

序 論

『生命工學을 통한 代贖 에너지로서의 에타놀生産과 活用方案』



睦 榮 一 (工博·MBA)
(亞洲大學校 教授)
(韓國生物工學會 會長)

1970년대의 石油危機는 각종 枯渴性 資源의 심각한 制約性을 인류에게 인식시키는데 성공하였고, 도처에 다량으로 존재하는 非枯渴性 資源, 그 중에도 특히 바이오매스자원의 채중에 착목하게 하였다. 지구상에 존재하는 바이오매스 총량은 약 2 조(2×10^{12}) 톤으로 추정되며, 이 물량의 약 10분의 1 즉 2 천억톤이 매년 새롭게 생산되고 있다. 따라서 바이오매스는 석탄이나 천연가스, 오일셰일, 오일샌드 같은 통상의 石油代贖資源과는 본질적으로 다른 再生可能한 에너지源인 것이다. 그림1에서 보는바와 같이 식물이 光에너지를 이용한 光合成에 의하여 태양에너지를 축적하여 생산되는 것이며 이를 에너지원으로 쓸때 바이오매스 에너지라고 칭하고 있다. 바이오매스는 여러 과정을 거쳐 각종 燃料와 原料 또는 食糧으로 변환될 수 있다.

좀 더 구체적으로 바이오매스는 陸上植物, 海洋바이오매스, 농산물 이외의 산업폐기물, 농산폐기물을 포함하며, 특히 육상식물의 이용은 알콜醱酵로써 벼, 보리, 강냉이 같은 곡물은 물론 고구마, 사탕수수, 카사바, 만쥬르카(아열대성 감자) 같은 것을 원료로 하며, 브라질의 경우는 사탕수수를 다량 재배하여 알콜생산을 하고 있다.

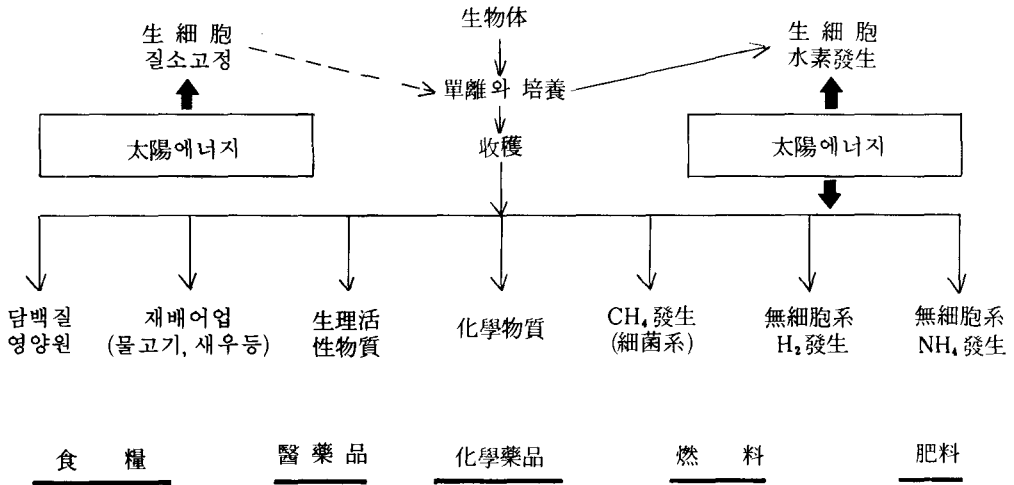
I. 바이오매스의 이용

이와같이 바이오매스는 에너지源, 식량자원, 원료(Feedstock)로 이용되고 있고 특히 에너지源으로서 큰 기대를 가지고 있다. 바이오매스를 자원으로 이용하기 위하여서는 생명공학(Biotechnology)을 중심으로 하는 바이오매스 變換利用技術의 開發과 종합적인 自然生態系의 調和에 입각한 새로운 利用시스템의 확립

目 次

序 論

- I. 바이오매스의 이용
- II. 우리나라 알콜 醱酵工業
- III. 알콜 醱酵法
- IV. 알콜生産과 에너지收支
- V. 에너지 알콜의 未來



〈그림 1〉

이 필요하다. 바이오텍(생명공학) 측면에서 보면, 첫째 세포융합에 의한 잡종식물의 육성과 식물의 유전자조작을 통한 우량품종의 육성, 둘째 바이오매스 이용시스템과 바이오매스 변환이용기술의 발전에 초점을 두고 이 문제를 다루어야 한다고 보겠다.

