

國內 酵素工業의 現況과 展望

朴 英 薰

(韓國科學技術院 유전공학센터
生物化學工程研究室長·工博)

鄭 教 民

(太平洋化學技術研究所
生命工學研究室長)

*본고는 제 4 차 한·일기술교류 세미나(1987. 4. 23~24, KAIST)에서 행한 主題발표 내용을 정리·요약한 것임.

I. 序 論

酵素는 생명현상에 있어서의 각종 생물학적 反應을 支配, 開始 혹은 調節하는 역할을 담당하고 있는 有機觸媒이다. 이들은 살아 있는 生體細胞에 의해 만들어지거나 세포 밖에서도 적절한 환경이 주어지면 所期의 生物學的 反應을 觸媒하므로, 이를 이용하여 產業的 用途의 각종 有用 製品의 제조에 응용될 수 있는 것이다. 이와 같은 생체 촉매의 범주에 드는 것으로 抗體는 물론 TPA(Tissue Plasminogen Activator) 등 수많은 生體物質이 포함될 수 있으나 通常 실제 產業的 側面에서의 酵素란 주로 단백질로 回收되는 경우를 지칭한다.

酵素는 단백질의 3차원적 구조가 酵素 力價의 발현을 위해 필수적인 것으로 알려지고 있으며, 또 일부 효소는 이러한 촉매역가의 유지에 필수적일 수도 있는 非蛋白性 構造, Prosthetic groups를 포함하기도 한다(이때 Prosthetic group을 제외한 순수 단백질 구조를 Apoenzyme, 이 둘을 합쳐 holoenzyme 이라 칭한다). 이러한 효소의 구조는 熱에 대한

不安定性, 高度의 基質 特異性 등의 효소 자체의 本質的 特性을 규정짓는 주된 원인이 되고 있다. 이에 따라 酵素 反應의 特性으로는 (1) 기질 선택성(Substrate selectivity) (2) 溫和한 反應 條件(mild conditions for reaction) (3) 高효율·고속의 반응 속도 등을 들 수 있으나 한편 공정상의 문제점으로서 (1) 低濃度 反應 (2) 熱不安定性 및 長期 運轉上의 失活 (3) 副次 反應 生成物의 生成 可能性에 따른 分離 및 濃縮工程上의 어려움 등을 들 수 있다.

이와 같은 酵素反應의 特性을 이용함에 있어서도 전통적으로는 醱酵 및 각종 食品의 제조에만 그 용도가 제한되어 있던 것이 오늘날에 이르러서는 食品 및 醫약품의 제조는 물론 사료, 섬유, 洗劑, 皮革, 化粧品 工業 등에 이르기까지 그 응용성이 실로 광범위해지는 추세에 있다. 이와 같은 효소의 응용 분야를 醫藥用, 公業用 및 研究실험용으로 나누어 개략적인 응용 예와 함께 정리해 본 것이 표 1이다. 또 표 2는 현재 產業的으로 이용되고 있거나 이용 가능성이 높은 효소의 종류를 그 起源과 用途에 따라 정리해 본 것이다.

표 1. 효소의 응용분야

의 료 용	의 약 분 야	소화제, 항암제, 혈전치료제, 진단시약제조 인슐린, 반합성 항생물질 제조, 소염제 제조 등
공 업 용	농·수산분야 식품분야	식물의 세포 융합, 생약제제의 생물학적 전환 등 아미노산 합성 및 생물학적 전환 전분질 분해 및 당류의 전환 유기산, 비타민 및 지방산의 분해 및 전환 유제품의 품질 향상, 과즙 음료의 제조 맥주의 청징화
	화학공업분야	계면활성제 제조, 피혁 호발용, biosensor에 의한 공정 제어 농약용 Tyrethroid 제제의 유도체 제조
	기 타	폐수 처리
연구실험용		조효소 및 제한 효소의 이용

