

# 특 집

---

## 효모의 연구동향

효모를 이용한 알콜발효의 연구 동향	고 의 찬
빵 酵母의 生産과 展望	최 용 남
효모의 연구동향 : Yeast Extract의 생산	박 장 열
효모를 이용한 재조합 단백질의 생산	이 상 기
<i>Schizosaccharomyces pombe</i> 의 연구 동향	김 형 배
효모와 정밀화학	서영배 · 고영희

---

# 효모를 이용한 알콜발효의 연구 동향



두산기술원 고 의 찬

역사적으로 알콜은 인류에게 식품으로써 뿐만 아니라 근래에는 미래의 무공해 대체 에너지로써 많은 기대를 모으고 있다. 식품의 용도로써는 단연 주류를 꼽게 되는데 이 목적으로는 알콜의 발효수율을 올리는 것만이 아니라 소비자의 기호에 맞는 향과 맛 등이 중요한 인자로 작용하게 되어 균주 조작에 한계가 있다고 보겠다. 반면 대체 에너지로써의 알콜은 가능한 수단 방법을 다 동원해서 값싸게, 수율높게만 개선하면 되기 때문에 최근 인구에 회자되고 있는 각종 생명공학기법이 광범위하게 사용될 수 있다고 본다. 목적에 따라서 원료는 물론 발효 균주도 다양하게 사용되어 지는데 다음에서 용도별로 대표적인 예를 살펴보겠다.

## 1. 주류 분야

좀 더 소비자의 취향을 색다르게 만족시키고자 하는 시도가 특히 일본에서 많이 이루어지고 있다. 일본 협화발효에서는 청주효모와 포도주 효모를 세포 융합시켜 flavor가 뛰어난 새로운 청주를 개발하여 시판하고 있다. 이와 비슷한 연구들이 최근 삿포르 맥주 연구소에서도 진행되고 있는데 이들은 공정개선을 위하여 고정화 효모를 사용하였고 이때 정상 맥주와 flavor가 달라지는 것을 방지하기 위하여 알콜발효중 succinic acid와 methyl citric acid pathway와의 관계를 연구하고 있다. 또한 협화발효에서는 mutation 등을 통해 좀 더 flavor가 좋은 효모 즉, active amylocohol과 normal propanol이 고농

도로 나오는 균주를 개발하였다.

이외에도 발효도중 야생효모의 오염을 막기 위한 killer yeast의 도입, 여과시 수율을 높이기 위한 flocculation에 관련 유전자 조작 연구 등이 시도되고 있다.

## 2. 대체에너지 분야

여기서는 크게 2가지 시도, 즉, 기질의 확대를 위한 균주 개량, 효모의 고정화등으로 나누어 살펴보겠다.

### 2.1 균주 개량

알콜 발효의 전단계인 전분의 액화, 당화는 일반적으로 에너지와 시간이 많이 필요한 bottle neck으로 간주되고 있다. 이러한 bottle neck의 해소책으로  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase 유전자를 효모에 cloning하는 연구가 많이 시도되어 왔는데 가장 많이 시도되었던 예가 *S. diastaticus*의 glucoamylase gene을 *S. cerevisiae*에 cloning하는 것으로 한국 유전공학연구소, 서울대, 두산기술원 등 국내 연구기관과 미국의 Biotechnology 등에서 수행되었다.

그러나 이때 glucoamylase의 activity가 너무 낮아 당화공정을 대신하기에는 아직도 거리가 멀다. 이후 좀더 glucoamylase의 activity를 높이기 위한 방법으로 Cetus에서는 곰팡이의 glucoamylase gene을 *S. cerevisiae*에, Biosource Genetics에서는 rice  $\alpha$ -amylase gene에 *Pichia pastoris* alcohol oxidase gene의 promotor를 붙여 *S. cerevisiae*에서 발현 시

키는 시도 등이 이루어졌으나 아직 산업화 했다는 이야기는 없다.

자연계에 값싸고 풍부하게 널려있는 biomass를 이용하려는 시도도 이루어지고 있는데 cellulase를 *S. cerevisiae*나 *Zymomonas*에 cloning하는 것으로 아직 큰 성과는 보이지 않고 있다. 한편에서는 xylose를 발효할 수 있는 효모를 이용하는 방안도 강구되고 있다. 이때 문제점은 알콜발효력이 낮다는 것인데 이를 극복하기 위한 시도로 glucose와 xylose를 혼합기질로 *S. cerevisiae*와 *Pichia stipitis*, *Candida shehatae*를 함께 co-culture하고 있으며 이때 또 하나 장점은 glucose catabolite repression을 막을 수 있다는 것이다.

균주개량과 직접적으로 관련은 없지만 알콜에 의한 feed back inhibition을 막을 수 있는 재미있는 시도가 이루어지고 있다. 현재까지 알콜은 발효시 효모의 성장을 억제하는 것으로 알려지고 있는데 1981년에 Novak 등은 알콜이 세포내에 축적되지 않는다고 했으며 1983년에 Loureiro 등에 의하여 확인된 바 있다.

따라서 알콜이 아닌 발효산물 즉, medium-chain-length fatty acid가 주요인인 것으로 추측되고 있으며 실제로 Lafon-Lafourcade 등은 octanoic acid와 decanoic acid가 효모의 발효를 억제시킴을 발견했다.

이 fatty acid들은 효모의 membrane에서 maltose transport을 방해하고 알콜에 의해 아미노산이 세포에서 새나오도록 자극하기도 한다. 따라서 이러한 fatty acid들의 역할을 명확히 규명하려는 생화학적인 연구들이 시도되고 있다.

## 2.2 효모의 고정화

연속배양을 통해 수율을 올리기 위한 시도들이 효모 고정화를 통해 시도되고 있다. 일반적으로 흡착법과 포괄법 등이 쓰이는데 이중에서도 균체를 다량으로 고정시킬 수 있는 포괄법이 많이 사용된다. 포괄법의 담체로써는 Ca-alginate, carrageenan, gelatin, chitosan, polyacrylamide gel, carboxy methyl cellulose 등이 쓰이는데 최근 Debarata 등은 벗짚 등을 이용한 예도 있다.

그러나 결론적으로 바람직한 담체로써는 기계적 강도가 우수하여 오랫동안 사용 가능하고 많은 세포를 함유할 수 있으며 유출세포수가 적고, 물질의 이동이 좋아야 하겠다.

이상의 두가지 측면에서 알콜 발효의 연구방향을 두서없이 적어 보았으나 총체적으로 볼 때 아직은 에너지 위기를 못느끼고 있다는 점에서 대체에너지로서의 알콜에 대한 연구가 활성화되지 못하고 있다. 그러나 먼 인류의 미래를 내다본다고 했을 때는 필히 준비하고 있어야 할 주요 분야가 아닌가 한다.