

효소산업의 현황과 전망

(Ⅱ) 효소의 공업적 이용

한 문 회

한국과학기술연구소 응용생화학연구소

(1975년 4월 26일 접수)

4. 효소의 공업적 이용

효소의 산업적 이용을 일반적으로 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 공업용이며 다른 하나는 임상

화학 또는 의료용이다. 공업용 효소는 대체로 순도보다는 량과 생산원가가 문제시되며 임상용 또는 분석용 효소는 공업용 효소제와는 달리 고도로 정제된 특수 효소가 소요된다(Table 2-1). 특히 공업용 효소의 생산에 있어서 활성이 높고 생산량

Table 2-1. 정제 및 공업용 효소의 품질일람표

정 제 효 소	공 업 용 효 소
1. 미량(mg 단위)을 사용	1. 다량 (Kg 단위)을 사용
2. 고도로 정제됨	2. 반정제 됨
3. 불순물 함량이 정확히 분석됨	3. 일반적으로 효소의 최적활성만이 분석됨
4. 특수한 의료, 분석용 또는 실험실용 촉매로 사용됨	4. 특수한 공업용으로 사용됨
5. 순수 냉동건조품이나 황산암모니아의 현탁액으로 시판됨	5. 건조품, 액체상태로 시판됨
6. 효소원은 제품의 사용목적이나 특수성에 따라 결정됨. 동식물조직, 효모, 미생물 등	6. 효소원은 주로 세균 또는 곰팡이에서 생성되는 것임

이 좋은 효소원을 탐색하고 효소의 재이용 방안을 해결함으로써 특정 효소의 원가를 낮추어 주는 것이 오늘날 개발 연구의 관심사로 되어 있고 이러한 효소이용 및 효소반응 공정에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

현재 산업적으로 많이 이용되고 있는 효소들을 1) 공업적 이용, 2) 임상화학 또는 분석화학에 있어서의 이용, 3) 그리고 고경화 효소의 이용 등 세 가지 부면으로 나누어 살펴보았다. 제 4 장에서는 우선 효소의 공업적 이용면을 구체적인 예를 들어서 중점적으로 설명하였다. 공업용으로 많이 이용

되고 있는 중요 효소들을 Table 2-2 및 2-3에 요약하였다. 대부분의 공업적 효소는 세균 또는 곰팡이 종류에서 생산하고 있으며, 몇몇의 경우 동물이나 식물의 조직에서 추출 정제하고 있다. 앞으로 경제성이나 다양성으로 보아 미생물 발효 과정을 통한 효소생산이 증가할 것으로 추산되며 그 이용도는 늘어갈 것으로 본다.

(가) Amylases: amylase는 전분가수분해 효소로서 α -amylase (α -(1,4)-glucan-4-glucanohydrolase; 3.2.1.1)를 비롯하여 β -amylase (α (1,4)-glucan maltohydrolase; 3.2.1.2), amyloglucosidase (α

Table 2-2. Amylase 와 protease 의 공업적 이용

효 소	급 원	용 도	공 업 계
Amylase	세균, 곰팡이, 맥아	전분가공, 포도당생성	전분당
	세균, 곰팡이, 맥아	액화공정, 당화공정	양조
	세균, 곰팡이	발효력, 소화력증진 발효력, 감미도증진	곡물식, 유아식 제빵
	곰팡이	여과력 증진	과즙
	세균	호화전분 제거	섬유
	세균, 곰팡이	지물도료를 위한 전분가공	제지
Protease	곰팡이	소맥 gluten 분해	제빵제분
	세균, 곰팡이, (papain, pepsin)	저온현탁 방지	맥주
	세균, 곰팡이 (papain, bromelain)	미감증진	곡물식
	rennet, 세균, 곰팡이	casein 응고, 미감증진	치이즈
	세균, 곰팡이, pancreatin	피혁제조시 bating, 탈모 공정	피혁
	papain, 곰팡이	연육작용, 농축어단백질	육가공, 어가공
	세균, 곰팡이	간장, 된장의 미감증진, 아미노산 생산	조미료
	세균	요수처리시 gluten 제거	섬유
	곰팡이	단백질성 반질 제거	합성세제
	pancreatin	은회수(사용한 필름으로부터)	사진

Table 2-3. 효소의 공업적 이용 (amylase 및 protease 제외)