표 2. 주요 응용 효소와 그의 용도

분류	효 소 명	기 원	주 요 용 도
산화 현원 효소 (1)	glucooxidase	fungi	포도당 정량시약(임상검사 등), 식품 가공
	urease cholesterol 산화효소	bacteria와 효모 bacteria	식품 가공(살균, 표백용 H ₂ O ₂ 의 제거) 요산 정량시약(임상검사 등) Cholesterol 정량시약(임상검사 등)
(2)	cytochrome C	동물심근	의약(뇌혈 관리 장애, 심장질환 치료)
전 이 효 소	cyclodextrin- glycosyltransferase	bacteria	Cyclodextrin 제조
	polynucleotidephosphorylase	bacteria	interferon 유도 물질 생산
	adenyltransferase	bacteria	보효소 NAD, FAD 생산
(3) 가 수 분 해 효 소	transaminase	bacteria	L-amino acid 생산
	lipase	bacteria, yeast fungi, 췌장	의약(소화제), flavor(두유)의 제조, 지방산 제조, glyceride 합성
	5'-phosphodiesterase	fungi	복합 조미료(5'-inosinic acid)
	α -amylase	bacteria fungi	섬유 정련, 전분 가공, 양조, 의약(소화제) 사료 첨가
	β -amylase	맥아, 대두 bacteria	맥아당 제조
	glucoamylase	fungi	포도당 제조, 양조(전분 당화)
	isoamylase	bacteria, 방선균	amylose 제조, 전분에 의한 맥아당 제조(β -amylase 병용)
cellulase	fungi	의약(소화제), 식품 가공, 사료 첨가, cellulose 당화	
hemicellulase	fungi	의약(소화제), 과즙 청증화, 식품 가공, 사료 첨가	

분류	효 소 명	기 원	주 요 용 도
	peptidase	세균, fungi	과즙, 과실주 청증화, 마섬유 정련
	lysozyme	난백	의약(소염제), 방부제, 분유 가공
	hyaluronidase	동물	의약(고름 분해 제거 등)
	dextranase	세균, fungi	의약 제조(대용 혈청), 충치 예방
	invertase	효모	제과공업(설탕의 결정화 방지)
	melibiase	fungi	감채당(甜菜糖)공업(raffinose분해)
	미생물 protease (산성·중성)	세균, fungi	간장 제조, 제과, 생선 가공, 술의 청증화, 사료 첨가
	(alkali성)	세균, 방선균	세제 첨가, 피혁 제조
	rennet	송아지 위, fungi	치즈 제조(우유, casein 응고)
	papain	파파야	식육 가공, 맥주 청증화, peptide 합성
	pepsin	동물 위	의약(소화제), peptide 합성
	trypsin	동물 췌장	의약(소화제, 소염제)
	chymotrypsin	동물 췌장	의약(소염제)
	lactase	fungi	유제품 가공, 의약(유아 소화불량 치료)
	unokinas	오줌, 체세포	의약(혈전증 치료제)
	aminoacylase	fungi	L-amino acid 생산
	penicillin acylase	세균, fungi	6-aminopenicillic acid 제조 합성 penicillin, 합성 cephalosporin 제조
	L-아미노 카프로락탐 가수분해 효소	효모	L-lysine 제조(DL-aminocaprolactam에 의해)
	Cisepoxysuccinic acid 가수분해 효소	세균	d-succinic acid의 제조(maleic acid에 의해)
(4)	aspartase	세균	L-aspartic acid 생산
탈	fumarase	세균	malic acid 제조(Fumalic acid에 의해)
리	β -tyrosinase	세균	L-tyrosine, L-DOPA 생산
효	tryptophanase	세균	L-tryptophan, 5'-hydroxytryptophan 생산
소	L-histidineammonialyase	세균	유로 가닌산 제조(일소방지 화장품 제조)
(5)	glucoseisomerase	방사선, 세균	과당 시럽 제조
이성	amino acid racemase	세균	L-amino acid 생산
화	aminocaprolactam	세균	L-lysine 제조(DL-aminocaprolactam에 의해)
효소	racemase		
(6)	gramicidin S	세균	gramicidin S(항생물질) 생산
합성	synthetase		
효소	glutathione synthetase	효모	glutathione(의약) 생산

