

에너지節約型蒸溜 및 醱酵施設

1. 신 중성곡물 주정 생산공정

1-1 중성곡물주정 (NEUTRAL GRAIN ETHANOL)

곡물주정은 곡류를 원료로 발효공정을 통하여 생성시키며, 무미무취의 그리고 화학분석에 의한 다른 화합물이 원칙적으로 없는 고품질의 알콜을 만들기 위해 증류처리를 하여 만든다. 순수에탄올은 여러 등급으로 분류될 수 있으므로 적당하고 일정하게 분류하는 것은 어려운 일이다. 그 이유는 단순하고 신뢰할 수 있는 화학분석은 불가능하고 또한 사람에 의한 향의 측정은 주관적인 요소를 배제할 수 없기 때문이다. 어떤 이상한 향은 관능적으로 PPM단위에서도 쉽게 발견되어질 수 있지만, 사람마다 느끼는 정도가 다양하다.

곡물주정은 보드카, 진, 단술 등 여러종류의 알콜성음료의 원료로 쓰인다.

보드카처럼 향이 없는 제품생산에 사용되는 알콜은 아주 높은 품질의 에탄올이 필요하다. 또한 합성주 생산에 사용되는 알콜도 상당히 높은 품질의 알콜이 바람직하다. 그 이유는 알콜 본래의 이상한 향은 추가 되어진 향과 종종 구별 되어지기 때문이다.

1-2 전분생산과의 복합화

전분생산과 곡물원료로 한 알콜생산은 공정의 많은 부분이 흡사하다. 즉, 같은 원료를

사용하고, 전분질을 활용하며 부산물로 회수하기 위하여 다른 물질을 분리하는 점에서 흡사하다. 또한 대다수의 곡류에 포함되어있는 전분질의 조각은 회수가 어렵지만 에타놀 생산의 복합하는 많은 장점이 있으나 추후 검토하기로 한다.

이러한 복합화의 가능성은 지역적 환경에 따라 주의깊은 고려가 이루어져야 한다.

그리고 복합화는 새로 공장을 계획할때 뿐 아니라 현존 공장에도 건설할 수 있다.

2. 원 료

2-1 원료용 곡물

거의 모든 곡류는 곡물주정의 생산 원료로 활용할 수 있지만 전분생산의 상업적공정은 옥수수, 밀, sorghun, 쌀, 보리를 위하여 개발하여 왔다.

당밀, 사탕수수과 사탕무우의 주스, 감자, WHEY 와 SULFITE WASTE liquor 같은 다른 원료와 비교하여 곡류는 독특한 차이점이 있다.

— 곡물은 장기간 저장이 용이하고, 경제적 인 원거리 수송이 가능하여 년중 공장가동이 가능하다.

— 많은 곡물은 알콜생산을 까다롭게 하는

화합물의 함량이 적다 고품질의 곡물주정 생산에 있어서 상대적으로 에너지 저소비형 증류설비로도 만족스러운 생산이 가능하다.

- 고가의 부산물을 회수하여 폐수의 방류처리 보다 유리함이 있고 공해감소 요인이 되기도 한다.
- 곡류는 가격과 가용성에 따라 호환성을 증대시킬 수 있다.
- 전분은 열이나 amylase 를 사용하여 일차로 포도당으로 분해해야 한다.

원료의 선정은 가용성과 가격을 기준으로 하여 이루어져야 한다. 원료의 전분과 당분을 활용한 알콜생산은 다른 물질을 제거하여야 하며, 다른 물질 제거방법은 방출하여 깨끗하게 하거나, 통상적으로 사료로 쓸 수 있도록 부산물로 회수처리하는 방법이 있다. 부산물의 높은 가치는 공장의 경제성제고에 실질적인 기여를 하는 경우가 자주있다. 이때문에 원료선정시 그 부산물의 가치를 계산하여야 한다.

