

미생물을 이용한 껌류의 생산 Production of Microbial Gums

이 진 우

동아대학교 생명자원과학대학 생물공학전공

머리말

생물고분자 (biopolymers) 또는 생물고분자 중합체는 생물체를 구성하는 탄수화물, 지방, 단백질, 핵산과 이들의 복합체 및 생물체내에서 합성되어 체외로 분비하는 여러 종류의 고분자 물질을 의미한다. 식물의 세포벽을 구성하는 섬유소와 갑각류의 세포벽을 구성하는 키틴 (chitin), 특정한 해조류의 세포벽을 구성하는 알긴 (algin 또는 alginate) 역시, 생물체에서 합성되는 생물고분자이다 (1, 3, 8).

산업적으로 중요한 생물고분자 중에는 동물의 조직이나 뼈에서 분리한 콜라겐 (collagen)을 부분적으로 가수분해하여 생산하는 젤라틴 (gelatin), 식물의 탄소동화작용에 의하여 생산되는 포도당의 축합체인 전분 (starch)과 섬유소 (cellulose), 해조류에서 추출하는 알긴 및 아가 (agar)와 미생물이 생산하는 잔탄 (xanthan), 젤란 (gellan) 및 풀루란 (pullulan) 등이 있다 (5, 6, 43, 44, 46, 47). 생물고분자는 화학적으로 합성한 고분자에 비하여 자연 친화적이며, 구조적인 특징에서 비롯되는 고유한 기능을 갖고 있으며 산업적으로 매우 중요한 물질이다 (11, 12, 14, 45). 생물고분자는 산업적으로 안정제, 증점제, 유화제, 현탁제, 젤형성제, 교결제, 유희제 및 접착제 등의 다양한 기능으로 여러 분야에 이용되고 있으며, 특히 안정제, 증점제 및 젤형성제로서 식품에 사용되고 있다 (표 1). 대부분의 생물고분자는 생합성 경로가 복잡하여 화학적으로 합성이 불가능하며 화학 합성이 가능하여도 높은 생산비용 등의 경제적인 이유와 필요한 만큼 충분한 양을 대량으로 합성을 할 수 없기 때문에 생물체에서 추출하거나 미생물을 배양하여 생산하고 있다.

껌 (Gums)

껌 (gums)은 탄수화물, 테르펜 (terpene), 단백질 그리고 합성 고분자를 포함하는 광범위한 의미의 단어였으나, 1990년대에 이르러 산업적으로 유용한 다당류 및 이의 유도체를 의미하는 뜻으로 사용되고 있다.

껌은 크게 식물체에서 추출하거나 미생물을 이용하여 생산하고 있다. 식물체에서 추출하는 껌은 추출하는 식물체의 종류 및 부위에 따라 분류할 수 있다. 주로 식물체의 표피에서 추출하는 껌은 아라빅 껌 (arabic gum), 카라야 껌 (karaya gum), 트라

가칸트 껌 (tragacanth gum), 가티 껌 (ghatti gum)과 펙틴 (pectin) 등이 있으며 해조류에서 추출하는 껌에는 아가 (agar), 알긴과 카라기난 (carageenan) 등이 있다 (40, 41, 45, 46, 48). 구아 껌 (guar gum), 로커스트빈 껌 (locust bean gum)과 타마린드 껌 (tamarind gum) 등은 식물체의 씨앗에서 추출하는 껌이다 (37, 44, 46). 산업적인 규모로 미생물을 배양하여 생산하는 껌에는 잔탄 (xanthan), 젤란 (gellan) 및 커드란 (curd-lan) 등이 있다 (18, 38, 39, 47). 또한, 껌은 천연 껌 (natural gums)과 반합성 껌 (semisynthetic gums)으로 분류할 수 있는데 미역과 다시마 등의 갈조류에서 추출한 알진이 전자에 속하며 알진의 기능을 강화하기 위하여 화학적인 방법으로 기능기를 첨가한 프로필렌 글라이콜 알긴 (propylene glycol alginate) 등이 후자에 속한다 (7, 47).

산업적으로 중요한 껌

젤라틴 (Gelatin)

젤라틴은 아미노산의 복합체로 진정한 의미의 껌류에 속하지 않으나, 젤을 형성하는 기능으로 식품산업에 많이 쓰이고 있다. 서유럽에서 일년에 소비하는 젤라틴의 양은 약 60,000톤이며, 이 중에서 약 80%가 식품에 사용된다 (34). 젤라틴의 세계 소비량은 연간 300,000톤이며 국내 소비량은 연간 5,000톤이다. 국내에서 소비되는 양의 약 40%를 수입에 의존하고 있다. 젤라틴은 동물의 피부, 연결 조직과 뼈에 존재하는 콜라겐 (collagen)을 부분적으로 가수 분해하여 만든다. 콜라겐은 섬유상의 단백질로서 동물의 모든 조직과 기관에 존재하며 고등동물의 경우 존재하는 단백질의 약 30%가 콜라겐이다. 콜라겐은 제과류, 육제품과 유제품 등의 식품에 안정제 및 젤형성제로 쓰이며 의약품 및 기타 산업에 접착제, 사진 감광제 및 보습제 등으로 다양하게 사용되고 있다 (42, 43).

식물체 추출 껌류 (Plant exuded gums)

(1) 아가 (Agar)

아가 (agar)는 일본, 멕시코, 포르투갈 및 덴마크 해안에서 대량 서식하는 홍조류 (red seaweed)의 한 종류인 *Rhodophyceae*에서 추출하는 다당류이다 (3). 아가, 카라기난과 알진을 추출하

Table 1. Products and applications of gums produced by TIC GUM Co.

Products(origin)	Functions
Acacia <i>Acacia senegal</i> <i>Acacia seyal</i>	<ul style="list-style-type: none"> · emulsifying · clouding · agent · coating · binding · soothing jelly-like substance <ul style="list-style-type: none"> · adhesive · suspending aid · film forming
Agar <i>Gracilaria</i> <i>Gelidium</i>	<ul style="list-style-type: none"> · forms extremely strong & rigid gels · sugar stabilizing resistant to heat & pH
Alginate <i>Laminaria</i>	<ul style="list-style-type: none"> · cold water soluble gelling · film forming · milk reactivity <ul style="list-style-type: none"> · suspending aid · emulsifying
Carrageenan <i>Chondrus crispus</i> <i>Eucheuma cottonii</i> <i>Eucheuma spinosum</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Kappa; forms brittle gel, hot water soluble · Iota; forms flexible gel, hot water soluble · Lambda; thickening, cold water viscosity, gelation · suspending, bodying
Guar <i>Cyamopsis</i>	<ul style="list-style-type: none"> · thickening · cold water soluble · film forming · milk reactive <ul style="list-style-type: none"> · binding · coating · high viscosity
Locust bean <i>Ceratonia siliqua</i>	<ul style="list-style-type: none"> · thickening · bodying agent · synergistic with xanthan with carageenan <ul style="list-style-type: none"> · preventing whey-off · suspending aid
Pectin <i>Citrus</i> <i>Apple</i>	<ul style="list-style-type: none"> · gelling agent · protein stabilization <ul style="list-style-type: none"> · thickening · suspending aid
Tragacanth <i>Astragalus</i>	<ul style="list-style-type: none"> · emulsifying · fat extender/replacer <ul style="list-style-type: none"> · thickening
Xanthan	<ul style="list-style-type: none"> · Stabilizing · emulsifying · moisture control <ul style="list-style-type: none"> · thickening · suspending aid · binding