酵素源으로서의 동물의 筋肉, 臟器 및 血液, 植物體의 各 部位, 微生物 등 다양하나 安定的 供給이 항상 가능하다는 經濟的 有利性 때문에 微生物(세균, 放線菌, 酵母, 곰팡이, algae 등)의 培養에 의한 酵素의 生産이 産業的으로 매우 중요하다 하겠다. 현재까지 알려진 酵素의 종류는 약 2000종이 넘으나, 産業的 側面에서 볼 때에는 약 20여 종의 효소가 經濟的으로 그 重要性을 인정받고 있다.⁽¹⁾

「酵素工業」은 이와 같은 主要 産業 酵素를 生産, 製品化하는 「酵素生産工業」과 이를 이용하는 「酵素利用工業」으로 크게 나누어 생각할 수 있으나 本稿에서는 國內의 「酵素生産工業」의 實態에 대해 그 초점을 맞추어 보고자 한다. 그러나 또한 이 같은 「효소생산공업」의 상황이 관련 효소 이용 공업의 발전 추세와 직접적으로 관계가 있느니만큼 「酵素工學」으로 대표되는 酵素利用技術의 國內外 발전 추세 내지 그 技術 水準을 점검해 봄으로써 國內의 「酵素工業」의 現況과 展望을 살펴 볼 좋은 기회로 삼고자 한다.

II. 國外 酵素 生産 및 利用 工業의 現況

우선 國內의 효소공업의 실태를 알아 보기 앞서 世界의 효소 생산 및 이용공업의 현황을 일차 검토해 보는 것이 매우 유익하리라 판단된다.

세계적으로 볼 때, 각종 産業用 酵素의 生産량은 公産권을 제외한 자유세계에서만 1981년에 약 6만 5천 톤 가량으로 값으로 따져서 약 4억 불 정도였으나 1985년에는 이것이 약 7만 5천 톤에 6억 불 상당으로 증가하였다. 이는 금액면에서 볼 때 타 산업부문과 비교하면 아주 작은 규모이나 연 증가률로 보아 10% 이상의 비교적 높은 신장율을 보이고 있다 할

수 있다. 이 같은 신장률을 감안하면 1990년에는 약 9억 불, 2000년에는 약 15억 불 정도의 세계 시장 규모를 예측할 수 있을 것으로 전망되고 있다.(표 3)

표 3. 세계 효소의 생산(公産권 제외)

년 도	1981	1985	1990	2000
생산량	65,000톤	75,000톤	85,000톤 (추 정)	100,000톤 (추 정)
생산액	4 억불	6 억불	9 억불 (추 정)	15억불 (추 정)

또 표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 나라별로 보면 덴마크가 자유세계 총 효소 생산량의 절반을 공급하고 있고, 화란이 20%, 미국이 12%, 그리고 나머지 18% 정도를 일본, 서독, 프랑스, 스위스, 영국 등에서 차지하고 있다.⁽¹⁾

표 4. 효소의 국가별 생산(생산액 기준)

(1985년 기준)			
국	가	생산액	비율
-	Denmark	3.0억불	50%
-	Netherlands	1.2억불	20%
-	U. S. A.	0.7억불	12%
-	Others (Japan, W. Germany 등)	1.8억불	18%

또 산업적으로 생산되는 효소의 종류를 보면 80% 가량이 가수분해 효소이며, 또 산업용 효소의 약 59%가 단백질 분해 효소(protease)로서 洗劑, 육가공, 피혁공업 등의 분야에서 사용되고 있다. 또한 전체 산업용 효소의 약 28%가 탄수화물 분해 효소(carbohydrase)로 제빵, 맥주, 전분 및 섬유공업 분야에서 쓰이고 있으며, 지방 분해 효소(lipolytic enzymes)가 3% 정도로 製藥, 化粧品, 섬유, 피혁 공업에서 사용되고 있다. 나머지 10% 정도는 製藥

用 및 研究分析用으로 생각할 수 있다.

