

生物工學

66

미래 宇宙開拓의 다림돌 役割

99

홍 주 안

〈캘리포니아 일바인대〉

최근에 상온 초전도체의 발견. 저온핵융합등의 가능성들이 논란을 일으키며 세상사람의 이목을 끌고 있는 가운데, 우리는 미래에 동력자원만은 걱정하지 않아도 될것 같은 낙관을 해보기도 한다. 하지만, 약 10년전에 우리는 생물공학이 동력자원은 물론 우리의 건강, 의식주 모든 것을 보장하여 줄 수 있다는 우리나라의 모 일간지의 특집 기사를 기억한다. 땅위의 줄기예선 토마토가 주렁주렁 열리면서 땅밑의 뿌리예선 감자가 생기는 기이한 식물. 코끼리 보다 큰 송아지가 나오는 세상이 곧 오는 줄로 알았다. 그러나 그런 일은 아직 일어나질 않고 있다.

우리는 심심치 않게 신문지상이나 TV에서 우리의 일상생활을 바꾸어 놓을 듯한 생물공학의 획기적인 대 발견에 종종 접하게 되곤 한다. 이럴때마다 이 분야에 종사하지 않는 우리는 소외감을 느끼면서 동시에 우리의 다가올 세상이 무척 좋아지리라는 낙관적인 생각을 하게 된다. 반면, 몇년후 별 볼일 없는 결과로 끝나면 우리는 기억속에서 잊어버리는 관용을 베푼다.

미래의 과학기술의 진보를 추측하는데는 두 가지 방법이 있다고 한다. 첫째로, 먼 훗날을 추측하는데 허무맹랑한 환상적인 공상영화, 공상소설, 공상만화등의 매개수단을 이용하는 방법이 있다고 한다. 둘째로, 5년내지 10년 앞을 내다 보려면, 현재가 과거보다 얼마나 진보하였는가를 보아, 같은 정도의 추세로 변화가 있으리라 예상하고 5~10년 후를 보는 근시적인 방법이 있다.

전자는 많은 사람들을 꿈속에서 헤매게하면서 막연한 희망에 들떠있게 한다. 때로는 10~20년전 공상영화에서 나온 장면이 현재에 실현되고 있어 깜짝 놀라기도 한다. 후자는 그 방면의 전문가들이 각종 전문용어를 써가며 보통사람들의 하늘을 찌를듯한 기대를 충만시키진 못하나 과학적인 방법이라고 믿고 있다.

이글의 목적은 첫째, 생물공학의 경이적 가능성을 강조하기 위하여 저명한 물리학자인 Freeman Dyson이 고안한 공상우주선 "아스트로 치킨(Astrochicken)"을 소개하고, 둘째, 현재의 생물공학분야에서 연구하고 있는 제목들을 어

렴פות이나마 이해하고, 가까운 장래에 무엇을 할 수 있는가를 예측하는데 도움을 주기 위해 이스트에 의한 메탄올의 제조공정을 유전공학과의 연결을 지으며 살펴보기 위함이다.

공상우주선 “아스트로 치킨”

장거리 우주여행에는 모든 성능을 다 갖추고 있으면서도 “작고 빠르” 우주선이 좋다는 것을 알고 있는 우리는 미래 우주여행에 큰 역할을 할 “아스트로 치킨”을 생각하여 보자. “아스트로 치킨”의 무게는 지구궤도를 떠날 당시 1kg 정도 밖에 안되어 천왕성까지 도달하는데 현재 1톤 정도의 “보이저”호가 9년 걸리는 시간을 2년으로 단축할 수 있다.

무게가 “보이저”호 보다 1,000분의 1 정도여서 모든 부속품의 성능이 훨씬 효율적이며 짜임새있게 연결되어 있어야 한다. 아마, 현대의 과학기술의 진보만을 전제로 하는 사람에게는 허무맹랑한 꿈일지는 몰라도 위로는 토마토 땅 밑에선 감자가 주렁주렁 달리는 기이식물에 관한 신문 기사를 보고 흥분하며 미래를 본 사람에게는 그리 허황된 소리만은 아닐 것이다. 그럼, 좀더 구체적으로 성공적인 임무수행을 위한 “아스트로 치킨” 부속품을 하나하나 뜯어 보기로 하자.

