

현무암 원적외선 판재를 이용한 중온풍 식품건조 시스템 개발

김광명^{1*}, 황재순², 김용환³, 현명택⁴, 김선호⁵

^{1*}오'제주, ²한국과학기술정보연구원, ³제스코, ⁴제주대학교, ⁵명지대학교

1. 건조기술의 개요

건조란 열풍, 스팀, 가스 및 전자기파 등의 직간접 에너지를 투입하여 피 건조물에 함유된 수분이나 용제를 제거하는 것으로, 식품저장에서 건조는 식품내의 수분을 감소시킴으로써 미생물이나 효소에 의한 부패나 변질을 방지하는 한편 저장성 향상, 운송의 간편화, 풍미, 색, 조직 등의 향상을 가능케 하여 상품적 가치는 높이는 수단으로 활용되고 있다.

건조공정은 피건조물에 전달된 에너지가 그 일부만이 수분증발에 사용되고, 주위로 많은 양의 에너지가 손실되므로 열효율이 낮은 에너지다소비형 기술로서, 산업공정의 타 기술에 비해 에너지 소비 비중이 높은 매우 중요한 산업공정의 핵심 기술 분야이다. 식품 건조 기술은 크게 <그림 1>에서와 같이 자연건조와 인공건조로 나뉘지며, 자연건조는 태양열, 바람, 환기 등 자연환경을 이용하는 천연건조 방식으로 대기 중의 상대습도 보다 식품의 수분활성도가 높을 경우 건조가 진행되는 방식이다. 자연환경을 이용하므로 단순하며, 값이 저렴한 건조식품을 얻을 수 있으나 기후에 좌우되기 쉬우며, 장시간의 건조를 요하고, 건조하는 동안 변질이 진행되기도 하며, 제품의 수분함량이 높아 저장성에 문제

가 있다. 특히 미국 FDA의 경우 자연건조에 따른 오염 등으로부터 분제 해결을 위하여 규제를 강화하는 방안이 추진되고 있어 대안이 필요한 상황이다.

인공건조는 가해지는 압력에 따라 가압, 상압 및 진공(감압) 건조로 구분된다.

가압건조는 수분함량이 비교적 적은(15~40%) 피 건조식품을 밀봉한 후 외부로부터 가열하면서 회전시키거나 또는 건조용기에 직접 가열공기를 주입한 후 뚜껑을 개방하여 상압으로 식품을 분출하는 건조방식이다.

상압건조는 열원 또는 방식에 따라 열풍건조, 분무건조, 피막건조, 원적외선 건조, 건조재에 의한 건조로 나뉘는데, 열풍건조는 인공적으로 열풍을 건조식품에 강제로 보내어 건조시키는 방식으로, 터널식 건조기, Cabinet 건조기, Band 건조기 등으로 구분된다. 분무건조는 분유, 액체 식품 등 액상의 식품을 분무하여 열풍 중에 건조하여 분말화를 하는 방식이다. 피막건조는 드럼 형태의 가열된 열판의 표면에 식품을 직접 접촉시켜서 건조시키는 방식이다. 원적외선 건조는 원적외선(파장영역 중 3 μ m~1,000 μ m 범위)의 열 전달력과 깊은 내부 침투력으로 물체의 내·외부를 동시에 건조하는 방식이다. 진공건조는 식품을 진공상태에서 증발 또는 승화시켜 건조하는 방식으로서 감압 하에 물의 기화(액체

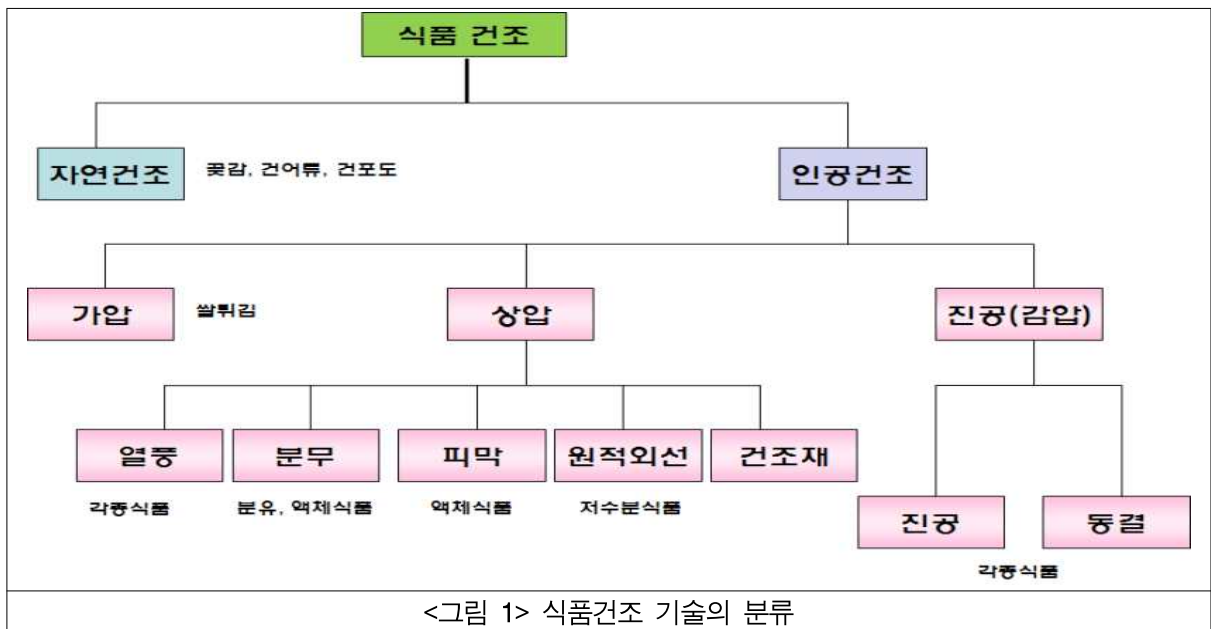
→ 기체)를 통해 건조하는 감압건조와 감압 하에서 얼음상태의 기화(고체 → 기체)를 통해 건조하는 동결건조 방식이 있다. 감압(가열)건조는 가압에 의하여 100℃이하의 낮은 온도에서 시료중의 수분을 완전히 제거하는 방식으로, 시료에서 발생할 수 있는 공기에 의한 산화와 열분해를 최소로 막을 수 있으므로 건조 온도를 높일 경우 분해 또는 변화를 일으킬 가능성이 있는 식품에 대해 가장 신뢰성이 있는 건조방식이며, 동결건조는 진공건조의 하나로서, 물질을 동결시키고 수증기의 부분압을 물의 3중점 이하(6 mbar or 4.6 Torr)로 낮춰 얼음을 직접 증기로 만드는 승화를 통해 건조하는 방식이다.

