



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

푸드테크학 석사 학위논문

Firate™ (Far Infra-red Radiation Technology)를 적용한  
소금건조공정 생산성향상, 에너지코스트절감 및 세균감소효과의 실증

2023년 8월

서울대학교 대학원

푸드테크학과

이 수 욱

Firate™ (Far Infra\_Red Radiation Technology)를 적용한  
소금건조공정 생산성향상, 에너지코스트절감 및  
세균감소효과의 실증

지도교수 이 기 원

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함  
2023년 6월

서울대학교 대학원  
푸드테크학과  
이 수 욱

이수욱의 석사 학위论문을 인준함

2023년 6월

이 주 훈  
위원장 \_\_\_\_\_ (인)

이 기 원  
부위원장 \_\_\_\_\_ (인)

장 재 호  
위 원 \_\_\_\_\_ (인)

## 초 록

본 연구는 식품건조 및 동.식물생장용 유리온실, 스마트팜 및 축사난방 등에 사용 목적으로 발명된 특허출원번호(10-2021-0097797) Firate™ 소재를 소금건조에 적용시 생산성, 에너지 코스트 및 세균감소효과 실증사례연구를 양양에 위치한 (주)이안바이오에 시공된 Firate™ 건조설비를 활용하여 도출된 결과이다.

Firate™ 소재를 적용한 원적외선 방출장치를 건조전 수분함량 5%수준인 소금의 최종건조공정에 섭씨 60도~65도 조건으로 적용한 결과, 기존 전기열풍기와 전기히터 구성의 건조결과에 비하여 절대건조시간은 100시간에서 4시간으로 25배 감소되었다.

시간당 전기에너지소비량은 기존대비 50%이하 수준으로, 총 건조시간을 고려하면 50배이상 절감되어 획기적인 생산성 향상 및 에너지절감을 달성하였다. 기존 건조방식 100시간 적용후 최선의 결과를 얻을 경우 함수율은 5% → 1.75%로, Firate 건조방식 4시간 적용 후 함수율은 5% → 0.3%로 수치상 건조 생산성 및 결과는 물론 해당공정 관리자 및 작업자가 판단하는 정성적 건조품질 또한 월등히 향상된 결과를 얻었다.

또한 서울대학교 강동현 교수님과 Food Safety Engineering Lab(FSEL)의 도움으로 해당 건조전후의 소금 내 미생물을 3회 반복 정량분석한 결과 평균값은, 호기성 일반세균(Aerobic)은 Firate™ FIR 처리전  $3.60 \pm 0.26$ (Log CFU/g) 에서 처리후  $2.18 \pm 0.27$ (Log CFU/g) 으로 감소폭을 백분율 환산시 96.20%, 혐기성 일반세균(Anaerobic) 은 Firate™ FIR 처리전  $2.85 \pm 0.85$ (Log CFU/g) 에서 처리후  $2.26 \pm 0.62$ (Log CFU/g) 으로 백분율 환산시 74.30% 감소하여 통계적으로 유의미한 결과를 보여줌을 확인하였다. 그간 FSEL에서는 기존에 세균감소 테스트에 적용했던 원적외선장치들의 효과가 미미하여 주로 근적외선(Near Infra-Red)<sup>ii</sup>장치를 연구에 적용해 왔었는데, Firate™가 고무적인 세균감소결과를 보이므로 이를 적용한 다양한 실험을 수행할 가치가 있다고 인식하는 계기가 되었다.

본 연구는 건조대상물이 소금 한 종류 였고, 유해세균이 발견되기 어려운 심층해양수에서 추출된 소금결정을 대상으로 최종건조공정 전 고온으로 끓이는 자염공정<sup>iii</sup>을 거치기 때문에 대장균 및 황색포도상구균과 같은 세균은 건조전에도 미검출되어 식품위생상 큰 영향을 끼치는 악성세균이 감소되는지의 여부는 확인할 수 없었다는 한계점과 시중에 출시된 여타 원적외선 장치들과의 직접 비교실험을 하지 못한 제약에도 불구하고 Firate™의 적용을 고려할 경우 참고할만한 기대효과를 보여줌과 동시에 푸드테크분야 가치사슬 상류에 위치하며 전세계적으로 막대한 시장잠재력이 존재하는 식재료 원물 건조공정에서 주목할만한 대안을 제시했다는 점에서 의미있는 연구라고 판단한다.

주요어: Firate™, 원적외선, 농식품건조, 수산물건조, 에너지절감, 생산성향상, 세균감소, Carbon Foot Print, 푸드테크(FoodTech)<sup>iv</sup>, 애그테크(AgTech),<sup>v</sup>

학번: 2021-2631



# 목 차

제 1 장 서론 .....	7
제 1 절 연구의 배경 .....	7
제 2 절 연구의 목적 과 기대 효과 .....	10
제 2 장 Firate™ 의 특징 및 기술적배경 .....	12
제 1 절 Firate™ 의 특징 .....	12
제 2 절 기술적 배경 .....	14
제 3 장 양양 소금공장사례 .....	16
제 1 절 소금제조공정 개요 .....	16
제 2 절 Firate™ 열선 시공후 생산성향상 및 에너지절감 효과 .....	19
제 3 절 세균감소 효과 .....	23
제 4 장 결론 .....	27
제 1 절 요약 및 연구의 의의 .....	27
제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구방향 .....	28
참고문헌 .....	30
Abstract .....	32
미 주 .....	34

## 표 목차

- [표 2-1] Firate™ 열선과 일반금속 합금열선 및 탄소(면상)발열체류의 특성차이 자체비교
- [표 3-1] 소금산업 진흥법 시행규칙 중 ‘식용 결정체 소금의 품질검사 기준 및 방법’
- [표 3-2] 2007년 세계 Top10 소금의 함수량과 유해성분 기준표
- [표 3-3] 일반 건조시스템과 Firate™ 열선모듈 생산성 및 에너지절감 비교표
- [표 3-4] 세균감소 실험결과 1반복
- [표 3-5] 세균감소 실험결과 2반복
- [표 3-6] 세균감소 실험결과 3반복
- [표 3-7] 세균감소 실험결과 3반복 평균

## 그림(사진) 목차

- [그림 1-1] Firate™ 발열소재
- [그림 2-1] 기존 저항체의 비효율 원인
- [그림 2-2] 쌍극자 모멘트가 열에너지로 전환되는 과정
- [그림 3-1] 일본의 표준 정제염 생산공정
- [그림 3-2] (주)이안바이오의 심층해양수 소금제조공정 개략도
- [그림 3-3] 완성된 프리미엄 1119 소금<sup>vi</sup> 및 온라인 판매정보
- [그림 3-4] 최종건조실 제어반
- [그림 3-5] Firate™ 열선으로 제작된 임시건조모듈
- [그림 3-6] Firate™ 임시건조모듈 벽면배치

[그림 3-7] 건조실 전경

[그림 3-8] 소금채반의 적재 현황

[그림 3-9] 건조전-후 소금상태

[그림 3-10] 건조전-후 소금상태-확대

[그림 4-1] 열풍건조-원적외선 건조-근적외선 건조후의 홍고추 상태

# 제1장 서론

## 제 1 절 연구의 배경

식품 및 농수축산업분야에 적용되는 일반적인 건조 및 난방은 석유, 등유난로, 카본히터, 탄소면상발열체<sup>vii</sup> 혹은 강제순환방식 열풍기 및 유사응용장치를 사용한다. 이들 장치들은 전도열 혹은 대류열 현상을 이용하며, 난로등 전도열을 활용하는 장치의 경우 단열성이 우수한 대면적의 공기를 균일하게 경제적으로 목표온도로 유지 및 조절하는 것이 매우 어렵다. 열풍기등 대류열을 활용하는 장치의 경우 전도열방식 발열체의 비효율성을 극복하고자 개발되었고 생활공간 난방에는 효과적이거나 대형온실, 축사등에 사용할 경우 달성하는 효과에 비해 여전히 지나친 에너지비용을 감수해야한다. 게다가 고열로 공기를 데우고 강제대류 시키는 방식은 쉽게 공간을 건조하게 만들고, 산소를 고갈시키고, 이산화탄소를 발생시킴으로 이를 해결하기 위해서는 자주 환기를 시켜야만 하는데 수 많은 영세 원예농가 혹은 축산농가들은 자주 환기시킬 경우 고비용을 들여 가까스로 채운 공간의 열기를 잃어버리게 되므로 이를 꺼려하여 최소환기를 시킴으로써 겨울철 농작물, 화훼작물, 양계, 축산환경은 더욱 악화되며 각종 병충해를 유발하여 농.축산업 생산성에도 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 또한 전도열과 대류열 방식을 식품건조 영역에서 활용할 경우 소규모 공간내에서 조차 온도의 균일성을 확보하기 어렵고, 재료표면에서부터 수분을 빼앗아 건조해지는 특성으로 말미암아 건조품질의 저하, 맛의 변질, 형태변형 및 표면크랙 등으로 인한 수율저하 등을 경험하게 된다.

그렇다면 식품.원예.농.축산 분야에서 건조 및 대면적 난방에 적용될 수 있는 최적의 발열체는 무엇이고 어떻게 구현해 낼 수 있을까? <sup>viii</sup>QFD(Quality Function Deployment)를 통하여 확인한 바람직한 열원의 특징들은 다음과 같다; 1)대규모 공간을 균일한 목표 온도로 조절 2)난방 단위면적당 매우 낮은 에너지비용 발생 3) 장시간 사용에도 쾌적함 유지 하며 동.식물 생체활성에 도움 4) 사용연한 내구성을 확보하고 Cost-Effective 한 경제적인 발열시스템 5) 습도에 강하고 화재 및 화상위험 없을 것 6) 유해가스, 오취, 오염 및 유해전자파 없을 것 등이다.