기 위하여 일년에 약 900,000톤의 해조류가 채취된다. 이 양은 일년에 채취되는 모든 해조류의 약 25%가 되는 양이다. 아가의 구성 성분은 젤을 형성하는 능력이 큰 아가로오스 (agarose)와 아가로펙틴 (agarpectin)으로 구성되어 있다. 아가는 찬물에는 녹지 않으나 끓는 물에 녹으며, 녹인 후에 35°C 정도로 물의 온도를 낮추면 견고한 젤을 형성한다 (48). 아가를 추출하기 위한 홍조류의 수집은 수작업에 의하여 이루어지며 홍조류에서 아가를 추출하는 방법은 제조회사에 따라 다소 차이는 있으나, 세척, 화학추출, 여과, 젤형성, 냉동, 표백, 세척, 건조, 분쇄의 공정을 거친다 (44, 46). 아가는 생체 내에서 소화되지 않으며 젤을 형성하는 기능 때문에 파이, 냉장식품, 머랭 과자 (meringues) 등과 같은 식품에 사용되나, 가격이 비싸기 때문에 일부 냉장식품 및 미생물 배양 배지의 성분으로 사용되는 것을 제외하고는 다

른 종류의 검으로 대체되고 있다.

(2) 알진 (Algin 또는 Alginate)

알진산의 무기염 상태로 1880년경 영국에서 발견된 알진 (algin)은 1929년에 미국의 캘리포니아에서 산업적인 생산을 시작하였으며 1990년대 알진의 생산량은 연 평균 22,000~25,000톤이다. 알진의 유용성을 개선한 프로필렌 글라이콜 알진 (propylene glycol alginate)이 개발된 1944년 이후부터 식품 및 기타 일반 산업에 많이 이용되기 시작하였다 (47). 알진은 갈조류 (brown seaweed)의 한 종류인 Phaeophyceae에서 추출하는데 알진산 (alginic acid)의 칼슘, 마그네슘, 나트륨 또는 칼륨 염의 형태로 세포벽을 구성하는 물질이다. 알진은 물에 녹은 후, 칼슘 이온과 반응하여 견고한 젤을 형성하며 프로필렌 글라이콜 알진은

Table 2. Alginate properties utilized in food and industrial application

	Properties	Applications
Food	Gel forming	<ul style="list-style-type: none"> · pet food · restructured fruit and vegetables · restructured fish and meat · puddings and desserts · bakery creams and jellies
	Thickening Water holding	<ul style="list-style-type: none"> · frozen foods · pastry fillings · syrups · bakery icings · dry mixes · meringues · frozen dissert
	Emulsifying	<ul style="list-style-type: none"> · salad dressing · beverage
	Stabilizing	<ul style="list-style-type: none"> · beer (propylene glycol alginate) · fruit juice · syrup and toppings · sauces and gravies
	Film forming	<ul style="list-style-type: none"> · glazes for meat and fish · coating for cake and cookies
Industrial	Gel forming	<ul style="list-style-type: none"> · air fresher gels · explosives · hydromuiching
	Thickening Water holding	<ul style="list-style-type: none"> · paper coating and sizing · adhesives · textile printing and dyeing
	Binding	<ul style="list-style-type: none"> · ceramic and welding rods
	Film forming	<ul style="list-style-type: none"> · wrap sizing and paper sizing

안정제, 유화제 및 증점제로서 안전성을 승인받아 식품첨가제로 사용되고 있다 (14, 22). 알진의 식품 및 기타 산업에 사용되는 예는 표 2와 같다.

(3) 카라기난 (Carrageenan)

카라기난 (carrageenan)은 홍조류 (red seaweed)에 속하는 *Rhodophyceae*에서 추출한 다당류로서 황산 염의 형태로 존재하고 있으며 1937년부터 상업적으로 생산되고 있다 (36). 카라기난의 생산량은 1997년에 연간 250,000톤 정도이며, 연 평균 판매량은 전체 식품 첨가제 판매량의 약 15%로서 판매액은 연간 약 2억 불(US \$)이다. 상업적으로 사용되는 카라기난의 분자량은 100,000에서 1,000,000이며 물에 녹은 후, 단백질 특히, 카제인과 반응하여 높은 점도의 젤을 형성한다. 카라기난은 구조적인 차이에 따라 κ , ι 그리고 λ 형태로 분류할 수 있으며 κ -

카라기난과 ι -카라기난은 칼륨 및 칼슘 이온과 반응하여 젤을 형성한다 (41). 홍조류에 속하는 *Chondrus crispus*, *Gigartina stellata* 및 *Eucheuma* 속 등은 북미 대륙 해안에 풍부하게 서식하며 이 중에서 *Eucheuma* 속은 필리핀에서 아프리카의 서해안까지 분포한다. 대부분 수작업에 의하여 수확된 해조류는 뜨거운 약 알칼리 용액을 침지시켜 카라기난 성분을 추출하고 알코올을 사용하여 침전시킨 후, 침전물을 건조하는 방법으로 생산하고 있다. 카라기난은 용해도, 점도, 젤형성 능력, 단백질과의 반응 및 로커스트빈 껌 (locust bean gum)과의 젤형성 상승 효과 등에 따라 다양한 종류의 식품에 사용하고 있다. λ -카라기난은 젤 형성 능력은 없으나 특정한 단백질과 반응하기 때문에 증점제로서 식품 첨가제로 사용되고 있다. 카라기난은 일반적으로 초콜릿 우유, 아이스크림, 푸딩 및 치즈 유사품 등과 같이 우유를 기본으로 하는 식품에 낮은 농도 (0.01-0.03%)로 첨가되어 사용되고 있으며 잼과 젤리에도 사용되고 있다 (44, 45, 46).

(4) 아라빅 껌 (Arabic gum)

아라빅 껌 (arabic gum)은 수단과 기타 서부 아프리카에 서식하는 *Acacia senegal*이라는 나무에서 추출하는 복합 다당류로서 전 세계 소비량의 75% 이상을 수단에서 생산하고 있다 (45). 아카시아 나무는 수분이 부족하고 영양 상태가 나빠지며 온도가 높은 열악한 환경에서만 껌 물질을 생산한다. 아카시아 나무에 인위적으로 상처를 낸 후, 상처 부위에서 흘러나오는 물질을 수집하여 아라빅 껌을 생산하는데, 한 그루의 나무에서 생산되는 아라빅 껌의 원료 물질은 일년에 250g 정도이다. 아라빅 껌은 람노오스 (rhamnose), 글루쿠로닉 산 (glucuronic acid) 과 아라비노오스 (arabinose)를 포함하는 아라빅 산 (arabic acid)의 칼슘, 마그네슘과 칼륨의 복합체이다. 아라빅 껌의 분자량은 260,000에서 1,160,000이며 물에 대한 용해도가 높아 약 50%의 수용액까지도 만들 수 있다 (46). 아라빅 껌은 다양한 분야에 사용되나 주로 안정제와 증점제로서 식품 첨가물로 사용되고 있다.