微生物의 通氣式液體深部培養法(Submerged culture technology)이 개발됨에 따라 酵素의 大量生産과 供給이 가능해진 近代의 酵素工業은 약 30년 정도의 역사라고 볼 수 있는데, 50년대 부터의 이 같은 효소공업에 의한 粗酵素製劑 및 精製酵素의 生産, 使用을 「제 1세대 효소공업」이라 간주할 수 있다. 이에 대해 60년대 말부터 비롯된 효소의 固定化技術의 開發은 「제 2세대 효소공업」시대를 개막하였다고 할 수 있다. 효소의 고정화 기술의 개발과 고정화 효소의 사용은 효소 이용 공정의 連續化, 自動化에 크게 기여했을 뿐 아니라 酵素工程의 經濟性을 向上시킴으로써 酵素 使用을 획기적으로 증대시켰다. 표 5에는 효소의 고정화에 따른 공정상의 잇점들을 요약하였다. 최근에는 효소 뿐만 아니라 微生物細胞 자체, 혹은 抗體-抗原 등의 고정화 기술도 개발, 발전되어 이러한 것들을 통틀어 Immobilized Biocatalyst Technology (IBT)라 통칭하기도 한다. 현재 미국에서만도 이러한 IBT에 의해 생산되는 최종 제품이 연간 57억 불에 이른다고 추정되고 있으며 1996년까지 향후 10년간 약 5.5%의 연평균 성장률을 내다보고 있다.⁽²⁾ 표 6에서 보는 바와 같이 특히 의료용 IBT제품의 경우는 연간 약 38%의 성장률까지 제시되고 있다. 의료용 IBT제품으로 현재 시장에 선 보이고 있는 것으로서는 microencapsulated 효소제제를 이용한 hemoperfusion 기구가 유일한 것으로 현재

약 2백만 불의 市場規模를 갖는 것으로 추정되고 있으나 기술개발의 진척에 따라 96년도 경에는 약 5천3백만 불 정도의 市場形成이 전망되고 있다.⁽²⁾ 현재 IBT제품 중 가장 큰 비중을 차지하는 부분은 유기화학제품(아미노산, 에탄올, 제약 및 연구용 시약 등) 쪽으로서 1996년도에 약 45억 불 정도의 미국내 市場規模를 예측하고 있으며, 과당 시럽이 현재 가장 큰 몫을 차지하고 있는 식품/감미료 부분에서도 젓당의 분해 등 새로운 효소 이용 공정이 속속 도입되고 있어서 비록 伸張率은 낮으나 꾸준한 市場規模의 增大가 기대되고 있다. 따라서 이러한 IBT제품의 市場 증대에 맞추어 필요한 효소 자체의 수요량도 대폭 증대될 것은 필연적이며 특히 의료용 효소의 수요가 커질 것으로 전망된다.

표 5. 효소의 고정화에 따른 잇점

- 1) 연속반응이 가능(반응탑 사용)
- 2) 반응시간의 단축(기질대 효소의 혼합비 조절)
- 3) 반응장치의 소형화
- 4) 반응조건의 제어가 용이
- 5) 부반응의 방지
- 6) 반응 생성물의 순도 향상, 수량 증대
- 7) 조작 간편, 노동력 경감
- 8) 효소의 이용율 향상

표 6. 미국의 IBT 생산제품의 시장규모 (1986~1996)

단위: 백만불

제 품 분 야	1985	1986	1996	연간성장률
Medical	2	2	53	37.8%
Diagnostics	573	638	1,911	11.6%
Chemicals	2,679	2,841	4,543	4.8%
Food/Sweeteners	2,067	2,207	3,076	3.9%
계	5,321	5,688	9,583	5.3%

이러한 고정화 효소 이용 공정의 도입에 뒤이어 최근에는 단백질 공학(Protein Engineering) 기술의 도입 활용에 의해 酵素 자체의 熱安定性, 基質特異性 등에 있어서의 기존의 문제점을 개선한다든가, 또는 자연계에 존재하지 않던 새로운 人工酵素의 開發에 대한 研究 努力이 활발히 이루어지고 있어서 이러한 추세는 「제 3세대 효소공업」으로 분류할 수 있겠다. 이러한 研究 努力의 일환으로 최근 소개된 것을 보면 subtilisin의 222-Met을 ala, ser, leu 등으로 치환함으로써 기존의 효소보다 개선된 특성의 효소를 만들어 낸 예가 있다(Biotech '86, London).