“아스트로 치킨”을 고안하기 위하여 세가지의 첨단과학기술이 필요하다. 이 세가지의 과학기술은 현재로선 걸음마 단계에 있지만 장래에는 일취월장의 진보를 보아 구상, 도안에 쓰여질 것이다. 이들은 유전자공학(Genetic Engineering), 인공지능(Artificial Intelligence), 그리고 태양전기 분사기술(Solar-Electric Propulsion Technology)이다.

유전자 공학은 그중 가장 큰 역할을 담당하

이 글은 재미과학회보 제17권 제6호에서 전제한 것이다. ……………〈편집자 註〉

여 천배나 큰 보이저호의 성능을 다할 수 있는 조그만 “아스트로 치킨”을 고안하는데 쓰여질 것이다. 이 공상 우주선은 지구상에서 완성품을 제조하여 쏘아 올리는 것이 아니라, 여행도중 성장하면서 완성될 씨앗을 쏘아 올리는 것이다.

우주선의 몸체는 식품, 동물, 그리고 전자부분으로 나누어지며, 모든 부분의 청사진은 핵산(DNA)에 저장되어 있는 생명을 가진 씨앗이다. 햇빛을 에너지원으로 이용하여 병아리가 클 수 있게끔하는 생명활동에 필요한 요소는 식물 부분이 담당하며, 항로를 재고 조정하는 각종 탐지, 궤도수정은 동물부분의 육감, 신경, 근육계통이 담당하게 된다.

전자부분은 지구로부터 오는 명령 전달을 받고 여행중 관측한 사항들을 지구로 송신하는 역할을 담당한다. 일사불란한 동물, 전자부분의 상호작용은 인공지능을 통하여 이루어진다. “아스트로 치킨”의 두뇌는 새의 두뇌보다 작아 1그램에도 미치지 못하지만, 정보수집처리 기능은 하기에 충분한 크기이다.

인공지능은 뇌와 같은 작용을 하여 동물의 신경부분과 전자부분을 통제하게 된다. 그리하여 인공지능의 중계로 신경계통, 전자계통간의 정보교환이 이루어진다. 세번째로 없어서는 안 될 첨단기술은 태양전기 분사기술이다. 지구로부터 천왕성까지 2년내로 여행이 가능하기 위해서는 “아스트로 치킨”이 50km/sec의 속도로 달려야 한다. 이는 현재의 우주선 연료로는 다 얻기 불가능한 엄청난 속도이며, “아스트로 치킨”의 무게가 1kg 밖에는 안되므로 핵분열, 융합장치를 부착할 수 없어서 그 대응책으로 태양에너지를 수집하는 100g 정도의 얇고, 넓은 안테나를 이용한다. 그러면 이제부터 “아스트로 치킨”의 천왕성을 향한 여정을 알아보자.

우주선의 무게가 1kg 밖에 되지 않으므로, 무슨 거창한 이륙장소가 필요치 않다. 아무데서나 쏘아올릴 수 있다. 이 “아스트로 치킨”은 장거리 여행에 적합한 간편한 차림이며 가장 핵심이 되는 부분은 닭의 수정란이다.

일단 지구궤도를 벗어나면 수정란의 병아리

로 부화하는데 필요한 자양분을 공급하는 식물 부분이 자라게 되며 추진력을 내는데 필요한 태양에너지 수집기가 자라게 된다. “아스트로 치킨”은 천왕성을 향하여 50km/sec로 항행하면서 보고 느낀것을 병아리의 뇌가 분석하여 지구로 전송한다. 미처 자세히 보지 못하고 지나친 부분은 지각을 가진. “아스트로 치킨”에게 명령하여 다시 한번 보고 느낀 것을 연락하라고 하며, 우리와 유사한 인간이 사는지, 천왕성의 계곡이 얼마나 깊은지 등을 물어보며 각종 정보를 수집할 수 있게 된다.

천왕성에서 혹성으로 왔다갔다 하는데 필요한 로켓추진 장치와 그에 필요한 연료 역시 조그만 DNA에 청사진이 저장되어 있다. 그 가능성은 지구상에 존재하는 Bombardier Beetle이란 곤충에서 볼 수 있다. 이 조그만 곤충은 몸체 안에서 화학연료를 생산하여 뜨거운 액체를 적어 가까이 오면 분사시켜 쫓아버리는 신기한 방어수단을 가지고 있다. 어쨌든 이런 황당무계한 공상은 접어두고 누구나가 간단한 장치로 부엌에서 실험할 수 있는 알코올생성에 관하여 알아보자.