결과적으로 상기 1)번에서 목표 온도를 인위적으로 조절할 것을 제외한다면 요구사항의 대부분을 만족시킬 수 있는 최적의 열원은 태양에너지로, 지표면에 도달하는 태양방사의 60%는 7~20 $\mu\text{m}$ 의 <sup>ix</sup>원적외선이다 원적외선은 전자파의 일종으로 열전달을 위한 공기와 같은 매개체가 불필요하며, 열원으로부터 직접 방사된 전자파가 상대 물체에 흡수되어 유사범위 파장에 의한 분자 공진.공명을 통해 물체 내부로부터의 발열을 일으키므로 방사는 전도나 대류와 비교할 때 열전도 효율측면에서 절대우위에 있는 방식이고, (지철근, 2001) 따라서 효율적인 원적외선 발열체를 개발하는 것이 위의 6 가지 시장의 핵심 요구조건들을 충족시킬 수 있는 돌파구라는 결론에 도달한다.

이렇게 효율적으로 열방사를 하며 생체에 이로운 원적외선을 목표온도 제어를 포함하여 활용하기 위해 과거 수많은 시도들이 있었고 현재 일반적으로 사용되는 원적외선 발열체들은

다음과 같다. 1) 세라믹스 (게르마늄, 황토) 등 원적외선을 방출하는 광물재료로 제작된 면상에 일반 전열선 혹은 증기배관을 설치하여 고열을 가하여 생성 2) 스테인레스 표면에 원적외선 상온방출 세라믹을 증착, 도포 혹은 코팅한 방사체를 가열 3) 면상의 절연복사체 내부에 저항 발열체(금속박판, 금속산화물의 표면처리, 카본블랙, 탄소섬유 등)을 장착하여 발열체의 전도열에 의해 가열된 복사체로부터의 원적외선 복사에너지를 이용하는 방식 4) 앞서 기술한 방식을 순환 팬등과 혼합 배치하여 짧은 원적외선 도달거리를 확대하고 균일한 난방을 하려는 시도 등이 있었으나, 원적외선의 방출량 부족, 짧은 방사거리로 성능 미흡, 에너지비용절감 한계, 구조물 중량과다 등으로 설치 어려움, 발열체 내구성, 2년이상 사용시 산화에 의한 급속한 열화 및 성능저하, 품질확보 실패, 원적외선 방출 시스템의 구조적 대형화에 따른 시설구축비용 과다 등의 이유로 몇몇 우수한 결과 입증에도 불구하고, 식품,원예,농축산업 분야에서는 아직 산업의 표준으로서 보편적으로 활용되지 못하는 실정이다.

이 같은 한계들을 극복하고 전세계 식품.원예.농축산업에서 보편적으로 사용될 수 있는 발열체를 만들기 위해 수많은 시행착오를 통해 발명해낸 소재가 본 연구에서 다루고자 하는 Firate™ 이다. Firate는 Far Infra-Red Radiation Technology (원적외선 발열체)라는 의미로 제품명으로 특허출원 (출원번호 10-2021-0097797) 및 상표출원 (출원번호: 40-2021-0143665) 되었다.



[그림 1-1] Firate™ 발열소재

연구과제 선정을 위해 앞서 가능성을 탐색했던 과제들은 다음과 같다.

1)수산물건조: 속초에 연구실증 가능한 코다리 건조장 확보 및 Firate™ 시스템으로 교체하여 성공적 가동하였으며, 기존 3~4일 연속 경유보일러 및 히터로 건조했었으나 Firate™ 적용시 냉동상태에 따라 6~8 시간만에 완전건조될 뿐 아니라 기존 건조방식에서 발생했던 뒤틀림 등 형태변형과 경유난로 가동으로 인한 오취.오염 등 건조품질문제가 대부분 해소되었다. 이같이 고무적인 결과에도 불구하고, 러시아-우크라이나 전쟁으로 블라디보스톡으로부터의 냉동 코다리 원물수입이 부진하여 공장폐쇄함에 따라 본 연구대상에서 제외되었다.

2) 스마트팜 기업 N.Thing의 컨네이너모듈에 설치 및 적용 가능성을 검토하였으며, 검토결과 스마트팜의 식물생장 및 광합성을 위해 설치하는 핵심 기자재인 LED 조명에서 발생하는 열량이 과다하여 오히려 온도를 낮추는 기술개발에 집중하는 상황이었으며, 또한 원적외선 적용시 식물생장속도가 지나치게 빨라져서 기존 모듈의 설정치를 초과하여 제어 및 운영상 변수조작을 새로 해야하는 문제점 존재함으로 연구대상에서 제외함. 향후 Firate™

원적외선으로 조사처리한 양액을 메가급(N.Thing 기준 약 1,000 평 규모) 혹은  
기가급(N.Thing 기준 약 10,000 평 규모) 대형 스마트팜에 공급할 경우 스마트팜의 생산성  
및 품질향상에 관해 연구과제로 탐구할 여지가 있다.

## 제 2 절 연구의 목적과 기대효과

본 연구는 식품건조 및 동.식물성장용 유리온실, 스마트팜 및 축사난방 등에 사용 목적으로 발명된 특허출원번호(10-2021-0097797) Firate™ 소재를 식품건조에 적용시 생산성, 에너지코스트 및 세균감소효과를 실증하기 위하여 진행되었다.

1970 년대 오일쇼크이후 세계각국이 무한한 기회로 추구하던 태양열 발전의 기술적 진보가 절망적으로 느리게 진척되던 시점에, 일본은 방향을 선회하여 국가적 차원에서 에너지절감을 위해 원적외선 연구를 장려하며, 각종 산업영역에 원적외선을 적용하여 왔으며 다양한 성공사례를 창출하였다, 이중 원적외선 건조방식 에너지절감효과의 대표적인 사례로서, 도장공정에 적용하여 기존 근적외선 전구로를 원적외선 건조로 개선한 결과 소비전력이 70% 감소되고 건조시간도 90% 감소되는 효과가 보고되었는데 이는 원적외선이 진동수가 일치하는 유기대상물(페인트)심부에서 분자의 공진, 공명을 통해 페인트 내부의 자기발열을 일으키고, 심부온도가 표면온도에 가깝게 동시 온도상승되는 기본특성에 의한 것으로 원적외선의 에너지절감 효과는 학계에서도 이미 인정된 내용이다 (지철근., 2001).

따라서 이처럼 뛰어난 성질의 원적외선이 비용효과 측면에서 더욱 매력적인 선택지로 받아들여지도록 하는 것을 목표로 개발된 Firate™가, 주장하는 바 대로의 성능을 확보하였는지 실증하는것은, Firate™ 시스템의 마케팅측면에서 필요할 뿐 아니라, 우수한 품질의 농수축산물을 보다 적은 에너지비용과 높은 수율 및 품질로 생산하려는 니즈를 가진 모든 생산자 및 식품.농축수산 정책입안자들에게 고려할 만한 대안으로 받아들여 질 수 있도록 하는 최소한의 필요조건이라고 하겠다. 한편, 본 연구를 통해 밝혀진 Firate™의 주요 성과인 생산성향상의 정도, 에너지코스트절감 및 세균감소효과 등은 도입을 원하고자 하는 사업장 환경, 대상 제품과 기존건조방식의 효율수준에 따라 많은 개선결과의 편차를 보일 수 있음은 자명하다.

2003 년 ~ 2005 년까지 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 일환으로 수행된 연구과제인 “원적외선 면상발열체를 이용한 고품질 채소생산 및 에너지 절감형 하우스 난방시스템 개발” (충북대학교, 농림부 2005)이 도출한 결과에 따르면 대조군이 되는 난방시스템인 면세 경유 난방(보일러 열효율 85%)대비 연구과제를 통해 개발된 카본섬유를 적용한 원적외선 면상발열체의 연료비가 약 34.5%~41.4%절감 되며 방울토마토의 생체중 및 당도도 10~20% 개선되는 등 뚜렷한 개선효과를 보였으나 시설구축의 초기비용 과다로 경작의 경제성은 여전히 적자를 면하지 못하여, 산업계에서 보다 저렴하고 효율적인 원적외선 발열체의 개발과 양산이 요청된다고 보고한 바 있다. 그럼에도 불구하고 지난 30 여년간 원적외선 발열체들은 카본 및 세라믹-열선조합 계열에서 크게 벗어나지 못했고, 앞서 지적했던 원적외선의 방출량 부족, 짧은 방사거리로 성능 미흡, 에너지비용절감 한계 등의 문제들을 획기적으로 넘어서는 해결책은 등장하지 않았었다.

일반적으로 세라믹스 (특히 원적외선 특성을 갖는 재질인 코디어라이트와 티탄산 알루미늄)는 방사율이 높고 내열성이 우수하여, 방사율이 나쁜 금속보다 원적외선 방사재료로

넓게 이용된다는 것은 원적외선 연구자료 및 서적에서 빈번하게 언급되는 내용으로 정설로 여겨져 왔다 (지철근, 2001).

Firate™ 는 그간 불가능으로 여겨졌던 ‘특수금속의 조합으로 고에너지효율-고방사율 원적외선 방사체 제조’에 성공하면서 소재의 차별화에 성공했을 뿐 아니라 퍼포먼스의 차별화에도 성공한 보기드문 사례이다. Firate™ 는 뛰어난 에너지효율(88%~95%)과 꺾이거나 묶어도 끊어지거나 파열되지 않도록 곡률반경을 극소화하여 내구성 확보, 선폭 Ø0.45mm(PTFE 계열 테프론 코팅 포함 Ø1.0mm)의 금속와이어 형태로 높은 디자인 자유도 제공, 친환경 방수코팅으로 다습한 환경에 강함, 13 종(DC) 19 종(AC)의 극세금속사 조합 400 여 가닥으로 특수한 와이어 내부구조를 설계하여 초고효율 세라믹재질의 방사율(92.5%)에 버금가는 90.5%의 원적외선 방사율 및 방사거리 확보, 대량생산에 따른 경제성확보(기존 황토세라믹 원적외선 판형히터 대비 30%이상 저렴한 가격) 등 산업표준으로 채택될 만한 요소들을 두루 갖추고 있어 향후 FoodTech 및 AgTech 분야에서 폭넓게 사용될 수 있는 잠재력을 갖추었다.

