

젖산의 생물공학적인 생산 및 산업적 응용

윤종선, 문세권, 위영중, 류화원

전남대학교 공과대학 응용화학공학부, 생물산업기술연구소

TEL (062)530-1842, FAX (062)530-1849

I. 서론

유기산은 자연계의 동·식물체 혹은 미생물의 대사산물에서 현재까지 약 60여종이 발견되었으며, 초기에는 동·식물체에서 추출하여 이용하였으나 미생물을 이용한 발효공정에 의해 상업적으로 생산되다가 근래에 들어 화학적 합성공정으로 전환되기도 하였다. 구연산, 글루콘산, 이타콘산은 발효공정에 의해, 젖산과 초산은 발효 및 합성공정에 의해 생산되고 있으며 숙신산, 푸마르산, 프로피온산, 부틸산 등은 합성공정에 의해 상업적으로 생산되고 있다. 현재 발효공정은 개발되었으나 경제성 때문에 상업화되지 못한 유기산 발효공정도 있다 [1].

전세계적으로 원유 매장량은 약 1,373억 배럴로 추정되며 그 가채년수가 약 40여년으로 분석되고 있어 원유의 가격상승 또는 고갈에 대비하여 대체 에너지 개발과 동시에 화학공업의 대체원료 개발 등의 장기적인 대책마련이 시급하다. 석유화학공업의 대체원료로서 젖산, 숙신산 등의 유기산이 집중적으로 연구되고 있는데 젖산($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$)은 수산기와 카르복실기를 동시에 가지고 있어 반응성이 매우 크기 때문에 간단한 에스테르화, 수소화, 탈수, 축합, 중합반응에 의해 아세트알데히드, 프로필렌글리콜, 프로필렌옥시드, 아크릴산, 2,3-펜탄디온, 폴리락타이드 등으로 전환할 수 있어 석유화학 대체원료로 중요한 C_3 화합물 [2, 3] 이다. 여기서는 젖산의 생물공학적 생산과 산업적 응용에 대하여 기술하고자 한다.

II. 젖산의 산업적 응용

젖산과 젖산염은 인체에 독성이 없어 미국 식품의약청에 의해 GRAS (generally recognized as safe)로 승인되어 [4], Table 1에 보인 바와 같이 향미제, 산미제, 보존제 등으로 식품 관련 산업에 약 70% 정도가 이용되고 있다. 또한 용매, 세정제, pH 조절제, 흡습제, 보습제, 피부미백제, 정맥주사액, 투석액, 치석 제거제, 칼슘보강제, 빈혈 치료제, 여드름 및 무좀 치료제 등의 용도로서 화장품, 제약, 화학, 금속, 전자, 페인트, 잉크, 직물, 염색, 피혁공업 등에 폭 넓게 응용되고 있는 공업적으로 중요한 유기

산이다 [5].

석유화학에서 유도되는 폴리스틸렌, 폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등과 같은 난분해성 플라스틱에 의한 환경오염 문제가 심각하게 대두되어 신소재의 개발이 절실히 요구되고 있다. 그러한 신소재 물질로서 가격이 고가여서 수술용 봉합사 등의 제한된 용도로 이용되고 있던 생분해성 고분자 폴리락타이드는 물성, 가공성 등이 우수할 뿐만 아니라 경제적인 젯산 발효공정과 효율적인 중합공정의 개발에 의해 석유화학에서 유도되는 플라스틱과 응용 및 경제성 면에서 경쟁력을 가지고 있다. 폴리락타이드는 난분해성 환경오염 유발 포장재 및 플라스틱의 환경친화적인 대체물질로서 1997년 미국 Cargill-Dow Polymer Co.는 중합공정을 개발하여 현재 년산 9,000톤 규모의 파이롯 플랜트 시험 운전을 성공하여, 2002년부터 년산 140,000톤 규모의 폴리락타이드를 생산할 수 있는 공장을 가동하고 있다 [6].

