

복합형 냉풍건조기 실험에 대한 검토

최진영[†], 김세환*, 박승태, 이정호

(주) 에이티이엔지 기술연구소, 동의대학교 건축설비공학과*

Study in the Mixed Cooling Dryer Experiment

Jinyoung Choi[†], Se-hwan Kim*, Seungtae Park, Jongho Lee

Air-Tech Engineering Co., Ltd, Seongnam 462-806, Korea

*Department of Building System Engineering, DONG-EUI University, Busan 614-714, Korea

ABSTRACT: The mixed cooling dryer has been developed significantly by adopting both advantages of cooling dryers and desiccant dryers. In this study, it is introduced that the desired effect, such as drying rate period reduction and energy-saving, could be achieved only by adding the desiccant dryer if an existing cooling dryer is used. The experiment should be conducted for quite long time due to the material selection, so it is regrettable that there are not enough data.

Key words: Desiccant dehumidification(데시칸트 제습), Drying rate(건조속도)
 Constant rate of drying(항률건조), Constant drying rate period(항률건조기간)
 Falling rate of drying(감률건조), Falling drying rate period(감률건조기간)

기 호 설 명

- R_c : 항률건조속도 [kg/m³h],
- R_d : 감률건조속도 [kg/m³h]
- W : 무수재료의 중량 [kg]
- A : 표면적 [m²]
- K : 물질이동계수 [kg/hm²°C], G : 공기의 물질속도 [kg/hm²]
- H_w : 재료표면일정온도에서의 포화절대습도 [kg/kg°]
- H : 재료주변공기의 절대습도 [kg/kg°]
- h : 열전도율 [kg/m²h°]
- C_h : 공기의 습윤비열 [kcal/kg°]
- t : (재료주변공기의) 온도 [°C]
- t_w : 습구온도 [°C]
- w : 함수율, W_c : 한계함수율, W_e : 평형함수율
- θ_c : 항률건조시간 [h],
- θ_d : 감률건조시간 [h]
- λ_w : 습구온도에서의 증발잠열 [kcal/kg]

1. 서론

냉풍건조에 있어서 항률건조구역에서는 효과가 크지만 감률건조구역에서는 효과가 떨어지는 것을 알 수 있었고 이를 데시칸트건조기와 조합하여 효과적인 건조시간과 에너지절약이 되는 것이 검토되었기 때문에 이를 시작품하여 제품을 설계하고 제작하여 피건조물을 건조하여 건조데이터나 경제성에 대해 충분히 사용자에게 보여줄 필요가 있다고 본다.

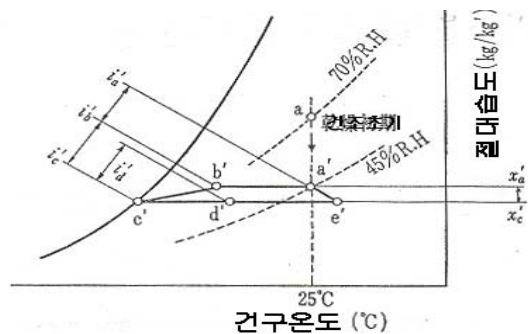


Fig. 1 감률건조구역에서의 제습량이 적어지는 이유

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-777-9241; fax: +82-31-777-9240
 E-mail address: desikant@naver.com

2. 냉풍건조기 설계

2.1 건조에 대한 비교

열풍건조와 냉풍건조의 비교에 대해 Table 1에 나타낸다.

Table 1 열풍건조와 냉풍건조의 비교

No	항 목	냉 풍 건 조 법	열 풍 건 조 법
1	건조온도	- 10℃이하	- 400~800℃
2	제품온도	- 10℃이하	- 약 90℃
3	열 원	- 전 력	- 전력+중·등유+스팀
4	건조속도	△ 다소 느다	○ 빠 르 다
5	운전조작	○ 간편(무인가능)	△ 다소 복잡
6	환 기	○ 없음(밀폐)	× 있 다
7	안 전 성	○ 높 음	× 낮 다
8	재료의 보향성	○ 양 호 함	△ 다소 좋지 않다
9	재료의 변질	○ 적 음	△ 다소 많다
10	보 수 비	○ 적 음	△ 다소 많다
11	내용년수	○ 길 다	△ 보 통
12	운전비용	○ 낮 다	× 높 다
13	설치비용	△ 다소 높다	○ 보 통
14	공해대책	○ 없 다	× 필 요
15	운전 자격자	○ 불 필요	○ 필 요

건조기 설계전에 있어 해외사례를 검토하여 이에 적합한 사양으로 제작할 필요가 있어 Table 2에 나타낸 것처럼 냉풍건조의 일례를 참조하여 하기의 사양으로 설계하여 제작하였다.