2-2 전분공정의 부산물인 β -Starch 활용

2-2 에탄올 생산을 위한 토대 (substrate)로서 전분생산을 복합화 하는 이유는 원전분에 보충되는 β -starch를 필요한 에탄올 양만큼 충분한 발효성 당분질을 얻을때까지 공급하기 위한 것이다. 모든 곡류의 mash와 비교하면, 이러한 토대는 85% 정도의 전분을 함유하고 극소의 부산물을 생성한다. 알콜공정에서 비발효성물질대비 다량의 발효성물질은 생산을 용이하게 하고, 열교환기와 reboiler의 오염을 줄이고, 이스트의 순환사용의 가능성을 높이며 증류후의 폐액처리를 단순하게 한다. 또한 이스트의 생육을 위하여 자양분과 함께 정화된 β -starch가 보충되어져야 한다.

이 보충작업은 재순환되는 일부의 용해질에 의하여 전분생산공정에서 만들어진 용해질을 사용하여 쉽게 이루어질 수 있다. 이 방식으로 유출물 처리비용, 화학첨가물, 에너지절약이 가능하다.

3. 원료의 전처리

3-1 세척, 분쇄 및 증자[그림1]

원료는 필수적으로 금속, 모래, 흙, 돌 등을 제거하여야 하며, 제거방법은 체, 흡출, 자석등을 사용한다. 적절한 사전세척으로 설비의 파손이나 마모율을 줄여 전 공장의 효율을 높여야 한다.

분쇄는, 초과규격의 덩어리는 체로 걸러 다시 분쇄하도록 하는 단순한 방법을 쓰고 있다. 규격내의 분말은 증자방식과 부산물회수 SYSTEM에 따라 공급한다. 적절한 효소작용을 위하여, 분말입자 크기는 전분질이 발효성당분으로 전환되는 것을 방해할 정도로 굵어서는 안된다. 한편, 고형물의 분리를 비롯한 부산물의 회수는 보다 쉽게 이루어진다.

증자를 위해서는 다양하고 많은 방법들을 사용하고 있다.

근래에는 대단위 곡물주정생산을 위한 증자방법으로 연속효소액화 방법이 주류를 이루고 있다. 연속액화방법은 두가지 주요 변형된 방법이 있다.

고온증자는 : 약 25%의 분말과물의 혼합액을 저온에서 α -AMYLASE계통의 효소로 PREGELATINE화 한후, 반응튜브안에서 140-160°C의 직접분사증기로 5-15분간 고압증자시키고, 곧 정상압력상태로 감압후 당화온도로 냉각시킨다.

저온증자는 : 변형 α -AMYLASE를 역시 활용한다. 액화후에는 MASH는 당화온도로 냉각시키며, 보리를 원료로 쓸때에는 ECONASE 효소를 사용하여 액화를 잘되게 하고 에너지의 사용을 극소화시킨다.