Table 1. Applications of lactic acid and its derivatives

	Main Functions & Properties	Applications
Food	<ul style="list-style-type: none"> - Flavoring - pH regulation - Improving microbial quality - Mineral fortification 	<ul style="list-style-type: none"> - Meat & poultry product - Health & nutrition - Pickled vegetables - Confectionery - Sugar-free products - Beverages, dairy - Baked goods, Flavors
Industry	<ul style="list-style-type: none"> - Descaling agents - pH regulators / pH buffers - Neutralizers, solvents - Chiral intermediates - Cleaning agents, humectants - Slow acid release agents - Metal complexing agents - Anti-microbial agents 	<ul style="list-style-type: none"> - Aerospace industry - Chemical industry - Detergents - Metal industry - Micro-electronics industry - Paint & ink industry
Cosmetics	<ul style="list-style-type: none"> - Moisturizers, pH regulators - Skin rejuvenating agents - Skin whitening agents - Anti-acne agents, humectants - Anti-tartar agents 	<ul style="list-style-type: none"> - Skin care - Toiletries - Anti-perspirants - Oral & haircare - Special skin care
Medical & Pharmaceuticals	<ul style="list-style-type: none"> - Electrolytes - Mineral sources 	<ul style="list-style-type: none"> - Parenteral / I.V. solutions - Dialysis solutions - Mineral preparations, tableting - Medical & pharmaceutical implants

또한 젖산 ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$)은 수산기와 카르복실기를 동시에 가지고 있어 반응성이 매우 크기 때문에 간단한 에스테르화, 수소화, 탈수, 축합, 중합반응 등에 의해 젖산 에스테르, 아세트알데히드, 프로필렌 글리콜, 프로필렌 옥시드, 아크릴산, 2,3-펜탄디온 등으로 전환할 수 있어 석유시대이후 화학공업의 대체원료로서 중요한 C_3 화합물이다 [7]. 젖산으로부터 유도할 수 있는 공업적으로 중요한 화합물의 시장성이 미국 내에서만 연간 31~43억불 정도의 엄청난 잠재력을 지닌 유기산이다 [8].

III. 젖산의 화학적 합성과 생물학적 발효 공정

젖산은 석유화학적 합성공정과 생물공학적 발효공정에 의해 생산되고 있으며 이중 약 50% 정도가 발효공정에 의해 생산되고 나머지는 합성공정에 의해 생산되고 있다. Fig. 1 (A)와 같은 석유화학적 합성공정은 에틸렌을 산화시켜 아세트알데히드를 제조하고 이 아세트알데히드에 시안화수소를 첨가하여 락토니트릴을 제조하여 증류시켜 정제한 후 염산이나 황산을 사용하여 가수분해시켜 젖산을 제조한다.

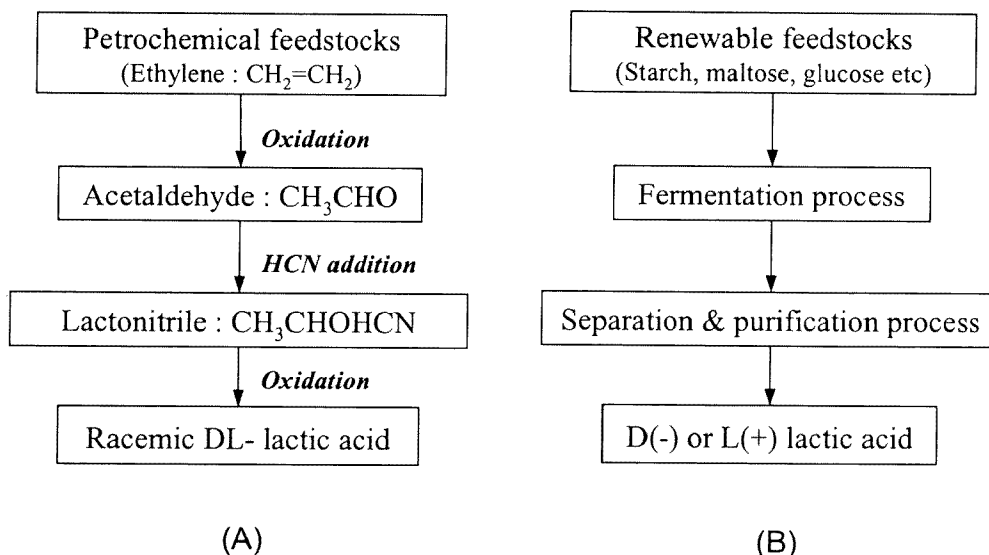


Fig. 1. Manufacturing routes of lactic acid (A) Petrochemical synthetic process, (B) Biotechnological fermentative process.