Table 2 냉풍건조장치의 일례
(일본의 D사 사양)-수냉식

사 양	형식	TDS	TDS	TDS	TDS	TDS	TDS	TDS	TDS
		102	202	302	402	602	1002	1202	1402
사 양	제습수분량(Kg/h)	7	9	11	16	30	42	52	60
	HP당제습량(Kg/h)	2	1.8	1.47	1.6	2.14	2.1	2.08	2.0
	대차수(대)	4	6	8	12	16	24	30	34
	냉동기(Kw)	2.75	3.75	5.5	7.5	10.3	15	19	22
	냉동기(HP)	3.5	5	7.5	10	14	20	25	30
	송풍기합계(Kw)	5.15	5.15	8.9	8.9	13.2	14.7	14.7	16.5
	전력합계(Kw)	8.65	10.2	16.4	18.9	27.2	34.7	39.7	46.5
건 조 설 치 수 비 고	가로(m)	3.91	4.74	5.66	5.74	6.08	7.68	7.78	8.44
	세로(m)	2,20	2,20	2,20	3,05	3,95	3,95	4,88	4,88
	높이(m)	2,70	2,70	2,70	2,75	2,95	2,95	2,95	2,95

AB구간에서는 비결합수가 증발하고, BC구간은 결습수분이다. 이상에서와 같이 피건조물은 항률 건조에서는 습구온도에 영향을 받고, 물건의 온도상승은 없지만 한계습수율을 지나면 감률건조가 되어 물건의 온도가 상승하기 때문에 고온에서 변질이 일어나는 물질은 주의가 필요하게 된다.

다. 그런 까닭에 건조에 있어서는 온도, 습구온도와 함께 한계습수율은 매우 중요한 요소가 된다. 그러나 한계습수율은 일반적으로 예지하는 방법은 아직 확립되어 있지 않기 때문에 실험(적)으로 구할 필요가 있다.

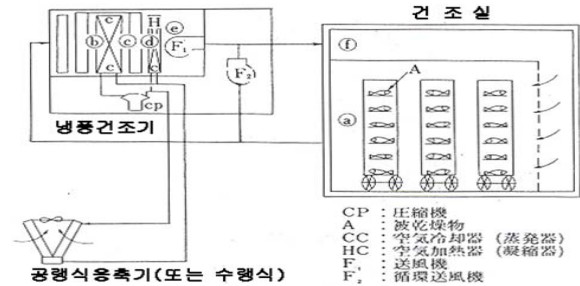


Fig.2 냉풍 건조기 계통도

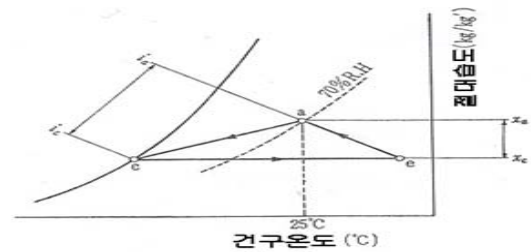


Fig.3 공기 선도상의 상태점 표기(냉각+재열)

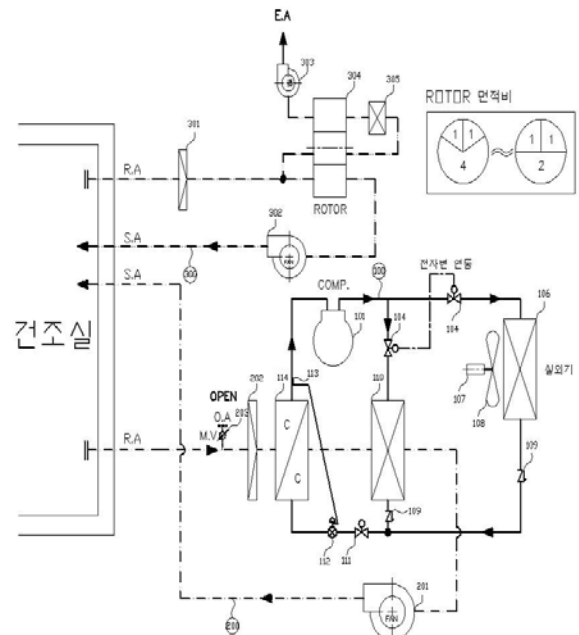


Fig. 4 복합냉풍건조시스템 :
항률건조(냉풍건조운전+데시칸트건조운전)