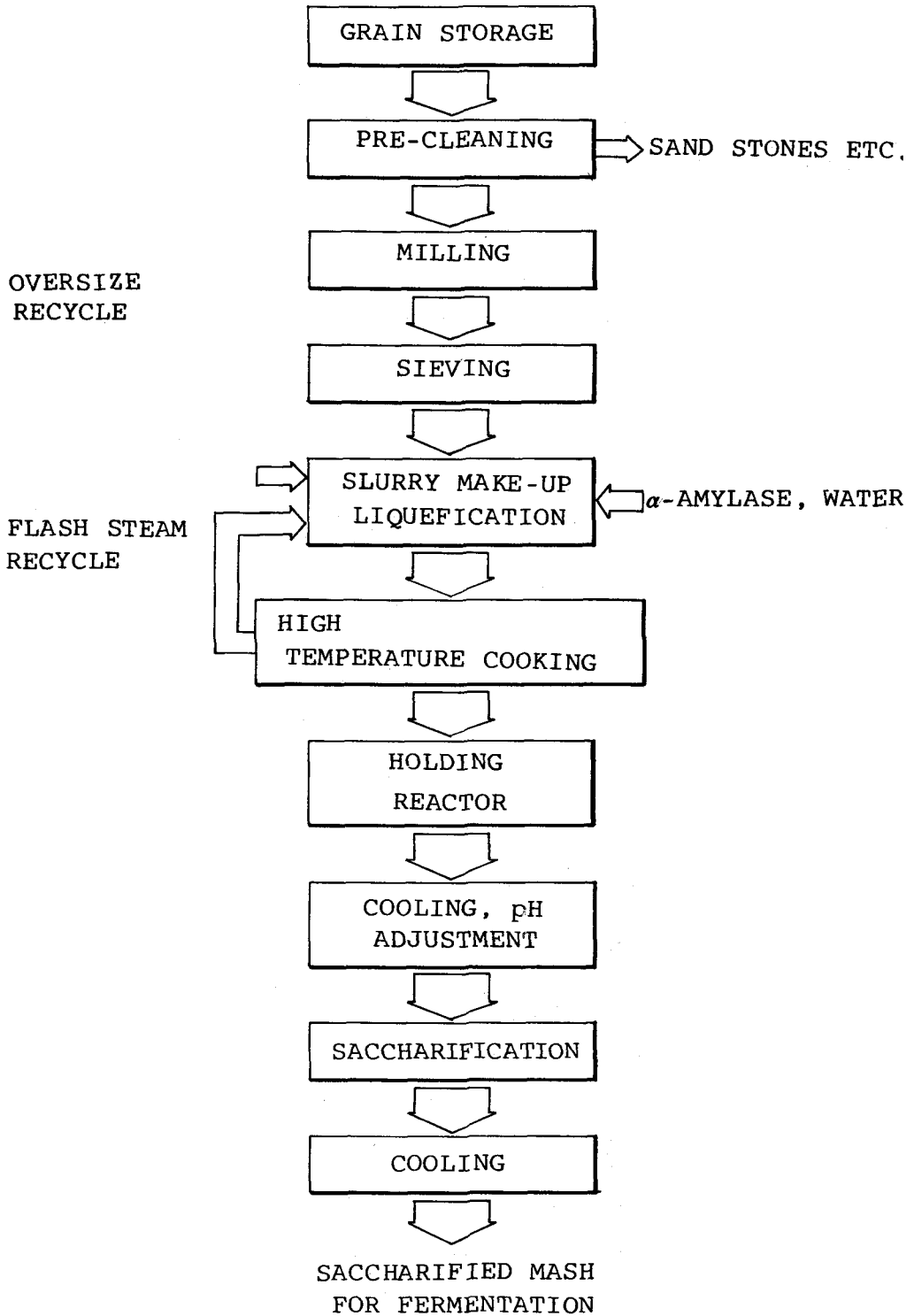
[그림2]

3-2 당화공정

발효성 당분으로의 당화는 AMYLOGLUCOSIDASE 나 혼합효소를 사용하여 일차로 별도의 당화조에서 60°C 조건에서 수시간 동안 이루어진다.

{ (그림 1)

RAW-MATERIAL PRE-HANDLING



[그림2] 고온증자와 저온증자 비교

구 분	고온증자	저온증자
투 자 비	저 저	저 저
에너지소비	보 통	저 음
Product sterility	Easy to obtain	More difficult to keep
Side reactions Effect on by-product quality	Can be substantial Decreases feeding value	Very low Very low
Steam Condensate and its energy	회수 불	회수 재사용
폐액처리	량이 많음	량이 저음

일차당화후, MASH는 냉각되어 발효조로 공급되며, 발효조 안에서 당화가 이루어지거나 저온으로 당화속도는 느려진다. 전통적인 BACH 타입의 발효공정에서는, 초기의 포도당 농도가 높아서는 이스트 작용에 해로운 영향을 줄 우려가 있다. 이스트가 포도당을 에타놀로 발효시키는 동안 AMYLDGUCOSIDASE 는 DEXTRIN에서 보다많은 포도당을 생성시키며 이때문에 전 발효기간동안 포도당은 일정한 수준을 유지시킨다.