따라서 본 연구는 Firate™ 를 소금건조에 적용 및 실증함으로써 그 경제적 실용성과 FoodTech 및 AgTech 분야에서의 잠재력을 확인함과 동시에 이와 관련한 많은 후속 연구들을 촉발할 것이다. 이러한 다방면의 노력들을 통해 다양한 식품 원물건조는 물론, 원예/비닐하우스/유리온실의 겨울철 난방, 축사/돈사/계사 난방, 바이오연료의 건조 및 처리 등 수 많은 연관 산업의 경쟁력 확보를 위해 테스트 되고 그 효과를 체감함으로써 Firate™ 소재를 적용한 시스템 확산이 지역과 국가 단위를 넘어 보다 폭넓고 빠르게 이루어지게 될 경우 상당한 수준의 Carbon Foot Print 저감에 기여할 것으로 기대한다.



## 제 2 장 Firate™ 의 특징 및 기술적 배경

### 제 1 절 Firate™ 의 특징

서론에서 언급한 바와 같이, Firate™ 는 FoodTech, AgTech 분야에서 요구하는 조건들을 만족시키면서, 기존 원적외선 발열체들이 소재기술의 한계 때문에 태생적으로 가지고 있었던 문제점들을 극복하기 위해서 개발되었다. 즉 시장의 Pain Point 들은 무엇이며 최적의 발열체로 인정받기 위한 요구사항들은 무엇이고 어떻게 구현해 낼 수 있을까 하는 근본적인 질문과 대답에서부터 연구를 시작하였다.

안타깝게도 원적외선 방사체의 에너지절감 효과와 동식물 생체에너지 활성을 통해 최적의 생육조건을 조성하는데 도움이 된다는 수많은 연구결과에도 불구하고, 핵심 발열체의 경우는 대부분 일본소재 혹은 기술을 수입하는 경우가 많고 그렇게 해서 만들어진 원적외선 발열체 조차도 대한민국 농.수.축산업 경쟁력을 획기적으로 올릴 수 있는 보편적 해법으로 받아들여지는 제품을 찾기 어렵다는 문제의식이 Firate™ 소재발명의 계기가 되었다.

이해를 돕기위해 Firate™ 소재의 몇가지 주요 특징을 기술하면 다음과 같다.

- 1) 기존 발열체는 단순 발열이 주된 결과물인 반면, Firate™ 소재는 발열과 동시에 대량의 원적외선이 방출되며, 전류를 안정적으로 보정, 유지 및 원적외선 방출거리를 극대화하는 기능을 수행하도록 19 종(AC 전원용) 혹은 13 종(DC 전원용)의 특수 합금체로 내부구조가 설계된 선형의 발열체이다. Firate™ 관련 특허(출원번호 10-2021-0097797)는 이러한 내부구조 설계에 관한 내용으로 이루어져 있는 만큼 Firate™ 기술은 단순히 특별한 소재의 선택적 조합 뿐 아니라 발열체 내부의 기하학적 합금배치 및 디자인 역시 성능에 큰 영향을 미치도록 정밀하게 설계적용 되어있다.
- 2) 기존의 열선기술로는 얻을 수 없었던 90%수준의 에너지효율(기존소재 35~45%)과 이 같은 초고효율에 힘입어, AC 는 물론 저전력에서의 발열작동(DC 12W 저전압)까지 가능하므로 휴대제품(개인용 원적외선 헬스케어 디바이스) 개발이 가능해 지며 기존 원적외선 제품들이 미미한 원적외선 방출량, 비거리한계 등으로 비용대비 효과가 제한적이었던 것을 극복하여, KFIA-FI-1005 시험방식에 의거하여 50°C 에서 FTIR\* Spectrometer 를 이용하여 흑체(BlackBody)<sup>xi</sup>대비 측정결과 가장 높은 수준의 방사율로 알려져 있는 고효율 믹스세라믹 재질의 방사율 92.5%에 버금가는 90.5%(5~20μm 파장 방사율 0.905)의 원적외선 방사율 결과를 입증하였다. (한국원적외선협회 시험성적서 KFI-276) 또한 방사에너지(W/m<sup>2</sup>.μm, 50°C 기준)결과는 4.19x10<sup>2</sup>이다. 따라서 전기난로,히터, 열풍기, 라지에이터등 일반 전열기는 물론 카본, 구리열선, 세라믹계열의 원적외선 발열장치에 비해서도 월등히 우수한 에너지절감 효과와 원적외선 방사품질을 보인다.

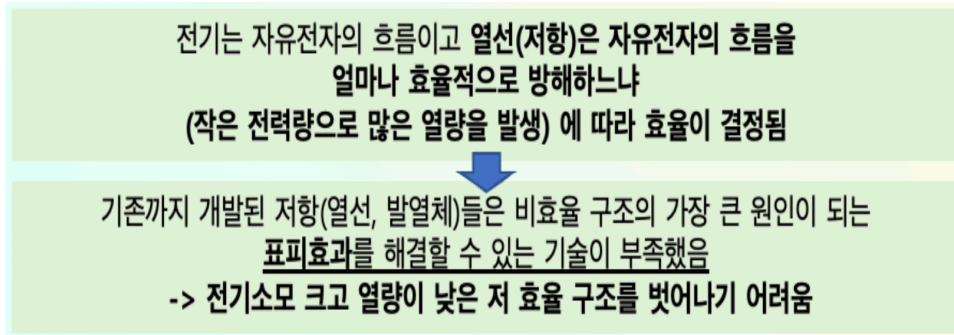
- 3) 전도나 대류에 의한 발열효과는 많은 에너지 비효율을 초래하는 반면 Firate™ 소재는 공기나 물과 같은 열전달의 매질을 필요치 않는 복사열 파장으로 대상물을 건조하므로 특히 식품의 경우 표면 굳음이나 갈라짐, 깨짐이 현저하게 줄어든다. 또한 원적외선의 특성상 심부에 흡수되어 내부에서 초당 2000 번 파장진동하며 자가발열하여 심부와 표면의 온도차가 적어 건조시간이 대폭 줄어들게된다.
- 4) 이해를 돕기 위해 기존 일반 금속 합금열선 및 탄소(면상)발열체 소재류와 비교한 도표는 다음과 같다.

구 분	-일반 금속 합금열선 - 탄소(면상) 발열체류	Firate 열선
발열효율성 (소비전력)	줄(Joule)열법칙의 30~60%	기존발열체 1.5~3배
저항값 균일성 및 사용시 저항값 변화 (화재 발생 위험성)	저항값 균일치 못함 설계 저항값 변화가 일어남 (화재발생 가능성 상존)	항상 저항값 균일 (화재 가능성 현저히 낮거나 없음)
단선 가능성 (화재 발생 위험성)	작은 굵힘으로 접힘 시 즉시 단선됨	굽힘이나 접힘이 기존 제품보다 월등함
소재 자체 온도 안정성 (화재발생위험성)	소재 자체적 온도 조절 능력 한계점	소재 자체적으로 설계된 균일온도 항상 유지
소재 수명성 (산화, 경화작용)	소재가 2~3년 산화작용발생	반영구적 사용가능
초고속 발열성	발열속도가 늦음	초고속 발열을 함
사용 범위 성 및 초 전압 DC발열성 (변경,생산성,적용성)	발열체의 유연성이 떨어진 초 저전압 DC에서 발열못함	광범위하며, 초 저전압 DC에서 발열됨 (DC 5V, 12V, 24V용으로 제품 진행중)
초고온 1,000도 발열성	초고온 발열 불가능함	초고온 발열 성 우수함
150도 이상 고온 원적외선 / 음이온 방사기능	기술적 한계로 본 기능 수행 불가	150~230°C이상 고온에서 원적외선 / 음이온 다량 방사

[표 2-1] Firate™ 열선과 일반금속 합금열선 및 탄소(면상)발열체류의 특성차이 자체비교

## 제 2 절 Firate™ 의 기술적 배경

1. Firate™ 가 여타 원적외선 발열체에 비해 열역학적으로 우수한 성능을 가지게 된 기술적 배경은 다음과 같다.



[그림 2-1] 기존 저항체의 비효율 원인

저항의 효율을 높이기 위해서는 저항 표피효과<sup>xii</sup>를 없애는 기술이 필요하고 이에 착안한 것이 Firate™ 특허이다. 해당 특허는 표피효과를 없애는 열선의 재질과 기하학적 구조가 특허기술의 핵심요체에 해당한다. 이에 기반한 Firate™ 열선은 기존 금속합금 및 탄소계열 열선들과 근본적으로 차별화되었다.

수조에 20 리터의 물을 채우고 Firate™ 열선과, 방수처리된 카본열선, 방수처리된 일반금속열선 을 각각 담구어 수온을 1° C 상승시키기 위한 입력전력값을 전원의 발열량 계산식 열에너지(W) = (유효입력전력-출력전력) = (출력전력/효율-출력전력)에 대입하여 도출한 수차례의 자체실험결과 기존소재들은 줄(Joule)열법칙의 30%~60%이내의 효율을 보인 반면, Firate™ 열선은 88%~95%에 이르는 매우 뛰어난 효율을 보여 표피효과 제거에 따른 획기적 효율개선이 가능하다는 가설에 입각한 기술개발이 성공하였음을 입증하였다.

2. 자연계 최고수준의 원적외선 방사율(0.925)을 가진 천연세라믹에 버금가는 원적외선 방사율(0.905)을 금속합금 조합으로 구현해낸 기술의 이론적 배경은 다음과 같다.