(5) 카라야 껌 (Karaya gum)

카라야 껌 (karaya gum)은 인도에서 재배되는 *Sterculia urens* 나무의 추출물을 정제하여 건조한 것이다 (44, 46). 카라야 껌은 람노오스, 갈락토오스 (galactose), 갈락투로닉 산 (galacturonic acid)과 글루쿠로닉 산을 포함하는 고분자 다당류이다. 카라야 껌은 물에 완전히 녹지는 않으나, 수분을 흡수하면서 팽윤하여 용액의 점도를 높인다. 카라야 껌은 소세지와 드레싱 등의 식품에 증점제와 현탁제로서 사용되며 냉동 식품을 제조할 때에 생성되는 얼음 결정체의 생성을 막아준다.

(6) 트라가칸트 껌 (Tragacanth gum)

트라가칸트 껌 (tragacanth gum)은 이란, 시리아 그리고 터키의 건조한 산악지대에서 서식하는 *Astragalus* 종에 속하는 나무에서 추출한다. 트라가칸트 껌의 대량 생산은 1909년 미국 볼티모어에 있는 TIC GUMS 회사에서 시작되었다 (46). 트라가칸트 껌은 갈락투로닉 산, 갈락토오스, 푸코오스 (fucose), 자일로오스 (xylose)와 아라비노오스를 포함하는 산성 다당류이다. 트라가칸트 껌의 수용액은 넓은 범위의 pH에서 높은 점도를 갖는다. 이와 같은 특성으로 식품산업에 많이 사용되었으나, 프로필렌 글라이콜 알진으로 대체되었으며, 최근에는 미생물이 생산하는 잔탄으로 대체되고 있는 실정이다. 피부와 머리카락 보호용 로션의 첨가제로 화장품 산업에 쓰이고 있으며 유지 및 향의 교질화제로 식품 및 의약 산업에도 사용되고 있다.

(7) 가티 껌 (Ghatti gum)

가티 껌 (ghatti gum)은 인도와 스리랑카에 서식하는 *Anogeissus latifolia* 나무의 추출물이다. 가티 껌은 아라비노오스, 갈락토오스, 만노오스 (mannose)와 자일로오스를 포함하는 다당류이며 칼슘과 마그네슘 염의 상태로 존재한다 (44, 46). 평균 분자량은 약 12,000이며 물에 녹았을 때의 점도는 아라빅 껌과 카라야 껌의 중간 정도이다. 교질화제 및 접착제로서 식품 산업에 사용되며 의약 산업에서는 물과 기름의 교질화제로 사용되고 있다. 액체 폭약의 반수제로 사용되고 있으나 1990년대에 이르러 사용량이 감소하고 있는 추세이다.

(8) 펙틴 (Pectin)

펙틴 (pectin)은 식물체의 세포벽을 구성하는 물질로서 부분적으로 메톡시기 (methoxy group)가 붙은 다중 결합의 갈락투로닉 산이다. 귤 껍질의 20~40% 및 사과 주스 생산의 부산물인 사과박의 10~20%가 펙틴 성분이므로 이를 이용하여 산업적으로 펙틴을 생산하고 있다 (10, 40). 펙틴은 수용성이며 물에 녹아 점도가 높은 수용액을 만든다. 펙틴이 식품 산업에서 중요한 이유는 설탕, 유기산 및 칼슘 이온과 반응하여 젤을 만들기 때문이다. 펙틴은 일반적으로 냉동 디저트, 과일 주스, 유제품 등에 안정제로 사용되며 제지 산업과 섬유 산업에도 사용되나 가격이 비싸기 때문에 사용에 제한을 받는다. 식품 산업의 경우, 펙틴에 존재하는 메톡시기의 함량에 따라 사용처가 다르다 (10). 메톡시기가 낮은 펙틴은 알진과 마찬가지로 칼슘 이온과 반응하여 젤을 형성하며 카라긴난 껌과 젤란과 유사한 기능 때문에 사용처에 대한 경쟁 관계를 갖는다.

(9) 구아 껌 (Guar gum)

구아 껌 (guar gum)은 인도와 파키스탄에 대량 서식하는 식물인 *Cyanopsis tetragonolobus*의 씨앗에서 추출하는 다당류로서 구아의 의미는 힌두어로 '소사료'이다. 1900년대 초기 미국에 소개되어 이차 세계대전 이후에는 미국의 남부에서 경작되고 있으나 세계에서 소비되는 구아 껌의 대부분은 인도와 파키

스탄에서 생산되고 있다 (46). 미국의 경우, 일년에 약 100,000톤의 구아 껌 원료를 수입하며 이를 정제하여 구아 껌을 생산하고 있다. 구아 껌의 생산은 열처리와 분쇄 과정을 통하여 수확한 씨앗의 껍질을 벗기는 공정으로 시작된다. 구아 껌은 연속되는 직선상의 만노오스 사슬에 갈락토오스가 가지 형태로 붙어 있는 구조이며, 분자량은 약 220,000이다 (37). 구아 껌을 구성하는 만노오스와 갈락토오스의 구성 비율은 2:1이다. 구아 껌은 물에 녹아 점도가 높은 수용액을 만들며 이 성질은 넓은 pH 범위에서 안정하다. 구아 껌은 식물체에서 추출한 다른 종류의 껌류, 전분 및 수용성 단백질인 젤란틴과 호환성을 갖고 있어 잔탄과 사용하면 상승효과를 갖는다. 가격이 비교적 싸기 때문에 식품 및 기타 산업에 많은 양이 사용되고 있다. 부유제 및 거품 안정제로서 광산업에 사용되며, 염색의 번짐을 막는 기능 및 염료의 증점제로서 섬유 산업에 사용된다. 가장 큰 수요처는 제지 산업으로 생산되는 제지의 품질을 향상시키는 위하여 사용되며 셀러드 드레싱, 소세지, 냉동식품과 애완동물용 식품의 생산에 첨가제로 사용된다 (45, 46).

(10) 로커스트빈 껌 (Locust bean gum)

로커스트빈 껌 (locust bean gum)은 지중해 연안에 많이 서식하는 콩과식물의 일종인 *Ceratonia siliqua*의 씨앗에서 추출한다 (46). 로커스트빈 껌은 연속되는 직선상의 만노오스 사슬에 갈락토오스가 곁사슬의 형태로 붙어 있는 구조이며 분자량은 약 310,000이다. 찬 물에는 완전히 녹지 않으나 약 80°C의 온도로 가열한 후, 식히면 안정되고 점도가 높은 용액을 얻을 수 있다 (11). 로커스트빈 껌은 아이스크림, 치즈 및 가공 육류제품에 안정제로 사용되고 있다.

(11) 타마리드 껌 (Tamarind gum)

타마리드 껌 (tamarid gum)은 인도와 방글라데시에 서식하는 콩과식물의 한 종류인 *Tamarindus indica*의 씨앗에서 추출한다 (46). 인도에서 식용으로 사용되는 타마리드 펄프를 생산하는 과정의 부산물인 이 씨앗의 일년 생산량은 약 150,000톤이다. 타마리드 껌은 값이 비교적 싸며 인도에서는 염색의 번짐을 막는 기능으로 섬유산업에 사용되고 있으며 넓은 pH 범위에서도 젤을 형성하므로 펙틴의 대용품으로 사용될 수 있다.