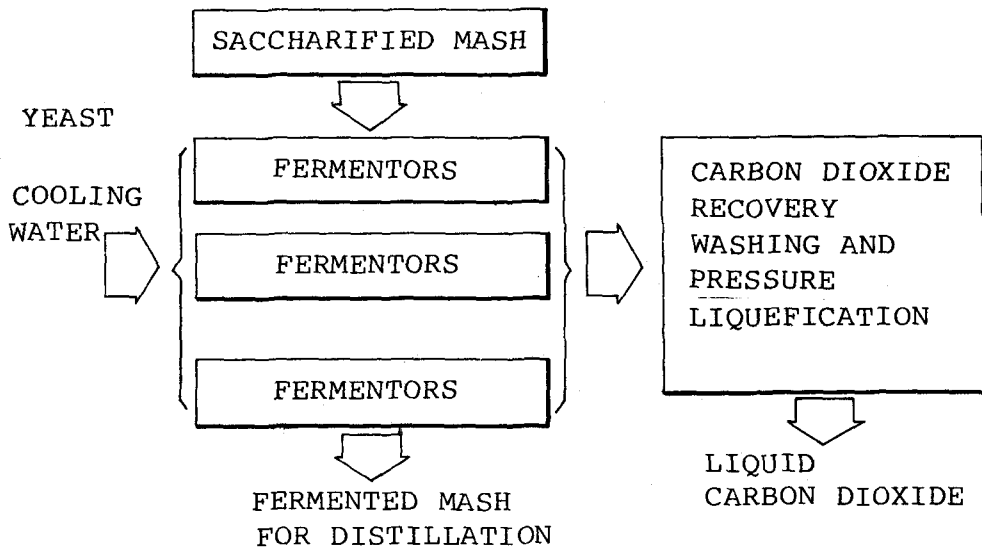
만약 발효에 앞서 전분의 완벽한 가수분해가 필요한 경우, 연속발효 공정에서는 연장되어지는 당화시간 때문에 오염의 위험이 높아지고 투자비와 에너지 사용량이 증가한다.

4. 발 효

4-1 발효공정[그림3]

발효공정에서 이스트는 ANAEROBIC 조건에

[그림3] BATCH FERMENTATION PROCESS



서 전분질에서 변화된 포도당을 에타놀과 탄산가스로 전환시킨다.

새로운 발효방법을 개발하기 위하여 다수의 연구가 행하여지고 있다. 즉, 불활성 이스트발효, FED-BATCH 발효, ZYMONONAS SP 같은 미생물 이용방법등의 연구가 그 예이다.

그러나, 대규모의 곡물주정 생산에서는 전통적인 BATCH 발효방법이 다수의 약간 변형된 BATCH 발효방법을 사용하고 있다. 당화된 MASH는 약 30%로 냉각되어 신선한 이스트를 주입하면 발효가 왕성하게 시작되니 당분함량이 줄어들고 알콜함량이 늘어나면서 속도는 줄어든다. 일반적인 상태에서는 7-8 V/W%의 알콜용액은 문제없이 얻어진다.

또한 이스트와 어느정도 존재하는 오염된 박테리아에 의하여 에타놀 이외에 다른 화합물 즉, 다른 알콜, 알레하이드, 유기산 GLYCEROL 이 동시에 생성된다.

4-2 이스트

알콜생산에 가장 폭넓게 사용하는 이스트는

SACCAROMICES CEREVISAE 의 변종으로 보통 제빵용 이스트라고 하는 것이다.

이스트는 별도의 생산설비에서 생육되어지며 생육에는 AEROBIC 조건이 필요하다. 일반적으로 종균은 ACTIVE DRY 이스트로 구매하여 일련의 이스트 발효조에서 생육한다.