또한 특수 환경(알칼리, 고온 등)에서 생존하는 미생물로부터 얻어지는 新規 酵素의 탐색 및 이용 예도 증가하고 있다.⁽³⁾

효소공정에 있어서도 효소반응에 필요한 助 酵素(또는 補酵素)의 고정화 및 再生 시스템이 연구개발되었고,⁽⁴⁾ 효소 이용 Biosensor,⁽⁵⁾ 효소의 active site만을 효과적으로 사용하려는 synzyme⁽⁶⁾의 개념 등이 새로이 도입, 개발되고 있는 현 추세이다. 특히 생체반응이 可逆의임에 着眼하여 각종 펩타이드류를 合成하는데 酵素를 사용하려는 시도도 성공을 거두고 있다(예: 아스파탐의 합성).

Ⅲ. 國內 酵素工業의 現況

國內의 酵素工業은 대부분의 국내, 生命工學 關聯 産業界의 실태가 그러하듯 日淺한 技術 歷史와 함께 資本의 영세성, 技術蓄積의 未治, 研究開發 能力의 不足이라는 三重苦를 겪고 있다고 할 수 있다. 이와 같은 실태는 우선 표 7에서 보는 바와 같이 영세한 國內 酵素市場의 규모와도 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 즉 국내 효소 제품의 용도별 생산액을 보면 1986년도 매출액 기준으로 酒精 및 濁酒用 粗酵素

劑(곡자, 중국 포함)가 연간 약 40억 원, 식품용 액화 효소가 약 5억 원, 공업용 섬유 및 피혁 가공용 효소제가 합해서 약 10억 원 정도이며, 의약용으로서 소화제 계열 제품 중 효소가 차지하는 부분만 약 5억 원, 진단 시약용 제품 중에서 효소 부분이 약 10억 원, 그리고 단일 품목으로 혈전증 치료에 쓰이는 유로키나제의 생산액이 약 55억 원 정도로 전체적인 국내의 연간 효소 생산액은 125억 원 규모이다.

또한 상당량의 효소류가 輸入에 依存하고 있는 實情인데(표 7 및 표 8)의 약용 및 공업적 용도의 수입이 25억원, 단일 품목으로 포도당 이성화 효소가 약 20억원, 세계 첨가용 효소제가 약 25억원 정도로 수입되고 있어 현재 국내의 총 酵素 需要는 약 200억원 정도로 추정되고 있다.

이와 같은 國內 酵素 市場의 規模는 他 産業 分野는 말할 것도 없고 같은 生物 關聯 産業 分野 중 酒類(연간 매출액 약 1조 5천억원), 抗生物質류(약 2,500억원), 動物藥品類(약 3,500억원) 사료공업(약 4천억원) 등과 비교해도 그 市場 規模에 있어 아주 영세한 실정임을 알 수 있다. 이것은 酵素製品의 特性上 그 自體가 流通 過程의 最終 商品이기보다는 다른 商品의 製造 工程에 利用되는 2차 原料的 성격을 갖고 있기 때문이다 할 수 있다. 즉 현재 國內의 취약한 生物 關聯 産業의 비중에 비추어 이와 같은 酵素 市場의 영세성은 必然的이라 할 수 밖에 없는 것이다. 다시 말하면 酵素工業의 市場性은 바로 國內의 生物 産業 전체의 市場 規模에 부수적으로 결정되는 의존적 特性을 지니고 있는 것이다.