효 소	급 원	용 도	공 업 계
가수분해효소 :			
Lactase	곰팡이	우유, 크림공정 및 whey 농축물내의 유당 가수분해	낙농업
Invertase	효모	전화당 생산 및 설탕결정 방지	제당, 제과
Cellulase	곰팡이	곡물식, 채소공업, 소화제	식품, 제약
Hemicellulase	세균, 곰팡이	gum물질제거, 과즙청징제, 곡물식 채소 또는 동물 사료 제조공정	식품, 사료
Pectinase	곰팡이	Coffee 제조공정, 포도주, 과즙청징제, 여과성 증진제	과즙, 양조
Tannase	곰팡이	과즙의 떫은맛 제거	과즙
Naringinase	곰팡이	과즙의 쓴맛제거	과즙
Acylase	곰팡이, 세균	L-amino 산 생산	amino 산
Meribiase	곰팡이	사탕무우 설탕추출시 raffinose 가수분해	제당
Dextranase	곰팡이	양조, 제당공정시 점액성 dextran 제거, 효소치약	양조, 제당, 치약
Lipase	곰팡이	Butter 향기 및 맛 조성, 세척제첨가로 기름때 제거	식품, 세제
Ribonucleotidase	곰팡이	Inosine 산 생산	조미료
산화환원효소 :			
Glucose oxidase	곰팡이	식품의 산화방지제로 산소제거, 건조식품 산화방지제 분말계란의 포도당 제거	맥주, 음료수 식품
Catalase	세균, 곰팡이	우유살균용, 식품산화방지제	식품

이성화효소 :

Glucose isomerase	방선균	이성화당 및 과당 생산	식품
D-amino acid resemase	세균	L-amino 산 생산	amino 산

전이효소 :

Nucleotide phosphotranspherase	세균	Inosine 산 생산	조미료
Transaminase	세균	L-amino 산 생산	amino 산

탈리효소 :

Aspartase	세균	aspartic 산 생산
Fumarase	세균	malic 산 생산

(1, 4)-glucan glucohydrolase; 3. 2. 1. 3) 그리고 isoamylase (amylopectin-6-glucanohydrolase; 3. 2. 1. 9) 등이 있다^(1, 2). 이러한 amylase 는 공업적 가치와 산업적 이용도가 넓은 효소이다.

이 중에서 α -amylase 는 endoamylase 로서 전분의 연쇄결합을 하고 있는 $\alpha(1, 4)$ 결합을 가수분해하여 dextrin 과 맥아당을 생성하나 전분의 구성성분인 amylopectin 의 지상구조를 만들어주는 $\alpha(1, 6)$ 결합을 분해시키지 않는다. 따라서 이 효소 작용의 특성은 호화전분을 분해액화시켜서 점성강화

를 촉진시켜주는 것이다. β -amylase 나 amyloglucosidase 는 exoamylase 라 알려져 있고 amylose 나 amylopectin 의 비환원기의 말단 부분의 결합을 가수분해하는 효소이다. 전자는 $\alpha(1, 4)$ 결합을 하나씩 걸러서 분해함으로써 맥아당을 생성하며, 후자는 포도당 결합을 하나 하나 끊어 줌으로써 포도당을 최종산물로 생성한다. amyloglucosidase 는 $\alpha(1, 6)$ 결합도 분해시킬 수 있는것이 특징이며, 점성 강하속도는 느리지만 환원기의 유리속도는 대체적으로 빠르다(Table 2-4).

Table 2-4. Amylase 의 특성

특 성	α -amylase	β -amylase	amyloglucosidase
1. α -1, 4-결합분해력	+	+	+
2. α -1, 6-결합분해력	-	-	+
3. α -1, 6-결합주원분해력	+	-	분해
4. C, 산물 입체구조형	α	β	β
5. 기질분해 작용 기구	endo	exo	exo
6. 점성 강하도	빠름	늦음	늦음
7. 옥도반응 소멸력	빠름	늦음	늦음
8. 화원당 생성력	늦음	빠름	빠름
맥아당 생성력	늦음	빠름	-
포도당 생성력	-	-	빠름
9. 효소원	<i>Aspergillus</i> <i>Bacillus</i>	맥아 <i>B. megaterium</i>	<i>Aspergillus</i> <i>Rhizopus</i>

α -amylase 는 여러가지 미생물(*Aspergillus*, *Bacillus*)에서 생성된다^(2, 3, 4). 미생물 amylase 중에서 곰팡이류 amylase 와 세균성 amylase 는 그 특성이 다르며 온도에 대한 저항력이 달라 공업용으로 이용되는 방도가 약간씩 다르다. 세균 amylase 는 일반적으로 곰팡이 amylase 에 비해 고온에서 잘 작용하므로 고온에서 전분을 재빨리 가용제거시키는 공정과 가용성 dextrin 을 생산하는데 쓰

인다. 이러한 내열성 amylase 를 이용하는 산업으로는 섬유업에 있어서나 제지업에서 탈호과정에 쓰이며^(5, 6), 양조업이나 포도당 산업에 있어서 전분을 액화시키는 공정에 많이 쓰인다^(7, 8, 9). 내열성 amylase 는 주로 *Bacillus* 균에서 생성되며 *B. subtilis* 나 *B. Stearothermophilus* 등에서 생성되는 액화 amylase 는 널리 실용화되고 있다^(4, 10, 11, 12).