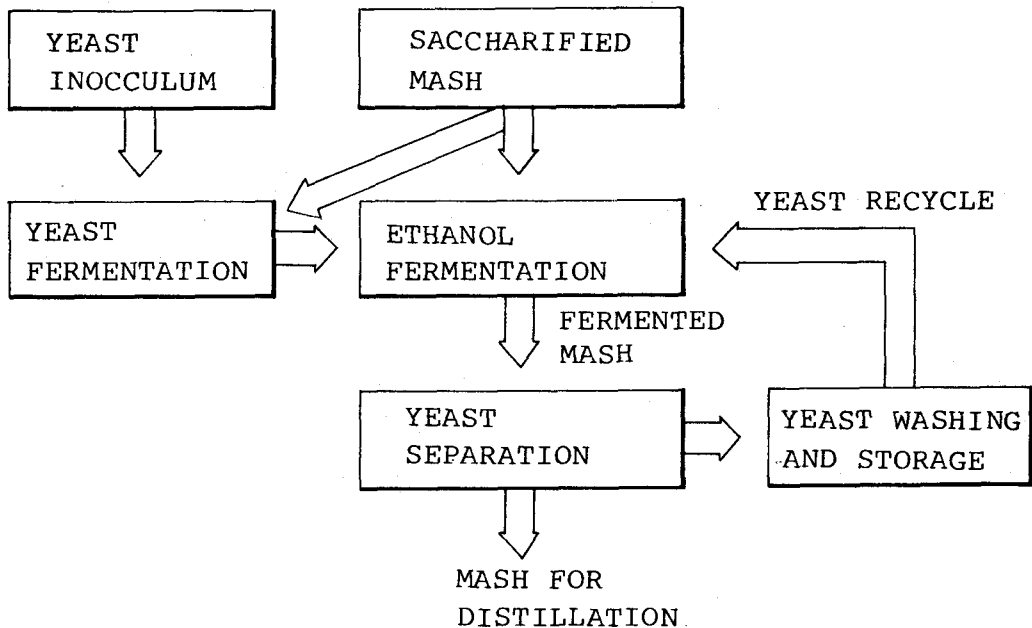
이스트의 순화사용은 새로운 신선한 이스트의 필요성을 현저하게 감소시키지만 완벽한 이스트 회수는 불가능하다. 저 PH로의 산성화로 순화되는 이스트를 박테리아 오염에서부터 소독하고 일정기간 저장할 수 있게 한다. [그림 4]

이러한 방법은 곡물원료를 쓸때는 사용할 수 없으며 단지 CLE-ANER SUBSTRATES 로만 사용할 수 있다. 다양한 이스트의 변종은 다양한 특성을 갖고 있으며, 가장 중요한 특성 중의 일부를 다음과 같이 요약할 수 있다. [그림 4]

- 높은 에탄올 수율과 낮은 부산물 수율
- 포도당, 에탄올, 삼투압력 그리고 PH의 변화에 대한 높은 내성

(그림 4)

YEAST IN FERMENTATION



- 높은 생육율과 발효율
- 높은 적정온도
- 적정 FLOCCULATION 특성

이상적인 특성은 다른 미생물의 생존 불가능한 상태에서 높은 발효율을 얻을수 있는 것이다.

이스트의 삼투압력에 대한 높은 내성은, 공정에서 소금의 집적케 하므로 정화된 폐액의 재사용을 가능케 한다.

5. 증 류

5-1일반적인 증류방법

발효과정을 거친후 MASH 나 BEER라고 불리는 알콜이 함유된 액체는 알콜의 농축과 불순물의 제거 그리고 부산물의 회수를 위하여 증류공정으로 공급되어진다.

다수의 사용 가능한 증류공정 시스템이 있으나, 저급의 에탄올을 증류하는 원리는 매우 단순하다. 즉, MASH탑내에서는 증발분에서 증발잔분을 분리하고, 다음탑인 PREDISTILLATION 탑에서 저비점화 화합물 즉, 알데하이드 등을 탑상부에서 농축하고 하부에서는 에탄올을 뽑아낸다. 정제는 RECTIFICATION 탑에서 계속 이루어져 최종적으로 농축되어진다. 물은 RECTIFICATION탑 하부에서, FUSEL OIL은 중앙부에서 에탄올은 상부에서 추출된다. 이 단순한 과정은 그림5에서 보여주고 있다. 이 시스템은 상당한 에너지를 사용하여야 하고, 또 제품의 주질도 주정으로는 대개의 국가 특히 한국에서는 사용할 수 없다. 알콜에서 메탄올을 분리하기 위하여 추가로 메탄올 분리탑을 사용한다.[그림6]

이 시스템 역시 다른 세부 주질조건을 충족시킬 정도의 주질개선을 할 수 없고 아직 고품질의 알콜생산을 할 수 없다. 이러한 기본원리는 탑의 숫자의 배열에서 광범위하게 다양화할 수 있다.

또 상이한 시스템은 상이한 에너지사용량으

로 상이한 질의 제품을 생산한다. 한편, 각 원료가 다르고 공장도 다르고 요구하는 제품의 질도 다르므로 증류시스템과 에너지 사용량과 제품질간의 간단명료한 상관관계를 제시하는 것은 불가능하다. 예로 제시한 상기의 시스템은 대다수의 원료를 사용하여 중급의 알콜을 생산할 수 있는 것으로 스팀사용량은 약 4-5kg/kg 에탄올 정도이다.

