Bulletin of Food Technology
Vol.24, No.1, pp. 111-124

식품산업에 있어서 고압기술의 새로운 접근 및 활용

New Approaches of High Pressure Technology in Food Industry and Its Applications

김종태 | 바이오나노연구단
Chong-Tai Kim | Food Bio-nano Technology Research Group

서 론

식품산업에서 고압기술은 주로 식품의 저온살균 및 멸균 목적으로 압력 500~1000 MPa, 온도 0~90℃, 처리시간 5~10분 조건에서 처리하는 실험용 또는 상업용 장치가 사용되고 있다. 이러한 고압처리는 식품제조에 있어 가열처리 공정 중에 발생하는 영양성분의 파괴, 품질저하, 생산비용 증가 등과 같은 단점을 개선하기 위하여 일부 식품생산에 적용되고 있다. 반면 식품산업적 측면에서는 폭넓은 활용에 제한이 있어 이를 개선하기 위한 방법 또는 대체기술 개발을 위한 노력이 지속적으로 진행되고 있다. 한편 고압처리에 의하여 식품 기능성분의 추출, 분리, 반응기술에 대한 연구 및 산업적 활용은 세계적으로 거의 시도되지 않고 있다. 이러한 이유는 현재까지 대량생산을 위한 내고압성 및 내약품성을 갖는 고압용기 개발과 이를 이용한 연속식 생산이 가능한 장치의 개발 및 보급이 미흡하기 때문인 것으로 판단한다. 고압조건에서 식품 기능성분의 추출, 분리, 반응기술은 현행 식품제조공정과 비교시 저에너지, 고품질, 생산성 향상 등과 같은 장점을 제공할 수 있어 녹색기술로 새롭게 부각되고 있다. High hydrostatic pressure 기술은 압력 100~500 MPa, 온도 50℃ 이하의 조건에서 효소분해를 수행할 경우 기존 가열처리를 통하여 추출물을 생산하는 공정대체를 통하여 고품질 제품생산, 생산수율 증대, 생산비 절감 등의 효과를 기대할 수 있다. 연속식 초임계 기술 또한 유용성분의 추출, 분리, 반응촉진 등을 위한 기능성 식품소재 생산 분야에 적용할 수 있다. 아임계 조건(압력 200기압, 온도 300℃)에서의 물은 유전상수가 25℃에 상온조건 80에서 20 정도로 낮아지며, 극성이 매우 낮아 유기용매(에틸알코올)와 같은 특성을 보여 낮은 극성의 추출물을 획득할 수 있다. 본고에서는 상기와 같이 고압기술을 기반으로 하는 hydrostatic pressure, 초임계 및 아임계 추출, 분리, 반응기술 등을 식품산업적 활용에 대하여 논해 보기로 한다.

녹색기술로서 고압기술의 산업적 중요성

최근의 녹색기술은 목적, 기능, 활용 중심의 전통적 녹색기술 범주에서 IT, BT, NT 등의 신기술 간 또는 기존제품 및 산업 간의 융합을 지향하는 융합녹색기술로 영역을 확장하는 추세로 변하고 있으며, 선진국들은 녹색기술 R&D 투자 규모를 확대하고 있다. 우리나라의 녹색기술 역량을 살펴보면, 녹색경쟁력은 주요 15개국 중 11위, 저탄소 지수 13위, 녹색산업화 지수 8위를 유지하고 있다. 녹색기술 수준은 선진국 대비 50~70%로서, 재생에너지 62%, 원자력 및 핵융합 64%, 수소연료전지 55%를 차지하고 있다. 한편, 녹색기술에 대한 정부의 R&D 투자규모는 2007년 집행기준으로 9천억 원이며, 이 중 연구단계 기초 분야(17%)와 응용 분야(26%) 연구보다 개발 분야에 57%로 치중되었다.

국가의 국내총생산 대비 에너지 효율과 경제와의 상관관계는 그림 1에 나타내었다. 에너지 효율을 나타내는 세로축은 에너지를 적게 사용하고 높은 GDP를 창출하는 에너지 효율이 높은 국가로 확인된다. 방글라데시와 필리핀과 같은 저개발국은 육체 에너지 등 값싼 에너지 사용으로 높은 에너지 효율을 보인다. 그러나 경제성장이 높은 선진국의 경우 에너지 효율은 그리 높지 않다. 이러한 이유는 에너지 사용량이 높음과 동시에 에너지 소비가 국민의 삶을 윤택하게 한다는 측면이 강해서, 에너지를 과소비하는 구조가 형성된 것으로 보인다. 우리나라는 에너지 효율 측면에서 미국과 캐나다 같은 에너지 과소비 국가군에 속한다. 우리나라의 경쟁력은 선진국에 비하여 낮지만, 유럽과 일본 등과 비교시 계속적으로 에너지 효율을 높여야 할 명분이 있다.