Table 3 재료의 평형 함수율

재료	온도 (°C)	평형 함수율(%)			
		습도 20%	습도 40%	습도 60%	습도 80%
종이	25	4.3	6.1	8.4	12.0
양모(울)	25	7.5	10.6	14.7	19.6
견(실크)	25	6.0	8.8	11.3	17.5
면화	25	4.5	5.5	7.2	11.0
면화	35	3.9	6.1	9.0	13.2
면화	45	3.6	5.7	8.2	12.3
면화	58	3.2	5.2	7.6	11.5
면화	75	3.0	4.9	7.1	10.6
면화	90	2.7	4.4	6.4	9.4
면화	105	2.1	3.8	5.8	8.8
피혁	105	12.2	15.2	17.5	22.5
소맥	10	8.8	11.2	14.0	17.8
소맥	20	8.5	10.8	13.4	16.8
소맥	30	7.8	10.4	12.7	16.2
초산첨유계	105	1.2	2.4	3.0	4.5
목재	20	5.0	7.4	10.2	14.2
목재	40	4.2	6.7	9.8	13.6
목재	60	3.2	6.0	8.9	13.0
목재	80	2.4	4.8	7.1	11.0
전분	25	3.9	6.5	8.5	10.5
가오리	25	0.6	0.9	1.0	1.1
콜크	25	0.7	1.2	1.5	2.0
벽돌	25	0.3	0.3	0.3	0.5
활성탄	25	1.7	2.7	8.5	38.0
목탄(숯)	25	3.0	4.8	6.0	8.0
실리카겔	25	9.8	15.5	19.0	21.5
연초	30	4.0	9.0	11.2	25.0
비누	25	3.9	6.6	10.6	17.7
겉	105	0.8	1.0	1.5	2.8

Table 4 저온건조시험 DATA(1)

번호	품명	건조전 1kg당 건조후 kg	건조상태	건조시간	건조물 1kg당 소비동력 kW	비고
1	학꽂치	0.5	반건		0.72	
2	삼치	0.72	반건		0.28	
3	정어리	0.7	반건		0.28	
4	전어	0.77	반건		0.21	
5	가자미	0.7	반건		0.28	
6	청어	0.7	반건		0.28	
7	오징어	0.43	반건		0.87	생물
8	오징어	0.56	반건		0.56	삶은 것
9	병어	0.83	반건		0.16	
10	꽂치	0.7	반건		0.28	
11	생태살	0.5	반건		0.72	
12	새우	0.25	완건		2.16	삶은 것
13	해삼	0.09	완건		7.22	삶은 것
14	조개살	0.47	반건		0.81	삶은 것
15	명란	0.4	완건		1.08	소금에 절인 것
16	취나물	0.17	완건		3.47	
17	도라지	0.13	완건		4.77	
18	연근	0.21	완건		2.67	
19	가지	0.07	완건		9.43	
20	밤	0.47	완건		0.81	
21	버섯	0.13	완건		4.77	
22	만두피	0.38	완건		1.16	
23	만두속	0.58	완건		0.52	
24	고추 잎	0.21	완건		2.67	
25	양파	0.14	완건		4.36	slice
26	사과	0.38	완건		1.17	slice
27	두부	0.56	반건		0.43	slice
28	두부	0.51	반건		0.69	slice
29	두부	0.33	반건		1.46	slice
30	바나나	0.32	완건		1.5	slice
31	깍두기	0.12	완건		5.25	
32	배추김치	0.21	완건		2.57	
33	파 잎	0.88	완건		8.25	
34	파줄기	0.12	완건		5.25	