[그림 2-2] 스핀자 모멘트가 열에너지로 전환되는 과정

모든 물질의 분자들은 각기 구성 원자들이 자기만의 고유의 진동을 하고 있는데 스핀자 모멘트<sup>xiii</sup>를 가진 분자들이 자기의 고유 진동운동을 벗어나게 하는 에너지를 흡수하면

쌍극자 모멘트의 변화를 일으키며 여기상태(excited state)<sup>xiv</sup>에 도달하게 된다. 즉, 쌍극자 모멘트가 강하게 형성되는 물질에 전기장을 걸어주면 전자의 분포상 편재가 심화되어 분자가 여기상태에 도달하고 결국 잉여 에너지를 전자파동으로 방출한 후 다시 편재를 줄이는 상태로 돌아가는 것을 반복하게 된다.

원적외선을 발생시키는 쌍극자 모멘트를 특히 강하게 하는 물질은 세라믹, 게르마늄과 같은 여러 물질이 있으나 실제 전기장을 발생시켜 쌍극자 모멘트의 변화를 주는 방법 중 최상의 시너지를 발현하는 특수한 소재 조합을 발견하여 Firate™ 열선에 적용한 결과 0.905의 원적외선 방사효율을 도출함으로써 효과가 증명되었다.

3. 끝으로 이같은 고효율의 원적외선을 기존 원적외선 발열체처럼 피부접촉면이나 근거리가 아닌 대면적 공간에 방사하여 FoodTech, AgTech 산업용으로 사용할 수 있도록 하기 위해서는 원적외선 방사 비거리를 증가시키기 위한 추가적인 해결책이 필요하다. 이를 위한 Firate™의 방사 비거리 증가를 위한 기술의 개념적 배경은 다음과 같다.

생성된 원적외선의 방사비거리를 증가시키기 위해서는, 매우 짧은시간 동안만 발생되고 여기상태(excited state)의 에너지를 방출 후 기저상태로 돌아가려고 하는 성질의 쌍극자 모멘트를 지속적으로 최대치로 유지해줘야 하는데, 이를 위해서는 열선 자체적으로 지속적 쌍극자 모멘트를 유지시키는 기하학적 구조를 가져야 함과 동시에, 소재 또한 이러한 현상을 지속할 수 있는 특수한 것들이어야 한다. 이는 앞서 Firate™의 주요특징 첫번째로 설명된 내용으로 관련 특허(출원번호 10-2021-0097797)의 핵심내용이다. Firate™는 단순히 특별한 소재의 선택적 조합 뿐 아니라 발열체 내부의 기하학적 합금배치 및 디자인 역시 성능에 큰 영향을 미치도록 정밀하게 설계되어, 초저에너지 소비로 고효율 발열, 원적외선 방사 및 비거리 극대화 라는 3가지 핵심 기능을 유기적으로 수행할 수 있는 독보적인 발열체소재 이다. 이 같은 기술적 배경 언뜻 유사해 보이는 여타의 원적외선 발열체들과 어떤 차이가 있는지, 왜 성능차이가 크게 발생하는지 좀더 구체적으로 파악할 수 있을 것이다.

## 제 3 장 양양 소금공장 사례

### 제 1 절 소금제조과정 개요

본 연구를 위한 실증사이트로 최종 선정된 양양에 위치한 (주)이안바이오에서 제조되는 소금은 제조방법상 해양심층수<sup>xv</sup>를 바닷물 정제기술을 이용해 염화나트륨 농도와 순도를 높인 것으로 정제소금으로 분류된다.

소금산업 진흥법 시행규칙중 ‘식용 결정체 소금의 품질검사 기준 및 방법’(표)에 의하면 정제소금의 함수량은 4.0%이하(해양심층수염은 10.0%이하)로 규정되어 있는데, (주)이안바이오의 소금은 무공해 해양심층수를 원료로 하여 국내는 물론 해외 프리미엄 시장을 공략하기 위해, 국내의 해양심층수염 함수율 기준치인 10%이하는 물론 정제소금 함수율 기준치인 4.0%를 건너뛰고 글로벌 Top 10 소금의 함수율을 참고하여 1.0%미만의 건조품질을 유지하고 있으며, 이는 해당 업체의 핵심 품질관리 지표이다. 세계적인 명품소금들의 함수율에 비해 국산 천일염의 함수율 기준은 15%이하로 매우 높으며 이는 소금의 식감을 크게 저해하며, 또한 유해성분 기준 또한 비교적 높게 설정되어 있어 국산소금의 신뢰도를 저하시켜 해외로의 수출을 어렵게 하는 요인이 된다. 따라서 세계적인 명품 소금들에 견주어 우수한 건조품질과 유해성분 제거 기술력을 확보하는 것은 국산소금의 경쟁력을 향상시키는데 필수불가결한 요인이 된다.

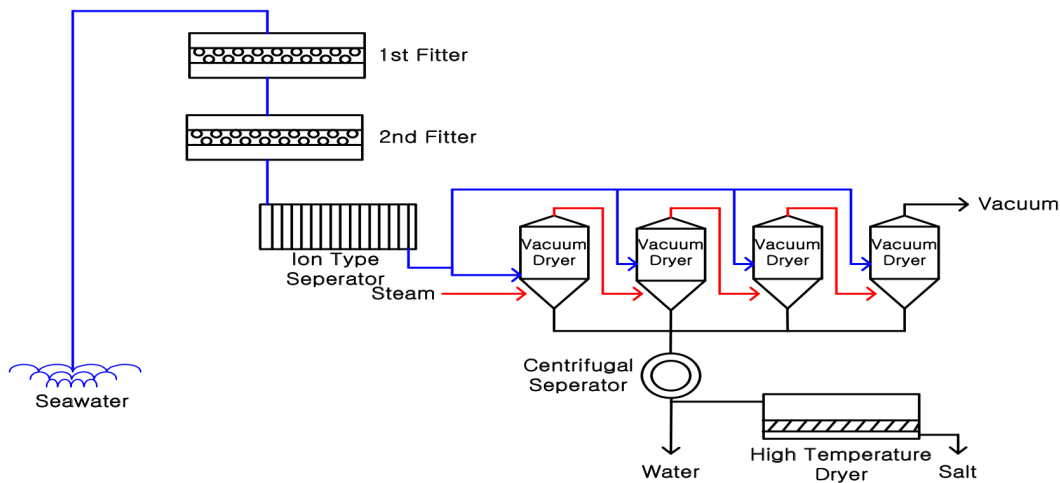
항목	천일염	재제조 소금	태움·용융소금	정제소금	기타 소금	가공 소금	검사방법
염화 나트륨 (%)	70.0 이상	88.0 이상	88.0 이상	95.0 이상 (해양심층수염은 70.0 이상)	88.0 이상	35.0 이상	「식품위생법」 제7조 제1항에 따라 고시된 기준과 규격에 따름
수분 (%)	15.0 이하	9.0 이하	4.0 이하	4.0 이하 (해양심층수염은 10.0 이하)	9.0 이하	5.5 이하	
불용분 (%)	0.15 이하	0.02 이하	3.0 이하	0.02 이하	0.15 이하	-	
황산이온 (%)	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	0.4 이하 (해양심층수염은 5.0이하)	5.0 이하	5.0 이하	
비소 (mg/kg)	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하	

[표 3-1] 소금산업 진흥법 시행규칙 중 ‘식용 결정체 소금의 품질검사 기준 및 방법’

Nation	Salt name	H <sub>2</sub> O (%)	NaCl (%)	Hazardous ingredients				Others	
				As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Articles (%)	Sand (%)
Italy	Comacchio solar salt	4.43	90.00	0.001	0.002	N/A	N/A	0.141	0.146
	Savoia rock salt	1.90	92.00	N/A	0.018	0.001	N/A	0.013	0.016
	Savoia re-made salt	0.18	99.00	N/A	0.017	0.001	N/A	0.004	0.003
	C.I.S re-made Salt	0.25	97.00	N/A	0.029	0.010	0.001	0.003	0.003
	Italcali rock salt	0.03	100.0	N/A	0.029	0.014	N/A	0.001	0.000
Cyprus	Piccio solar salt	0.21	92.00	N/A	0.016	N/A	N/A	0.001	0.001
Slovenia	Secovlje salt	0.89	94.57	0.001	0.030	N/A	N/A	0.041	0.044
France	Camargue flower salt	0.30	96.83	0.001	0.010	0.001	N/A	0.006	0.005
	Guerande flower salt	3.99	92.49	N/A	0.250	N/A	N/A	0.035	0.034
	Guerande solar salt	4.92	89.57	N/A	0.253	N/A	N/A	0.261	0.229
above average value		<b>1.73</b>	<b>94.35</b>	<b>0.000</b>	<b>0.065</b>	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	<b>0.051</b>	<b>0.048</b>
Ref.-1	KOREA salt standard	15.0	70.00	0.50	2.00	0.50	0.10	0.15	0.20
Ref.-2	JAPAN salt standard	-	-	0.20	1.00	0.20	0.05	0.01	-

[표 3-2] 2007년 세계 Top10 소금의 함수량과 유해성분 기준표 (김경근외, 2016 한국마린엔지니어링 학회지 제 40 권 제 6 호)

이 분석결과를 살펴보면 World Best-10 소금들은 함수율이 매우 낮음을 알수있는데, 이는 소금을 제조한후 150° C 이상의 고온으로 젖은 소금을 대기압하에서 건조하는 방법으로 함수율을 극단적으로 낮추었음을 의미한다. (김경근외, 2016 한국마린엔지니어링 학회지 제 40 권 제 6 호)



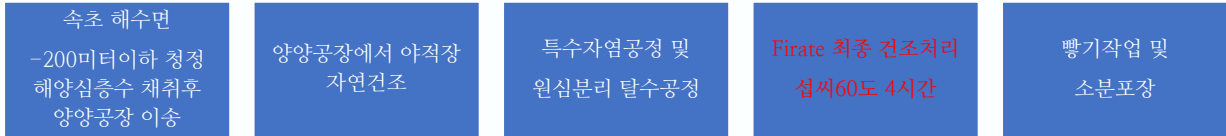
[그림 3-1] 일본의 표준 정제염 생산공정

참고로 일본은 천일염 생산을 거의 하지 않고 주로 정제염을 만든다. 위 도표와 같이 해수를 필터링한 후, 이온교환막식으로 분리를 통한 다음, 4 단의 진공증발식 농축장치를 이용하여 발생하는 젖은 상태의 작은 소금결정을 원심분리로 분리한 후 고온의 열풍건조기로 소금을 건조하는 방식이 일본에서의 표준적 소금생산공정이며



이과정에서 함수율은 매우 낮아지게 된다. (김경근외, 2016 한국마린엔지니어링 학회지 제 40 권 제 6 호)

한편 (주)이안바이오의 소금은 대략 다음과 같은 과정을 거쳐 완제품화 된다.