합성공정에 의해 생산된 젖산은 D(-)형 젖산과 L(+)형 젖산이 각각 50%씩 생산되어 라세믹 혼합물을 형성하기 때문에 젖산의 응용 면에서 많은 제약이 있다. 반면에 Fig. 1 (B)와 같은 생물공학적 발효공정은 다양한 탄수화물을 원료로 하여 발효에 사용된 미생물에 따라서 D(-)형 또는 L(+)형 젖산을 선택적으로 순수하게 생산할 수 있다는 장점이 있다. 또한 광학적으로 순수한 L(+)형 또는 D(-)형 젖산을 단량체로 중합한 폴리락타이드는 각각 PLLA와 PDLA가 생산된다. 이 두 중합체는 용융점이 약 180℃정도의 결정형 고분자 물질로서 기계적 강도, 투명성, 필름, 섬유 등 가공성이 우수한 반면에 DL-젖산으로 중합한 PDLA는 용융점이 낮아 무정형 고분자 물질이 된다 [9]. 합성공정에 의한 젖산생산은 L(+)형과 D(-)형 젖산이 각각 50%씩 섞여 있는 DL-젖산을 생산하는 반면에 발효공정에 의한 젖산생산은 선정된 미생물에 따라서 L(+)형 또는 D(-)형 젖산을 선택적으로 거의 순수하게 생산할 수 있어 발효공정에 의한 젖산생산으로 대체되는 추세이며, 게다가 젖산이 주로 식품용으로 많이 이용된다는 점에서 인체에 유해한 D(-)형 젖산보다는 L(+)형 젖산발효가 요구된다. 합성공정에서는 조절할 수 없는 미생물의 광학특이성을 이용하여 원하는 광학 이성질체만을 생산할 수 있다. 유럽의 경우 거의 발효공정에 의해 젖산을 생산하고, 일본의 경우 합성공정에 의해서만 젖산을 생산하고 있다.

우리나라는 아직까지 상업화된 젖산의 합성공정 또는 발효공정이 개발되지 않았으며 현재 연구단계이나 국내 몇몇 대기업에서 관심을 가지고 있는 것으로 알려졌다. 따라서 국내 젖산 수요량은 전량수입에 의존하고 있는데 1999년의 경우 젖산과 젖산염을 일본, 네델란드, 미국, 독일, 스페인, 벨기에 등에서 1,976톤 (538만불)을 수입하였다. 그리고 그 수입량이 매년 급증하고 있는 추세로 보아 상당한 규모의 내수시장을 확보하고 있어 효율적인 미생물과 경제적인 발효공정의 개발을 통한 젖산의 국산화를 위한 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구사업 (과제번호 : R05-2000-000-00175-0)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Varadarajan, S. and D.J. Miller, 1999, "Catalytic upgrading of fermentation -derived organic acids", *Biotechnol. Prog.*, **15**:845-854.
2. Zeikus, J.G., M.K. Jain, and P. Elankovan, 1999, "Biotechnology of succinic acid

- production and markets for derived industrial products”, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **51**:545-552.
3. Schilling, L.B., 1995, “Chemicals from alternative feedstocks in the United States”, *FEMS Microbiol. Rev.*, **16**:101-110.
 4. Benninga, H., 1990, *A History of Lactic Acid Making*, pp. 1-59. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
 5. <http://www.purac.com> / <http://www.lactic.com>
 6. Global report, 2000, “Cargill Dow to start up giant PLA plant”, *Modern Plastics*, **77**:11-18.
 7. Richter, K. and C. Berthold, 1998, “Biotechnological conversion of sugar and starchy crops into lactic acid”, *J. agric. Eng. Res.*, **71**:181-191.
 8. Datta, R., S.P. Tsai, P. Bonsignore, S.H. Moon, and J.R. Frank, 1995, “Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives”, *FEMS Microbiol. Rev.*, **16**:221-231.
 9. Lunt, J., 1998, “Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers”, *Polym. Degrad. Stabil.*, **59**:145-152.