이 중 원적외선을 이용한 건조법은 최근 들어 농산물의 건조에 다양하게 적용되고 있으며, 원적외선 건조는 열원에서 나온 전자파가 대상물질에 직접 도달하므로 천일건조와는 달리 건조시간의 단축이 가능하고, 영양성분의 파괴나 변형이 없어 고품질의 농산물 가공에 적절한 기술이라 할 수 있다. 그러나 건조를 위한 설비비용이 고가이고 생산량에 한계가 있어 대량생산을 위한 사업 타당성 문제가 해결되어야 한다는 문제를 가지고 있다.

2. 건조기술 개발의 필요성

- 소득수준의 증가 및 사회 발전 흐름에 따른 가공식품의 수요가 증가하면서 소비자의 고기능성, 고품질, 위생의 친환경 식품에 대한 수요 또한 증가하고 있으며 식품의 원 상태를 보존하기 위한 가공기술의 발달이 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 현대화가 진행됨에 따라 식생활 패턴이 점차 간소화 및 편이성을 추구하게 됨으로써 취급이 편리하고 장기간 보관이 가능한 건조제품에 대한 이용이 늘어나고 있다.

건조과일의 경우 2011년 「세계 견과류 및 말린 과일 컨퍼런스」에서 영양적인 면에서 설탕 무첨가 말린 과일이 신선한 과일과 동일함을 권장하는 발표가 있었듯이 건조농산물에 대한 시장이 확대되어지고 있는 상황이다. 건조과일의 세계 수·출입동향을 조사한 결과 <표1, 2>와 같으며, 총 수입량은 2011년 기준 31억 1,683만 2,201 달러로 전년대비 6.23% 증가하였으며, 총 수출량은 22억 8,491만 1,910달러로 전년대비 21.14% 증가한 것으로 나타



<그림 1> 식품건조 기술의 분류

나고 있다. 한국의 경우는 2011년 한 해 동안 1,281만 4,917달러만큼의 건조 과일을 수입, 전년대비 수입량이 10.61% 감소한 것으로 나타나 세계 건조과일의 국가별 수입 순위 중 30위에 랭크되었으며, 수출량은 전년대비 22.39% 증가한 75만 7,146달러로 집계되어 세계 건조과일의 국가별 수출 순위 중 46위에 랭크되어 있다. 이처럼 건조제품에 대한 수요가 증가함에 따라 각종 식품 안전과 위생에 대한 정부의 규제 또한 대폭 강화하고 있어 건조공정에서 위생을 증진하기 위한 일련의 노력이 병행하여 진행되고 있다.

이와 같이 가공식품의 소비증가, 식품의 고품질화 및 정부의 건조식품 위생 및 에너지 효율화를 위한 정책에 따라 농산물 건조기 시장은 지속적인 상승세를 유지할 것으로 전망되고 있다. 2006년부터 2011년까지의 농산물 건조기의 생산량은 연평균 11.5% 증가추세로 나타났음. 향후 이와 유사한 증가세를 보인다고 할 경우 농산물 건조기의 국내 생산량은 <표 3>에서와 같이 2011년 12,018대에서 2016년 20,695대로 증가할 것으로 예상된다.

<표 1> 세계 건조과일 수입동향(2009-2011년)

Reporting Country		United States Dollars			% Change 2011/2010
		2009	2010	2011	
Reporting Total		2,777,283,910	2,934,047,898	3,116,832,201	6.23
EU25 (External Trade)		406,386,693	434,082,701	451,695,589	4.06
1	Germany	172,728,909	175,733,383	191,061,412	8.72
2	United Kingdom	164,354,983	163,648,158	185,137,836	13.13
3	United States	151,417,027	146,654,630	174,611,759	19.06
4	Russia	176,192,033	202,528,072	110,391,449	-45.49
5	China	99,100,104	78,171,112	99,246,105	26.96
30	South Korea	8,285,923	14,336,722	12,814,917	-10.61

<표 2> 세계 건조과일 수출동향(2009-2011년)

Reporting Country		United States Dollars			% Change 2011/2010
		2009	2010	2011	
Reporting Total		1,699,161,197	1,886,121,218	2,284,911,910	21.14
EU25 (External Trade)		65,532,205	70,213,642	85,819,482	22.23
1	Turkey	294,675,022	366,627,030	378,951,261	3.36
2	United States	264,346,974	298,600,139	335,308,837	12.29
3	Thailand	102,776,359	103,053,813	305,783,221	196.72
4	Chile	133,129,478	163,604,843	152,355,535	-6.88
5	Germany	107,849,495	113,539,019	131,308,854	15.65
46	South Korea	468,097	618,615	757,146	22.39

(출처 : Global Trade Atlas; GTA)

<표 3> 농산물 건조기 시장 전망 (단위 : 대, 억원)

연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	CAGR1)
대수	12,108	13,398	14,936	16,652	18,564	20,695	11.5%
규모	6,610	7,369	8,215	9,158	10,210	11,382	