바이오매스로부터 에너지를 취득하는 방법으로는 알콜醱酵, 메탄醱酵, 아세톤·부타놀醱酵, 연소, 乾留 등을 생각할 수가 있다. 그 중에서 에너지貯藏物質인 糖類와 澱粉 등의 炭水化合物을 이용하여 알콜을 생산하는 것이 가장 유효한 방법으로 알려져 있고, 농산물 자원이 풍부한 브라질이나 미국 같은 나라에서는 液体燃料代替 또는 혼합용 알콜이 발효법으로 생산되어, 알콜, 가스홀(gasohol), 디조홀(Diesohol)이 내연기관연료로 사용되게 되었다.

특히 사탕수수의 생산고가 세계제일인 브라질에서는 사탕수수 착즙이나 당밀로부터 연 4~500만킬로리터의 공업용 알콜을 생산하여 자동차연료로 사용하고 있다. 미국에서는 공업용알콜을 주로 에틸린으로부터 합성하여 생산하였으나, 1960년대부터는 전생산량의 1/5 정도를 곡류로부터 발효법을 써서 생산하고 있

었고, 석유위기 이후에는 그 수치가 급증하고 있다. 동남아제국에 있어서는 당밀이나 카사바를 그대로 수출하고 있었으나, 최근 상품가치를 높이기 위한 노력으로 알콜발효공업이 시작되게 되었다.

이와같이 세계각지에서 有限한 化石에너지인 석유로부터 “無限”한 태양에너지에 의존하는 바이오매스로부터의 알콜로의 脫皮가 착실히 진행되고 있다.

II. 우리나라 알콜醱酵工業

우리나라 알콜발효공업은 주로 釀造를 위한 소주제조업으로부터 발전되어 왔다. 국내 소주양조기록은 13세기경 고려말기 원나라로부터 소주제조법이 소개된 이래, 가내공업적인 소규모 형태로 전승되어 오다가, 20세기초 한일합방과 함께 주세령이 공포되면서 본격적인 주정공업이 시작되었는데, 이는 일제의 전쟁수행을 위한 液体燃料 확보책으로 신의주에는 압록강의 풍부한 식물자원을 원료로 한 무수주정 생산공장이 설립되어 1940년대에 가동되었고, 1944년에는 제주도에서 고구마를 원료로 하는 아

세톤·부타놀·에탄올 공장이 가동됨으로서 근대적인 알콜발효공업의 기반이 세워졌다.

8. 15광복과 6. 25동란을 거쳐 점차 경제가 안정되면서 주로 소주음료의 수요가 증가하고 주세법 양곡관리법등 관련법규가 정비되면서 1952년에는 당밀이 수입됨으로서 우리나라 주정공업은 급속히 성장하게 되었다. 1964년에는 전국의 주정공장이 24개사가 되었고 1966년 생산량도 16만DM이 되었다.

한편 원료사정을 보면 5. 16이후 주정원료는 국산화정책으로 농민소득을 위한 고구마로 완전대체함과 동시에 일부분 곡류에 의존하던 증류식소주는 사라지고 주정을 희석한 희석소주가 등장하여 주정공업은 대형화가 실현되었다. 1976년경에는 소규모공장이 도태되고 1일 생산능력 100DM이 넘는 주정공장이 전국적으로 14개사에 이르게 되고 생산량은 연간 약 60만 DM이 되었다. 주정공장이 대형화되면서 자연히 폐수도 대량배출되어 환경오염문제가 대두되어 당밀폐수의 공해처리의 어려움으로 인하여 1982년 당밀수입이 금지되고, 대신 전분함량이 높은 동남아산 타피오카(카사바)가 당밀을 대체하게 되었다. 그간 정부의 원료국산화 정책으로 생산되던 고구마는 농민들의 보다 높은 수익성의 특용작물재배로 인하여 그 수량이 격감되고 1984년 국세청은 남아도는 쌀보리로 주정원료를 대체지정하게 되어 현재의 주정원료는 고구마, 쌀보리, 카사바, 조주정 등이 주종을 이루게 되었다.

Ⅲ. 알콜醱酵法

발효법에 의한 알콜생산은 대상 탄화수소의 종류에 따라서 3종류로 대별하고 있다. 그것은 糖質原料, 澱粉原料, 纖維質原料이다. 각 원료를 사용하여 알콜발효할때의 여러 단계와 발효조건, 장치, 주요원재료소요원 단위등은

여러 문헌에 상세히 기술되어 있다. 여기서는 최근 알콜 발효에서 특히 흥미있는 技術上의 문제를 몇개 들어 논의하고자 한다.