식품산업에 있어 고압기술은 처리시간 및 에너

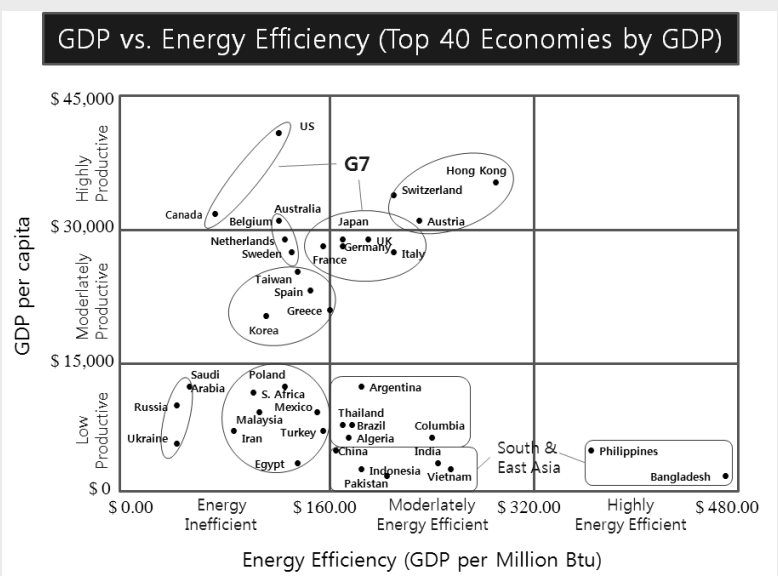


그림 1. 세계 40개국의 에너지 효율과 경제와의 상관관계

표 1. 식품가공 단위공정에 있어 생산비용 및 특징 비교

단위공정	생산비용(원/kg)	가공 강도	구조유지 정도
건조	9,000	중	양호
발효	3,600	약	우수
훈연	3,600	중	양호
투석	3,200	중	양호
초임계	2,160	약	우수
방사선 조사	540	강	약함
고압	540	중	양호
전자기장	300	약	우수
가열	350	강	약함

지 소비 등을 최소화하면서도 상대적으로 높은 품질의 제품을 생산할 수 있기 때문에 가격 경쟁력이 큰 제품 개발이 가능하다. 표 1에서 알 수 있듯이 식품생산에 있어 단위 중량 대비 건조공정의 1/17배, 훈연 및 발효공정의 1/7배의 에너지 비용이 소요되며, 가열공정과는 비슷한 에너지 비용이 소요되지만 가공 강도가 낮고 구조 유지가 되기 때문에 품질 측면에서 유리한 장점을 제공한다. 따라서 고압기술을 현행 식품 생산공정의 개선기술로 적용할 경우 생산비용 및 생산시설 유지비 절감, 대체비용 절감, 폐기물 및 세정비용 최소화, 건강유지 비용 및 환경부담금 절감 등과 같은 저비용의 고품질 제품 생산공정이 될 수 있는 장점이 있다.

한편 식품 가공공정에 있어 지속 가능한 산업을 위한 녹색기술의 목표 중에서 에너지 사용절감은 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 회수 및 시설설계 등과 같은 항목보다 최우선 목표로 설정되어 그 중요성이 강조되고 있다.

표 2. 식품 생산공정의 녹색성장을 위한 지속가능 목표 10

Green Goals	%
Energy use reduction	74
Recycling	58
Facility design	51
Use of energy-efficient products and equipment	50
Hazardous waste reduction	44
Waste reduction, eliminating scrap in production	39
Emission reduction	36
Carbon footprint measurement	28
Minimize impact of end product	24
Procurement of sustainable raw materials	23

고압기술의 개념

최근 식품 고압기술은 식품 생산공정에 있어 살균 또는 멸균 목적의 범주를 벗어나 비가열 처리방법의 하나로 50℃ 이하의 온도에서 식품 영양소 및 고유성분의 파괴나 손실 없이 기능성 식품원료를 저분자화 용해하거나 추출하는 목적으로 산업적 활용기술 개발이 시도되고 있다. 특히 고압처리에 의하여 저분자화한 생리활성 물질은 인체의 소화흡수율을 극대화함으로써 기존 제품과 비교시 기능 특성에 차별화된 상업제품이 개발될 경우 산업적 파급효과는 매우 클 것으로 예상된다. 표 3은 고압기술, 마이크로파, 가열공정의 영양건강, 품질, 구매력 항목 등을 소비자 기호도 분석결과를 비교한 것이다. 고압처리에 의하여 생산하는 제품은 마이크로파 및 가열공정에 의한 것보다 영양건강 가치에 기호성이 1.6~2.4배 이상 높으며, 품질가치의 기호도는 고압처리 제품이 마이크로파 및 가열공정 처리 제품보다 1.6~1.8배 높은 것으로 조사되었다. 한편 구매가격에 대한 이점은 마이크로파 및 가열공정 처리 제품이 고압처리 제품에 비하여 약간 높은 결과를 보였다.

식품산업에서 고압처리 기술은 주로 식품 중의 유해 미생물의 살균 목적으로 사용되어 왔다. 그러나 최근 고압기술은 국내 및 일본을 중심으로 동식물 원료로부터 유용 성분의 색상, 향미, 영양성분 등을 유지하면서 수용화 및 추출증대 효과를 제공할 수 있는 비가열 기술로서의 장점이 부각되면서 상업적 규모의 이용이 가능한 고압처리 장치가 개발되어 중소 식품소재 및 미용소재 제조업체를 중심으로 활용도가 점차적으로 증가하는 추세에 있다. 우리나라 전통적인 천연 조미료의 제조는 미생물의 작용으로 단백질을 분해하여 된장, 간장, 액젓 등을 제조하는 발효법과 효소 등을 원료에 직접 첨가하여 단백질 분해를 통한 동물성 및 식물성 단백질 가수분해물을 제조하는 효소 분해법이 사용되