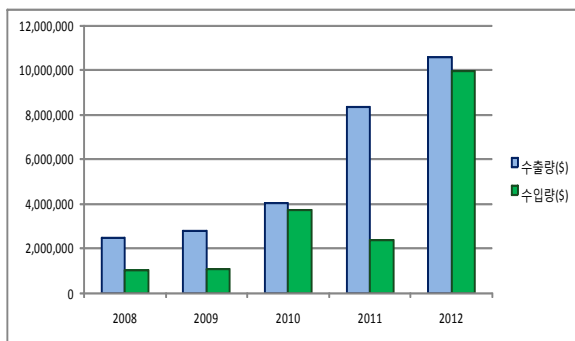
1) CAGR(Compound Annual Growth Rate, 연평균 성장률)

(출처 : 통계청 광공업 통계(농산물 건조기)치를 토대로 추정)

(대당 평균 단가는 2011년 수출금액 및 수출량 통계로부터 추산하여 0.55억원/대를 적용함)

<표 4> 농산물 건조기 수출입 현황

	2008	2009	2010	2011	2012
수출량(\$)	2,497,765	2,801,975	4,046,706	8,338,306	10,579,351
수입량(\$)	1,015,101	1,067,850	3,750,301	2,393,667	9,972,424



그러나 식품건조의 경우 이미 오랫동안 이어져온 자연건조 방법에 의해 건조될 수 있어 매우 저렴한 가격에 공급될 수 있기 때문에 아주 고부가가치의 식품을 제외하고는 화공, 섬유, 의약 등 타 산업에 적용되는 혁신적 건조기술을 적용하기 어려운 상황이며, 대용량 저에너지 소비형 건조시스템의 개발이 절실하다.

농산물 건조기의 수출입 현황은 <표 4>에서와 같이 2012년 2천만불이 넘고 있고, 연평균성장률(CAGR)도 55.52%로 증가 추이를 보이고 있다. 농산물 건조기의 총 교역량(수출입 합산)은 2008년도 \$3,512,866, 2012년도 \$20,551,775로서 연평균 CAGR 55.52% 증가 추이를 보인다. 특히, 2012년 수출량은 \$10,579,351, 수입량은 \$9,972,424으로 수출주도 품

목으로 판단되고 있다.

특히 농가의 입장에서는 버려지는 잉여/비상품 농산물을 상품화시킬 수 있기 때문에 FTA 등 농산물 시장 개방에 대비하여 고품질 건조 농산물 생산이 가능한 대용량 저에너지 소비형 농산물건조시스템 개발 기술 확립은 매우 시급한 실정이다. 건조식품의 경우 과일이나 채소를 건조에 알맞은 크기로 재가공하여 만들기 때문에 비상품 농산물을 처리할 수 있어 농가의 소득 보전에 절대적인 역할을 한다. 장기보존이 가능하여 홍수출하로 인한 가격 피해를 막을 수 있다. 건조로 인해 부피 감소, 무게 감소로 인한 물류비용 절감이 가능하다. 원물 통관을 위한 검역 또한 회피 할 수 있어 정부에서 추구하는 농식품 6차 산업 구현의 가장 전형적인 모델이 될 수 있다.

3. 국내·외 건조 기술개발 현황

동국대학교 식품공학과 이광근 교수팀이 한국기계연구원과 공동으로 분무동결건조기술을 이용하여 고부가가치 식품개발에 유용한 기술개발중이다.

(출처 : 이광근, 가공식품 소재 생산을 위한 분무 동결건조 기술 개발, 동국대학교, 2010)

이유체 노즐을 통해 의약품을 분사하고 이를 동결 건조하는 방식으로서, 이유체 노즐을 통해 두 개의 유체(의약품 수용액과 공기)가 노즐 내부에서 혼합되고 노즐의 내부 구조로 인하여 작은 입자로 극저온 환경에 분무되도록 한 다음 분사된 입자를 동결 건조하여 최종 분말을 획득하는 것이다. 새우와 표고버섯 향기분말을 분무동결건조 결과 재수화 용해성이 우수하며 좁은 입경분포도를 보였으며 동결 건조 후 분말의 세균의 증식이 획기적으로 억제된 결과를 획득하였다.

한국에너지기술연구원 폐열에너지연구센터 전원표박사 연구팀은 과열증기 이용 친환경 건조기술을 개발하여, 고온의 증발 증기를 재활용함으로써 에너지를 절약할 수 있고 건조 후 건조 제품의 품질이 향상되며, 환경오염 물질 배출도 최소화 할 수 있는 등의 큰 장점을 지닌 과열증기를 이용한 건조방식의 상용화를 위한 목적으로 기술개발을 진행 중이다. (출처 : 전원표, 과열증기 이용 친환경 건조기술, Korean Chem. Eng. Res. Vol. 46, pp. 258-273, 2008)

전남대학교 이형우 교수팀은 기존 열풍 또는 외부 열원으로부터 열전도의 형태로 피가열체 혹은 피건조체의 가열과 비교하여 에너지절감이 가능한 마이크로파를 이용한 식품 건조시스템을 개발하였다. (출처 : 이형우, 건조기술의 혁신과 건조기의 선정, 전남대학교, 2009) 마이크로파-대류 복합 건조시스템은 대표적인 복합 시스템으로서, 마이크로파의 전자기 에너지가 경우에 따라 각기 다른 건조단계에 적용되어 건조공기로부터 공급되는 열에너지를 보충하여 줌으로써 전자기에너지가 건조물질 내에 직접 흡수되므로 열손실을 크게 절감할 수 있도록 하였으며, 마이크로파-감압 복합 건조시스템은 농산물이나 식품 등에는 품질 유지를 위하여 건조 중 높은 온도를 적용할 수 없어 감압을 통하여 증발온도를 낮춤으로써 제품의 품질을 유지하는 기술이

요구되는 분야에 적용하기 위해 개발한 복합 건조 시스템으로서, 열에 민감한 동시에 고품질이 요구되는 제품의 가공공정에서 동결건조(freeze drying)보다 비용이 적게 소요되는 것으로 평가되고 있다.