●連續醱酵

사탕수수착즙이나 당밀로부터의 알콜발효에 있어서 종래에는 回分式알콜발효에 의하여 공업용알콜을 생산하였다. 최근 논의되고 있는 효모균체의 再循環과 농도가 높은 현탁액을 사용한 連續醱酵는 알콜生産性を 향상하는 발효조의 스케일·다운(scale-down)을 가능하게 하여 에너지節約으로 연결될 수 있다. 그러나 현재로는 발효조를 무균상태로 보전할 수 있는 가 없는가의 불확실성 때문에 발효조의 淨化, 살균의 목적을 위하여 예비조를 설치하지 않으면 안되기 때문에, 연속발효의 利點의 하나인 投資額減少가 이루어지지 않고 있다. 또한 무균적환경을 장기간 유지하자면 기술한 바와 같이 회분발효의 경우보다 더 엄밀한 발효배지의 중기살균이 요구되어 에너지절약의 견지에서도 마이너스 효과를 가져오게 된다. 이러한 기술적 애로사항을 극복하기 위하여 많은 연구가 계속 진행되고 있는 것은 본질적으로 연속발효가 회분발효보다 에너지절약 등 많은 이점을 갖고 있기 때문이다.

최근에 시도된 減壓알콜醱酵는 발효가 진행되는 동안 減壓에 의하여 알콜을 제거하는 방법이다. 이것은 알콜에 의한 효모의 醱酵能阻害를 제거함으로써 효모의 알콜생산성을 높여 준다. 이 발효법과 효모균체의 再循環을 합친 실험실적 연속발효가 최근 보고되고 있다.

●固相醱酵·효모균체固定化

사탕수수나 사탕무우를 착즙하지 않고 그대로 알콜발효하는 시도가 최근 보고되었다. 이 고상발효(Solid Phase Fermentation)는 착즙

후 발효하는 경우보다 효모생육에 필요한 영양양자가 더 풍부하여 발효성적이 더 높아지는 것으로 알려져 있다. 또한 塔式컬럼에 충전시킨 固定化효모균체를 이용하여 증식을 시킴이 없이 글루코스를 알콜발효하는 신속한 공정도 보고되었다.

●지모모나스屬細菌

지모모나스(Zymomonas)속세균에 의한 알콜발효는 최근 크게 주목되고 있다. 이 세균은 효모에 비해 알콜생성속도가 매우 빠르고(3~4배) 효모보다 높은 알콜耐性を 가지고 있기 때문이다. 유전자 조작에 의해서 아밀레이즈나 셀룰레이즈정도의 活性을 가진 고온성 지모모나스 세균의 출현도 가능한 것으로 보인다.

●셀룰로즈 分解

미국 육균의 내틱(Natik)연구소에서 육성한 *Trichoderma reesei*의 變異株는 강력한 다양성 셀룰레이즈를 생성하여 셀룰로즈를 쉽게 분해한다. 그러나 펄프, 펄프폐액, 신문지같은 리그노셀룰로즈의 경우 분해가 곤란하다. 이러한 물질을 불밀로 50 μ m 정도로 분쇄하면 셀룰레이즈를 쉽게 분해하는 것으로 보고되어 있다. 한편 리그노셀룰로즈의 리그닌을 부타놀에 용해시켜 분리함으로써 섬유소만을 처리할 수도 있다. 그러나 전자의 경우 불밀조작에 소요되는 동력과 후자의 부타놀용액으로부터 리그닌의 분리가 문제가 되고 있다. 리그노셀룰로즈에 고압포화수증기를 가했다가 급속히 상압으로 돌려보냄으로써 섬유질의 가수분해를 용이하게 하는 방법도 시도되고 있다.

●液·液抽出

알콜생산공정에 있어서 全生産에너지의 50~60%가 증류에 소비되고 있다. 따라서 제조프

로세스에서의 에너지절약에 대한 연구가 많다. 종래의 飲料用 알콜생산에서는 순수한 알콜을 취득하는 것이 목적으로 되어있기 때문에 증류 에너지에는 큰 염려를 하지 않았던 것이 사실이다. 내연기관연료용으로 가소홀(Gasohol)이나 디조홀(Diesohol)을 생산하는 경우 물을 완전히 제거하지 않아도 되기 때문에(알콜과 물의 상용성, 가솔린이나 디이즐과 알콜의 상용성), 어느정도 증류를 한 후 가솔린이나 디이즐을 이용하여 알콜을 추출해 내고 그 용액을 그대로 내연기관에 사용하는 방안도 생각할 수 있다. 이를 달성하는 액·액추출법과 약간의 물을 포함한 가소홀, 디조홀 이용에 대해서도 연구가 진행되고 있다.

●膜分離(Membrane Separation)

알콜濃縮을 위한 여러 시도중에는 멤브레인을 이용한 물/알콜분리도 포함된다. 불화물로 된 多孔質疎水分膜을 이용하여 92.7%의 알콜을 얻은 일본의 보고도 있다.