또한 國內 酵素 市場의 特性 중의 하나로 輸入 酵素에 대한 依存性을 들 수 있다. 특히 덴마크의 NOVO社에 대한 의존도가 커서 수입되는 포도당 이성화 효소의 95% 이상, 수입 amylase의 80% 이상, trypsin은 거의 100%,

표 7. 주요 효소제품의 국내생산(연매출액) 및 수입액(1986)

효 소 제 품	국내전체 시장(원)	생 산 업 체
조효소제		
탁주용	10억	삼성곡자등 12개업체
주정용	30억	배한산업, 유양산업등 7개업체
액화효소(식품용)	5억	태평양화학
액화효소(공업용)	5억	태평양화학, 삼원화학등 5개업체
피혁가공용	4억	태평양화학, 대동화학
기타 근육연화용	2억	태평양화학
의약용		
소화제	5억	태평양화학, 동아제약, 경기이화학
진단시약	10억	영동제약 등
유로키나제	55억	녹십자
수입효소제		
이성화당제조	20억	NOVO, CPC, MKC 등
식품 및 공업용	20억	NOVO, MKC 등
의약용	5억	Miles 등
세제용	25억	NOVO, Gist-Brocades, MKC 등

표 8. 효소류 수입실적(1986)

효 소 류	수입액(US\$)	주 요 수 입 대 상 국
Amylase	150만	Denmark, Japan
Protease	60만	Denmark, W. Germany, Japan
Papain	20만	USA, Japan
Lipase	12만	Japan, W. Germany
Malt enzymes	11만	U.K., Finland
Trypsin	11만	Denmark
Pectic enzymes	6만	Swiss, W. Germany
계	270만	

*자료: 한국무역통계연보, 관세청(1986)

세제용 알칼리성 protease는 60% 이상을 이 회사 제품으로 충당하고 있는 것이다. 사실 국내 생산 제품도 그 質적인水準(단위 역가 및 안정성 등)에 있어서는 엄격히 말해서 수입 제품 보다 우수하다고는 할 수 없는 형편으로 出血性的 價格 경쟁으로 버티어 나가고 있는 것이 대부분의 실정이다. 이에 따라 표 7에서 보는 바와 같이 현재 국내에서 산업적으로 중

요하다고 판단되는 내열성 α -amylase, alkaline protease, glucose isomerase 등은 거의 전량 수입에 의존하고 있고 기타 공업용 및 의약용 protease도 대부분 수입하고 있다.

한편 특기할만한 사항으로서 현재 (株)녹십자에서 전량生産하고 있는 유로키나제(urokinase)를 들 수 있는데, 1986년도의 전체 생산액 55억 원 중 약 80%인 43억 원 정도를 輸

出하고 있다. 또 이 製品은 年間 약 20% 정도의 賣出 伸張을 기대하고 있는 품목이기도 하다.

조사의 미흡으로 國內의 酵素生産業體의 資本 규모를 자세히 알아 볼 수는 없었으나 太平洋化學과 (株) 녹십자를 제외하고는 대부분의 업체가 年間 賣出額 10억 원 미만의 중소기업 규모였다.

이 같은 狀況을 綜合적으로 검토해 보면, 國內 효소 공업은 他 生命工學 關聯 産業과 함께 그 歷史가 매우 짧으며 資本 規模가 비교적 영세하여 研究開發 能力이 뒤지고 있는 實情으로, 自體의인 商品 開發 보다는 輸入 酵素에 依存하는 性向이 점차 深化되어 가고 있는 실정이라 하겠다. 이에 따라 國內의 有效 生物資源과 技術의 開發 및 活用도 활발히 이루어지지 못하고 있는 實情이다.

IV. 앞으로의 展望 및 提言

酵素工業은 高附加價値 創出 産業의 하나로써 현재 世界的으로 볼 때 아직도 상당한 成長 潜在力을 보유하고 있다고 할 수 있다.⁽²⁾ 특히 TPA 등과 같은 新蛋白質들을 酵素製劑에 포함시킨다면 앞으로의 市場 規模도 대폭 擴大 될 것으로 예측되며 이 같은 추세는 遺傳工學, 蛋白質工學 技術 등의 發展에 힘입어 가일층 가속화 되리라 본다.

國內의 경우, 生命工學 關聯 産業의 基盤이 아직까지도 취약한 만큼 효소공업도 예외일 수 없이 영세한 실정이나 이와 같은 국제적 추세에 비추어 그 市場 基盤이 점차 공고해짐과 동시에 技術開發 能力의 擴充도 이루어질 수 있을 것으로 생각된다. 이와 같은 예측은 國內의 酵素工學 관련 연구 성과를 검토해 볼 때, 國內 전문 연구소, 大學 및 몇몇 관련 산업계에 있어서의 연구진의 연구개발 능력이 이 분

야의 선진 외국의 그것과 견주어 크게 손색이 없다는 판단에 근거한 것이다.