(12) 싸이리움 껌 (Psyllium seed gum)

싸이리움 껌 (psyllium seed gum)은 인도에 서식하는 *Plantago* 속 식물의 씨앗 껍질에서 추출한다 (45, 46). 잘게 부순 껍질을 물에 넣고 끓이면 점질 성분이 녹아서 추출되며 이것을 분리하여 싸이리움 껌을 생산한다. 중성 및 산성 다당류로 구성되어 있으며 원료 물질에 따라 구성 성분이 다르다. 약 1% 정도의 농도로 물에 녹이면 점도가 높은 수용액을 만들며 고무제품 및 머리카락을 고정하는 젤의 첨가제로 사용한다.

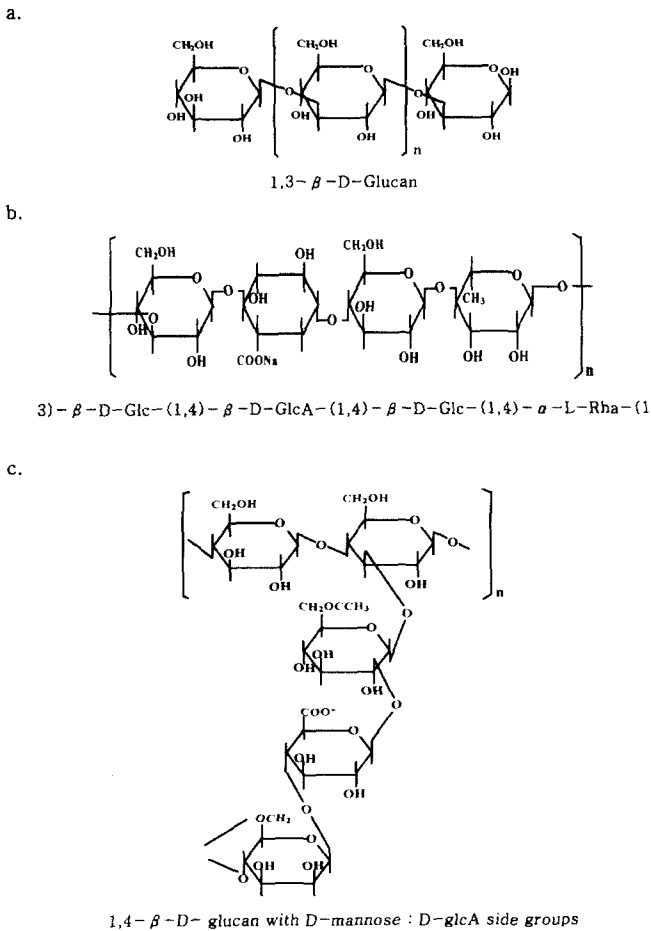


Fig. 1. Structure of major biopolymers produced by microorganisms (a) curdlan, (b)gellan, and (c) xanthan

미생물 생산 껌류 (Microbial gums)

미생물의 배양에 의한 껌류의 생산에 대한 연구는 1950년대 말과 1960년 대 초에 시작되었다. 잔탄 (xanthan), 커드란 (curdlan), 미생물 알긴 (microbial alginate), 풀루란 (pullulan)과 미생물 섬유소 (microbial cellulose)와 같은 다당류를 생산하는 많은 종류의 미생물이 발견되고 산업화하기 위한 연구가 시작되었으며 이 후, 젤란 (gellan), 웰란 (wellan) 및 랍산 (rhamsan) 등이 개발되었다 (1, 4, 5, 6, 9, 13, 15, 16, 19, 20-26, 30) 대표적인 미생물 생산 껌류인 잔탄, 커드란 및 젤란의 구조는 Fig. 1과 같다. 이 중에서 잔탄은 식품 산업의 여러 분야에 쓰이고 있으며, 몇 년 전부터 잔탄의 기능을 보완한 젤란이 미국의 Newtrasweet Co.에서 개발하여 잔탄 시장을 대체하기 시작하고 있는 실정이다. 커드란은 미생물의 배양하여 생산하는 다당류로서는 잔탄, 젤란에 이어서 세계에서 세 번째로 미국의 식품의약품 안전청 (US FDA)의 승인을 얻어 판매되고 있으며, 또한 웰란과 랍산도 시장에 선보이고 있는 실정이다.

(1) 잔탄 (xanthan 또는 xanthan gum)

잔탄 (xanthan)은 식물체에서 분리한 미생물인 *Xanthomonas campestris*가 체외로 분비하는 수용성 다당류이다. 미국 농무성 (USDA)의 한 지역 연구소에서 분리한 이 미생물이 생산하는 다당류가 산업적으로 유용한 기능을 가졌다는 사실이 밝혀진 후, 몇 개의 산업체에서 강도 높은 연구를 진행한 결과로 1964년 잔탄의 상업화가 성공되었다 (38). 잔탄의 기본 구조는 포도당, 만노오스와 글루쿠로닉 산으로 구성되어 있으며 각 분자의 구성 비율은 2: 2: 1이다 (1). 분말 상태의 잔탄은 옅은 담황색을 띠고 있으며 낮은 농도로 물에 녹여도 점도가 매우 높은 수용액을 만든다. 잔탄 용액의 점도는 용액에 작용하는 전단력이 증가할수록 낮아지며 전단력이 줄어들면 용액의 점도를 다시 복원한다. 이 점도는 넓은 범위의 온도 (0-80°C)와 pH (2-10)에서도 안정하게 유지된다.

포도당을 탄소원으로 하여 알맞은 질소원과 무기염을 포함하는 배지에 접종하여 호기성 조건으로 일정 시간 배양하면 균체 내에서 생합성된 잔탄이 배양액으로 분비된다 (39). 잔탄의 분리는 균체를 제거한 상등액에 이소프로필 알코올을 첨가하여 잔탄을 침전시킨 후, 침전된 잔탄을 수거하여 건조시키면 된다. 1969년 미국의 식품의약품 안전청의 승인을 받아 여러 분야에 식품 첨가제로 사용되기 시작하였다. 드레싱, 소세지, 양념류, 시럽과 푸딩과 같은 식품에 사용되며, 현탁액과 치약, 염료의 유효제, 세정제 등에도 사용되고 있다 (46). 윤활제 및 원유의 회수율을 증진시키는 용도로 석유 산업에도 사용되고 있다.

(2) 젤란 (Gellan 또는 Gellan gum)

젤란은 토양 미생물의 한 종류인 *Pseudomonas elodea*가 생산하여 체외로 분비하는 다당류로서 분자량은 약 500,000이다 (11, 32). 젤란은 포도당, 글루쿠로닉 산, 포도당과 람노오스가 연속적인 순서로 연결되는 사당체가 한 개의 단위체를 이루는 구조이다 (4, 13, 18-20). 젤란의 성분에 포함되어 있는 아세틸기 (acetyl group)의 함량에 따라 부드러운 혹은 바삭바삭한 젤을 형성한다 (6).

젤란은 Merck Co.의 자회사인 Kelco Co. (현재 NeutraSweet Co.)에서 생산 기술을 개발하여 대량 생산하고 있으며 전 세계에 독점 판매하고 있다. 젤란은 1988년 일본에서 식품 첨가물로 승인을 받았으며 식품에 첨가하는 안정제와 증점제로서 1992년 미국 식품의약품 안전청의 승인을 받았다. 제과류, 수용성 젤을 바탕으로 하는 식품, 냉동 식품, 유제품 및 애완동물용 식품의 첨가제로 사용된다 (52).