IV. 알콜生産과 에너지收支

주류공업에 있어서 알콜생산은 어디까지나 商品價値가 높은 알콜음료를 생산하는 것이 목적이기 때문에 제조공정에서의 에너지 收支는 크게 중시되지 않았다. 일반적으로 주류공업에서는 알콜생산에 필요한 에너지는 제품알콜의 연소에너지의 1.5배에서 2.5배에 이른다. 바이오매스로부터 에너지生産을 목적으로 하는 알콜生産에서는 가장 적은 에너지를 써서 가장 많은 알콜을 생산하는 것이 목표가 될 것이다.

전분이나 섬유소 등을 醱酵性糖으로 바꾸는 전처리 과정을 생각해 보면 이 과정에 소요되는 에너지량은, 예컨대, 사탕수수-카사바-신문지-목재의 순서로 크고 어느 경우나 다 출력에너지 보다 입력에너지가 더 클 것이다.

현재 가장 경제성이 높은 것으로 알려진 사탕수수의 경우, 사탕수수 착즙으로부터 시작한다고 가장 앞선 기술을 적용한다 하여도 입력에너지와 출력에너지의 비가 1보다 크게 산된다.

전절에 논의된 여러 연구개발의 노력은 이 입력에너지 / 출력에너지의 비를 점점 낮추는데 기여하고 있는 것이다.

반면, 브라질의 경우와 같이 석유 수입으로 국가경제가 적자가 되는것을 고민하는 나라는 쯤 국산 농산물로 알콜을 생산하고 국가경제기반을 안정화시키는 것이 중요하기 때문에 입력에너지 / 출력에너지의 비가 1이 안 되어도 알콜생산을 하는 경우이다. 또한 브라질의 경우는 제조공정의 폐기물인 폐가스가 알콜공장의 全熱源, 全電力源이 되기 때문에 경제성이 마이너스에서 플러스로 돌아서는 경우이기도 하다.

V. 에너지알콜의 未來

에너지분야에서 알콜의 미래에 대 하여서는 미국 씨이투스(Cetus)사의 豫測을 한번 참고해 보는것이 뜻이 있다고 본다. 에너지용 에타놀의 생산량은 2000년 시점에서, 브라질의 30억갤런(1,134만kl), 기타 제국에서 20억갤런(756만kl), 도합 50억갤런으로 보고 있다. 이 수량은 1978년 세계전체(공산권 제외)의 개술린 생산량 7억6500만kl의 2.5%를 점하는 정도에 불과하다.

전술한바와 같이 브라질의 경우를 제외하고는 에타놀產出에너지와 投入에너지의 비가 1以下에 있기 때문에, 현재로는 에타놀 에너지源으로써 우월한 위치에 있지 않은 것은 사실이다. 그러나 금후, 에타놀生産프로세스 중에 가장 에너지소비가 큰 蒸溜工程이 현재의 증

류공정으로부터 膜分離法으로 바뀌게 되고, 동시에 뉴·바이오텍(New Biotechnology)에 의하여 비용삭감이 진전되면, 브라질 이외의 국가에서도 에너지용에타놀의 生産이 가능하게 될 것이라고 본다. 여기서 뉴·바이오텍이라 함은 유전자조작, 세포융합기술, 바이오리액터 기술, 세포대량배양기술 등 DNA연구의 진전에 따라 생긴 주요기술들을 말한다. 여기서 원료로는 사탕수수와 같은 에너지作物들을 가정하고 있다.

한편 농산물이외의 산업폐기물·농업폐기물을 원료로 하는 에너지용 에타놀생산가능성은, 폐기물을 원료로 쓰는 경우의 보틀액解消를 위하여서는 廢棄物收集시스템의 개발과 前処理工程(섬유소分解, 不純物除去등)의 개발이 요구된다. 여기서 전처리공정의 개발은 뉴·바이오텍의 응용으로 가능하나 개발기간으로 5~10년 정도는 필요하지 않나 생각한다. 구체적으로, 전처리공정에 사용되는 微生物의 스크리닝과 유전정보의 연구에 3년간, 새로 개발된 미생물을 사용하는 엔지니어링技術 개발에 3년간, 폐기물수집시스템을 구축하는데 3년간 정도가 소비될 것으로 추측된다.

따라서 폐기물을 원료로 하는 에너지용알콜 생산은 개발이 순조롭게 진행된다고 볼때 생산시스템은 1995년경에 가동된다고 볼 수 있을 것이다. 2000년 시점에서 년 30만kl 정도의 공장이 세계에 30기 정도 가동된다고 보면 세계전체는 900만kl의 생산량이 될 것이다. 이 시장은 약 57억불이 될것이라고 본다. 따라서 전술한 농산물로부터의 생산량과 합치면 에너지용에타놀의 시장규모는 177억불 정도로 된다고 보면 크게 틀리지 않을 것이다. 이 시점에서 에타놀產出에너지와 投入에너지와의 비는 1보다 훨씬 크고 다른 에너지와의 상대적 위치도 많이 향상되어 있을 것이다.