표 3. 식품 가공공정의 부가가치 장점의 비교

	평가척도(+100: 최대기호도, −100: 최소기호도)
영양건강적 장점	
고압처리	80.26
마이크로파 처리	47.97
가열처리	33.29
품질적 장점	
고압처리	74.45
마이크로파 처리	45.33
가열처리	40.8
구매가격적 장점	
고압처리	51.84
마이크로파 처리	47.07
가열처리	44.9

고 있으나, 제품의 저장 유통 중 발생하는 부패를 방지하기 위하여 식염과 알코올 등이 첨가되고 있다. 따라서 고압 및 효소 분해의 병행 방법을 적용한다면 미생물의 증식을 억제하고 효소작용을 촉진함과 동시에 처리공정이 간편하며, 아울러 부가적인 식염 및 알코올 등의 첨가를 배제할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 고압처리 공정은 자가분해 효소를 함유한 식품소재를 부가적인 효소분해를 통하지 않고 가수분해물을 생산할 수 있다.

현재까지 식품산업에서 활용되고 있는 종래 고압기술과 새로운 개념의 고압기술을 적용 목적, 압력, 온도, 시간, 상업적 활용 등의 항목을 중심으로 비교한 내용을 표 4에 나타내었다. 향후 새로운 개념으로 전개될 고압기술은 고압에 의하여 분해, 추출, 분리, 반응뿐만 아니라 효소분해를 병행함으로써 종래 식품공정보다 생산효율, 품질향상, 비용절감 등과 같은 산업적 파급이 있는 장점을 제공함으로써 살균 또는 멸균 목적의 고압기술과 차별할 수 있다. 적용압력 범위를 보면 새로운 개념의 고압기술은 고압 분해 또는 아임계 분해 조건인 경우 종래의 적용압력보다 1/10 정도로 가능하며, 적용온도는 고압 분해시 50℃ 이하에서 가능하며, 아임계 분해의 경우 100~160℃에서 처리하나 아임계 조건에서는 물의 유전상수와 극성이 변하여 추출효율이 증가하는 장점이 있다. 또한 새로운 개념의 고압기술은 고압분해의 경우 5분에서 24시간 처리시간 조절이 가능하고 아임계 분해 또한 10~80분에 걸쳐 분해가 가능하다. 따라서 새로운 개념의 고압기술은 생산에너지 비용의 절감과 동시에 생산효율을 크게 증진시킬 수 있는 녹색산업 지향형 식품생산기술로 지목할 수 있겠다.

고압기술의 종류 및 특징

본 절에서는 식품산업에서 고압기술을 기반으로 하는 고압효소분해, 아임계 및 초임계 추출기술의 종류와 특징에 대하여 설명하기로 한다.

고압효소분해

고압은 식품성분의 화학반응과 구조 재배열을

표 4. 종래 고압기술과 신개념 고압기술의 비교

기술 항목	종래 고압기술	신개념 고압기술
고압 적용 목적	저온 살균 멸균	고압에 의한 분해, 추출, 분리, 반응 고압조건 효소분해 병행
적용 압력	저온 살균: 500~600 MPa 멸균: 700~1000 MPa	고압 분해: 50~500 MPa 아임계 분해: 5~50 MPa
적용 온도	저온 살균: 0~42℃(20~45 기압) 멸균: 70~90℃ (106 기압 이상)	고압 분해: 25~50℃ 아임계 분해: 100~160℃
적용 시간	저온 살균: 5~10분 멸균: 2~5 single 또는 multi-pulses	고압 분해: 5분~24시간 아임계 분해: 10~80분
상업적 활용	제한적(저온 살균, 멸균)	저에너지 고효율 추출, 분해, 분리공정

촉진시킴으로써 전체 용적을 감소시키게 되는데, 단백질에 있어 공유결합은 고압에 영향을 전혀 받지 않지만, 이온결합 또는 수소결합은 3차원 구조가 크게 변하게 된다. 따라서 천연의 향미와 맛을 유지함과 동시에 효소 활성을 억제함으로써 보존성을 향상시킨다. 이때 효소의 불활성화 정도는 효소의 종류, pH, 온도, 시간 등에 좌우되며, 식품 중에 함유된 phenolases, pectinases, peroxidases 등과 같은 품질인자에 중요하게 작용한다.

곡류, 과채류, 해조류 등에 함유되어 기능성 성분(glucosinolate, 폴리페놀, 다당류)은 세포벽 구성성분 물질인 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스, 펙틴 성분들이 특정한 결정상 또는 matrix를 형성한 무정형상 상태로 존재하는 세포 조직 안에 존재한다. 그러나 이들 세포 구성성분은 세포 조직 내에서 수소결합, 공유결합, 이온결합 등과 같이 복잡한 결합 구조로 구성되어 있어 수용성이 낮으며 화학적, 효소적, 물리적 처리에 의해서도 분해되기 어려운 구조를 갖는다. 따라서 고압처리에 의하여 용해화 및 가수분해를 유도함으로써 기능 특성이 다른 셀룰로오스와 펙틴의 구성 다당체 및 분자량을 조절한 사슬유도체를 생산할 수 있다. 그러나 식물 세포벽 다당류 성분에 대한 고압처리 효과에 대한 명확한 결과는 보고되어 있지 않다. 다만, 고압과 가열조건에서 압력이 증가함에 따라서 polygalacturonase 활성이 급속하게 감소하고, pectin methyl esterase 활성은 안정하게 유지되거나 활성이 증가하는 현상이 보고되었다. 한편 딸기 세포벽 다당류를 고압효소 분해실험(400 MPa, 15분, 35℃)에서 pectin methyl esterase의 활성에 의하여 메틸 에스테르화 정도(degree of methyl esterification)가 감소되고, 대기압 조건과 비교시 펙틴 다당류 물질이 크게 분해하였으나 헤미셀룰로오스는 고압효소분해의 영향을 받지 않는 것으로 보고되었다.