곰팡이 amylase 는 비교적 온도에 대한 안정도

는 낮지만 저온에서 전분을 빨리 당화시키는 힘이 있어 양조업이나 포도당 제조업에서 당화제로 많이 사용되고 있다. 특히 사용되는 효소원의 선택에 따라 α -amylase, amyloglucosidase, maltase의 효소역가가 다르기 때문에 이들의 양을 적당히 조절 사용함으로써 소정된 당(dextrin, maltose 및 glucose)이 함유된 제품을 만들 수 있다. 더욱이 *Rhizopus* 나 *Aspergillus* 에서 생성되는 amyloglucosidase는 포도당 생성력이 강한 당화 효소이기 때문에 실제로 포도당 산업에 많이 이용되고 있다^(9, 10, 11). 이외에도 일반적으로 amylase는 제과 제빵업에 많이 쓰일 뿐 아니라, 곡물식품 공정에도 쓰인다^(10, 13, 14). 제빵업에 있어서도 amylase를 씌으로써 당화력을 증가시키고 따라서 당함량을 높임으로 발효시에 가스 발생력을 증가시키는 효력을 보여주고 있다.

β -amylase는 맥아나 고구마에서 생성되고 전분으로부터 맥아당을 생산하는데 널리 쓰이고 있다. 미생물에서는 *Bacillus megaterium*에서 생성되며 앞으로 isoamylase와 병용함으로써 고농도맥아당 액당 생산에 많이 이용될 것으로 생각된다^(10, 15). Isoamylase (amylopectin-6-glucanohydrolase; 3.2.1.9)는 amylopectin의 $\alpha(1,6)$ 결합을 끊어주기 때문에 액화 α -amylase로 전분을 액화시킨 후에 isoamylase와 β -amylase로 처리시키면 100% 맥아당을 생성시킬 수 있는 공정이 된다. Isoamylase는 *Aerobacter aerogenes*나 *E. coli*에서 생성된다⁽¹⁵⁾.

(나) 과당류 가수분해효소 : 이당류 가수분해 효소로서 공업용으로 많이 쓰이고 있는것은 maltase (α -D-glucoside glucanohydrolase; 3.2.1.20), lactase (β -D-glactoside galactohydrolase; 3.2.1.23) 그리고 invertase (β -D-fructofuranoside fructohydrolase; 3.2.1.26) 등이다. 이중에서 invertase는 서당을 포도당과 과당으로 가수분해 하는 효소이며 서당 보다 가용성이 높은 전화당을 만드는데 쓰인다. 이런 전화당은 여러가지 식품의 첨가제로 쓰이고 특히 제과업에 대단히 중요한 제품이다⁽¹⁶⁾. Lactase는 유당을 포도당과 galactose로 분해시키는 효소로 아이스크림 제조나 우유생산업에 있어서 그 속에 함유되어 있는 유당의 결정화를 막기 위하여 이 효소를 써서 가수분해 처리를 한다⁽¹⁷⁾. 한편 우유에서 치즈를 만든 후에 남은 찌꺼기를 whey라고 하는데 이 속에는 lactalbumin과 여러가지 탄수화물이 많이 들어 있어 동물 사료로 쓰

인다. 이런 whey를 lactase로 처리함으로써 동물이 잘 소화시키지 못하는 유당을 분해 시켜서 영양가를 높여준다⁽¹⁸⁾.

삼당류 분해효소로 *Streptomyces* sp.에서 추출된 melibiase는 raffinose (fructose-glucose-galactose)를 galactose와 sucrose (glucose-fructose)로 가수분해하는 효소이며 무폐당밀 제당업에 쓰이고 있다. 제당공업에 있어서 단무를 쓸 경우에는 서당을 추출하고 남은 당밀속에 raffinose가 많이 들어 서당의 회수율이 좋지 않은데 이 당밀을 melibiase로 처리함으로써 서당의 회수율을 증가시키는데 성공하였다⁽¹⁹⁾.