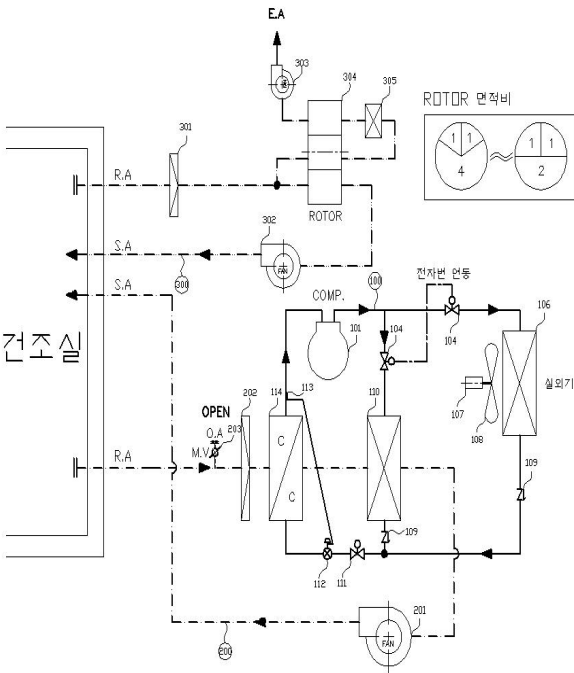


Fig. 5 복합냉풍건조시스템: 감율건조 (냉풍운전+데시칸트건조운전)

2.2 복합식 냉풍건조장치의 개발

복합식 냉풍건조기의 구성도를 Fig. 9에 개략적으로 나타내었다.

(1) 항률건조(냉풍건조운전+데시칸트건조정지)

건조실내에 피건조물을 건조시키기 위해 냉풍 건조기를 동작하여 건조실내의 습한 환기를 냉각 코일에서 제습되며 응결수는 드레인 배관을 통해 외부로 배출되고, 냉각건조된 공기는 응축 재열 코일에서 낮아진 건조공기온도와 피건조물에서의 증발(건조)을 돕기 위한 가열열량을 포함하여 가열되어 건조실내 온도를 유지하도록 급기팬을 통하여 건조실내로 공급된다. 건조실내에 피건조물의 건조를 돕도록 건조실내 순환형팬은 피건조물에 적정하도록 풍량이 조절되어 운전되도록 한다.

(2) 향료건조(냉풍건조운전+데시칸트건조운전)

피건조물을 빠른 시간내에 건조하기위해 냉풍 건조는 상기 (1)과 같이 운전되나 이때는 외기공 급댐퍼가 열어 데시칸트건조에 필요한 재생배기로 하여 외기를 유입하고 데시칸트건조는 건조실 내의 습한 환기를 데시칸트로터를 통해 가열 제습된 공기가 급기팬을 통해 건조실내로 공급된다. 습한 공기의 일부는 데시칸트를 통과하여 상승한 온도를 재생가열기에서 140℃ 내외로 가열한 후 데시칸트로터 재생측을 통해 데시칸트로터를 건조한 후 재생배기팬을 통해 고온고습의 공기는 배출된다.

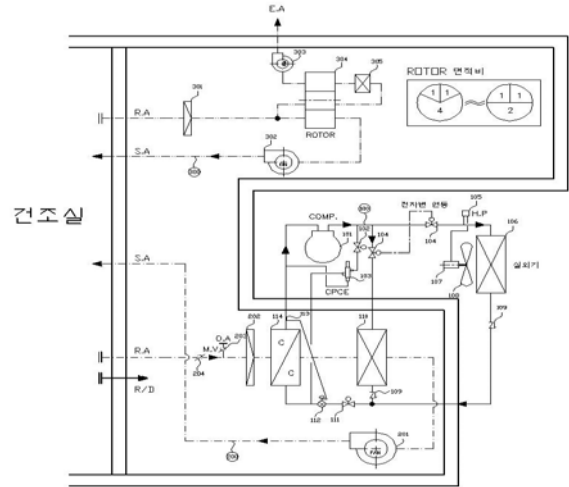


Fig. 6 복합식 냉풍건조기의 구성도

Table 5 저온건조시험 DATA(2)