젤란은 강한 내열성과 내산성 및 투명한 젤을 형성하며 소량 사용하더라도 우수한 효과를 얻기 때문에 수요가 증가되고 있으나 가격이 비교적 비싸 걸림돌이 되고 있다. 유럽의 젤란틴 시장은 연간 60,000톤으로 이 중에 약 80%가 식품에 사용되고 있다. 젤란틴은 동물성 단백질이므로 생산, 운반 및 저장의 어려움 등과 같은 기술적인 이유와 채식주의자, 할라프린 (halafnian) 및 유태인들의 낮은 선호도 등과 같은 문화적인 이유 때문에 젤라

탄의 대체 물질에 대한 연구가 진행되고 있는데 젤라틴의 독특한 성질과 유사하고 대량 생산이 가능한 젤란이 가장 유력한 대체 물질로 인정되고 있는 추세이다 (34).

(3) 커드란 (Curdlan)

커드란 (curdlan)은 *Agrobacterium* 속에 속하는 미생물이 생산하여 체외로 분비하는 다당류로서 β -1,3 결합의 포도당의 중합체이다 (23, 31). 커드란은 중성 pH에서 물에 녹지 않으나 약 알칼리 용액에서 녹는다. 커드란은 54°C 정도의 온도에서 녹아 겔을 형성할 경우 더 높은 온도로 가열하면 녹아서 액상으로 환원되거나 100°C 이상의 높은 온도에서 겔을 형성할 경우에는 다시 액상으로 환원되지 않는다 (35). 이러한 특성 때문에 식품 산업에서 주로 증량제나 저 칼로리 식품의 첨가제 및 천연 겔을 대체할 목적으로 많이 사용되고 있다. 커드란의 황산염 유도체는 HIV (Human Immunodeficiency Virus)에 대한 항바이러스능 (Antiviral activity)이 입증되어 의학 분야에까지 적용 분야를 넓혀 가고 있다 (2, 29).

(4) 웰란 (Wellan 또는 Wellan gum)

웰란은 *Alcaligenes* 속의 미생물이 생산하는 다당류이며 기본 구조는 젤란과 같으나, 랍노오스 혹은 만노오스 결사슬을 갖고 있는 점이 다르다 (5, 17, 30). 웰란의 특성은 잔탄과 유사하나, 열에 대한 안정성이 잔탄에 비하여 우수하다 (6). 우수한 열 안정성 때문에 높은 온도에 사용되는 굴착기와 같은 공구의 윤활제로 개발되고 있다. 또한, 높은 pH에서 칼슘 이온과의 반응성이 우수하므로 시멘트와 콘크리트 등과 반응하여 높은 강도와 유연성을 갖는 구조물을 만들 수 있으므로 건축분야에서의 용도 개발이 활발히 진행 중이다 (51).

(5) 랍산 (Rhamsan 또는 rhamsan gum)

웰란과 마찬가지로 랍산도 *Alcaligenes* 속의 미생물이 생산하는 다당류로 기본 구조는 젤란 및 웰란과 같으나, 이당류의 결사슬을 갖고 있는 점이 다르다 (33). 랍산은 낮은 전단력과 낮은 농도에서도 높은 점도를 갖는다 (49). 유동학적인 특성 때문에 비료 현탁액, 안료 현탁액, 세척제, 페인트와 도료의 첨가제로 사용될 수 있다.

미생물 검류의 생산과 특징

미생물 검류의 생산

검류를 생산하기 위한 미생물의 배양 배지는 탄소원으로 포도당, 전분 또는 설탕 등을 사용할 수 있으며 질소원으로 유기 질소원인 효모 추출액, 펩톤 및 트립톤 또는 염화 암모늄 (NH_4Cl)과 질산 암모늄 ($(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$)과 같은 무기 질소원을 사용한다. 멸균된 배지에 미생물 겔을 생산하는 균주를 접종하고 적당한 조건으로 일정시간 배양하면 미생물에 의하여 생합성된 겔이

배양액에 축적된다. *Pseudomonas elodea*는 3% (w/v) 설탕을 탄소원으로 첨가한 배지에서 약 50%의 높은 변환률로 젤란을 생산한다 (9). 배양액에서 균체를 제거한 후, 상등액에 존재하는 다당류를 에탄올 또는 이소프로필 알코올 등과 반응시켜 침전시키고 침전된 겔을 수거하여 건조시키는 것과 같은 공정으로 미생물 생산 겔을 생산할 수 있다. 다당류의 물리·화학적 성질을 이용한 검류의 분리·정제 공정은 아미노산, 단백질 및 항생제의 공정에 비하여 어렵지 않다고 말할 수 있다.

미생물 검류의 특징

미생물이 생산하는 겔은 식물체에서 추출한 겔에 비하여 구성 성분이 균일하고 불순물의 함량이 적기 때문에 품질이 우수하다. 즉, 식물에서 추출한 섬유소는 포도당과 자일란 (xylan)을 주성분으로 하는 복합체이나, 미생물에 의하여 생합성된 섬유소는 오직 포도당으로 구성되어 있으며 각 포도당간의 결합도 β -1,4 결합으로 섬유소 전체의 구성 성분 및 결합 구조가 매우 높은 동질성을 나타낸다. 이와 같은 구조적 특성 때문에 미생물이 생산한 섬유소 (microbial cellulose)는 식물체에서 추출한 섬유소에 비하여 질기고 강하다. 식물체에서 추출한 섬유소는 일반적인 제지의 원료로 사용되나, 미생물이 생산한 섬유소는 고급 제지, 지폐 및 스피커의 공명판 재료로 사용된다. 일본의 경우, 필리핀에서 대량 생산한 미생물 섬유소를 일차 정제하여 수입한 후, 재정제하여 사용하고 있다.

미생물에 의한 검류의 생산은 식물체에서 추출하는 겔에 비하여 자원 절약형이라고 할 수 있다. 예를 들어, 한 그루의 나무에서 생산되는 아라빅 겔의 원료 물질은 일년에 250g 정도가 된다. 따라서 필요한 양의 아라빅 겔을 생산하기 위하여 상당히 많은 천연 자원의 소모가 불가피하다. 이와 같이 천연 자원에 의존하여 생산되는 식물체 추출 겔과는 다르게 미생물 검류는 일반적인 발효제품의 생산 방법과 같이 미생물을 배양하고 배양액에 생산된 검류를 분리·정제하는 방법으로 생산하기 때문에 자원적인 제약은 물론, 시간적인 제약도 받지 않는다.