한국기계연구원에서는 하수슬러지 건조를 위해 건조에 필요한 열량을 디스크 및 셀의 전도전열과 캐리어 가스의 열풍을 불어넣어 처리물과 직접 접촉시키는 대류전열조합형 간접열 건조기술을 개발하였다. (출처 : 최성길, 건조기술의 원리 및 응용, 경상대학교, 2010) 본 기술의 특징은 2축형으로 감압 디스크 건조시스템을 구성한 것으로서, 기존 이중 스크류 방식을 이용하여 건조할 경우 발생할 수 있는 스크류 구동부 등에 기밀(氣密, gas tight)이 누설되어 고진공도하에서 연속적 운전이 어려운 점을 개선한 특징을 지니고 있다.

LED 조명을 이용한 식품 건조는 LED의 방열 특성을 역이용하여 건조에 응용하는 방식으로, LED에서 방출되는 열에너지의 파장이 태양빛과 매우 유사하다는 특징을 지니고 있어 고추 등의 식품 건조에 응용하는 연구개발 및 제품화가 진행되고 있다. (출처 : <http://www.kmw.co.kr>) 통신장비업체인 KMW사는 통신기술과 LED를 결합한 IT 융합 제품으로서 건조를 위해서는 고전력 LED가 사용되어야 하는데, 동사는 기존의 팬을 이용한 강제 냉각 방식 대신 공기흐름 원리를 적용한 제품 디자인을 통해 자연냉각방식을 적용함으로써 LED 광원의 수명을 50,000시간으로 늘린바 있다. 공기가 차가운 곳에서부터 뜨거운 곳으로 흐르는 특성을 활용하여 등기구 주위에 자연대류가 일어나도록 설계하는 한편 LED 광원의 수직배열에 적합한 기구 설계와 모듈의 배치로 자연대류가 가능하도록 한 기술적 특징을 지닌다.

미국, 영국, 캐나다, 독일, 스웨덴 등의 선진국을 중심으로 충돌제트기류를 이용한 통기건조기가 개발되어 실용화 보급 중에 있으며, 선진국에서는 1980년대부터 충돌제트기류를 이용한 건조기술이

활발하게 연구되어 슈트형, 판형 및 직물 건조분야 등에서 대부분 상용화되었다. (출처 : 전원표, 열풍 건조공정의 에너지절약기술 동향, 한국에너지기술 연구원) 미국의 경우 Lanly co. 등에서는 섬유공업 및 식품공업용 충돌제트기류를 이용한 통기건조기가 개발되어 상용화되었으며, Arowhead Separation Engg. PVT. Ltd.에서는 구형입자 및 결정체 건조용 Belt conveyer형 통기건조기가 개발되었으며, 영국의 Rostro Engg. Co.에서는 약품원료 및 식품공업용 통기건조기가 개발되어 상용화되었으며, Wolverin Proctor & Schwartz Ltd. Co.에서는 입자건조용으로 충돌제트기류 이용 배치식 유동층 건조기를 개발함. 동 시스템은 상부의 고속 분사노즐에서 충돌기류가 분사되어 하부의 오븐에 놓여있는 건조 입자가 유동화 되면서 건조가 이루어지는 시스템이다. 이스라엘의 Ben-Gurion University에서는 수직충돌기류를 이용한 분사형 유동층건조기를 개발하였으며, 하부에서 고속열풍이 투입되고 하부 또는 상부에서 피건조 입자가 투입되어 혼합 챔버 내에서 고속 제트기류와 입자간의 상호작용에 의해 빠르게 건조가 이루어지는 특징을 지니고 있으며, 러시아의 Moscow Technology Institute에서는 수평형의 Spouted bed system에서 양방향에서 고속 충돌기류 (160~180m/sec)와 피건조 입자를 동시에 공급하고 중앙의 Mixing chamber에서 충돌되면서 기류 건조되는 시스템을 개발하여 슬러지 건조분야에 적용하고 있다.

과열수증기 또는 고습도 공기를 열풍으로 이용하는 건조시스템의 전열특성에 대한 연구는 미국, 캐나다 및 일본 등을 중심으로 1970년대부터 활발하게 추진되었다. (출처 : www.okadora.co.kr) 최근에는 과열수증기를 이용한 열풍건조에서의 전열과 대류 열전달 뿐만 아니라 복사열을 고려한 복합 열전달 특성에 대한 실험적 연구가 수행되고 있다. 미국, 캐나다 등에서는 과열증기를 이용하는 드럼형 섬유 건조기 및 목재 건조기 등이 개발되어 실용화 보급

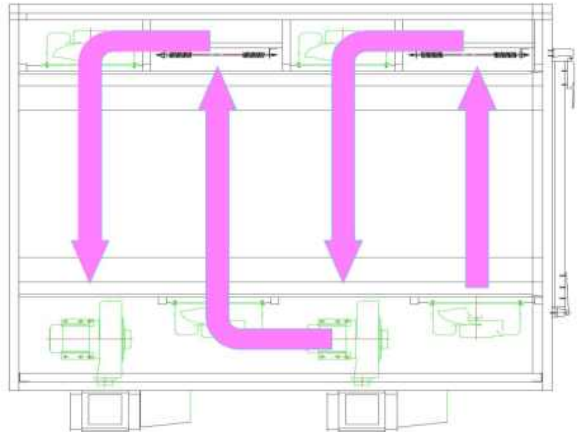
되고 있다. 일본의 Okadora Mfg. Co., Ltd에서는 식품공업 부산물(콘칩, 콘피드, 그루텐밀, 오렌지쥬스, 주정박 등) 및 슬러지 건조분야에 고온 고습도 배기 가스 순환이용 회전건조기를 개발하여 상용화하였으며, 최근에는 사이클론 드라이어를 구비하여 복합건조가 가능한 프로세스로 구성된 슈퍼멀티건조기를 상용화하였다.