번호	품명	건조전 1kg당 건조후 kg	건조 상태	건조 시간	건조물 1kg당 소비동력 kW	비고
36	무 잎	0.14	완건		1.36	
37	고추	0.16	완건		3.75	
38	무말랭이	0.05	완건		13.6	
39	인삼	0.13	완건		0.16	생물
40	완두콩	0.44	완건		0.91	
41	육포	0.4	완건		1.08	간장조미
42	육포	0.35	완건		1.32	생
43	팜장어가죽	0.38	완건		1.16	염색한 것
44	가죽	0.24	완건		2.26	
45	탈지면	0.98	완건		0.22	시판제품
46	도토리가루	0.6	완건		0.48	
47	퀴	0.42	완건		0.98	
48	다시마	0.15	완건		4.05	
49	미역	0.33	완건		1.45	염장
50	생강	0.18	완건		3.32	slice
51	파래	0.13	완건		4.77	
52	마늘	0.4	완건		1.08	slice
53	느타리	0.12	완건		5.25	
54	송이버섯	0.14	완건		0.14	
55	감	0.17	완건		3.47	slice
56	육포	0.35	완건		1.32	소금조미
57	사과겉질	0.22	완건		2.55	액즙제거한후
58	멸치 大	0.28	완건		1.84	전 멸치
59	멸치 中小	0.4	완건		1.2	전 멸치
60	떡국용 떡	0.6	완건		0.48	소금조미
61	석고mould	0.77	완건		0.16	접시형
62	퀴나물	0.2	완건		2.86	삶은 것
63	벼	0.9	완건		0.08	
64	전복포	0.2	완건		2.89	
65	떡국용 떡	0.72	완건		0.28	시중 slice된 제품
66	감자	0.157	완건		3.8	생감자 slice
67	감자	0.116	완건		5.3	slice감자 고온소금
68	마늘종	0.49	완건		0.18	6cm로 절단
69						
70						

(3) 감률건조(냉풍건조운전+데시칸트건조운전)

피건조물이 향료건조구역을 지나 일정습도이하에서는 감률건조가 시작되어 건조실의 습도가 천천히 떨어지면서 냉풍건조는 건조실내의 온도에 의해 운전되며, 외기공급댐퍼를 열어 데시칸트건조에 필요한 재생배기로 하여 외기를 유입하고, 데시칸트건조는 건조실 내의 습도가 낮아진 공기를 데시칸트로터를 통해 가열 제습된 공기가 급기팬을 통해 건조실내로 공급된다. 습도가 낮아진 공기의 일부는 데시칸트로터를 통과하여 상승한 온도를 재생가열기에서 140℃ 내외로 가열한 후 데시칸트로터 재생측을 통해 데시칸트로터를 건조한 후 재생 배기팬을 통해 고온고습의 공기는 배출된다.

3. 복합식 냉풍건조장치의 실험적 및 결론

Table 6 건조방식에 따른 습도변화와 건조시간

건조일	냉풍건조		기준 필요 제습량	복합식 냉풍건조 : 분리건조		복합식 냉풍건조 : 동시건조				
	습도 변화 (%)	노가리 건조 중량		건조 시간	습도 변화 (%)	냉풍건조	데시칸트 건조	건조 시간	습도 변화 (%)	냉풍건조
1일차	80~43	50% 감량	2,083	24h 80~43	50% 감량		9h	80~43	50% 감량	
2일차	43~36	14% 감량	583	9h 43~30		24% 감량	9h	43~30	24% 감량	
3일차	36~32	7% 감량	291							
4일차	32~30	3% 감량	125							

Table 7 건조방식에 따른 운전시간비율

건조방식	동력(kW)	건조시간(h)	운전비율(%)
냉풍건조 단독운전	1.75	96	100
복합식 냉풍건조 분리운전	1.75/4.75	24/11	36.5
복합식 냉풍건조 동시운전	4.75	21	21.9

Table 8 건조방식에 따른 사용동력비율

건조방식	동력 (kW)	사용동력 (kWh)	운전비율 (%)
냉풍건조 단독운전	1.75	168	100
복합식 냉풍건조 분리운전	1.75/4.75	94.3	56.1
복합식 냉풍건조 동시운전	4.75	99.8	59.4



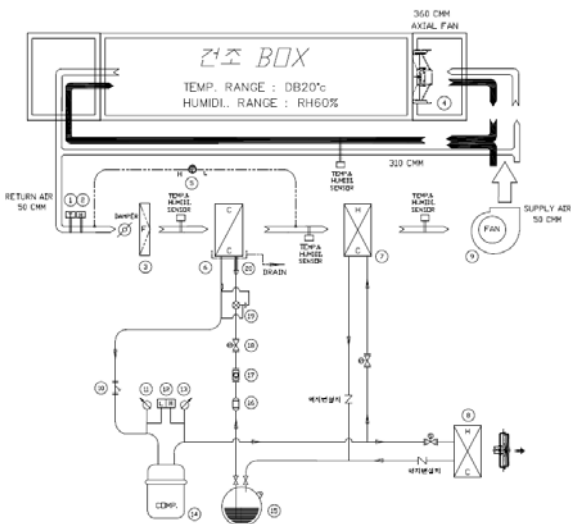
Fig. 7 복합식 냉풍건조기의 사진(1)