이스트에 의한 에탄올 합성

식품점에서 구할 수 있는 분말 이스트를 밀가루와 반죽하면 빵이 부풀어 오르고 단맛도 가미된다. 누룩에 띄운 찰밥을 이스트와 처리하면 술기운이 나는 막걸리가 되지만 잘못하면 식초같이 시어 버린다. 이스트는 우리 생활과 이렇게 밀접하여 태고적부터 사용되어 왔다.

1970년 초반 오일쇼크이후 미국 동력자원성에서 에탄올 합성에 관한 연구를 적극 추진하여 가솔린과 에탄올을 섞은 “가소홀(Gasohol)”의 사용에 관한 경제성 연구도 심각히 고려하였었다. 한마디로 어떻게 하면 경제성있게 에탄올을 이스트를 사용하여 생산하는가에 대한 연구이다. 그후 경제성이 좋지않아져 열기는 호지부지 사라져 버렸다. 그럼 부엌에서도 간단히 실험장치를 설치할 수 있는 에탄올 제조에 관하여 살

펴보자.

필요한 재료는 설탕, 고기즙, 식초 그리고 한봉지의 분말 이스트이다. 물 1리터에 설탕 200그램, 10온스 고기즙(Beef Broth), 그리고 약간 시큼할 정도로 식초를 넣고, 30~37°C 정도로 유지한 후 분말이스트 한봉지(7그램정도)를 털어 넣는다. 이 용액을 병에 넣고 잘 봉한 후 뚜껑에 구멍을 뚫어 고무관을 연결한 후, 고무관의 한쪽끝을 물속에 잠기게 한다. 약 한시간 후부터 고무관으로 부터 탄산가스가 뽀글뽀글 나오는 것을 관찰하게 된다.

즉, 에탄올이 용액속에서 생성되고 있다는 증거이다. 약 하루정도 지나면 더이상 탄산가스가 나오지 않는데 에탄올 생성이 거의 종반기에 들어섰다는 것을 알리는 것이다. 용액을 끓여 생긴 증기의 용축물(처음 100ml 정도)의 에탄올 농도는 최소 50도(proof) 보다는 높아 성냥불로 불을 당길 수 있을 정도이다. 이 실험을 세가지 공정으로 나누면 다음과 같다.

첫째: 원료의 준비

둘째: 최적반응조건 유지

이스트가 최적의 반응조건을 갖도록 온도 30~37°C로 유지하고, 식초를 넣어 수소이온농도(PH)를 4.0 정도로 조정한다. 고무관의 끝을 물속에 잠기게 하여 공기중의 산소와 미생물이 못들어 가게 하여, 생성된 에탄올이 식초로 변하는 것을 막는다.

셋째: 분리 및 정제

물보다 에탄올이 쉽게 날아갈 증류법을 사용. 설탕을 이용한 경제성이 있는 대규모 에탄올 생산기술을 개발하기 위하여는 위에 언급한 세가지 공정들에 드는 비용이 생산된 에탄올의 값보다 적어야만 타산이 맞는다는 것은 당연한 이치이다. 생물공학에 의한 에탄올 생성이 기존의 유기화학공정과 판이하게 틀린점은 미생물인 이스트를 자생번식하는 촉매로 쓴다는 것이다. 열역학적으로 촉매없이 설탕이 에탄올로 변하는 것은 인위적인 노력없이 가능한 반응이지만, 시간이 천문학적으로 오래 걸린다.

그러므로 반응시간을 줄이기 위하여 촉매를

쓴다. 즉, 우리는 이스트가 설탕을 짧은 시간내에 에탄올로 바꾸는데 필요한 여러가지의 촉매를 가지고 있는 주머니라고 생각할 수 있다. 설탕은 촉매 주머니 이스트가 번식하는데 필요한 원료인 동시에 에탄올을 생성반응의 원료이다. 설탕의 효율적 분배가 중요한 요소중의 하나가 된다.