고압조건에서 인지질 세포막의 구조 변화를 관찰한 결과, 압력이 0.1 MPa에서 50 MPa로 증가시 탄화수소의 사슬길이가 증가하면서 액상 결정상에서 겔상으로 가역적인 변화를 일으키며, 압력이 200 MPa 이상으로 증가시 비가역적으로 탄화수소 사슬길이가 더욱 감소하여 중첩된 상태(interdigitated state)로 변한다(그림 2). 따라서 고압에 의하여 세포막의 단백질 변성에 의한 상 변화에 따른 세포막 유동성 감소, 비가역적 분해, 세포 사멸에 영향으로 막투과성이 증대하여 물질 이동

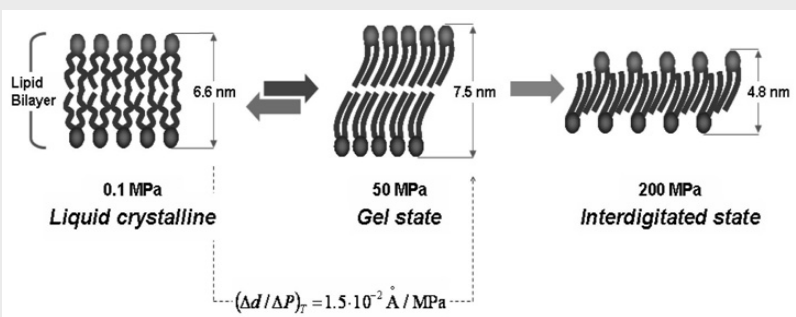


그림 2. 고압처리에 따른 세포막의 구조 변화

이 용이하다는 가설이 제기되었다.

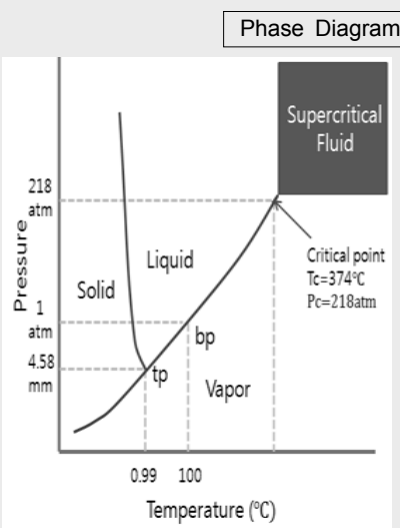
최근 고압효소분해를 위한 high hydrostatic pressure 장치가 상업적으로 개발되어 활용이 가능하게 되었는데, 이 장치의 특징은 저온 범위(50℃ 이하)에서 분해 대상물질에 적합한 효소의 존재하에 고압조건(100~500 MPa)으로 최대 24시간까지 분해를 실시할 수 있는 압력용기 시스템으로 구성되었다. 이러한 고압효소분해 조건은 종래 가열공정과 비교시 열에너지의 투입이 거의 없고, 최종 목표로 하는 제품을 효율적으로 생산할 수 있기 때문에 현행 식품산업에 이용되고 있는 추출, 분해공정을 대체할 수 있는 기술로 활용 가능성이 크다.

고압 추출

고압 추출은 상전이(phase transition)를 수반함으로써 물질전달속도를 증가시켜 세포 침투율뿐만 아니라 2차 대사물질의 확산을 증진시키기 때문에 천연 원료로부터 플라보노이드 같은 유용성분의 추출에 활용할 수 있다. 포도 부산물로부터 안토시아닌 같은 생리활성물질을 추출할 경우 열수추출(70℃, 1시간)에 비하여 추출수율 증가(2배)로 효율성 증가는 물론 추출물 중에 함유된 2차 대사물질의 항산화 활성도가 높은 것으로 보고되었다.

아임계 추출

아임계수(subcritical water)는 압력 1~22 MPa, 온도 100~374℃ 조건에 존재하는 물로서 25℃의 물이 유리전이상수가 80임에 비하여, 200 및 300℃에서의 아임계수는 각각 35, 20을 나타내는데, 이것은 그림 3에서 보는 바와 같이 에틸알코올이나 메틸알코올과 같은 유기용매와 같은 특성을 보여 추출효율을 높일 수 있다. 특히 이온 생성은 25℃에서 10^{-14}, 아임계수 상태에서는 10^{-11}로 변하게 되는 것인데, 이는 물이 고온에서 해리가 용이함을 뜻한다.