(다) Proteases : 단백질 가수분해 효소의 원료로서는 동물 또는 식물조직이나 미생물을 들 수 있다. 동물성 protease로 pepsin, trypsin, chymotrypsin 등이며 식물성으로는 bromelain, papain, ficin 등을 들 수 있으며, 미생물 protease로는 subtilisin이 그 대표적인 예이다. 일반적으로 protease는 효소의 종류에 따라 최적온도나 최적 pH가 다르며 단백질 분해정도가 다르다^(20, 21) (Table 2-5). 따라서 protease의 이용목적에 따라 적당한 효소를 선정하여야 하며 처리 조건을 잘 고려하여 사용하는 것이 중요하다.

미생물 발효에서 생성된 protease 중에서 산성 protease는 *Aspergillus* 또는 *Rhizopus* 등의 곰팡이에서 추출정제되며 이 효소의 성질은 동물성 효소인 pepsin이나 rennin과 비슷하다. 이러한 효소는 대체로 산성 pH 2~5에서 잘 작용하고 SH 시약이나 금속 chelating agent에 영향을 받지 않는다. 온도에 대한 안정도는 산성 pH에서는 높으나 알칼리 pH에서는 쉽게 변성된다. 일반적으로 peptide 결합을 가수분해하는데 그 특이성이 낮으며, esterase 활성이 없는 것이 특징이다⁽²²⁾.

중성 protease는 대개 최적 pH가 7.0이며 EDTA나 O-phenanthroline과 같은 chelating agent에 민감한 금속 protease와 SH 시약에 민감한 thiol protease, 두가지로 나눌 수 있다. 금속 protease는 carboxypeptidase와 같은 exopeptidase이며, Mg^{++} , Mn^{++} , Co^{++} , Zn^{++} 와 같은 금속 이온이 함유 되어 있다⁽²³⁾. 온도에 대한 안정도는 대체로 약하나 pH 6~9에서는 비교적 안정하다. 일반적으로 leucine이나 phenylalanine 같은 hydro phobic side chain이 있는 아미노산 결합을 분해하는 특성이 있다. Thiol protease는 활성기로 cysteine이 작용하고 있으며 주로 papain, ficin, bromelain과

Table 2-5. Protease의 특성

특 성	Alkaline Protease	Neutral Protease		Acid Protease
최적 pH	alkali (8.0-9.0)	neutral (6.0-7.0)		acid (2.0-5.0)
활성기	serine histidine	cysteine histidine	tyrosine arginine	carboxyl group
금속활성도	—	—	Zn, Mn	—
활성저해소	DFP —	DFP SH reagent	— EDTA	— P-bromophenylbromide
특이성(기질)	높음	높음	높음	낮음
esterase 활성도	유	유	무	무
내열성(pH 7.0)	안정	안정	안정	불안정
분자량	26,000-34,000	21,000-33,000	35,000-45,000	~35,000
효소류	chymotrypsin trypsin elastase thrombin subtilisin	papain ficin bromelain	carboxypeptidase leucine amino-peptidase carosinase	pepsin rennin cathepsin
미생물 효소 원	<i>Bacillus</i> <i>Streptomyces</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Aspergillus</i> <i>Mucor</i>

같은 식물성 protease 가 이에 속한다⁽²⁴⁾.

알카리성 protease 는 주로 취장에서 분비되는 protease 로서 chymotrypsin, trypsin 이 좋은 예이며, *Bacillus subtilis* 에서 생성되는 subtilisin 은 미생물성 알카리 protease 이다. 일반적으로 알카리성 protease 는 지온에서는 pH 5~10범위내에서 안정도를 보이나 65° 이상에서는 빨리 변성한다. 한편 *Streptomyces* 에서 생성되는 알카리성 protease 는 비교적 열처리에 저항력이 있으며 70°에서는 30분간에 10~10.5% 정도의 활력을 상실한다. 알카리성 protease 의 최적 pH는 9.5~10.5에서 볼 수 있고 여러가지 효소학적 또는 물리화학적 성질이 잘 연구되어 있다. 촉매기 serine 과 histidine 이 작용하며 serine 의 OH 기와 결합하여 acyl enzyme 이란 중간 생성물을 형성하기 때문에 일반적으로 serine enzyme 이라 부르며 esterase 활성이 높은 protease 이다⁽²⁵⁾.