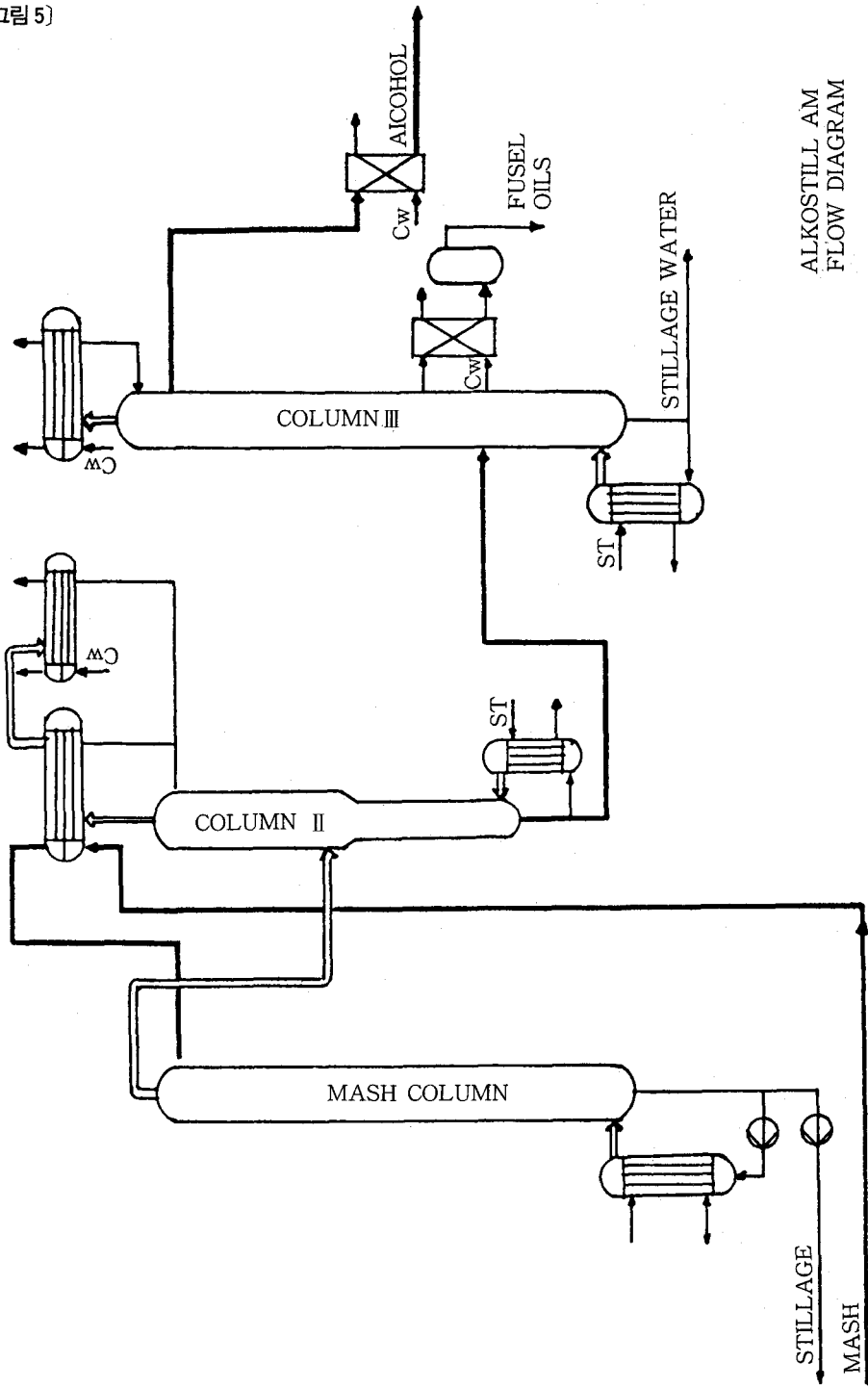
5-2 에너지절약형 증류시스템

증류공정에서의 에너지 사용량 절감에 대한 필요성으로 지난 수년간 실질적인 발전이 있었다.