미생물 검류의 생산기술 동향

식물체에서 추출한 검류가 저개발 국가의 천연 자원을 이용한 일차적인 가공품이라고 한다면 미생물 검류는 생물 공정기술의 개발에 의한 선진국의 전략적인 제품이라고 할 수 있다. 잔탄의 경우, 영국을 비롯한 유럽의 약 12개 업체에서 생산하고 있으나, 잔탄의 기능을 개선한 젤란의 생산은 미국의 NutraSweet Co.에서 독점 생산하여 전 세계 시장에 판매하고 있다. 또한 NutraSweet Co.는 젤란의 기능을 개선한 새로운 다당류의 생산기술도 개발하여 차세대 시장을 대비하고 있다 (17, 50). 물은 투과하지만 산소는 투과하지 못하는 특성 때문에 식품의 포장 재료 및 접착제로 용도 개발이 진행되고 있는 풀루란 (pullulan)은 미생물 *Aureobasidium pullulans*가 생산하는 다당류로서 일본의 Hyashibara Co.에서 생산 기술을 개발하여 독점

Table 3. Major imported gums to Korea (Amount, 1,000 US \$; Weight, ton)

Gums	1997		1998		1999	
	Amount	Weight	Amount	Weight	Amount	Weight
Arabic gum	1,521	399	1,074	374	1,368	453
Locust bean gum & Guar gum	3,578	1,407	3,383	1,142	4,505	1,429
Pectin	5,315	436	3,707	321	4,926	430
Carboxyl methyl cellulose	1,811	514	1,121	315	1,280	351
Sodium alginate	12,840	2,669	10,513	2,512	9,626	2,763
Xanthan & Gellan	5,044	1,210	3,463	1,418	11,090	1,787
Other gums	5,044	1,210	3,463	1,418	5,212	1,703
Total	41,139	9,373	31,215	7,829	38,007	8,917

생산하고 있다. 커드란은 일본의 Takeda Chemical Ind.에서 대량 생산하고 있으며, 일본의 Aimonoto Co.는 미생물 섬유소(microbial cellulose)에 대한 대량 생산기술을 개발하고 있는 중이다.

국내의 경우, 미생물 섬유소에 대한 생산기술의 개발이 학계를 중심으로 진행되고 있으며 최근 콘크리트 건물의 강도와 유연성을 증가시키는 목적으로 커드란의 대량 생산기술이 개발되어 상업적인 생산을 시작하고 있다. 학계 및 생물 산업 벤처 기업을 중심으로 젤란과 풀루란의 생산 기술도 연구되고 있으나 산업적인 규모의 대량 생산에는 많은 연구가 필요한 실정이다. 대량 생산 기술의 개발은 생산성을 바탕으로 경제성 및 경쟁력을 갖춘 가격으로 생산하여 기존 제품 또는 대용 제품과 경쟁할 수 있는 것을 의미한다.

중국의 경우, 알진과 같은 식물체 추출 껌을 대량 수출하고 있으나, 식품의 기능성을 증가시키는 미생물 껌류는 전량 수입에 의존하고 있다. 중국은 국가 지정 대학 연구실(National Key State Lab.)을 지정하여 핵심적인 생물공학 기술의 여러 분야를 대학과 지역 산업체를 중심으로 개발하고 있다. 미생물 생산 껌의 연구는 전통적으로 발효 산업이 발달한 장수성의 South Yanthze University를 중심으로 진행 중이며 젤란과 풀루란 등의 생물고분자를 일차 목표로 하여 대량 생산 기술을 개발하고 있는 실정이다.

미생물 껌류의 생산기술 개발의 필요성

생물고분자 및 껌류 시장 증가

우리나라의 경우, 식품 및 기타 산업에 필요한 대부분의 생물고분자는 미국, 일본 및 중국에서 수입하여 쓰고 있다. 식품의 첨가제로 사용되는 껌류의 소비는 식품의 질적인 향상의 욕구에 비례하여 계속 증가하고 있는 추세이다. 껌류의 수입은 1997년 까지 계속 증가였으나, IMF 관리 체제하의 국내 시장 경제의

악화 때문에 1998년에 다소 감소하였으나 1999년부터 다시 증가하는 추세이다(표 3). 전체 생물고분자의 1997년도 국내 수입액은 약 8,000만 달러이며 생물고분자 중에서 주요 껌류의 수입액은 1999년에 약 3,800만 달러이다. 껌류의 수입액 중에서 잔탄과 젤란 등의 미생물 껌류는 약 1,100만 달러이며 젤란의 국제 시장가격은 kg당 약 35~40 달러로 비교적 비싼 가격으로 거래되고 있다.

중점제의 용도로 사용된 아라빅 껌, 트라가칸트 껌, 구아 껌, 로커스트빈 껌 및 잔탄의 1995년도 세계 소비량은 약 114,000톤 이었으며 이 중에서 미국의 소비량은 약 53,000톤 이었다. 또한 젤형성제의 용도로 사용된 껌류들 중에서 아가, 알진, 카라기난 및 펙틴의 미국 소비량은 연간 약 44,000톤 이었다. 젤란틴과 같은 물질의 대체품으로서 미생물 껌류의 개발과 천연자원의 고갈 등과 같은 이유로 미생물 껌류의 시장은 계속 증가할 것이다.

국내 천연자원의 부족

생물고분자의 소비가 증가하고 있는 우리 나라는 인도, 스리랑카 및 수단 등의 국가들과 같이 식물체에서 추출하는 껌을 대량 생산할 수 있는 식물자원이 풍부하지 않으며 영국, 노르웨이, 미국, 캐나다 및 중국과 같이 해조류 자원 이용한 껌류를 생산할 수 있는 조건도 갖추지 못하였다. 이에 비하여 미생물 껌류의 생산은 기후적 조건의 제약이 없으며 천연자원의 과소비가 필요하지 않기 때문에 천연자원이 부족한 우리의 실정에 알맞은 산업이라 할 수 있다. 미생물 껌류의 대량 생산기술은 몇 개의 다국적 기업만이 보유하고 있으며 이들에 의하여 독점 생산 및 판매되고 있다. 우리나라의 축적된 생물산업 제품의 생산 기술력과 설비를 이용하여 미생물 껌류의 대량 생산기술을 집중적으로 연구한다면 이들과의 기술적인 차이를 짧은 시간내에 극복할 수 있을 것이다.

생물산업의 축적된 생산기술과 잉여 설비의 활용

국내의 생물산업 제품은 아미노산, 유기산 및 항생제를 중심으로 발전하였다. 식품산업에 관련 기업체들이 생산하고 있는 각종 아미노산과 유기산 및 제약회사들을 중심으로 기술 개발에 성공하여 대량 생산되는 여러 종류의 항생제는 국내의 시장은 물론 세계 시장에서도 가격 경쟁력을 갖는 전략적인 제품이었다. 최근에 생물산업 제품의 생산기술이 급속히 발전하고 있는 중국과 인도 등과 같은 국가에서의 이와 같은 제품들의 대량 생산은 형성된 국제가격의 경쟁적인 하락은 물론, 우리나라의 생물산업 관련 기업체의 채산성 악화를 유도하였다. 따라서 국내의 관련 기업체들은 경제성을 이유로 이와 같은 제품들의 생산을 중단하였으나 신제품 생산에 대한 대비책의 부족으로 사용되지 않는 잉여 설비가 대량으로 발생하고 있는 실정이다. 생물산업 제품의 대량 생산에 관련된 인적자원을 활용하고 기존의 생물산업 제품의 잉여 생산설비를 사용하여 미생물 검류를 대량 생산한다면 시설의 재투자 없이 경쟁력을 갖는 생물산업 제품을 만들 수 있을 것이다.