Aspergillus 같은 곰팡이류에서 생성되는 protease 는 발효 식품에 많이 이용되어 왔으며 특히 우리나라에서는 장류 식품제조에 사용되었다^(26, 27). 이러한 발효식품의 제조 공정에는 분리정제된 protease 를 쓰는 것이 아니고 대두나 맥강과 같은 배지에 자라난 균체균을 사용한다. 추출된 곰팡이 protease 는 빵이나 곡류 식품을 만드는데 첨가제로 쓰인다. 적당량의 protease 를 밀가루에 첨가시키면 빵이 잘 부프르고, 조직이 좋아지며 반죽할 때 잘 늘어나는 것이 특징이다^(28, 29). 이외에도 일

반적으로 다른 여러 식품공업에도 많이 쓰고 있는데 protease 주로 맛이 없는 단백질이나 polypeptide 를 적당히 가수분해 시킴으로써 맛을내고 또 소화력을 증진시키는 역할을 한다. Pepsin, papain, 또는 미생물 protease 는 맥주나 청량음료 제조 공정에서 냉각시에 생기는 혼탁물질을 분해시켜 깨끗한 제품을 만드는데 쓰인다^(30, 31). 세균 protease 는 고기 연화제 (meat tenderizer)로도 쓰이고 있으며^(32, 33), 종래에 쓰여오던 pancreatin 을 대체해서 피혁제조공업에서 모발 또는 변성단백질의 제거 목적으로 쓰인다⁽³⁴⁾. 사진 공업에 있어서는 사용된 필름을 처리해서 은을 회수하는데도 protease 를 쓰고 있다.

이외에 특기하고 싶은 것은 알카리성 protease 이며, 이것은 합성세제(detergent) 첨가제로 많이 쓰이고 있다^(19, 20, 25). 1960년대에 비로서 protease 를 세제에 쓰게 됨으로써 효소 공업의 붐을 이르게 되었는데 현재 미국에서는 보건상의 이유로 효소 세제의 시판을 금지시키고 있는 형편이나 아직도 서구 각국이나 일본에서는 이 분야에 계속적 개발을 꾀하고 있다⁽³⁶⁾. 이러한 알카리성 protease 는 특히 단백질성 반점을 제거시키는데 없어서는 아니될 요소이며 다른 탄수화물이나 지방질을 분해하는 효소제와 병용해서 반점 제거용 특수세제를 만들기도 한다. 앞으로 detergent 나 열에 저항력이 강한 효소의 개발 또는 일정 기간동안 효소 활성을 안정시킬 수 있는 기술이 필요하다고 생각

한다.

서구의 낙농업에 있어서 많이 쓰고 있는 효소는 우유 단백질인 casein 을 응고시키는 효소이며 이 효소는 주로 송아지 위조적에서 추출정제하여 썼으나 그 생산가때문에 근래에 와서는 미생물의 단백질 분해 효소인 *Mucor- α -rennin* 을 이용하고 있다²²⁾. 치즈를 성숙시킬 때 우유단백질을 너무 지나치게 가수분해 시키면 냄새나 맛이 제대로 나지 않음으로 casein 을 응고시키는 효소로서는 이 응고력과 단백질 가수분해력의 비율이 적당해야 한다. 이 외에도 *Bacillus* 에서 생성되는 protease 는 치즈나 구강세척액에 dextranase 와 병용하여 치석과 충치 방지에 효력을 보았다는 보고가 있다³⁷⁾.

앞으로 protease 생산에 있어서 최적온도, pH, 활성도 그리고 안정도 등 여러가지 미생물에서 얻을 수 있는 protease 의 성질을 계속 연구하여 사용목적이나 여건에 맞는 효소를 찾아낸다면 앞으로 공업적 이용 가치는 점점 높아지리라 생각한다.

(라) Pectinase: Pectin 분해효소인 pectinase 는 두가지 종류가 있다. 하나는 pectin esterase(pectin-pectyl-hydrolase; 3. 1. 1. 11)로 pectin 을 methanol 과 polygalacturonic acid 로 분해시키는 것이고, 또 다른 하나는 polygalacturonase (polygalacturonide glycanohydrolase; 3. 2. 1. 15)로써 polygalacturonic acid 를 galacturonic acid 로 가수분해시키는 효소이다. 대부분의 미생물 (*Aspergillus* 또는 *Penicillium* sp.)에서 추출되는 pectin 분해효소는 이 두 효소가 다 들어 있고 실질적으로 과즙이나 맥주공정에 많이 쓰인다^{38, 39)}. Pectin 분해효소 처리는 과즙 또는 맥주 제조공정중에서 혼탁케 해주는 pectin 을 분해제거 시켜줌으로써 맑고 깨끗한 생산품을 만들어 줄 뿐 아니라 과즙 농축물을 만드는데 있어서 점도를 높여주는 pectin 을 분해시킴으로서 점도의 조절이 가능할 뿐 아니라 여과성을 높이는데 이용된다.

