업미생물학회지 14(1), 29(1986)
15. 이용현, 조구형: 산업미생물학회지 14(5), 399(1986)
16. 조구형, 이용현: 산업미생물학회지 14(5), 407(1986)
17. 조구형, 이상호, 이용현: 산업미생물학회지 15(3), 196(1987)
18. 이용현, 주류공업 8(1), 57(1988)
19. 이용현, 박진서: 산업미생물학회지(투고중), 1989
20. 농촌영양개선연구원, 식품성분표(제3개정판), 농촌진흥원, 1986, p13, 20
21. 이용현: 유전공학 2(4), 12(1984)
22. Maiorella, B., C.R.Wike, H.W.Blanch: Adv. in Biochem. Eng.(Fiechter, A., ed.) Springer-Verlag, Berlin, Vol 20, 43(1981)
23. Hunt, V.D.: The Gashol Handbook, Industrial press, Inc, New York, (1981)