Subcritical Water		
	25℃	300℃
Dielectric constant	80	20
Polarity	High	Low
Similar to organic solvent	None	EtOH MeOH
Extacted compounds	High polarity	Low polarity

그림 3. 물의 상도표 및 아임계수의 특성

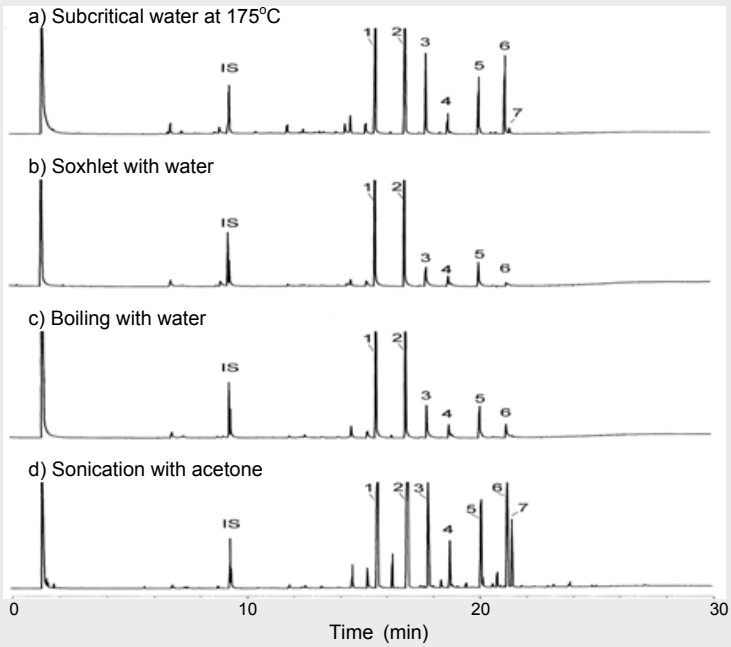


그림 4. 추출방법에 따른 kava 추출물의 GC-FID 크로마토그램

이러한 아임계수의 특성을 이용한 아임계 추출은 종래의 유기용매 추출이 갖는 낮은 추출률, 긴 추출시간, 제품에 잔존하는 독성 유기물 등과 같은 문제점을 해결하기 위한 대체기술로 활용할 수 있다. 그림 4는 태평양섬에 자생하는 기능성 음료의 원료로 사용되는 kava(*Piper methylsticum*) 뿌리 추출물의 GC-FID 크로마토그램을 나타낸 것이며, 표 5는 추출방법 및 조건에 따른 총 kava lactone 수율을 나타낸 것이다. Soxlet 및 가열추출은 아임계 추출방법 보다 50% 이하의 추출수율을 보였다. 아세톤을 용매로 초음파 추출(18시간)의 추출물 수율을 기준으로 kava lactone의 70% 및 80% 이상의 추출률을 얻기 위한 아임계 추출조건은 각각 100℃에서 120분 이상, 175℃에서 20분 이상인 것으로 확인할 수 있어, 아임계 추출조건에서 추출온도와 추출시간은 상호 비례적인 관계가 성립함을 알 수 있다.

표 5. 추출방법 및 조건에 따른 총 kava lactone 수율

Kava lactones (KL)	추출조건						
	아임계수, 100℃		아임계수, 175℃		Soxhlet, 물	가열, 물	초음파, 아세톤
	60분	120분	10분	20분	6시간	2시간	18시간
총 KL (mg/g)	81±5	90±6	80±13	104±10	48±6	57±16	125±6

한편 탄소수 8~18에 해당하는 포화지방산의 물에 대한 용해도를 증진시키기 위하여 60~230℃, 5~15 MPa의 아임계 조건에서 caprylic acid, capric acid, lauric acid, myristic acid, palmitic acid, stearic acid 등 지방산의 용해도를 측정한 결과, 압력은 용해도에 큰 영향을 주지 않았으나, 지방산의 용해도는 온도가 증가함에 따라서 높았다. 특히 160℃ 이상에서는 몰분율 용해도의 대수는 각 지방산의 절대온도의 역수에 비례적인 상관관계가 성립됨을 확인하였다. 이러한 결과는 용해된 지방산 분자를 함유하는 물이 고온에서 일정한 용액을 형성함을 의미한다. 생리활성 소재를 추출하기 위한 방법으로 아임계 추출공정이 점차적으로 활용되고 있는데, 최적 추출조건은 대상 원료에 따라서 많은 차이를 보인다. 적포도 껍질로부터 안토시아닌을 생산하는 아임계 추출온도는 100~110℃가 적절하였으며, 아마인(flaxseed)으로부터 페놀화합물인 lignan을 추출하는 아임계 조건은 160℃, 5.2 MPa이 최대 추출률을 보였다. 아임계 추출에 의하여 cow cockle seed로부터 사포닌을 추출하기 위하여 물과 에탄올 및 메탄올 용매의 농도(50, 80, 100%)에 따른 추출조건은 seed의 농도 12%에서 125℃가 적합하였으며, 수용성 추출물 중의 사포닌 성분의 조성은 수용성 에탄올과 메탄올 추출물과 차이를 보였다.

이외에 기능성 보리음료, 열대 약용식물로부터 생리활성 물질생산, canola meal로부터 항산화 물질 추출 등과 같은 적용 사례에 비추어 볼 때 아임계 추출기술은 식품산업에서 재래적인 추출공정을 대체할 수 있는 효율적인 기술로 발전할 가능성이 크다고 볼 수 있다.