(마) Cellulase 및 Hemicellulase: Cellulase(β -1,4-glucan glucanohydrolase; 3. 2. 1. 4)는 섬유소의 β -1,4-glucan 결합을 분해하여 가용성인 다당류들이나 포도당으로 만들어 준다. Cellulase 는 효소의 복합체로서 적어도 세가지 다른 효소가 작용하여 섬유소를 포도당까지 분해시킬 수 있게 된다. 첫째는 섬유소를 분해시켜서 그 연쇄결합을 끊어주는 효소가 있으며 이것은 *Trichoderma viride* 에서 분리 되었다. 둘째는 이런 섬유소를 cellulodextrin, cellobiose 및 cellobiose 등으로 분해시키는

endoglucanase 로 주로 *Aspergillus*나 *Mycothecium* sp. 에서 분리된 것이고, 셋째로는 cellodextrin 을 분해하여 포도당을 최종산물로 만들어 주는 exoglucanase 로 endoglucanase 와 더불어 곰팡이 종류에서 생성된다. 이러한 섬유소 분해 효소는 제지공업에서 많이 쓰고 있고, 근자에 와서는 무용한 섬유소 폐기물로부터 포도당을 생산하거나 펄프를 생산하는데 이용이 되고있다^{2, 40, 41)}. 현재 미국에서는 폐지처리의 방안으로 이 연구가 진행되고 있으며⁴¹⁾, 일본 등지에서는 소화제의 첨가제로 쓰이고 있어 1971년에는 연간 매상고가 160만톤에 달하고 있는 실정이다¹⁸⁾.

Hemicellulase 는 hemicellulose 라는 식물 세포막의 구성성분을 분해하는 효소이다. Hemicellulose 는 cellulose 나 pectin 결 이외의 다당류를 총괄해서 말하는것으로 식물체에 따라 다르며 이러한 다당류를 분해하는 hemicellulase 의 종류도 많은 것이 사실이다. Hemicellulase 는 cellulase, pectinase 와 더불어 과즙의 첨가제로 쓰이고 있으며 한편 곡류의 효소 박피공정도 쓰일 수 있음이 연구되었다²⁾. Hemicellulase 는 *Aspergillus niger*, *Trichoderma koningi*, *Bacillus subtilis* 등에서 생성되며 앞으로 식품공청에 유용한 효소의 하나이다.

(바) Glucose isomerase: 이 효소는 포도당을 이성화 시켜서 과당을 생성해 주며 근년에 와서는실제로 이성화 액당을 공업적으로 생산하는데 이용되고 있다. Glucose isomerase (D-xylose ketol-isomerase; 5. 3. 1. 6)는 여러가지 미생물에서 생성되나 현재 산업적으로 이용되고 있는 것은 *Streptomyces* sp. 에서 생성되는 것이며 xylan 이나 xylose 에 의해서 유도된다. 이런 효소는 내열성이 강하여 70°C에서도 작용하며 또 포화상태의 고농도 포도당 용액에서도 잘 반응하며 그 이성화율이 높아져 약 50%까지 과당으로 전환시킨다^{9, 19, 42, 43, 44)}. 이성화당은 그 감도나 성질이 전화당과같아서 일본, 미국 등지에서 연간 수십만톤에 달하는 이성화당 액당(syrup)을 생산하고 있으며 제과, 제빵, 청량음료수에 있어서 설탕 대체 감미제로 널리 사용되고있다^{9, 45)}.

(사) Glucose oxidase: 산화환원효소는 공업적으로 많이 쓰이지는 않으나 glucose oxidase (β -D-glucose: oxygen reductase; 1. 1. 3. 4)는 식품공정에 있어 식품 산화 방지제로 산소를 제거 시키거나 또는 포도당을 제거시키는 목적으로 catalase

나 peroxidase 와 병용하고 있다^(46, 47). glucose oxidase 는 *Aspergillus* 에서 생성되는 flavin 이 들어 있는 황색효소(yellow enzyme)로 glucose 를 gluconic acid 와 H₂O₂ 로 산화시키는 효소로 β-D-glucose 에 대한 특이성이 대단히 높다. Catalase 와 병용할 경우에는 H₂O₂ 를 H₂O 와 O₂ 로 분해시킨다. 산업용으로는 임상실험에 있어서 당뇨병 검정을 위해서 혈당이나 뇨당을 쉽게 측정할 수 있도록 만든 당도 측정지(glucose test-strip) 제조에 쓰이고 있다^(48, 49). 이 효소가 실제로 대량 사용되는 것은 식품공정이며, 특히 제란 분말 제조 공정시에 포도당을 제거하는 목적으로 쓰고 있고⁽⁵¹⁾, 치즈나 음료수 등 여러 식품공정에서 지방산화를 방지하기 위하여 산소를 제거하는 목적으로 많이 쓰인다⁽⁵¹⁾. glucose oxidase 와 catalase 를 포장지에 부착시켜서 건조식품 제품의 포장지로 쓰고 있다. 이 방법은 산소의 투과를 방지하여 제품의 산화를 방지하는데 효력을 보고 있어서 건조식품제의 저장에 커다란 이득을 보고있는 것이 사실이다⁽⁵²⁾.