國內의 酵素工學 관련 성공적 연구의 예는 α -amylase, glucose isomerase, penicillin G acylase, rennin, rifamycin oxidase, glucose oxidase, cellulase 등 産業的 用途의 酵素들에 대해서 발견될 수 있는데, 이들은 대개 大學 및 政府出捐研究所 위주로 연구 개발되어 왔으나 최근에는 일부 기업체 자체의 연구개발 노력도 注目 받을 만하다고 판단된다. 표 9에는

표 9. 國內의 효소공학 관련 주요 연구

효 소	주된 연구처
포도당 이성화 효소	KAIST
PGA.	KAIST, 태평양화학
rennin	한국야쿠르트
rifamycin oxidase	KAIST
cholesterol oxidase	KAIST
lipase	KAIST
urokinase	녹십자
streptokinase	유한양행, KAIST
protease	동아제약, 태평양화학
amylase	KAIST, 서울대, 신한제분, 태평양화학
내열성 α -amylase	KAIST
alkaline protease	유전공학 연구 조합

이와 같은 國內의 효소공학 관련 주요 연구 대상에 대해 정리해 본 것이다. 문제는 이와 같은 研究결과가 몇 개의 특별한 경우를 제외하고는 産業化로 연결, 결실을 맺지 못하고 學門的 研究成果로서만 끝나고 만다는 데에 있다. 이는 産業界 측에서 國內 開發 技術의 活用 보다는 손쉬운 輸入 酵素의 사용을 더 選好하기 때문이 아닌가 한다. 그러나 國內 자체적인 技術 開發이 이루어지지 못하는 한 앞으로는 계속 외국으로부터의 효소 완제품 수입은 물론 外國 技術에 전적으로 의존해야 되

는 상황이 심화되어 갈 것은 자명한 사실이다.

따라서 國內 酵素工業 技術의 蓄積과 나아가 輸出産業으로까지의 成長을 바라보기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 문제점들이 선결되어야 할 것으로 본다.

(1) 酵素 關聯 産業의 支援體制

효소 관련 산업의 육성을 지원함에 있어서는 人力, 資金, 政府의 次元의 政策支援 등이 있을 수 있으나 여기서는 技術開發에 있어서 基本的인 學術的 支援만을 언급하고자 한다. 여기서 學術的 支援이란 다시 말하면 大學 또는 출연 연구기관에 의한 先導的 技術 開發 및 基礎研究의 擴充을 의미한다. 무엇보다도 이 분야의 研究人力의 養成 및 供給이 艱難하다고 생각되며 이의 効率的 活用을 위해 産·學·研 協同 體制가 구축되어야 한다고 판단된다.

현재 국내에서 産業的으로는 매우 중요하나 이 같은 기초 및 선진 연구의 미흡으로 인해 輸入 제품에 의존하는 酵素로서 예를 들자면 내열성 amylase, 洗劑用 protease 등을 들 수 있으며 이들 품목의 産業的 開發을 위해 새로운 菌株의 選別 및 改良, 단백질공학 기술의 도입 응용 등 學問的 次元에서 해결되어야 할 문제가 산적해 있는 것이다.

아울러 자원이 빈곤한 국내 실정에 따라 효소 생산을 위한 발효 原資材도 거의 수입에 의존하고 있는 한편, 加工하지 않은 原料 형태로써 돼지 糞장 등을 연간 700만 불 정도로 수출하고 있는 등, 國產 資源의 活用に 대한 연구 개발도 거의 이루어지지 못하고 있는 상태이다. 이 같은 국산 자원을 우리 기술로서 加工, 효소 완제품을 얻을 경우 그로부터 얻을 수 있는 附加價値의 創出은 原材料의 20배 이상에 달할 수 있는 만큼, 이러한 側面에서도 국산 기술의 개발에 劃期的이고도 効率的인 支援 체

제가 마련되어야 할 것이다.