[그림 3-2] (주)이안바이오의 심층해양수 소금제조공정 개략도



e서울사랑상품권

1119 더 깨끗한 미네랄소금+더 건강한 칼슘소금

**44,000원**

[그림 3-3] 완성된 프리미엄 1119 소금<sup>xvi</sup> 및 온라인 판매정보

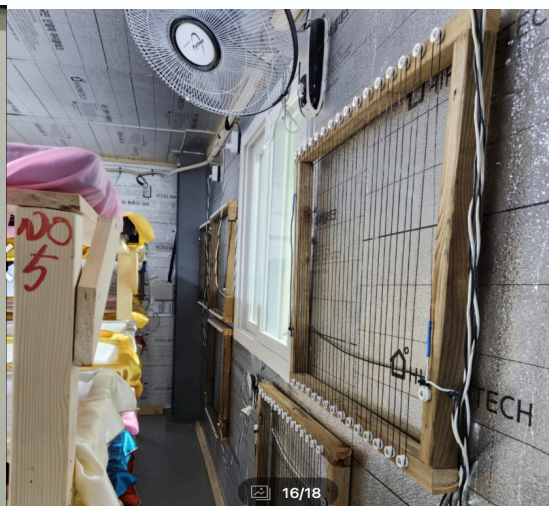
## 제 2 절 Firate™ 열선 시공 후 생산성향상 및 에너지코스트 절감효과

Firate™ 열선 시공전 (주)이안바이오의 24m<sup>2</sup> 규모의 최종건조실에 사용되던 발열체는 시간당 2200W 용량 전기 라디에이터 1 개와 시간당 2000W 용량 전기식 열풍기 5 대로 구성되어 있었다. 해당 건조설비 구성의 시간당 총 전기소모량은 12.2KW 이다. 당시 (주)이안바이오는 약 5%의 수분을 3%이하로 낮추는데 1batch (소금 채반 30 개 기준) 당 65° C 로 약 100 시간의 건조시간을 투입하고 있었다. 시장에서의 수요가 증가하더라도 해당 건조공정이 제약조건이 되어 공급을 늘리기 어려웠고 이는 아쉬운 기회손실로 이어지게 되었으며 무엇보다 건조품질이 목표수준에 미달하여 출하하기 어려운 경우도 많이 있었다고 한다.

해당 업체에 Firate™ 열선을 소개 후 2022 년 8 월 시공하여 운영중인 건조장의 모습은 다음과 같다. 벽면에 붙어있는 창틀모양의 간이 Firate™ 모듈은 초기에 총 16 개가 설치되었고, 모듈 1 개의 시간당 기본 전기소모량은 650W 이나 건조실 온도 60° C 도달시 작동이 중지되고 온도저하시 재작동 하도록 설계되어 실제 시간당 전기소모량은 350W 이므로 시간당 총 전기소모량은 5.6K 로 기존대비 시간당 46%수준이다(650W 로 계산시는 시간당 10.2KW). 또한 원적외선 방사에너지의 원활한 파장반사를 통해 건조실 내부공간에 고르게 채워지도록 벽면에 표면 반사효과가 있는 단열재 (단열목적이 아니라 파장반사목적으로 양산용 시판 모듈에는 별도의 개별 반사판이 장착됨)를 부착하였다.



[그림 3-4] 최종건조실 제어반



[그림 3-5] Firate™ 열선으로 제작된 임시건조모듈





[그림 3-6] Firate™ 임시건조모듈 벽면배치



[그림 3-7] 건조실 전경

[그림 3-8] 소금채반의 적재 현황

이 같은 조건에서 1batch 당 소요된 건조시간은 4 시간이며, 건조전 수분량 5%에서 건조후 수분량은 0.3%으로 감소하였다. 기존방식으로 100 시간 건조시 최선의 결과는 (열풍건조의 경우 공간균일난방이 어려워서 건조실내 소금채반의 및 열풍기위치에 따라 많은 건조품질의 편차가 존재한다), 건조전 수분량 5% 에서 건조후 1.75%수준으로 감소하였는데, 건조품질이

매번 균일하지 않고 열풍기 및 채반의 위치에 따라 미흡한 경우가 많아 일부 제품들은 출하되지 못하고 창고에 보관되다가 Firate™ 건조장치 설치후 재작업을 통해 출하되었다. 생산관리자 및 작업자의 관능평가에 따르면 Firate™ 열선 교체후 생산되는 소금의 건조품질이 훨씬 우수하다고 평가한다.

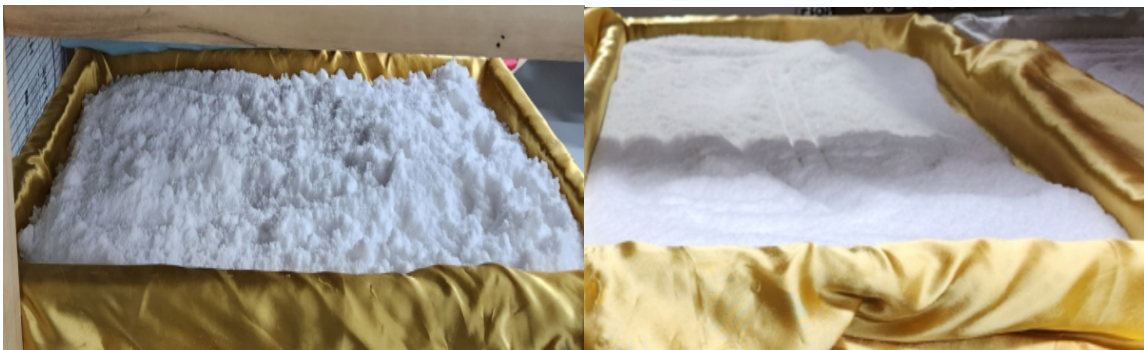
이같은 건조결과는 Firate™ 열선이 방출하는 고효율 원적외선이 대상물체 심부에 흡수되어 파장진동으로 내부발열을 일으킴으로써 소금입자들의 속과 겉 모두 균일하고 빠르게 건조되는 반면, 겉면부터 건조해 들어가는 일반 열풍방식으로는 소반의 소금을 지속적으로 교반하고 뒤집어 주더라도 완전건조까지는 많은 시간이 소요되어, 비교할 수 없이 큰 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 수치상으로 25 배의 시간생산성 향상 효과이고, 에너지절감 측면에서는 기존방식이 1batch 건조당 12.2KWx100 = 1220KW 의 에너지를 소모할때 Firate™ 열선방식은 1batch 건조당 5.6KWx4 = 22.4KW 를 소모하여 54.46 배의 놀라운 에너지 절감효과(100 시간 연속 건조생산을 가정할 때, 1 소금건조 batch 당 기존방식 에너지소모량의 1.83%에 불과)를 보였다.

건조시스템	열풍기(5 대)+라디에이터(1 대) (2022 년 8 월이전)	<b>Firate™</b> (16 대) (2022 년 8 월이후)
설비모듈별 시간당 전기소모량	열풍기 1 대 (2000W/h) 라디에이터 1 대 (2200W/h)	Firate 모듈 1 대당 (650W/h)이나 60 ° C 도달후 자동꺼짐으로 실제 소모량은 (350W/h)
총 시간당 전기소모량	2KW x 1 + 2.2KW x 5 = 12.2KW/h (100%)	0.35KW x 16 = 5.6KW/h (46%)
건조전 수분함량	5.70%	5.70%
건조후 수분함량 <u>정제소금의 건조기준(4%미만)</u>	1.75%	0.33%
<b>1Batch</b> (소금채반 30 개 기준) 총 건조시간	100 시간	<b>4 시간</b> (건조생산성 25 배)
<b>1Batch 건조당</b> 전기소모량	12.2KWx100h = 1220KW (100%)	5.6KWx4h = 22.4KW (1.83%: 54.46 배 감소)

[표 3-3] 일반 건조시스템과 Firate™ 열선모듈 생산성 및 에너지절감 비교표



이 같이 놀라운 결과는 다른 모든 건조 대상물에 대해서도 동일한 결과를 보일 수 있다고 판단하기 보다는 다음과 같은 두가지 가정을 하는 것이 보다 합리적일 것이다. 1) 기존 건조방식이 최적화되지 못한채로 지나치게 비효율적 이었던데 따른 기저효과가 크게 작용했을 가능성. 2) 무수히 많은 미립자 상태인 소금이라는 대상물의 특수성 때문에 특히 Firate™ 열선의 고효율 원적외선 방사가 여타 제품을 건조할 때보다 탁월한 효과를 보였을 가능성, 이 두가지 경우를 염두에 두어야 한다. 서론에서 언급하였듯, 도입을 원하고자 하는 사업장 환경, 대상 제품과 기존에 사용하던 건조 방식의 효율수준에 따라 많은 개선결과의 편차를 보일 수 있음은 자명하다. 그러나 이 같은 획기적인 생산성향상과 에너지절감 사례는 수 많은 여타 농.축.수산 건조대상물을 테스트 해볼 수 있는 큰 동기부여를 하는 계기가 된다는 것 또한 사실이다.