일상적으로 사용하였던 증류설비의 에너지 절약방안은 :

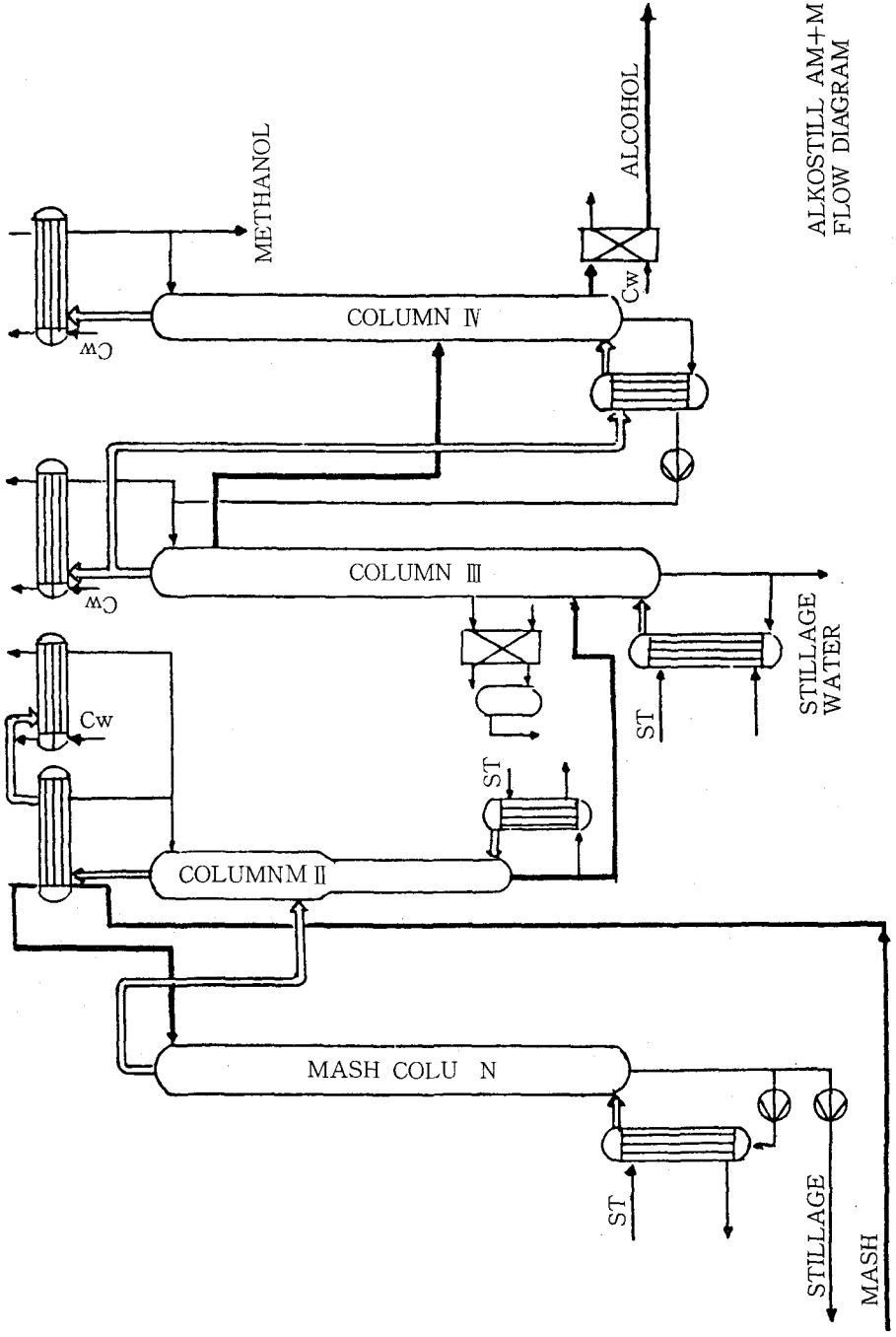
- 탑의 연결에 의한 에너지의 순환사용
각 탑에서 나오는 증기응축에너지를 다음 탑의 REBOILER에서 재사용하는 것으로 그림6에 예시되어 있다.
- 감압증류
물에 비교하여 감압에서 에탄올의 상대적 증발성은 증가하므로 시스템의 경제성을 높일 수 있다.
- 건조목적으로 공급되는 MASH 의 DRY SUBSTANCE 를 높이거나 배출처리 되는 폐수의 양을 줄이는 방법, 그림6에 예시되어 있으며 이때 간접가열방식이 활용되어진다.
- 뜨거운 응축수가 보일러로 회수되어지므로 REBOILER 에서 스팀을 사용한 간접가열 방식은 약 15% 에너지를 절감할 수 있다.[그림5과 6에 예시됨]
- 이차증기를 이용가능한 곳에 직접 사용하여 증류공정을 단순화시키는 방법, 그림 5과 6에 활용예가 있으나 이는 새로운 기술이 아니다.
- 증기를 기계적으로 재압축하여 REBOILER 가열에 사용하는 방법. 그림7에 원리가 예시됨.
- 2-3의 탑을 병렬로 연결 각탑의 상부증기