(2) 酵素工程에 대한 産業界의 認識

세계적으로 볼 때 酵素産業의 전망이 밝은 만큼 국내 효소산업도 앞으로의 成長 餘力이 매우 크다는 것은 이미 앞에서 지적한 대로이다. 그러나 이를 뒷받침하기 위해서는 酵素工程의 경제적 유리성에 대한 産業界의 認識이 改善, 提高되어야 할 것이며 이를 위한 學門的, 技術的 및 政策的 支援이 뒤따라야 할 것이다.

효소제품에 대한 大衆의 認識面에서 볼 때에는, 최근 국내에서도 선 보이고 있는 酵素洗劑에서와 같이 그 産業的 분위기도 어느 정도 조성되어 가고 있다고 評價할 수 있다. 또 효소를 이용한 Biosensor의 개발, 진단용 시약의 개발 등 다양한 형태의 酵素 利用 製品의 增加도 이러한 효소공업 육성에 대한 産業的 認識의 提高에 큰 몫을 할 것으로 보인다.

(3) 外國과의 競爭

生命工學技術(Biotechnology)에 의한 제품의 개발에 있어 부딪치는 많은 問題點들 중에서도 특히 産業的 側面에서 중요한 것은 外國 製品 및 外國 技術과의 경쟁력 문제이다. 先進 外國의 경우, 대부분의 生命工學 製品이 大量生産 技術의 확립에 의해 世界市場의 獨占을 목표로 개발되므로 後發國의 市場 進出이 先進國 製品의 덤핑 공세 때문에 매우 어려워지는 문제점이 바로 그것이다. 더우기 酵素原이 微生物인 경우, 현재 微生物 자체가 하나의 재산권으로 인정되어 微生物의 寄託을 기피하려는 추세이어서 그 技術 隔差를 深化시키고 있다. 따라서 이 같은 문제점을 다소나마 해결하고 國際 競爭力을 갖는 제품의 개발을 촉진하기

위해서 菌株 및 遺傳子 銀行의 設置 運營 등 支援 體系를 서둘러 確保하여야 할 것으로 생각된다.

(4) 酵素工業의 分業化

앞에서 지적한 대로 국내의 효소공업은 몇몇 재벌급 관련 회사를 제외하고는 거의 대부분이 資本 規模가 극히 영세한 中小企業으로 사실상 自體의인 研究 開發 能力을 갖추지 못하고 있는 것이 現實이다. 따라서 高級 研究 人力의 확보도 매우 어려운 실정이고 보편 이에 대한 적절한 해결 방안이 모색되어야 할 것이다. 이를 위해 우선 研究 投資 能力이 있는 재벌급 회사는 자체 技術 研究 人力의 活用 또는 出捐 研究機關을 利用하는 研究 開發에 注力하고, 이로부터 얻어지는 成功的 研究 結果를 産業化함에 있어 실제 生産은 中小企業이 담당하는 이른바 研究開發-製品生産의 二元化 分業 體제도 효소공업 전체의 育成이라는 側面에서 고려해 볼 만하다고 판단된다. 물론 이 경우 中小企業이 大企業의 下請工場 정도로

예속화 되는 것이 아니라 相互 補完的, 有機的 結束 關係를 맺을 수 있도록 제도적 뒷받침이 마련되어야 할 것임은 말할 것도 없다.

참 고 문 헌

1. A. Kilara and K. M. Shahani, "Enzymes in Food Technology", in *Comprehensive Biotechnology*, Vol. 3, pp. 1045-1064 (1985)
2. *Genetic Engineering News*, Vol. 6, No. 9, October 1986
3. K. Horikoshi, *Alkalophilic Microorganisms*, Monad Books, Tokyo (1983)
4. C. R. Lowe, "Immobilized Coenzymes", in *Topics in Enzyme and Fermentation Biotechnology*, John-Wiley & Sons, New York, Vol. 5, pp. 13-146 (1981)
5. 相澤益男, 鈴木周一, "酵素センサ", 酵素利用技術の新展開, pp. 93-98 (1984)
6. *バイオインダストリー總覽*, CMC, Tokyo, pp. 71-73 (1985)