[그림 3-9] 건조전-후 소금상태



[그림 3-10] 건조전-후 소금상태 확대

### 제 3 절 세균감소 효과

서울대학교 강동현 교수님과 Food Safety Engineering Lab(FSEL)의 도움으로 양양소금건조장으로 부터 3회에 걸쳐 각기 다른 생산일에 제조된 소금을 채취하여, 건조 전후의 소금 내 미생물을 3회 반복 정량분석 하였으며 실험방법 및 결과는 다음과 같다.

#### 1. 시험 용액의 제조 :

- 식품공전 4.3 시험용액의 제조에 따라 FIR 처리 전 후의 샘플에서 25g씩 채취하여 각각 검사를 진행함
- 채취한 샘플 25 g은 멸균생리식염수 225 mL에 희석한 다음, 2분간 stomacher를 이용하여 균질화 하고 그 용액을 즉시 실험에 사용하였음.

#### 2. 검사 대상

- 본 실험에서는 각 샘플의 일반 세균, 대장균 및 대장균군, 황색포도상구균,진균수를 측정하였음
- 일반 세균의 경우, Aerobic bacteria와 Anaerobic bacteria 수를 측정하였으며 Tryptic Soy Agar (TSA)에 도말한 배지를 각각 aerobic, anaerobic한 환경에서 배양하여 해당 집락 수를 계산함.
- 대장균 및 대장균군은 식품공전 4.7.2, 4.8.2에 제시된 건조필름법을 사용함
- 황색포도상구균 수는 식품공전 4.12.2의 정량시험에 따라 시험함
- 진균 수는 Potato Dextrose Agar(PDA)에 도말한 다음, 25°C에서 7일간 배양하여 그 집락 수를 계산함

진균을 제외하고는 모두 37°C에서 2일간 배양하여 그 집락 수를 계산함

수분함량의 경우, METTLER TOLEDO사의 가열건조식 수분측정기를 사용하여 측정함

### 3. 실험결과 및 의의

#### 1) 실험결과 1반복

종류	처리 전(Log CFU/g)	처리 후(Log CFU/g)
일반세균 (Aerobic)	3.33 ± 0.58	1.87 ± 0.23
일반세균 (Anaerobic)	3.79 ± 0.55	2.98 ± 0.10
대장균 & 대장균군	ND	ND
황색포도상구균	ND	ND
진균	< 1 CFU/g	< 1 CFU/g

ND\*검출되지 않음(Non-Detected)

[표 3-4] 세균감소 실험결과 1반복

#### 2) 실험결과 2반복

종류	처리 전(Log CFU/g)	처리 후(Log CFU/g)
일반세균 (Aerobic)	3.63 ± 0.24	2.36 ± 0.26
일반세균 (Anaerobic)	2.64 ± 0.28	1.88 ± 0.26
대장균 & 대장균군	ND	ND
황색포도상구균	ND	ND
진균	< 1 CFU/g	< 1 CFU/g
수분함량(%)	4.63 ± 0.06	0.38 ± 0.18

ND\*검출되지 않음(Non-Detected)

[표 3-5] 세균감소 실험결과 2반복

3) 실험결과 3반복

종류	처리 전(Log CFU/g)	처리 후(Log CFU/g)
일반세균 (Aerobic)	3.60 ± 0.26	2.18 ± 0.27
일반세균 (Anaerobic)	2.85 ± 0.85	2.26 ± 0.62
대장균 & 대장균군	ND	ND
황색포도상구균	ND	ND
진균	< 1 CFU/g	< 1 CFU/g
수분함량(%)	5.70 ± 1.52	0.33 ± 0.07

ND\*검출되지 않음(Non-Detected)

[표 3-6] 세균감소 실험결과 3반복

4) 3반복 실험결과 평균

종류	처리 전(Log CFU/g)	처리 후(Log CFU/g)
일반세균 (Aerobic)	3.60 ± 0.26	2.18 ± 0.27
일반세균 (Anaerobic)	2.85 ± 0.85	2.26 ± 0.62
대장균 & 대장균군	ND	ND
황색포도상구균	ND	ND
진균	< 1 CFU/g	< 1 CFU/g
수분함량(%)	5.70 ± 1.52	0.33 ± 0.07

ND\*검출되지 않음(Non-Detected)

[표 3-7] 세균감소 실험결과 3반복 평균

## 5) 실험결과 요약 및 의의

상기 3반복 실험결과를 평균한 데이터 기준으로, 호기성 일반세균(Aerobic)은 Firate™ FIR 처리전  $3.60 \pm 0.26$ (Log CFU/g) 에서 처리후  $2.18 \pm 0.27$ (Log CFU/g) 으로 감소폭을 백분율 환산시 96.20%, 혐기성 일반세균(Anaerobic) 은 Firate™ FIR 처리전  $2.85 \pm 0.85$ (Log CFU/g) 에서 처리후  $2.26 \pm 0.62$ (Log CFU/g) 으로 백분율 환산시 74.30% 감소하여 통계적으로 유의미한 결과를 보여줌을 확인하였다. 다만 본 연구에 사용된 소금샘플의 경우 유해세균이 발견되기 어려운 심층해양수에서 추출된 소금결정을 대상으로 최종건조전 고온으로 끓이는 자연공정을 거치기 때문에 대장균 및 황색포도상구균과 같은 세균은 건조전에도 미검출되어 식품위생상 유해세균의 살균정도는 확인할 수 없었다.

특기할 만한 사항으로서 본 실험의 결과는, 일반적 소금건조를 위해 적용된 60° C에서 채취된 시료를 대상으로 한 것으로서 멸균 혹은 세균제거 실험을 위해 최적화된 온도는 아니었음에도 불구하고 의미있는 결과가 나왔다는 것이다. 따라서 Firate™ FIR로 실험가능한 온도인 150°C수준에서 유해세균 제거실험을 할 경우 보다 긍정적인 결과가 기대되는 부분이다.

그간 FSEL에서는 기존에 세균감소 테스트에 적용했던 원적외선장치들의 효과가 미미하여 주로 근적외선(Near Infra-Red)장치 및 자외선(UV)장치를 연구에 적용해 왔었는데, 상기 실험이 일반세균만을 대상으로 할 수 밖에 없었던 제한적인 결과를 얻었지만, 유해세균에 적용할 경우에도 유효한 살균효과의 가능성을 기대할 수 있으므로 이를 적용한 다양한 실험을 수행할 가치가 있다고 인식하는 계기가 되었다.

## 제 4 장 결 론

### 제 1 절 연구의 한계 및 의의

본 연구는 식품건조 및 동.식물생장용 유리온실, 스마트팜 및 축사난방 등에 사용 목적으로 발명된 특허출원번호(10-2021-0097797) Firate™<sup>xvii</sup> 소재를 소금건조에 적용시 생산성, 에너지 코스트 및 세균감소효과 실증사례연구를 양양에 위치한 (주)이안바이오에 시공된 Firate™ 건조설비를 활용하여 도출된 결과이다.

Firate™ 소재를 적용한 원적외선 방출장치를 건조전 수분함량 5%수준인 소금의 최종건조공정에 60° C~65° C 조건으로 적용한 결과, 기존 전기열풍기와 전기히터 구성의 건조결과에 비하여 절대건조시간은 100 시간에서 4 시간으로 25 배 감소되었고 시간당 전기에너지소비량은 기존대비 50%이하 수준으로, 총건조시간을 고려하면 50 배이상 절감되어 획기적인 생산성 향상 및 에너지절감을 달성하였으며, 기존 건조방식 100 시간 적용후 최선의 결과를 얻을 경우 함수율은 5% → 1.75%로, Firate 건조방식 4 시간 적용 후 함수율은 5% → 0.3%로 수치상 건조 생산성 및 결과는 물론 해당공정 관리자 및 작업자가 판단하는 정성적 건조품질 또한 월등히 향상된 결과를 얻었다.

또한 서울대학교 강동현 교수님과 Food Safety Engineering Lab(FSEL)의 도움으로 해당 건조 전후의 소금 내 미생물을 3 회 반복 정량분석한 결과 평균값은, 호기성 일반세균(Aerobic)은 Firate™ FIR 처리전 3.60 ± 0.26(Log CFU/g) 에서 처리후 2.18 ± 0.27(Log CFU/g) 으로 감소폭을 백분율 환산시 96.20%, 혐기성 일반세균(Anaerobic) 은 Firate™ FIR 처리전 2.85 ± 0.85(Log CFU/g) 에서 처리후 2.26 ± 0.62(Log CFU/g) 으로 백분율 환산시 74.30% 감소하여 통계적으로 유의미한 결과를 보여줌을 확인하였다. 그간 FSEL 에서는 기존에 세균감소 테스트에 적용했던 원적외선장치들의 효과가 미미하여 주로 근적외선(Near Infra-Red)장치를 연구에 적용해 왔었는데, Firate™가 고무적인 세균감소결과를 보이므로 이를 적용한 다양한 실험을 수행할 가치가 있다고 인식하는 계기가 되었다.

이 같이 놀라운 결과는 다른 모든 건조 대상물에 대해서도 동일한 결과를 보일 수 있다고 판단하기 보다는 다음과 같은 두가지 가정을 하는 것이 보다 합리적일 것이다. 1) 기존 건조방식이 최적화되지 못한채로 지나치게 비효율적 이었던데 따른 기저효과가 크게 작용했을 가능성. 2) 무수히 많은 미립자 상태인 소금이라는 대상물의 특수성 때문에 특히 Firate™ 열선의 고효율 원적외선 방사가 여타 제품을 건조할 때보다 탁월한 효과를 보였을 가능성, 이 두가지 경우를 염두에 두어야 한다. 서론에서 언급하였듯, 도입을 원하고자 하는 사업장 환경, 대상 제품과 기존에 사용하던 건조 방식의 효율수준에 따라 많은 개선결과의 편차를 보일 수 있음은 자명하다. 그러나 이 같은 획기적인 생산성향상과 에너지절감 그리고 세균감소를 동시에 달성한 사례연구는, 가정의 한계에도 불구하고 수 많은 여타 농.축.수산 건조물을 대상으로 테스트하는데 있어 큰 동기부여를 한다는데 그 의의가 있다.