[그림 5]



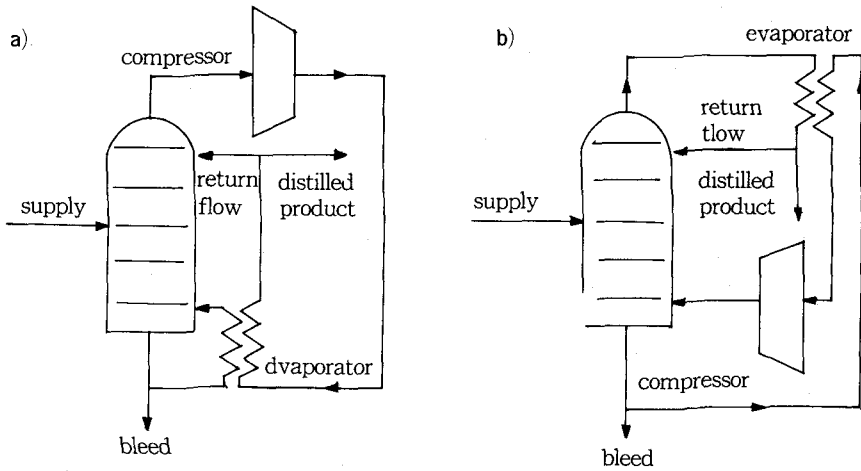
ALKSTILL AM
FLOW DIAGRAM

[그림 6]



ALKSTILL AM+M
FLOW DIAGRAM

[그림 7]



Thermal compression

로 다음탑의 RE-BOILER를 가열하는 간접 가열방식. 각탑의 운전압력을 상이하게 하여 많은 새롭고 다양한 에너지절약의 가능성을 갖게 한다. 이 기술을 이용한 시스템의 윤곽을 그림8과 예시함.

고품질의 알콜생산에서는 상기의 기술들을 사용할 때 적절하게 응용하지 않으면 실패를 초래한다. 통상적으로 올바른 응용 방안은 실제의 경험에 의해서만 얻어진다. 이론적수단으로는 냄새와 맛을 내는 물질을 찾아낼수는 없기 때문이다.

6. 부산물

1. 탄산가스

탄산가스는 발효과정에서 회수되어지고 감압에서 액화된다. 이 과정에서 탄산가스는 일차로 에탄올을 물로 세척하고 잔존불순물은 PERMANGANATE / SULPHURIC ACID 로 세척 제거된다. 탄산가스 액화는 원칙적으로

공기가 없는 상태에서 압축된다.

전형적인 탄산가스회수는 이론적으로 70%의 범위내에서 이루어진다. 그러나 이것은 발효공정설계에 의존되어지는 것임을 다시 강조하는 바다.

탄산가스는 청량음료산업과 맥주공장에서 광범위하게 사용되며, 발효탄산가스는 순도로 인하여 환영되어진다.

7. 결 론

이상 최근 추정 생산공정 전반에 대하여 간략하게 서술하면 특히 증류 공정에서의 에너지절약형 시스템을 도면으로 비교적 상세하게 소개 하였으며, 증류 및 발효공정에서 대부분의 에너지가 소비됨을 주지하시고 에너지절약형 시설로의 계획에 조금이라도 참고가 되었으면 하는 바입니다.

(신진에너지절약 기술자료집, 에너지 관리공단 1988)