초임계 추출

초임계 추출기술은 특정 유체의 임계 압력과 온도 이상에 존재하는 액체와 기체의 중간 상태로 존재하는 초임계 유체가 액체와 유사한 용해력과 기체와 같이 빠른 침투력을 갖는 특성을 이용하여 식품성분 중 유용물질의 품질을 유지하면서 신속하게 높은 수율로 추출할 수 있는 것이 장점이다. 초임계 추출에 사용되는 용매는 표 6과 같이 다양한 종류가 있는데, 이산화탄소는 적절한 임계 온도(31.3℃)와 임계 압력(72.9 atm)을 갖는 유체인 관

표 6. 초임계 추출공정에 사용되는 용매류의 임계 특성

용매	임계 특성			
	온도(℃)	압력(atm)	밀도(g/ml)	Solubility parameter (δ, $cal^{-1/2}cm^{-3/2}$)
Ethene	10.1	50.5	0.200	5.8
Water	101.1	217.6	0.322	13.5
Methanol	−34.4	79.9	0.272	8.9
Carbon dioxide	31.2	72.9	0.470	7.5
Ethane	32.4	48.2	0.200	5.8
Nitrous oxide	36.7	71.7	0.460	7.2
Sulfur hexafluoride	45.8	37.7	0.730	5.5
n-Butane	−139.9	36.0	0.221	5.2
n-Pentane	−76.5	33.3	0.237	5.1

계로 식품산업에서 가장 많이 이용되고 있다. 실온에서 기체인 이산화탄소는 추출이 완벽하게 이루어진 후 압력이 해제되면 추출물에 잔류하지 않고 제거되는 무용매 추출이 가능하게 한다.

산업적인 생산에 있어서 이산화탄소의 사용량이 많을 경우 회수공정을 이용하여 재사용할 수 있다. 그러나 초임계 이산화탄소는 용매 극성의 측정값인 solubility parameter(δ)를 통하여 알 수 있듯이 낮은 극성을 보여 극성이 강한 천연물에서 유용성분을 추출하는데 있어서 다소 효과적이지 않을 수 있다. 이를 해결하기 위하여 co-solvents를 사용하는데, co-solvents는 매우 극성화합물로서 적은 양을 첨가하고도 순순한 초임계 이산화탄소의 용매 특성을 크게 변화시킨다. 현재까지 상업적인 규모에서 초임계 추출기술은 카페인, 향신료, 식용유, 향, 아로마, 홉, 허브, 콜레스테롤, 항산화제, 색소, 담배의 니코틴 제거를 위한 추출 등과 같이 넓은 범위에서 활용되고 있으나, 신제품 생산을 위한 생산공정으로 고려할 시 초임계 장치설비의 규모와 투자비 및 생산제품의 부가가치에 대한 정확한 검토가 있어야만 경제적이고 효율적인 공정으로 활용할 수 있다.

고압기술 적용대상 시장규모 및 사례

국내 인삼 생산액은 농업 총생산의 1.7%, 단일 품목으로는 11위(쌀 총생산액 8조 8천억 원의 6.6% 수준)를 차지하고 있다. 국내 인삼 제품시장에서 생산량 점유 76% 및 생산액 점유 62% 정도를 차지하는 액상 형태 제품류의 연도별 생산추이를 표 7에 나타내었다. 전반적으로 2002년도부터 생산량은

표 7. 국내 주요 인삼 액상제품의 연도별 생산추이

(단위: 톤, 백만 원)

품목명 \ 연도			1998	1999	2000	2001	2002	2003
백삼류	농축인삼류	생산량	219	67	92	76	98	222
		생산액	7,895	11,297	8,902	14,729	22,109	11,125
	인삼차	생산량	802	580	6,828	622	663	727
		생산액	11,152	7,919	11,344	7,688	9,539	8,306
	인삼음료	생산량	16,756	3,452	2,418	1,956	2,535	2,111
		생산액	56,629	11,915	10,048	8,131	13,537	5,563
홍삼류	농축홍삼류	생산량	40	25	214	249	581	387
		생산액	8,001	3,454	27,843	18,433	33,809	48,271
	홍삼차류	생산량	94	213	400	236	445	395
		생산액	5,654	9,834	3,789	10,407	14,354	12,279
	홍삼음료	생산량	2,995	6,397	10,353	11,475	21,983	20,854
		생산액	13,876	28,783	58,218	45,700	80,537	80,257
합계		생산량	20,112	10,734	20,303	14,614	26,305	24,696
		생산액	103,207	73,202	120,144	105,088	173,885	165,801

(자료: 한국인삼제품공업협회)

2만 5천 톤, 생산액은 1천 7백억 원 정도의 규모를 보이고 있다. 국내 인삼은 수삼(50%), 백삼(33%), 홍삼(15%), 태극삼(2%) 형태의 순으로 소비되고 있으며, 2002년 기준으로 홍삼 엑기스, 홍삼 음료, 홍삼차, 홍삼 캡슐 등과 같은 홍삼을 원료로 한 액체음료 형태가 3,400억 원의 시장 매출을 보였다.

그러나 홍삼 또는 흑삼은 원료 수삼을 증자하여 1~9회 건조를 실시하여 제조하는데, 증숙 과정에서 증기에너지가 투입되고, 건조과정에서는 열풍 건조, 마이크로파 건조, 냉풍 건조, 원적외선 건조 방법 등과 같은 건조에너지가 소요되는 고에너지 소비공정으로 운영되고 있다(홍삼제조 비용은 약 15,000 원/kg이며, 이중 에너지 비용이 8,000 원/kg을 차지하여 전체 생산비의 약 53%를 차지함). 또한 증숙 과정에서 백피 현상과 터짐 현상 등이 발생하여 품질저하를 초래함으로써 상품성을 잃고, 증숙기 하부에 증숙액이 유출되어 유효성분의 손실이 발생하는 중요한 문제가 있다.