## 제 2 절 향후 연구방향

향후 추구하고자 하는 연구방향으로는 본 연구에 앞서 그 가능성을 충분히 확인했던 수산물 건조와 최근 의뢰를 받아 초도 시험을 마친 고추 건조가 있다. 수산물 건조의 경우 속초에 연구실증 가능한 코다리 건조장 확보 및 Firate™ 시스템으로 교체하여 성공적 가동하였으며, 기존 3~4일 연속 경유보일러 및 히터로 건조했었으나 Firate™ 적용시 냉동상태에 따라 6~8 시간만에 완전건조될 뿐 아니라 기존 건조방식에서 발생했던 뒤틀림 등 형태변형과 경유난로 가동으로 인한 오취,오염 등 열원으로부터 발생하는 근본적인 건조품질문제가 대부분 해소되었다. 따라서 김, 다시마 등 해조류, 오징어 및 여타 건어물 등 건조공정이 핵심인 수산물 상당수에 대한 Firate™ 적용시 매우 긍정적인 결과가 기대되며, 실증결과가 소금건조 및 코다리건조 수준으로 고무적일 경우는 수산농가의 생산성 향상과 에너지절감에 따른 경제성 확보에 큰 기여를 할 수 있을 전망이다. 바 농림축산수산부, 농업진흥청 등 유관기관의 정책적 지원이 필요하다.

한편 고추건조에 대한 테스트는 열풍 및 근적외선방식 고추건조히터를 생산하는 전문 건조기업체의 의뢰로 진행되었으며, 양양 소금건조장에서 사용 중이던 16개의 Firate™ 모듈 중 3개를 가져와서, 그중 2개 모듈을 기존 설비 내부(600mmx800mmx800mm)의 발열체를 제거하고 설치하여 진행되었다. 흥미롭게도 양양 소금건조장에서는 3개를 제외한 13개의 Firate™ 모듈 운영만으로도 기존 퍼포먼스와 거의 유사한 생산성과 에너지절감효과를 보였는데, 이는 공간내부에 일단 원적외선 방사에너지가 가득 차 있게 되면 센서에 의한 전원차단으로 한동안 추가 전기에너지 투입 없이 동일한 건조효과를 발생하기 때문으로 풀이된다.



[그림 4-1] 열풍건조-원적외선 건조-근적외선 건조후의 홍고추 상태

위 사진에서 확인할 수 있듯이 겉보기 품질만으로 평가 시 원적외선 건조는 수축이나 변형이 거의 없고 붉은 색상이 밝게 건조되었고, 근적외선 건조결과는 표면 수축은 비교적 적고 원적외선 건조에 필적한 관능검사결과를 보이나 색상은 원적외선 건조보다 검고 짙은 색을 띠게 되었다. 한편 열풍건조후의 고추는 수축되고 쭈글쭈글해진 것을 확인 할 수 있다. 고추

건조 실험조건중 온도는 60° C로 동일하게 설정되었는데 의뢰한 회사의 자체측정결과 열풍 건조기의 시간당 전기에너지 소모량은 1200W/h, 근적외선건조기는 1150W/h, Firate™ 모듈 2개를 적용한 원적외선 건조기는 520W/h였다.

총 건조시간은 열풍건조 48시간, 근적외선 30시간, 원적외선 24시간으로 총 건조에 사용된 에너지는 각각 57.6KW, 34.5KW, 12.48KW로서 Firate™ 원적외선 건조는 열풍대비 21.6%, 근적외선대비 36.2%의 전기에너지를 소모하였다. 소금공정에서의 엄청난 에너지 절감실적에 비해서 열풍방식과의 전기에너지 소모의 격차가 줄어든 것은 각 발열체를 장착한 설비 내부가 (600mmx800mmx800mm)의 작은 규모의 상자형 건조장치여서 넓은 공간에서 건조할 때 보다 열풍방식의 에너지효율이 증가했기 때문으로 풀이된다. 그러나 대량 건조를 위하여 대면적 건조공간에 각 발열체를 설치하여 비교할 경우에는, 비효율적인 열풍건조의 대류열 전달방식과 근적외선장치의 짧은 방사파장의 한계로 인하여 Firate™ 원적외선 발열체와의 에너지 효율차이는 훨씬 커질 수 밖에 없다. Firate™ 원적외선 발열체가 갖는 긴 방사비거리와 고효율원적외선 에너지 발생이라는 장점은 대면적의 균일한 공간난방이 가능하므로 적용 면적크기가 커질수록 Firate™ 원적외선 발열체를 적용함으로써 얻을 수 있는 기대 효익은 더욱 크게 나타난다.

따라서 향후 연구의 방향은 건조대상물 테스트는 물론, Firate™ 원적외선 발열체효과를 극대화 할 수 있는 대면적의 원예온실, 축사등의 동절기 난방효율증대, 동식물 생체활성화, 탈취,세균저감 등을 통해 생육환경을 개선함으로써 생산성개설의 결과등을 비교분석하는데 초점을 맞춘다면 의미있는 결과를 도출할 수 있을것으로 판단한다.

## 참고문헌

김정근, 문수범, 소예덕 (2016). 유해성분이 없는 고품질 소금의 새로운 제조공정에 관한 연구. Journal of the Korean Society of Marine Engineering. Vol. 40. No 6 pp. 458-467

Kyung-Geun Kim . Soo-Beom Mun . Yudo Shao (2016). A study on the new manufacturing processes of high quality salt without hazardous ingredients. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 40, No. 6 pp. 458~467, 2016 J. Korean Soc. of Marine Engineering (JKOSME)

Yong-Ha Kim. Jeong-Hui Yoo. Gwong-Sung Lee. Dong-Lyul Heo. Hyeon-Su Yon. Seong-Hui Lee. University of Incheon. Energy Korea (2011). A study on energy saving and economic analysis calculation of far-infrared radiation oven. 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 1270~1271

손장호, 김용태, 조현길, 손병익. 대구교육대학교 실과교육과, (주)이프리 시스템. (주)아크로엠 (주)그린에스엠. 원적외선 조사가 육계의 생산성 및 깔짚내 악취 발생, 맹장내 미생물 성장에 미치는 영향. 제 28차 한국가금학회 정기총회 및 학술발표. Pp. 168~170

박미성. 정은미. 농산업혁신연구부, 농식품시스템연구부.(2020) 일본 공익재단법인 소금사업 센터의 주요 기능 및 현지 소금 제품 조사 보고서

소금의 품질검사 기준 및 방법(제 17조 제1항 관련), 소금산업 진흥법 시행규칙 (개정 2021.3.15)

리혁. 강태환. 녕효봉. 조성찬. 한충수 (2009) 산삼배양근의 원적외선 건조특성. 바이오시스템 공학 저널 Vol. 34, No 3, pp. 175~182

박재희. 경남대학교 식품영양학과. Culinary Science & Hospitality Research pp.58~65 (2022) 원적외선 건조에 의한 군고구마 분말의 품질 특성

김희준. 리혁. 강태환. 녕효봉. 한충수. 조성찬 (2009) 원적외선 난방시스템이 방울토마토 생육에 미치는 영향, 바이오시스템공학 저널 Vol. 34, No. 3, pp. 161~166

손장호 (2015) 원적외선 조사가 육계의 생산성, 유해가스 발생량 및 혈액의 생화학적 조성에 미치는 영향, Korean Journal Poultry Science Vol42. No2, pp. 125-132

조봉희 (2008) 원적외선 방사물질 제조 및 물질의 특성 분석, Analytical Science &

Technology Vol. 21, No4, 279-283

김광배, 국내 원적외선 산업의 현황과 과제, 조명.전기설비학회지 pp.38-45

송민중, 김태완, 윤기평, 박재현, 손종기 (2006) 원적외선실무기술, 북스힐 ISBN 89-5526-339-2

조봉희 (2009) 원적외선 처리수가 봄 무의 자엽, 하배축, 뿌리 성장에 미치는 영향, Analytical Science & Technology Vol. 2, No 4, 277-284

노정근, 김희준, 리혁, 한충수, 조성찬 (2006) 원적외선 면상발열체에 의한 온실 난방시스템의 열특성 분석, 바이오시스템 공학 저널 Vol. 31, No 6. Pp. 529-534

충북대학교 (2005) 원적외선 면상발열체를 이용한 고품질 채소생산 및 에너지 절감형 하우스 난방시스템 개발, 농림부

지철근 서울대학교 명예교수 (2004) 원적외선의 특성과 효능, 리빙북스 ISBN 89-89727-16-2 93560

Dakajima Hirooh (1997) 기초원적외선 공학, 겸지사 ISBN 85-7169-133-6

## Abstract

This study is a result from activating the Firate™ heating filaments (Korean Patent Applying Number: 10-2021-0097797) which is developed for food dryer, heating solutions for glass house, cattle shed, pigpen and various application for other industries. Major intention of this study is to verify how Firate™ system would effectively increase productivity, save electric energy cost, and reduce hazardous bacteria when it applied as drying equipment installed at EanBio Co. at Yangyang, Kangwon Province.

Firate™ means patent filed metal microfiber heating filaments which radiate Far Infra-Red Rays. This filament radiate high volume FIR energy when electricity activate the material. As a result, total drying time has been reduced from 100hrs to only 4hrs with Firate™ system, which is 25times faster result than conventional drying methods, such as electric heat air circulators and radiators, has shown. Given the electricity consumption of Firate™ compared to conventional heaters in this case was 46% per hour, total electricity consumption savings show even more dramatic result of more than 50times of saving considering total drying time. (Drying conditions: temperature of 60~65°C, water containment of 5% reduced to 0.3% at completion of the drying process with Firate™ Vs. under temperature of 60~65°C, 5% reduced to 1.75% with conventional method). Workers at the process clearly reported that they can always get much better drying quality with Firate™ system due to nonuniform heating results from conventional methods by its nature.