열펌프를 이용한 건조기술은 1970년대부터 섬유, 목재 및 식품 건조분야를 중심으로 사용되기 시작하여 1970년대와 1980년대에 외국에서 많이 보급되었고, 다년간의 경험으로 열펌프 건조기의 기술이 성숙되어 있다. (출처 : 이진만, 식품산업의 가공기술 현황과 전망, 호서대학교, 2008) 열펌프 건조기는 초기설비 투자비가 크다는 단점이 있으나 기술개발로 운전비용을 절감함으로써 대형 시스템에서는 경쟁력 있는 제품을 출시하고 있으며, 운전 조건에 따라서 기존 열풍건조기에 비하여 60~80%의 에너지 절감을 달성하는 사례가 보고되고 있다. 미국, 캐나다, 영국 및 호주 등을 중심으로 식품, 목재, 의류 등에 대한 열펌프 이용기술에 대한 연구개발 및 상용화 사례를 아래에 나타내었다. 미국, 캐나다, 독일, 영국 및 일본 등의 선진국을 중심으로 열풍-마이크로파 이용 복합 건조기 개발이 대학 및 연구기관을 중심으로 활발하게 추진 되어 왔다. (출처 : 김기복, 마이크로파를 이용한 식품 가열장치 및 응용, 2009) 미국의 IMS L.L.C., Cober Electronics, Kemp Development Co., 독일의 AMT Ltd., Gisip Se, Co., GEA Powder Technology GmbH 및 일본의 Komats Bara Iron Works Ltd. 등에서 상용화하였다. 국외 마이크로파를 기반으로 하는 복합 건조기술은 유동층, 진공, 회전건조 방식 등과 결합되어 의약품, 화공제품, 세라믹 분말, 목재 등 다양한 용도에 적용되고 있다.

**4. 현무암 원적외선 판재를 이용한
중온풍 식품건조 시스템 개발**

기존의 열풍건조기의 경우는 식품 건조 시 표면으로부터 내부까지 열이 전달되어 건조되는데 관계로 시간이 오래 걸리고 열을 받는 부위에 따라 뒤틀리는 현상이 나타날 수 있어 고품질의 제품개발에 따른 제한과 에너지 효율성이 낮다. 원적외선의 경우 식품의 내부까지 거의 동시에 온도상승을 일으키는 특성으로 균일하게 보다 적은 에너지로 건조할 수 있는 장점이 있음. 또한 원적외선이 방사됨으로써 발생하는 향균 및 탈취기능 또한 식품 건조 시 효율적이다. <표 5>와 같이 기존의 건조기에 현무암 판재를 부착한 후 감귤에 대한 예비실험 결과 건조시간이 2시간 정도 단축되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이러한 예비실험을 통해 기존의 열풍건조와 원적외선 건조가 병행되는 새로운 기술 개발이 필요하리라 사료된다.

이러한 건조방식을 적용하기 위하여 <그림 3>에 서와 같이 한쪽 벽면에는 송풍기가 다른 벽면에는 히터가 서로 마주보고 다열로 배치되도록 건조기 내부를 설계하였다.



<그림 3> 중온풍 건조시스템 구조도

<표 5> 현무암 판재 부착 시 감귤 건조 시간 및 습도 비교

구분	총 건조시간	건조기 내 최종습도	비고
열풍 건조기	16시간 30분	3 ~ 4%	300kg 기준
현무암 판재 부착 건조기	14시간 30분	1%	300kg 기준



<그림 2> 원적외선을 이용한 식품(대추, 감귤) 건조

건조물의 향과 맛, 뒤틀림이 발생하지 않도록 감압, 중온(40~50℃)상태에서 균일한 건조가 이루어지도록 하였다. 따라서 송풍기에 의한 유로가 'S'자 형태로 순환되고, 팬을 역으로 가동시키면 '역S'자 순환되도록 하여 균일한 건조가 이루어지도록 하였다.

한국원적외선응용평가연구원에 의뢰한 현무암 판재의 원적외선 관련 시험성적서는 KFIA-FI-1005 방법에 의한 시험결과 방사율은 0.919 그리고 방사 에너지는 4.56×10^2 이며 55도C 조건에서 FT-IR spectrum을 이용한 Black Body 대비 측정되었다.

방사율 값은 물체가 외부의 적외선 에너지를 흡수 투과 방사하는 비율이다. 이론적으로 외부에너지를 흡수만 하고 반사하지 않은 물체 블랙 바디(black body)를 비교 기준으로 하며, 그 값은 1로 규정된다. 현무암판재의 결과값 0.919는 비교 기준인 블랙 바디의 값 1에 거의 근접한 수치로, 블랙 바디가 100의 에너지를 받아 100% 다 방사한다고 하면 현무암판재는 91.9%를 방사한다는 의미다.

방사에너지는 원적외선 에너지 밀도를 보여주는 것으로, 에너지 밀도가 높다는 것은 단위 면적에 많은 원적외선이 조사된다는 것을 말한다. 이번 측정 결과는 현무암판재의 경우 이론상의 물질이자 비교 기준인 블랙 바디에 근접한 원적외선 방사량을 보일 뿐만 아니라 원적외선의 파장대 전역에서 고른 방사분포를 보인다는 데 큰 의미가 있다. 원적외선은 모든 유기 무기 물질에서 방사된다. 하지만 원적외선과 관련해 6~20 μ m대의 원적외선 파장에서의 방사에너지가 저온에서 얼마나 고른 분포로 많이 방사되느냐에 따라 상품성이 달라지는 것으로 평가 받는다.