표 8은 현행 홍삼제조의 중요 단계인 추출, 여과, 농축공정에 있어 단위 제조공정의 가열온도 및 처리시간을 기준으로 생산비용을 분석하여 고압분해 공정과 비교한 것을 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 현행 홍삼제조는 증자, 추출, 건조과정을 거치면서 에너지 소모가 크고 위생적인 홍삼제품을 생산하는데 문제점이 있다. 수삼 1톤을 기준으로 홍삼 제품을 제조할 경우 고압분해 공정 대비 에너지 비용은 10배 이상 소요되는 것을 알 수 있다. 그림 5는 수삼과 홍삼을 열수 및 고압효소분해 공정에 의하여 제조할 경우 수용성 분해물에 함유된 진세노사이드 함량을 나타낸 것이다. 수삼의 고압효소분해 A와 B는 열수추출 대비 진세노사이드 함량이 각각 1.2배(16.1 mg/g), 1.5배(19.7 mg/g) 증가하였으며, 홍삼의 고압효소분해 A와 B도 열수추출 대비 각각 1.14배(11.4 mg/g) 및 1.4배(14 mg/g) 증가되었다. 이와같이 고압효소에 의하여 수삼을 분해하여 홍삼 제품의 지표물질인 진세노사이드 함량을 증진시킬 수 있는 방법은 현행 홍삼 제조공정의 생산성 향상, 고품질 인삼추출물 생산, 생산에너지 절감 등과 같은 공정개선 효과를 기대할 수 있다. 특히 수삼을 원료로 홍삼 제품보다 진세노사이드 함량이 높은 제품을 생산할 수 있다는 점은 고압효소분해 공정의 가장 큰 장점이며, 향후 관련 업계의 생산공정 개선에 대한 관심을 끌 수 있는 사항이다.

표 8. 현행 홍삼 제조공정 대비 고압효소분해 공정의 비교

	현행 생산공정	고압효소분해 공정
제조공정	증자(홍삼): 92~95℃ 추출: 2~3시간 건조: 60℃, 15일	고압효소분해(50℃, 24시간)
장단점	제조 비용의 50% 차지	저비용
에너지 비용(수삼 1톤 기준)	증자: 195,000원 건조: 1,040,000원 추출농축: 3,087,000원 합계: 4,322,000원	고압효소분해 415,000원

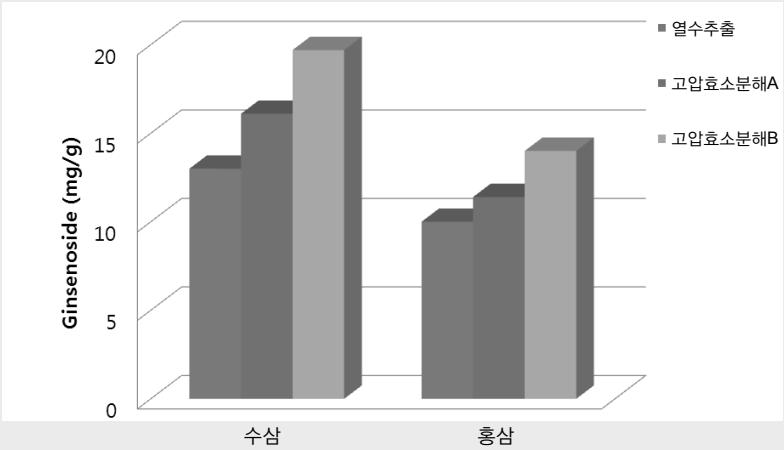


그림 5. 수삼과 홍삼의 열수추출 및 고압효소분해 후 추출물 중 진세노사이드 함량 비교

결 론

현행 식품소재(기능성 및 조미소재)의 산업적 생산은 직간접 방식의 가열공정에 의하여 이루어지기 때문에 향미 물질 및 최종 식품의 품질 저하를 초래하고 고에너지 투입에 따른 경제성과 품질관리가 단점으로 부각되고 있다. 식품 고압기술은 식품 영양성분 파괴가 거의 일어나지 않고 고품질의 용해화 또는 추출제품 생산은 물론 저온에서 식품 미생물을 사멸시킬 수 있으며, 자가분해효소를 함유한 식품은 효소첨가 없이 분해물을 생산할 수 있다. 또한 생산능력이 우수하고 에너지 소모가 적은 경제적, 친환경적 공정이기 때문에 활용보급이 확대된다면 국내 식품 제조업에 큰 변화를 가져올 수 있을 뿐만 아니라 국내 식품 제조 장치산업의 활성화도 기대할 수 있다. 식품 고압기술은 저탄소 고효율의 녹색성장을 위한 요소기술에 있어 안전과 건강을 고려한 환경, 에너지 및 에너지 절약 분야의 신기술 개발이 전 세계 식품업계의 관심사항이 되고 있다. 따라서 글로벌 경쟁화 시대에 현행 식품산업 공정개선 및 관련기술 개발을 통한 장치산업의 경쟁력 확보가 요구되는 시점에서 중요한 국가발전 전략사업의 하나가 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 녹색성장을 위한 융합기술 개발과 관련 환경교육, 국가교육과학기술자문회의, 2009
2. 삼성경제연구소, 2008. 10
3. Balny C, Masson P, Effects of high-pressure on proteins, Food Rev Int, **9**(4), 611-628, 1993
4. Butz P, Needs EC, Baron A, Bayer B, Giesel B, Gupta B, Oltersdorf U, Tauscher B, Consumer attitudes to high pressure processing, Food Agric Envir, **1**(1), 30-34, 2003
5. Cacace JE, Mazza G, Pressurized low polarity water extraction of lignans from whole flax-