According to quantitative analysis at SNU Food Safety Engineering Lab (FSEL) on bacteria before and after Firate™ FIR (Far-Infra Red) treatment, results show statistically meaningful as aerobic bacteria reduced from  $3.33 \pm 0.58$ (Log CFU/g) to  $1.87 \pm 0.23$ (Log CFU/g) after FIR and Anaerobic bacteria reduced from  $3.79 \pm 0.55$ (Log CFU/g) to  $2.98 \pm 0.10$ (Log CFU/g). SNU FSEL has focused on NIR (Near-Infra Red) and UV for bacteria elimination test as previous trials utilizing normal FIR equipment has shown insignificant results before Firate™ demonstrated a significantly encouraging result.

This study also has limitations as it only handles salt for drying target and other hazardous bacteria such as E.coli, fungus and staphylococcus aureus has not been detected even before FIR treatment as it goes through water boiling NaCL densification process and could not find the effectiveness regarding those bacteria. Also, this study did not directly compare Firate™ with other FIR heaters, however; this study provides noticeable alternatives in food-ingreant drying process which is positioned at upstream of all foodtech and agtech industry. If this technology to be accepted as a de facto standard in the industry, it may significantly contribute to reduce carbon foot print by energy savings.

Keywords: Firate™, Energy Saving, Productivity, Bacteria reduction, Carbon Foot Print  
FoodTech, AgTech, Far Infra Red, Drying process

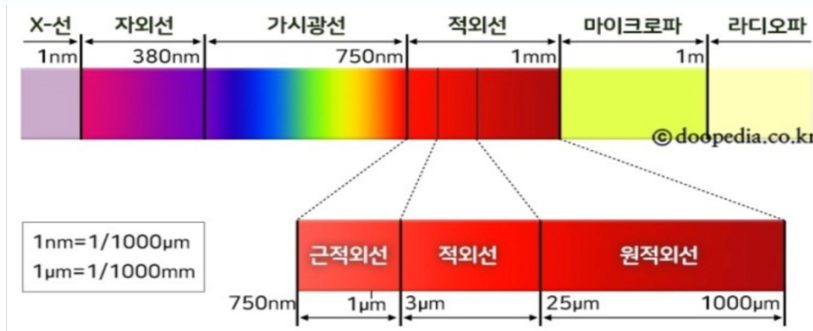
Student ID: 2021-26312



## 미주

<sup>i</sup> Firate™는 Far Infra-Red Radiation Technology (원적외선 발열체)라는 의미로 제품명으로 특허출원 (출원번호 10-2021-0097797) 및 상표출원 (출원번호: 40-2021-0143665) 되었다.

<sup>ii</sup> 근적외선은 적외선중 파장이 가장 짧은 약 0.75 $\mu\text{m}$  에서 3 $\mu\text{m}$  인 것을 말하며 대기중의 산란 영향이 적고, 각종 물질에 대한 독특한 반사 특성 때문에 원격탐사, 사진 건판, 열전대등 공업분야와 소독, 멸균, 관절 및 근육치료 등에도 활용된다. [두산백과]



<sup>iii</sup> 바닷물에서 얻는 소금으로는 자연과 천일염이 있다. 자연은 바닷물의 염도를 높인 뒤에 끓여서 석출하는 소금을 의미한다.

<sup>iv</sup> Foodtech는 식품과 기술의 합성어로 식품의 생산.유통.소비 전반에 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 바이오기술(BT)등 첨단기술이 결합된 신산업을 의미한다. 코로나 19이후 세계 식품 소비 유행이 건강과 환경 중시의 가치소비 확산, 개인 맞춤형 소비, 비 대면 소비 등으로 빠르게 변화하면서 전 세계적으로 고성장이 전망되는 산업분야. [농림축산식품부, 푸드테크 산업 발전방안]

<sup>v</sup> Agtech는 농업과 기술의 합성어로 푸드테크에 적용된 것과 같은 첨단기술을 농산물의 파종부터 수확까지의 전 과정에 적용하는 것을 뜻한다. 현재는 농업 뿐 아니라 축산. 수산업에 이르기 까지 광범위하게 적용되는 개념으로 식량 부족 시대의 도래에 대비하기 위해 최소면적에서 최대생산량을 얻는 생산성 향상이 목적이다. [네이버 시사상식사전]

<sup>vi</sup> 1119소금은 문헌에 남아있는 유럽에서 가장 오래된 소금 제조광산인 폴란드 비엘리치카에 대한 기록이 1119년까지 거슬러 올라간다는 데서 이름 지어졌다고 한다.

<sup>vii</sup> 탄소발열체(Carbon heater)란 탄소가 전기저항에 의해 발열하는 것을 이용하여 만든 가열체로 흑연이 사용되며, 탄소-탄소복합재료가 사용되기도 한다. 탄소 발열체는 금속과 같이 용융하는 일이 없기때문에, 일반 금속 발열체에서 기대할 수 없는 1500° C이상 열을 발생시킨다. [광물자원용어사전]

<sup>viii</sup> QFD: Quality Function Deployment 품질기능전개 - 품질개선을 위해 사용자 요구 사항을 반영하고 이를 제품 생산으로 연결시키는 체계적 품질 개선과정.

<sup>ix</sup> 원적외선은 전자기파의 일종으로 적외선 스펙트럼중 파장길이 3.0 $\mu\text{m}$  ~1000 $\mu\text{m}$  를 일컫는다.(국제조명위원회 C.I.E) 현재 산업용으로 이용되고 있는 원적외선은 파장 3.0~30 $\mu\text{m}$  이며, 7.0~17 $\mu\text{m}$  의 원적외선은 대기의 투과율이 매우 높아서 그대로 지표상에 도달하고 생체활성에 큰 도움이 되므로 생육원적외선이라고도 한다. (지철근., 원적외선의 특성 2001)

<sup>x</sup> 푸리에변환 적외선 분광법 FT-IR(Fourier transfor infrared spectroscopy)은 시료를 백색광으로 쬐인 뒤 전체 파장을 동시에 기록하고 이를 다시 푸리에 변환시켜 각 성분으로 분류하여 전형적인 스펙트럼을 얻는다. 기존의 적외선 분광법에 비해 속도와 감도가 높다. 푸리에 변환은 신호를 진동수의 성분으로 분해하는 수학적 기법. 즉 시

---

간에 대한 함수(신호)를 푸리에 변환하면 진동수에 관한 함수가 된다 [식품과학사전, 한국식품과학회]

xi 1859년 독일 물리학자 Kirchihoff는 일정 온도에서 같은 파장의 복사선에 대한 물질의 흡수 능력과 복사 능력의 비는 물체의 성질과 관계없이 온도에만 의존해서 일정한 수치를 갖는다는 법칙을 발견했는데 이것이 Kirchihoff의 법칙이다. 이와 더불어 입사되고 있는 빛을 완전히 흡수하는 이상적인 물체라고 해서 흑체라고 하는 개념을 도입했다. 그것은 표면에 입사했던 빛은 100%흡수되는 것을 말하지만, 실제로 이것에 상당하는 물질은 존재하지 않기 때문에 이상적인 물체로 상정해서 흑체(Blackbody)라고 하였다. 이 흑체는 개념상 가지고 있는 에너지를 복사하는 능력이 어떤 물질보다도 크고, 이것의 복사율을 1로 해서 이것에 의해 여러 가지 물체의 열, 빛의 복사 능력이 비교된다.

xii 표피효과는 전류가 도체를 통과할때 표피 쪽으로만 흘러가려하는 성질인데 전류가 저항체를 통과할 때도 동일하게 발생됨. 저항의 표피효과는 열을 발생시키지 않고 전류가 흘러가면서 낭비되어 결국 많은 전력을 소비하고도 열이 조금밖에 발생되지 않는 비효율을 초래한다.

xiii 분자구조가 비대칭인 물질의 분자내 양극과 음극이 아주 가까운 거리를 두고 마주하고 있을 때 이 두 극의 세기와 거리를 곱한 것을 쌍극자모멘트(dipole moment)라고 한다.

xiv 원자, 분자 또는 그 집합체의 양자역학적 준위중에서 에너지가 가장 낮은 안정된 상태를 기저상태, 이보다 높은 모든 상태를 들뜬상태 혹은 여기상태라 부른다. 주위에서 일어난 어떤 현상에 의해 원자가 에너지를 흡수했을 때 일어나며, 짧은시간동안 유지되다가 곧 기저상태로 다시 돌아가면서 그 에너지에 해당하는 크기의 전자기파를 방출한다. 일반적으로 여기상태는 가열, 전자기파나 복사전, 입자선의 조사, 화학.전기적 자극 등 많은 원인에 의해서 실현된다. (과학기술용어사전)

xv 소금은 ‘염관리법’에서 ‘염화나트륨(NaCl)을 100분의 40이상 함유한 결정체와 함수를 의미한다고 정의. 소금은 원료의 출처에 따라 천일염, 정제염, 암염 등으로 구분할 수 있고, 가공방법에 따라 재제염, 태움.용융소금, 가공소금등으로 분류된다. 천일염은 바닷물을 자연적으로 증발시켜 얻은 소금이고, 정제염은 바닷물을 인공적으로 정제하여 제조한다. 암염은 해수나 염분을 포함하는 호수가 퇴적.증발하여 생성된 소금이며 재제염은 기계염 60%, 천일염 20%, 암염 20%의 비율로 물에 녹여 씻어낸 수 재결정화시켜 제조한 소금으로 꽃소금으로 불림. 태움.용융소금은 소금을 태우거나 녹여 원형을 변형한 소금이며 가공소금은 소금 50%이상에 식품 또는 식품첨가물과 혼합하여 제조한다. [염관리법, 2002 산업자원부]

xvi 1119소금은 문헌에 남아있는 유럽에서 가장 오래된 소금 제조광산인 폴란드 비엘리치카에 대한 기록이 1119년까지 거슬러 올라간다는 데서 이름 지어졌다고 한다.