(아) Lipase: 이 효소는 지방질이 phospholipid 를 분해시켜서 glycerol 과 지방산을 생성한다. Lipase 는 여러종류의 미생물이나 동물조직에서 얻을 수 있다. Lipase 는 낙농업이나 합성세제업에서 많이 이용 되고 있다. 낙농업에 있어서는 크림이나 스낵 식품 공정에 있어서 맛을 돌구는데 쓰고 있으며, 알칼리성과 내열성이 있는 lipase 는 앞으로 합성세제의 첨가용으로 많이 쓰이게 될 것으로 예상된다^(18, 19).

(자) Naringinase: 이 효소는 귤이나 grape fruit 와 같은 과실의 고미를 나타내는 naringin 의 배당결합을 가수분해하여 감미가 높은 naringenin 을 생성한다. Naringin 은 flavonoid 배당체이며, naringinase 는 배당체의 당결합 중에서 말단기의 ramnose 를 가수분해 해준다^(41, 53). Naringinase 는 *Asp. niger* 배당액에 ramnose 를 첨가하여 유도시킬 수 있으며, 경제적으로 양산할 수 있다. 이 효소는 귤 감 통조림의 제조공정에서 고미를 없애는데 쓰이고 있으며, 근자에 와서는 천연감미료의 개발목적으로도 이용되고있다⁽⁴⁰⁾.

(차) 기타: 이상에 열거한 여러가지 효소들이외에도 여러가지 효소들이 그 특성에 따라 산업적으로 이용되고 있는 것이 많이 있다. 말하자면 keratinase 와 같은 효소는 모발속에 들어있는 keratin 을 가수분해 해주며 실제로 피혁제품 공정에 있어서 탈모법으로 이용되고 있다^(18, 54). Tannase는 tan-

nin 산이 가지고 있는 떫은 맛을 없애주는데 중요한 역할을 한다. 따라서 앞으로 차, 맥주 또는 포도주업과 같은 식품공정에 널리 이용될수있다⁽¹⁸⁾.

현재 일본등지에서 L-amino 산 제조용으로 많이 쓰이는 효소는 aspartase 나 acylase 가 있다. *E. coli* 에서 생성되는 aspartase 는 화학합성에서 얻은 fumar 산을 원료로써서 ammonia 첨가반응을 촉매하여 aspartic 산을 합성한다. Acylase 는 *Aspergillus* 나 *Penicillium* 에서 생성되며 acyl화된 D L-amino 산중에서 L-acyl 체만을 분해하여 L-amino 산을 생산하는데 쓰인다. 한편, D-amino acid oxidase 는 DL-amino 산 혼합물중에서 D-amino 산만을 keto 산으로 산화제거시켜 L-amino 산을 얻게 된다⁽¹⁹⁾.

조미료로 쓰이는 5'-inosine 산을 생산하는 공정에 있어서 5'-phosphodiesterase 를 사용하는데 이 효소는 효모에서 추출된 5'-inosine 핵산을 가수분해하여 5'-inosine 산과 5'-guanyl산을 생산하는데 쓰인다⁽¹⁹⁾.

참 고 문 헌

- (1) Windish, W. W. and Mhatre, N. S.: *Adv. Appl. Microbiol.*, **7**, 273(1967).
- (2) 福本壽一郎: *化學と生物*, **10**, 149(1972).
- (3) Ichishima, E.: *J. Ferment. Assoc. (Japan)*, **29**, 107(1971).
- (4) Fogarth, W. M., Griffen, P. J. and Joyce, A. M.: *Proc. Biochem.*, **6**, (#7), 11(1971).
- (5) Gale, R. A.: *Wallerstein Labs. Comm.*, **4**-1 12(1941).
- (6) Barfoed, H.: *Proc. Biochem.*, **5**(#8), 17(1970).
- (7) Aschengreen, N. H.: *Proc. Biochem.*, **4**(#8), 23(1969).
- (8) Suzuki, Shigeo.: *J. Japanese Soc. Starch Sci*, **17**, 155(1969).
- (9) 한문희: *한국식품과학회지* **6**, 241 (1974).
- (10) Windish, W. W. and Mhatre, N. S.: *Adv. Appl. Microbiol.*, **7**, 273(1967).
- (11) 一島英治: *日本醱酵協會誌*, **29**, 107(1971).
- (12) Novo enzyme information, Novo enzymes in the brewing industry, Novo Industri A. S. 35, Finsenseve, D. K. 2000 Copenhagen F. Denmark.