5. 건조기 내부 유동 해석

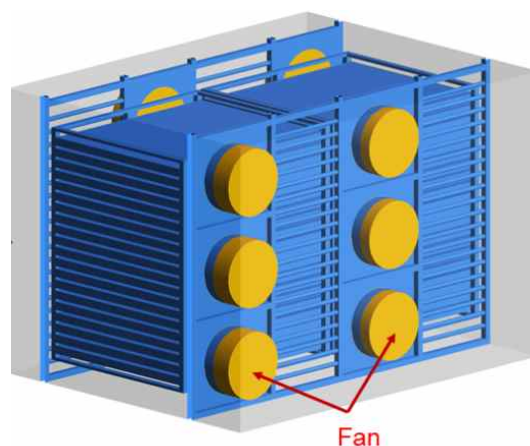
건조시스템의 내부 유동 패턴을 확인하여 전산유체역학(CFD) 해석을 수행하며 CFX(Ver. 16.1)을 이용하여 속도분포 및 벡터를 통하여 유동현상을 분석해 보았다.

유동해석 결과에 영향을 미치지 않는 챔버 외부의 형상은 고려하지 않으며, 건조기 내부의 Frame과 Fan 사이의 열교환기는 원기둥 형태로 단순화하였는데 이는 실제 Fan 형상을 구현하기 어렵고 격자 수 및 해석 시간이 증가하므로 원기둥 형태로 단순화 하고 Fan 모델을 적용한 것이다.

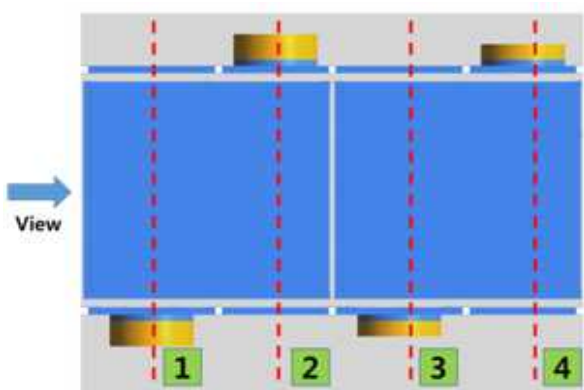
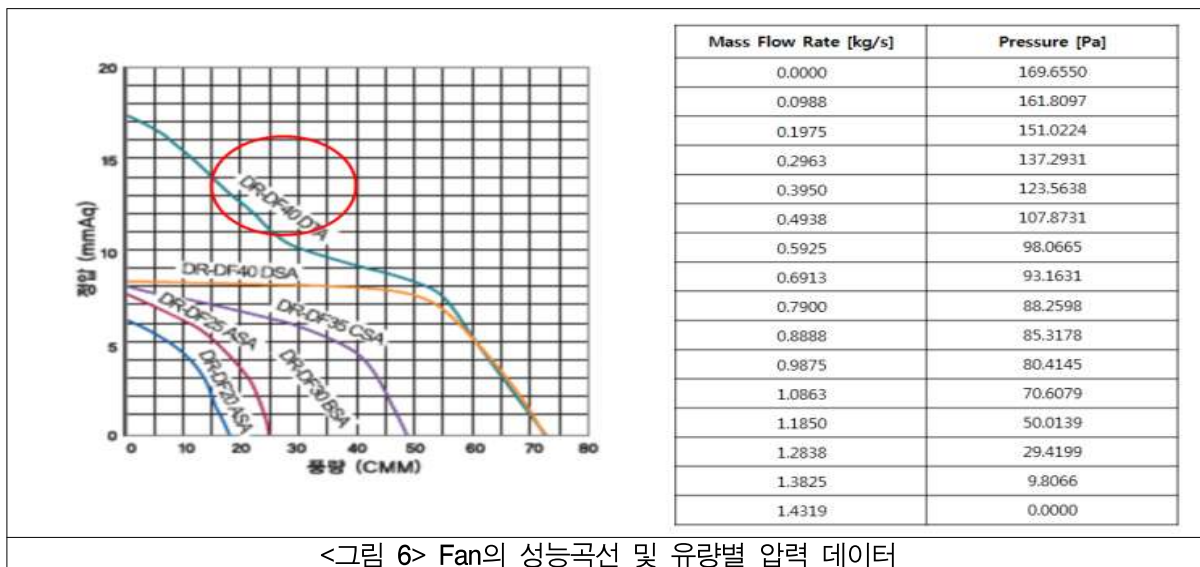
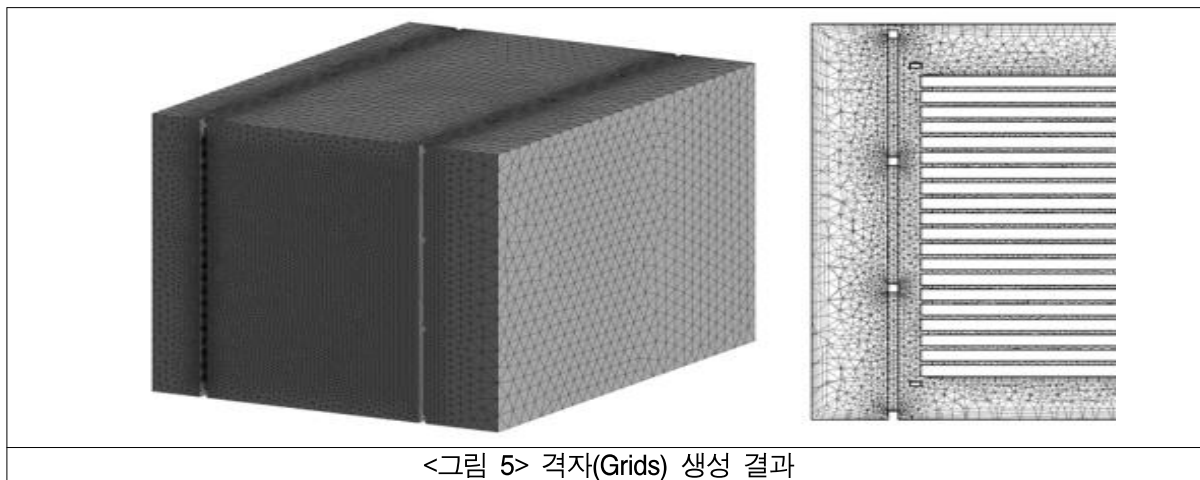
유동해석을 위한 건조기 3차원 모델은 다음의 <그림 4>와 같다.