설탕이 이스트가 번식하는데만 너무 많이 할당되면 촉매의 양은 많아져 반응시간은 짧아지지만 에탄올로 변화시킬 여분의 설탕은 상대적으로 줄어들어 생성된 에탄올의 양은 적어지게 된다. 반면 이스트 번식에 할당된 설탕의 양이 적으면 촉매의 양이 적어져서 반응속도가 늦어지며 비록 많은 양의 에탄올을 얻을 수 있지만 반응시간이 오래걸려 경제성이 없어지게 된다. 즉, 포괄적인 안목을 가진 최적화의 할당이 필요하다 하는 것이다. 그럼 미리 언급한 세가지의 중요 공정을 하나하나 살펴 보자.

원료준비

위에서 본 바와같이 원료를 두가지로 나눌 수가 있다. 촉매를 만드는데 필요한 원료와 화학반응의 원료이다.

미생물을 여러가지의 촉매주머니로 사용할 때는 원료의 구분이 뚜렷하지 않지만 어느 특정한 촉매만을 미생물에서 분리하여 반응에 사용할 경우는 구분이 뚜렷하여 진다.

의약품등의 단위당 고가품을 제조하는 공정과는 달리 에탄올과 같이 단위당 저가품을 제조하는 공정에서는 원료값이 차지하는 비중이 커진다. 물론 비싼 설탕을 대규모 에탄올 생산에는 사용할 수 없을 것이다. 이런 이유에서 어디서나 쉽게 구할 수 있는 값싼 셀룰로즈를 원료로 하는 공정에 대한 연구가 활발하다.

이스트가 셀룰로즈를 포도당으로 분해하지 못하여 직접원료로 사용할 수는 없지만 셀룰로즈를 포도당으로 분해할 수 있는 다른 미생물 또는 그 미생물에서 추출한 특정촉매를 이용하여 에탄올 생산의 선행공정에 사용할 수 있다.

이렇게 생산된 포도당은 에탄올 생산에는 물론 부타늄, 아세트, 식초산 등등의 기간 화학품을 생산하는데 주원료로 쓸 수 있다.

최적반응 조건 유지

포도당을 에탄올로 바꾸는 연쇄반응은 많은 촉매들에 의하여 가능하다. 반응속도는 촉매의 양과 촉매의 성능에 의하여 결정된다. 촉매의 양과 그 성능은 미생물이 처한 환경의 화학적, 물리적 상태에 따라 미생물의 정밀한 제속 제어작용으로서 조정된다. 화학적, 물리적 상태는 수소이온 농도, 온도, 물에 녹아있는 산소, 탄산가스 농도, 포도당의 농도, 에탄올의 농도 등등을 들 수 있다. 예로 본 이스트의 에탄올 합성에서 다음과 같은 제어작용이 잘 알려져 있다.

①산소가 없는 상태에서는 포도당이 거의 에탄올로 바뀌어진다. 이스트 실험에서 공기를 차단한 이유를 알 수 있겠다.

②산소의 용존 농도가 높고 포도당의 농도가 낮으면 포도당이 에탄올 이외의 다른 물질로 되는 연쇄반응이 상대적으로 활발하여 지고 에탄올의 생성은 거의 일어나지 못한다.

③최종 산물인 에탄올의 농도가 어느정도 높아지면 연쇄반응의 속도가 늦어진다.

일반적으로 촉매의 양은 촉매의 생성속도와 촉매의 파괴속도의 차이가 결정한다. 촉매의 화학구조에 관한 정보는 모두 DNA에 기록되어 있으며 촉매의 생성속도는 DNA가 처하고 있는 환경조건에 따라 예민하게 좌우된다. 조건이 맞으면 DNA에 기록된 정보가 제공되어 촉매 제조가 가능하게 된다.

조건의 일치여부는 미생물 자체가 DNA에 수록된 정보에 의하여 결정되며 미생물을 우리 생활에 유용한 화학물을 생산하는 반응조로 간주하는 우리의 의사와는 무관하다. 그러나 DNA의 정보구조를 조작함으로써 촉매의 생산을 우리가 바라는 방향으로 유도할 수 있으며 촉매의 화학구조도 변경시킬 수 있다.

한 걸음 더 나아가 기존하지 않는 촉매의 화

학구조 정보도 DNA에 삽입할 수가 있다. 이런 가능성들을 염두에 두고 셀룰로즈를 원료소재로 쓰며 에탄올의 농도가 높아져도 반응속도가 늦어지지 않는 유용한 이스트를 고안하여 보자.