산업 부산물의 재활용과 환경오염 방지

미생물 껌은 일반적인 발효 제품의 생산 방법과 마찬가지로 적당한 배지를 만들어 미생물을 배양하고 배양액에 축적된 고분자 다당류를 분리·정제하여 생산한다. 미생물을 배양하기 위한 배지의 탄소원과 질소원은 일반적으로 알려진 포도당, 설탕 및 펄톤과 효모 추출물을 사용한다. 산업 부산물, 특히 식품산업 및 제지 산업의 부산물 중에는 미생물 배지의 탄소원과 질소원으로 사용할 수 있는 여러 가지 성분을 포함하는 것이 많다. 예를 들어, 사과 주스를 생산할 때 발생하는 부산물인 사과박, 양조 간장 및 산 가수분해 간장을 생산할 때 발생하는 간장박 등은 미생물을 배양하기 위한 배지의 우수한 탄소원과 질소원으로 사용될 수 있다. 배지에 사용되는 탄소원 및 질소원의 종류와 양에 따라 차이는 있으나 탄소원과 질소원이 배지 가격에서 차지하는 비용은 전체 배지 비용의 약 2/3임을 감안 할 때, 산업 부산물을 이용한 미생물의 배양은 직접 생산비를 절감하는 지름길이며, 이는 제품의 경쟁력을 높일 수 있는 기술적인 방법을 의미한다. 환경을 오염시킬 수 있는 산업 부산물의 재활용은 자연환경의 파괴를 원천적으로 방지하는 유용한 기술이라 할 수 있다.

미생물 검류의 수출 상품화

생물산업의 축적된 기술력을 바탕으로 산업 부산물을 이용하여 저가의 배지를 개발하고 잉여 생산 설비를 재활용하여 미생물 검류를 대량 생산한다면 수입 대체효과는 물론, 국제적 가격 경쟁력을 갖는 우수한 전략 상품이 될 것이다. 천연자원의 고갈 방지와 향상된 기능성을 갖는 우수한 검류의 요구 등과 같은 이유로 검류의 국제적 시장은 계속 확대될 것이다. 따라서 생물산업 제품들 중에서 비교적 쉽게 기술력의 차이를 줄일 수 있는 미생물 검류에 대한 생산 기술의 개발을 통하여 국내 소비는 물론,

미생물 검류의 수출 전략적인 상품화를 이루어야 할 것이다.

맺음말

식품 및 기타 산업에서 생물고분자에 대한 수요는 계속하여 증가하고 있으며 다당류를 기본 구조로 하는 검류는 산업적으로 중요한 위치를 차지하고 있다. 산업적인 규모로 생산되고 있는 미생물 껌에는 잔탄, 젤란 및 커드란 등이 있으며 기능이 개선된 미생물 검류가 계속하여 개발되고 있다. 미생물 검류는 일부 다국적 기업에 의하여 독점 생산되어 판매되고 있다. 천연자원이 부족한 우리나라는 검류를 포함한 많은 양의 생물고분자를 수입하여 사용하고 있는 실정이다.

생물산업 제품의 대량 생산에 관련된 인적자원을 활용하여 미생물 껌의 생산기술을 개발하고 생물산업의 잉여 설비를 이용하여 미생물 검류를 생산한다면 시설의 재투자 없이 경쟁력을 갖는 생물산업 제품을 만들 수 있을 것이다. 또한 우리나라에서 발생하는 산업부산물을 미생물을 배양하는 배지의 탄소원과 질소원으로 개발하여 직접 생산비를 절감한다면 제품의 가격 경쟁력을 높일 수 있으며 환경 오염물질에 의한 자연 환경의 파괴를 원천적으로 방지할 수 있을 것이다. 이와 같은 방법으로 가격 경쟁력을 갖는 미생물 검류를 대량 생산할 수 있다면 수입 대체 효과는 물론, 수출을 통하여 국제적인 전략 상품으로의 개발도 가능할 것이다.

참고문헌

1. Araujo, O. E., 1967. Emulsifying properties of new polysaccharide gum. *J. Pharmacol. Sci.* 56:1141-1145.
2. Aoki, T., Y. Kaneko, T. Nguyen, M. S. Stefanski, R. C. Y. Ting, and M. M. Manak, 1992. Curdlan sulfate and HIV-1: II. In vitro long-term treatment of HIV-1 infection with curdlan sulfate. *AIDS Res. Human Retrovirus*, 8(5):605-612.
3. Buschmann, A. H., J. A. Correa, R. Westermeier, M. C. Nernandes-Gonzales, and R. Norambuena, 2001. Red algal farming in Chile: a review. *Aquaculture*, 194:203-220.
4. Chandrasekaran, R., R. P. Millane, and S. A. Atkins, 1988. The crystal structure of gellan. *Carbohydr. Res.* 175(1):1-15.
5. Chandrasekara, R., R. Akella, and E. J. Lee, 1994. Structural roles of calcium ions and side chains in welan: X-ray study. *Carbohydr. Res.* 252:183-207.
6. Crescenzi, V., M. Dentini, and T. C. Rizzo, 1986. Comparative analysis of the behavior of gellan gum (S-60) and welan gum (S-130) in dilute aqueous solutions. *Carbohydr. Res.* 149(2):425-432.
7. Day, F. D., R. D. Ashby, and J. W. Lee, 1998. Biocatalytic modification of alginates., *In Biopolymers from renew-*