<그림 5>는 건조기 챔버 유동해석을 위한 전체 격자계를 나타내며 건조기 Plate 사이와 같이 간격이 좁은 영역에 대하여 격자를 조밀하게 생성하였으며, Node 수는 총 8,506,995개 그리고 Element 수는 총 27,458,828개로 구성되었다.

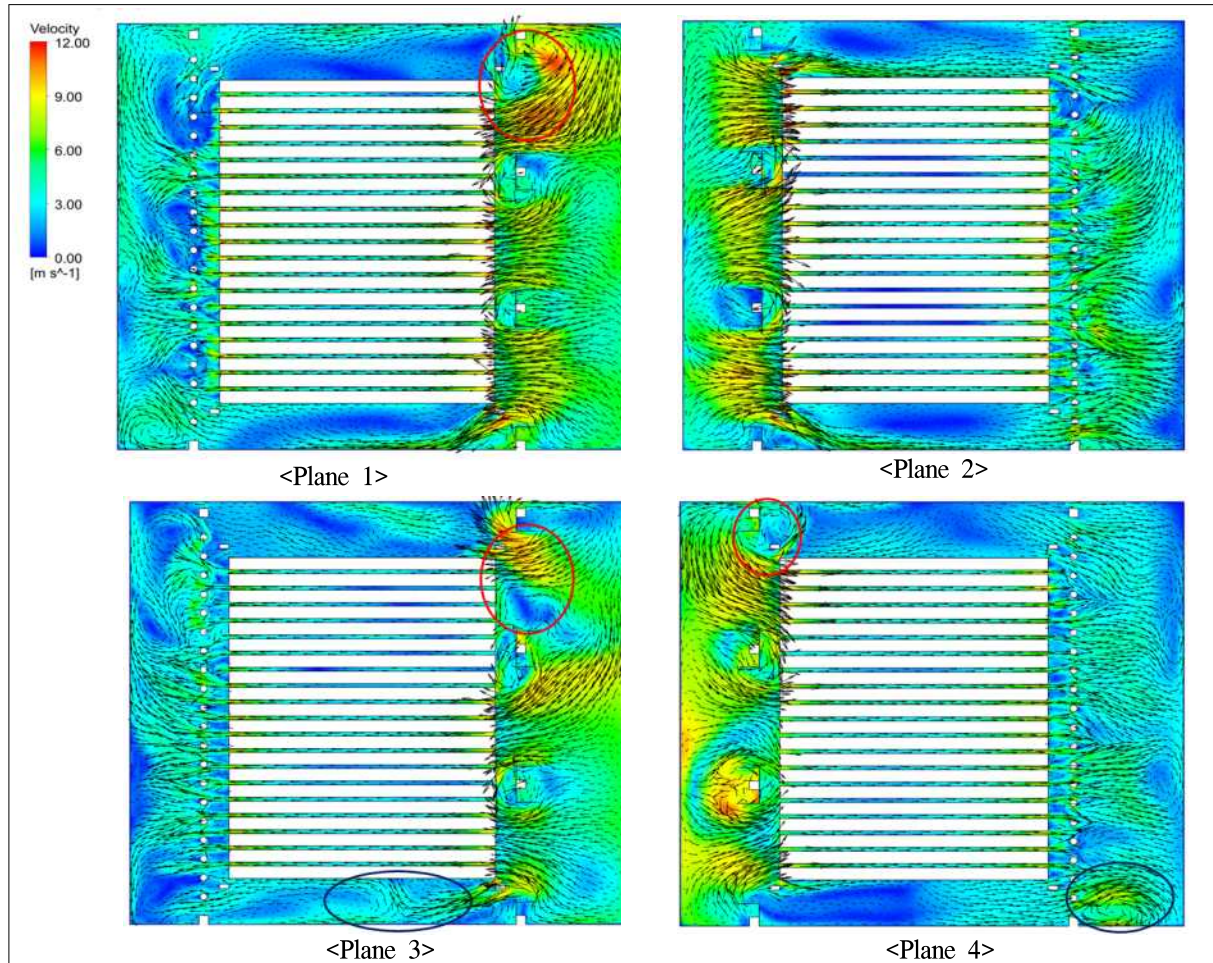
또한 건조기에는 다량의 동일 팬이 사용되었는데 경계조건을 주기 위해 <그림 6>의 팬 성능 곡선을 기반으로 우측 표와 같이 유량에 대한 압력데이터를 추출하여 적용하였다.



<그림 4> 3차원 형상화된 건조시스템 모형



건조기를 <그림 7>의 건조기 Plane 구분도와 같이 정하였을 때 유동해석 결과인 속도 벡터 및 유선은 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 각 Plane 별 유동해석 결과

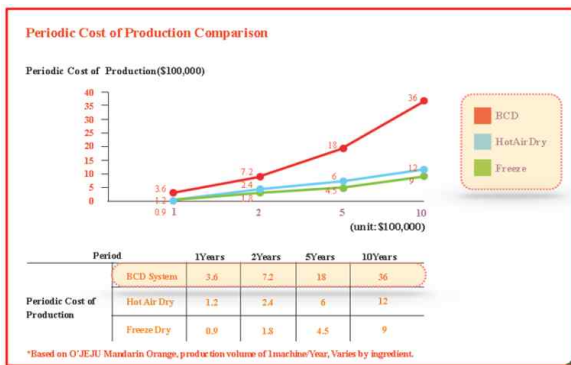
Fan의 효과에 의해 우측 또는 좌측 방향으로 분포가 나타나며 Plane 1과 3은 우측 상단 그리고 Plane 4는 좌측 상단에 유체가 균일하게 유입되지 않고 재순환 영역이 나타남이 빨간색으로 표시되어 있으며, Plane 3,4의 건조기 바닥에서 재순환 영역이 나타남을 남색으로 표시되어 있다. 중간에 위치한 Plane 2의 경우 3개의 Fan에서 유체가 균일하게 유입되며, 채반 사이의 좁은 공간을 통하여 유체가 이동하는 양상이 나타남을 보여준다. 재순환 영역이 나타나는 부분은 실제로 건조대상물이 위치하지 않는 곳인 관계로 균일한 건조물을 생산하는 것에는 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