이스트는 셀룰로즈를 포도당으로 분해하는 촉매들을 갖고 있지 않으므로 촉매들의 분자구조에 관한 정보를 이스트에 삽입하여야 하고 포도당을 에탄올로 바꾸는 연쇄반응에 관하여는 촉매들이 에탄올 농도에 영향없이 성능을 발휘하게끔 DNA에 수록된 정보의 수정이 필요하다.

현재로서는 이런 강력한 이스트가 존재하지 않지만 노력의 기미는 볼 수가 있으며 개념적으로 가능하다는 것은 실제 생산케도에 오른 화학품, 의약품의 예로 알 수가 있다. 당뇨병의 치료약인 인슐린의 화학구조 정보를 담은 DNA를 대장균속에 넣어 대장균 자체를 인슐린을 생산하는 반응조로 이용하고 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이런저런 성공적인 예들을 종합하며 야심과 낙관적인 태도를 가지면 “아스트로 치킨”도 과히 허망한 공상만은 아님을 알 수가 있을 것 같다.

분리 및 정제

불을 당길 수 있을 정도로 진한 에탄올을 분리·농축하기 위하여 단순한 증류방법을 썼다. 에탄올은 이스트가 먹지 않는 한 없어지지도 않으며 외부의 미생물이 침입하여 식초로 변화시키지 않는 한 다른 물질로 변하지도 않는다. 또한 에탄올은 작고 안정된 분자이기 때문에 취급상의 특별한 주의가 필요치 않다.

특수한 경우를 제외하곤 약간의 불순물이 첨가되어도 자동차의 대체연료로는 지장이 없다. 그러나 특수 의약품으로 쓰이는 크고 불안정한 단백질과 같은 분자의 경우는 전혀 다른 이야기이다. 의약품 인터페론을 생산하는 공장의 총 인원중 90%가 분리공정 부분에 종사한다고 하니 분리공정이 얼마나 복잡하고 힘든 작업이란 것을 짐작할 듯 하다.

에탄올을 분리하듯 단순히 증류방법을 쓸 수 없음을 알 수 있다. 분자량이 큰 단백질등의 생화학적 효능은 특유한 3차원적 구조에서 나오기 때문에 구조를 형클어 트리는 요인인 높은 온도, 강산, 강알칼리등의 가혹한 처리는 피하고 각별한 취급상의 주의가 필요하다.

일반적으로 용액중에 다량의 불순물과 함께 미량으로 존재하므로 분리농축이 더욱 어렵다. 의약품의 경우 정제과정이 완벽하지 않으면 신체내에서 불순물에 의한 부작용이 심각하여 완전한 분리공정이 요구된다. 보통약품에 시효기간이 있듯 분자량이 큰 단백질은 상온에서도 생화학적 효능을 시간이 흐름에 따라 잃게 된다. 즉, 신속하고 완벽한 분리정제 공정이 필요 조건이며 인터페론 공장의 대다수 인원이 이 분야에 종사하는 것이다.

피상적으로 생각하면 생산공정과 분리공정은 순차적으로 행하여 지는 분단된 횡적단계인 듯 하지만 그렇지 않음을 다음 예에서 알 수 있다. 에탄올의 농도가 10% 이상이면 증류의 방법으로 90%까지 농축시키는데 소요되는 에너지는 에탄올농도에 관계없이 거의 일정하다.

하지만 에탄올의 농도가 10%보다 적으면 적을수록 에너지 소요량이 급격히 많아지게 된다. 그러므로 전체적으로 효율적인 에탄올 생산공정을 개발하기 위하여는 생성반응조의 조건이 최종 에탄올의 농도가 10% 정도는 되게끔 적절히 조정되어야 한다.

생산공정과 분리공정간의 긴밀한 교류가 필요함을 알 수가 있다. “아스트로 치킨”의 임무를 성공적으로 성취하기 위하여 세 분야의 과학기술의 밀접한 상호교류 통합이 요구되듯이 성공적인 생물화학공정을 개발하기 위해서는 위에서 언급한 세가지 공정의 조화로운 교류통합이 요구된다.

생물공학은 가깝게는 우리의 실생활에 편리하게 이용될 수 있는 실용과학기술인 동시에 멀리는 인간의 미래를 미지의 우주개척의 단계까지 끌고 가는 디딤돌 역할을 할 미래 과학기술임을 확신시키려는 데 본고의 목적이 있다.