seed, J Food Eng, **77**, 1087-1095, 2006

6. Corrales M, Toepfl S, Butz P, Knorr D, Tauscher B, Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison, Innov Food Sci Emer Technol, **9**, 85-91, 2008
7. Fachin D, Smout C, Verlent I, Nguyen BL, Van Loey AM, Hendrickx ME, Inactivation kinetics of purified tomato polygalacturonase by thermal and high-pressure processing, J Agric Food Chem, **52**, 2697-2703, 2004
8. Goodner JK, Hraddock RB, Parish ME, Inactivation of pectin esterase in orange and grapefruit juices by high pressure, J Agric Food Chem, **46**, 1997-2000, 1998
9. Güçlü-Üstündağ Ö, Balsevich J, Mazza G Pressureized low polarity water extraction of saponins from cow cockle seed, J Food Eng, **80**, 619-630, 2007
10. Haddas-Roudsari M, Chang PR, Pegg RB, Tyler RT, Antioxidant capacity of bioactives extracted from canola meal by subcritical water, ethanolic and hot water extraction, Food Chem, **114**, 717-726, 2009
11. Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, Weemaes C, Effects of high pressure on enzymes related to food quality, Trends Food Sci Technol, **9**(5), 197-203, 1998
12. Herrero M, Cifuentes A, Ibañez E, Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae. A review, Food Chem, **98**, 136-148, 2006
13. Hilz H, Lille M, Poutanen K, Henk A, Schols HA, Voragen AGJ, Combined enzymatic and high-pressure processing affect cell wall polysaccharides in berries, J Agric Food Chem, **54**, 1322-1328, 2006
14. Ju ZY, Howard LR, Subcritical water and sulfured water extraction of anthocyanins and other phenolics from dried red grape skin, J Food Sci, **70**(4), S270-S276, 2005
15. Kato M, Hayashi R, Effects of high pressure on lipids and biomembranes for understanding high-pressure-induced biological phenomena, Biosci Biotechnol Biochem, **63**(8), 1321-1328, 1999
16. Katsaros GI, Katapodis P, Taoukis PS, High hydrostatic pressure inactivation kinetics of the plant proteases ficin and papain, J Food Eng, **91**, 42-48, 2009
17. Khuwijitjaru P, Adachi S, Matsuno R, Solubility of saturated fatty acids in water at elevated temperatures, Biosci Biotechnol Biochem, **66**(8), 1723-1726, 2002
18. Kim WJ, Kim J, Veriansyah B, Kim JD, Lee YW, Oh SG, Tjandrawinata RR, Extraction of bioactive components from Centella asiatica using subcritical water, J Supercrit Fluids, **48**, 211-216, 2009
19. Kubátová A, Miller DJ, Hawthrone SB, Comparison of subcritical water and organic solvents for extracting kava lactones from kava

root, J Chromatogr A, **923**, 187-194, 2001

20. Kulkarni A, Yokota T, Suzuki S, Etoh H, Subcritical water extraction of barley to produce a functional drink, Biosci Biotechnol Biochem, **72**(1), 236-239, 2008
21. Nguyen BL, Van Loey A, Fachin D, Verient I, Hendrickx IM, Purification, characterization, thermal and high pressure inactivation of pectin methylesterase from bananas (cv. Cavendish), Biotech Bioeng, **78**(6), 683-691, 2002
22. Peters L, Fachin D, Smout C, van Loey A, Hendrickx ME, Influence of β-subunit on thermal and high-pressure process stability of tomato polygalacturonase, Biotechnol Bioeng, **86**(5), 543-549, 2004
23. Renard CMGC, Voragen AGJ, Thibault JF, Pilnik W, Comparison between enzymatically and chemically extracted pectins from apple cell walls, Anim Feed Sci Technol, **32**, 69-75, 1991
24. Seyderhelin I, Boguslawasky S, Michadis G, Knorr D, Pressure induced inactivation of selected food systems, J Food Sci, **61**(2), 108-310, 1996
25. Sperber B, Renovating for energy efficiency, Food Process, June, 51-55, 2008
26. Shouqin Z, Jun X, Changzheng W, High hydrostatic pressure extraction of flavonoids from propolis, J Chem Technol Biotechnol, **80**(1), 50-54, 2005
27. Valcárcel M, Tena M T, Application of supercritical fluid extraction in food analysis, Fresenius J Anal Chem, **358**, 561-573, 1997
28. Verlent I, Van Loey A, Smout C, Duvetter T, Hendrickx ME, Purified tomato poly-galacturonase activity during thermal and high-pressure treatment, Biotechnol Bioeng, **86**(1), 63-71, 2004

김 종 태 공학박사

소 속 : 한국식품연구원 바이오나노연구단
전문분야 : 식품고압 및 나노소재화 기술
E-mail : ctkim@kfri.re.kr
T E L : 031-780-9138