- (13) Miller, B.S., Johnson, J.A. and Palmer, D.L.: *Food Technol.*, **7**, 38(1953).
- (14) Reed, G.: *Food Technol.*, **6**, 339(1952).
- (15) Kobayashi, T.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **29**, 466(1971).
- (16) Neuberg, C. and Roberts, I. S.: *Invertase Monograph Sugar Research Foundation*, New York, N. Y., 1946.
- (17) Reed, G.: *Food Eng.*, **24**, 108(1962).
- (18) "Present and Future Technological and Commercial Status of Enzymes" prep. by National Science Foundation, U. S. A., 1972.
- (19) 上林明: 化学经济, **38**, 1260(1969).
- (20) Keay, L.: *Proc. Biochem.*, **4**(#8), 17(1971).
- (21) Ichishima, E.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **28**, 344(1970).
- (22) Ichishima, E.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **25**, 269(1966).
- (23) Ichishima, E.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **25**, 405(1967).
- (24) Ichishima, E.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **26**, 53(1968).
- (25) Ichishima, E.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **25**, 337(1967).
- (26) 好井久雄: 食品工业, **8**(下) 50(1974).
- (27) Hashimoto, H. and Yokotsuka, T.: *J. Ferment. Technol.*, **51**, 661(1973).
- (28) Pence, J.W.: *J. Agr. Food Chem.*, **1**, 157(1953).
- (29) Miller, B.S., and Johnson, J.A.: *Bakers Dig.*, **29**, 95(1955).
- (30) Wallerstein, L.: *Wallerstein Labs. Comm.*, **19**, 95(1956).
- (31) Witt, P.R., Jr., Sain, R.A. Richardson, T. and Olson, N.F.: *Brewers Dig.*, **45**(#10), 70(1970).
- (32) Wang, H. and Maynard, N.: *Food Research*, **20**, 587(1955).
- (33) 井上浩: 食品工业, **8**(下) 34(1974).
- (34) Green, G.H.: *J. Soc. Leater Chem. Assoc.*, **36**, 127(1952).
- (35) Cayle, T.: *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **46**, 515(1969).
- (36) Anonymous: *Chem. Eng. News.*, **47**(#11), 25(1969).
- (37) Shaver, K.J. and Schiff, T.: 47th General Meeting, Int. Assoc. Dent. Res., Houston, Texas, March 1969.
- (38) de Vos, L. and Pilnik, W.: *Proc. Biochem.* **6**(#8), 18(1973).
- (39) 石井茂孝, 横塚保: 化学と生物, **11**, 376(1973).
- (40) 大橋治陸: 食品工业, **8**(下) 25(1974).
- (41) Anonymous: *Chem. Eng. News*, **52**(#5), 20(1974).
- (42) 頼富憲三郎: 食品工业, **3**(下), 24(1971).
- (43) Kooi, E.R. and Smith, R.J.: *Food Technol.* **21**(#9), 57(1972).
- (44) Wardrip, E.E.: *Food Technol.*, **25**(#5), 47(1971).
- (45) Davis, J.C.: *Chem. Eng.*, **81**(#8), 52(1974).
- (46) Snyder, E.G.: *Food Eng.*, **25**, 89(1953).
- (47) Kusai, K.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **20**, 287(1961).
- (48) Hunt, J.A., Gray, C.H. and Thorogood, D.E.: *Brit. Med. J.*, **4**, 586(1956).
- (49) Adams, E.C., Burkhart, C.E. and Free, A.H.: *Science*, **125**, 1082(1957).
- (50) Baldwin, R.R., Campbell, H.A. Thiessen, R. and Loraut, G.J.: *Food Technol.*, **7**, 275(1953).
- (51) Barton, R.R., Rennert, S.S. and Underkoffler, L.A.: *Food Eng.*, **27**, 79(1955).
- (52) Kurtz, G.W. and Yonezawa, Y.: *Food Technol.*, **11**, 16(1957).
- (53) Okada, S., Yano, M. and Fukumoto, J.: *J. Ferment. Assoc.* (Japan), **24**, 371(1966).
- (54) Anonymous: *Chem. Eng. News*, **39**(#6), 15(1961).