- able resource. Edited by G. Swift, R. Gross, and D. Kaplan, American Chemical Society, Washington, DC. pp 175-187.
8. Diego, C., 1962. The polysaccharide chain of chitin. *Biochem. Biophys. Acta*, 59:361-364.
 9. Fialho, A. M., L. O. Martins, M. L. Donval, M. J. Ridout, A. J. Jay, V. J. Morris, and I. Sa-Correia, 1999. Structures and properties of gellan polymers produced by *Sphingomonas paucimobilis* ATCC 31461 from lactose compared with those produced from glucose and from cheese whey. *Appl. Environ. Microbiol.* 65(6):2485-2491.
 10. Fu, J. T. and M. A. Rao, 2001. Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: effect of sucrose. *Food Hydrocol.* 15(1):93-100.
 11. Garcia-Ochoa, F. and J. A. Casas, 1992. Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. *J. Sci. Food & Agri.* 59:97-100.
 12. Giavasis, I., H. M. Linda, and B. McNeil, 1999. Gellan gum. *Critical Rev. Biotechnol.* 20(3):177-211.
 13. Jansson, P., and B. Lindberg, 1983. Structural studies of gellan gum, an extracellular polysaccharide elaborated by *Pseudomonas elodea*. *Carbohydr. Res.* 148:c1-c4.
 14. Jocy, M., R. D. Gilbert, and S. A. Khan, 1996. Effect of Ca ions on the water retention of alginate in paper coatings. *J. Pulp & Paper Sci.* 22(4):126-130.
 15. Kang, K. S., G. T. Veeder, D. D. Richey. 1976. Polysaccharide and bacterial fermentation process for its preparation. US Pat. 3,933,788.
 16. Kang, K. S. and W. H. McNeely. 1976. Polysaccharide and bacterial fermentation process for its preparation. US Pat. 3,960,832.
 17. Kang, K. S. and G. T. Veeder. 1981. Heteropolysaccharide-130. US Pat. 4,342,866.
 18. Kang, K. S. and G. T. Veeder. 1982. Bacterial polysaccharide. US Pat. 4,247,639.
 19. Kang, K. S. and G. T. Veeder. 1982. Polysaccharide S-60 and bacterial fermentation process for its preparation. US Pat. 4,326,053.
 20. Kang, K. S. and G. T. Veeder. 1983. Polysaccharide S-60 and bacterial fermentation process for its preparation. US Pat. 4,377,636.
 21. Kim, J. H., M. R. Kim, J. H. Lee, J. W. Lee, and S. K. Kim, 2000. Production of high molecular weight pullulan by *Aureobasidium pullulans* using glucosamine. *Biotechnol. Lett.* 22(12):987-990.
 22. Lee, J. W., R. D. Ashby, and D. F. Day, 1996. Role of acetylation on the metal induced precipitation of alginates. *Carbohydr. Polym.* 29(4):337-345.
 23. Lee, J. W., W. G. Yeomans, A. L. Allen, D. L. Kaplan, F. Deng, and R. A. Gross, 1997. Exopolymers from curdlan production: incorporation of glucose-related sugars by *Agrobacterium* sp. ATCC 31749. *Can. J. Microbiol.* 43(2):149-156.
 24. Lee, J. W., W. G. Yeomans, A. L. Allen, D. L. Kaplan, and R. A. Gross, 1997. Production of Zoogloea gum by *Zoogloea ramigera* with glucos analogs. *Biotechnol. Lett.* 19(8):799-802
 25. Lee, J. W., W. G. Yeomans, A. L. Allen, D. L. Kaplan, and R. A. Gross, 1997. Compositional consistency of heteropolysaccharide-7 by *Beijerinckia indica*. *Biotechnol. Lett.* 19(8):803-807
 26. Lee, J. W., W. G. Yeomans, A. L. Allen, D. L. Kaplan, and R. A. Gross, 1997. Microbial production of water-soluble non curdlan type exopolymer-B with controlled composition by *Agrobacterium* Sp. *Biotechnol. Lett.* 19(12):1217-1221.
 27. Lee, J. W. and D. F. Day, 1998. The separation of alginate biosynthesis and acetylation in *Pseudomonas syringae*. *Can. J. Microbiol.* 44(4):394-398.
 28. Lee, J. W., 1999. Electron microscopic observation of calcium-acetylated seaweed alginate. *J. Life Sci.* 9(1):45-49.
 29. Lee, J. W., 1999. Microbial modification of extracellular polysaccharide. *J. Life Sci.* 9(1):69-80.
 30. Lee, J. W., W. G. Yeomans, A. L. Allen, F. Deng, R. A. Gross, and D. L. Kaplan, 1999. Biosynthesis of novel exopolymers by *Aureobasidium pullulans*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65(12):5265-5271.
 31. Marchessault, R. H. and Y. Deslandes, 1979. Fine structure of (1→3)-β-D-glucan: curdlan and paramylon. *Carbohydr. Res.* 75:231-242.
 32. Martin L. O., A. M. Fialho, P. L. Rodrigues, and I. Sa-Correia, 1996. Gellan gum production and activity of biosynthetic enzymes in *Sphingomonas paucimobilis* mucoid and non-mucoid variants. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 24(1):47-54.
 33. Morris, E. R., M. G. E. Gothard, M. W. N. Hember, C. E. Manning, and G. Robinson, 1996. Conformational and rheological transitions of welan, rhamsan and acetylated gellan. *Carbohydr. Polym.* 30(2-3):165-175.
 34. Morrison, N. A., G. Sworn, R. C. Clark, Y. L. Chen,

- and T. Talashek. 1999. Gelatin alternatives for the food industry. *Prog. Coll. Polym. Sci.* 114: 127- 131.
35. Nakanishi, I., K. Kimura, S. Kusui, and E. Yamazaki, 1974. Complex formation of gel-forming bacterial (1→3)- β -D-glucan (curdlan-type polysaccharide) with dyes in aqueous solution. *Carbohydr. Res.* 32(1):47-52.
36. Penhuizic, C. L. C. Chatelet, B. Kloareg, and P. Potin, 2001. Carrageenan oligosaccharides enhance stress-induced microspore embryogenesis in *Brassica oleracea* var. *italica*. *Plant Sci.* 160(6):1211-1220.
37. Robinsom, G., S. B. Ross-Murphy, and E. R. Morris. Viscosity-molecular weight relationships, intrinsic chain flexibility, and dynamic solution propensity of guar galactomannan. *Carbohydr. Res.* 107:17-32.
38. Rocks, J. K., 1971. Xanthan gum. *Food Technol.* 25(5):22-31.
39. Rodriguez, H., L. Aguilar, and M. Lao, 1997. Variation in xanthan production by antibiotic-resistant mutants of *Xanthomonas campestris*. *App. Microbiol. Biotechnol.* 48(5):626-629.
40. Samuelsen, A. B., B. S. Paulsen, J. K. Wold, H. Otsuka, H. Kiyohara, H. Yamada, and S. H. Knutsen, 1996. Characterization of a biologically active pectin from *Plantago major* L. *Carbohydr. Polym.* 30(1):37-44.
41. Takigami, S., Y. Etoh, and G. O. Phillips, 2000. A comparison of the interaction of water with refined kappa-carrageenan (INS 407) and processed *Eucheuma* seaweed (INS 407A). *Food Hydrocolloids*, 14(6):609-613.
42. Technical brochure Gelatine from Sanofi Bio-industries. Bruxelles. Belgium.
43. Technical bullutins from Atlantic Gelatin Co., 1998. Woburn, MA, USA.
44. Technical bullutins from Cerestar SA/NV. Brussels, Belgium.
45. Technical bullutins from Hormel Foods. Leanon, NJ. USA.
46. Technical bullutins from TIC GUMS, 2000. Belcamp, MD, USA.
47. Technical bullutin RC-105 from Kelcogel. 1992. Rahway, NY, USA.
48. Usoy, A. I., 1998. Structural analysis of red seaweed galactans of agar and carrageenan groups. *Food Hydrocolloids*, 12(3):301-308.
49. Villain-Simonnet, A., M. Milas, and M. Rinaudo, 1999. Comparison between the physicochemical behaviour of two microbial polyaccharide: RMDP17 and rhamosan. *Int. J. Bio. Macromol.* 26(1):55-62.
50. Williams, A. G., C. J. Lawson, and J. W. T. Wimpenny. 1981. Process for the preparation of polysaccharide 9. US Pat. 4,298,725.
51. Yahia, A. and K. H. Khayat, 2001. Analytical models for estimating yield stress of high-performance pseudo-plastic grout. *Cement & Concrete Res.* 31(5):731-738.
52. Yang, L. and A. T. Paulson, 2000. Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Res. Int.* 33(7):563-570.



이진우

1959년 2월 27일 서울 생

1981년 2월 고려대학교 농화학과 졸업 (학사)

1983년 8월 고려대학교 대학원 농화학과 졸업 (석사)

1983년 8월 - 1985년 8월 (주) 종근당 미생물연구소

1985년 9월 - 1988년 4월 현대중공업 (주) 유전공학연구부

1988년 4월 - 1989년 7월 고려화학 (주) 생물공학연구부

1989년 9월 - 1993년 12월 미국 Louisiana State Univ. Audubon Institute (Research Assistant)

1993년 12월 미국 Louisiana State Univ., Dept. Microbiology 졸업 (박사)

1994년 1월 - 1998년 2월 미국 Univ. of Massachusetts, Dept. of Chemistry (Research associate) 겸 US Army Natick RD & Eng. Center, Division of Biotechnology (Researcher)

1998년 3월 - 현재 동아대학교 생명자원과학대학 (조교수)