결론적으로 실제 Fan 형상을 고려하지 않고 Fan 효과를 고려하기 위하여 성능곡선을 이용하여 유량에 대한 압력 데이터를 적용하였으나 유동 패턴은 Fan 위치에서 반대 방향의 벽면을 향하며 부분적으로 Fan에서 유체가 균일하게 유입되지 않고 재순환 영역이 나타남을 보여준다.

6. 기존 건조기술과의 차이점 및 경제성 분석

건조된 제품의 품질을 결정하는 중요한 요소들로

는 생물학적 기능의 유지정도, 미생물로부터의 안정성, 물리적 구조의 보존성 및 재수화(rehydration)에 따른 복원성 등이 있겠으나 무엇보다도 제품생산을 위한 경제성 확보가 가장 중요한 요소가 될 것이다. 이러한 관점에서 식품 건조에 주로 사용되고 있는 열풍건조, 동결건조 및 건조시스템의 다양한 비교 결과는 아래와 같다.



<그림 9> 연간 생산성 비교 (감귤 건조 기준)

감귤을 기준으로 열풍건조, 동결건조 그리고 현무암 판재 원적외선 건조방식(BCD)을 통한 연간 건조 생산성을 비교해 보면 열풍건조의 4배 그리고 동결건조의 3배에 해당하는바 사업성 확보가 충분히 가능하다는 결론을 얻을 수 있다.

7. 개발기술 활용 및 사업화방안

본 기술 개발을 통하여 농산물 건조기의 농가 보급을 통한 고부가가치 농산물 건조물 생산 지원을 통한 농가 소득 증대에 기여할 수 있을 것이다. 비상품으로 여겨지던 제품들을 고부가가치화 함으로써 농가 수익성 증대는 물론 해외시장 개척을 통한 수출증대에도 크게 기여할 수 있게 된다. 또한 건조 처리에 수반되는 전처리 시스템의 자동화 또한 중요한 요소로써 각 과일이나 채소별로 특화된 전 처

리 과정을 거쳐야 함으로 새로운 기술 개발과 함께 식품가공 공장의 핵심 요소를 자동화함으로써 식품가공 저장 산업에 획기적인 기여를 하게 될 것이라 예상된다.

7. 참조 문헌

1. 이기동, 윤성란. 2003. 건조감귤의 제조조건 최적화. J. Korean Soc. Food. Sci. Nutr. 32(8), 1927~1301
2. 황재순 KISTI. 2015. 저온건조를 위한 챔버내 유동해석
3. KISTI. 2012. 건조기 시장조사 현황
4. 이진만. 2008. 식품산업의 가공기술현황과 전망
5. 전원표. 2010. 열풍건조공정의 에너지 절약기술 동향
6. 최정식, 정혜현. 2007. 생과일 및 생야채를 이용한 건조과자 제조방법. 한국특허 10-0783095
7. 신승렬, 한준표 외. 1999. 건조방법에 따른 건조대추의 성분변화. Korean J. Postharvest Sci. Technol. Vol.6 No.1 pp. 61~65
8. 이성갑. 2002. 식품의 건조. 동결기술의 현황과 개발전망. 기술사 Vol. 35 No. 2 pp. 54~59
9. 전원표. 2008. 과열증기 이용 친환경 건조기술. Korean Chem. Eng. Res., Vol. 46, pp. 258~273
10. 김옥신, 이동현, 전원표. 2008. 과열 증기 이용 친환경 건조기술. Korean Chem. Eng. Res., Vol. 46 No.2 April. pp. 258~271
11. 김창명. 2006. 제주 감귤 산업의 발전전략. 식품저장과 가공산업. Vol. 5 No. 2. pp. 1~11
12. D.C. Slaughter, D.M. Obenland, J.F. Thompson, M.L. Arpaia, D.A. Margosan. 2008. freeze damage detection in oranges using machine vision and ultraviolet fluorescence. Postharvest Biology and

- Technology. Vol. 48. pp. 341~346
13. 이진원,성기식,박장우. 2012. 반사 및 분산기능을 가진 원적외선-진공건조에 의한 건조복원식품의 품질변화. 한국식품영양학회지. Vol.25. No.3 pp.538~545
 14. Xiaofeng Ning, Chungsu Han. 2012. Suitable Drying Model for Far Infrared Drying of Taegeuk Ginseng. Food Sc. Biotechnol. Vol.21 No.4 pp. 1087~1094
 15. 이명기, 김상현 외. 2000. 원적외선 건조와 원적외선-진공건조를 이용한 참나물의 품질변화 특성. 한국식품영양과학회지. Vol.29. No.4 pp. 561~567
 16. KISTI. 2014. 식품건조에서 원적외선이 미치는 영향. 정보조사검토보고서. pp. 1~64
 17. Kalpa Samarakoon, Mahinda Senneriathne 외. 2012. Antibacterial effect of citrus tress-cakes dried by high speed and far-infrared radiation drying method. Nutrition Research and Practice. Vol.6 No.3. pp. 187~194
 18. Ji-Hee Park, Jung-Min Lee. Effect of Far-Infrared heater on the Physicochemical Characteristics of Green Tea during Processing. 2009. J. of Food. Biochem. Vol..33 pp.149~162
 19. Jun Wang, Kuichuan Sheng. 2006. Far-infrared and microwave drying of peach. Swiss Society of Food Processing and Technology. LWT 39. pp.247~255