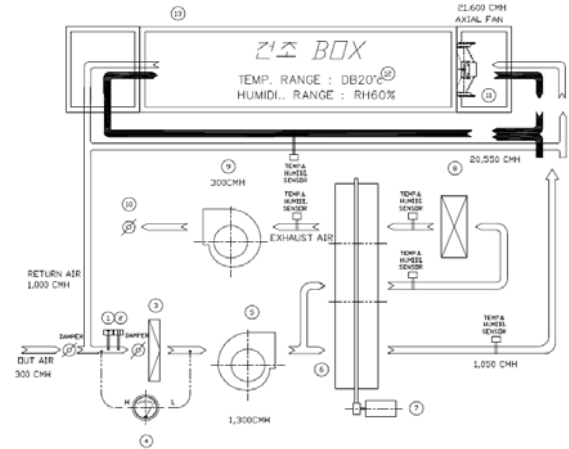
Fig. 8 복합식 냉풍건조기의 사진(2)

3.2 복합식 냉풍건조기 설계사양

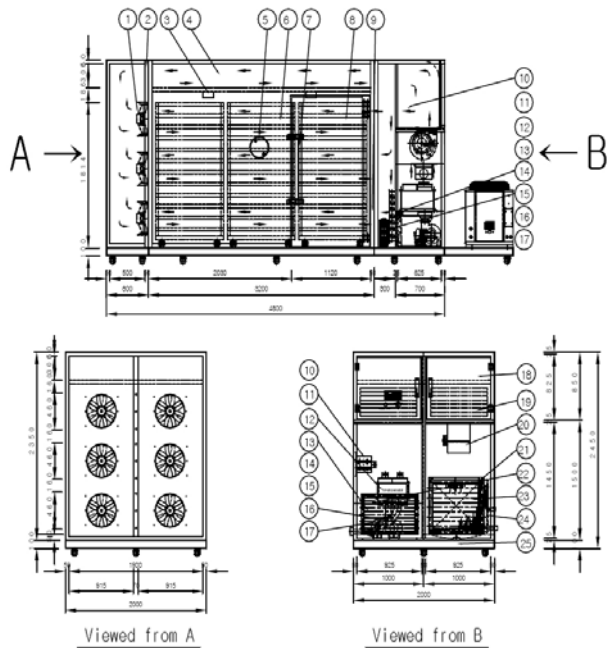
1) 흐름도(1) : 냉풍건조



2) 흐름도(2) : 데시칸트 냉풍건조



3) 복합건조박스 외형도



4) 복합식 건조기 사양

	DESCRIPTION	UNIT	SPEC.
순환 FAN	AIR VOLUME	CMM	360
	STATIC PRESSURE	mmAq	20
	FAN	Type	AXIAL
	FAN MOTOR	kW	0.51* 6EA
MAIN FAN	AIR VOLUME	CMM	50
	STATIC PRESSURE	mmAq	25
	FAN	Type	SIROCCO
COIL PART	COOLING CAPACITY	Kcal/Hr	13,500
	CONDENSER CAPACITY	Kcal/Hr	16,870
DRAIN PIPING		A	25
POWER SOURCE			3Ø x380/Vx60Hz

3.3 결론

장비를 개발하여 피건조물 측정을 통하여 성과를 측정하는데 있어 피건조물 선택의 어려움과 실험에 있어서 고비용이 요구되고 있어 어려움이 있으며 건조기를 필요로 하는 사업체와 연결하여 실험하는 것이 유익하다고 판단하여 외부에서도 측정하려고 하였으나 여의치 못해 좋은 자료를 개재하지 못한 것에 대해 아쉬움이 있으며 이 자료를 보고 관심 있는 사업체와의 협력이 되었으면 합니다.

건조장치에 있어서는 자동화라던가 연결되는 세척장치 등 부가되는 설비가 요구되며 식품을 건조함에 있어서 HACCP을 충족시켜야 하고, 장기간 실험과 건조를 통해 최적치를 찾아야 하는 것이 필요하다.

복합형 냉풍건조기를 개발하는 목적에 있어서는 국내 농어촌에 이런 제품을 보급하여 농어촌 주민들의 소득향상과 일자리 창출, 먹거리 웰빙 시대에 맞는 복합형 냉풍건조시스템이 최적이나 이를 사용하고 관리하는 것은 농협이나 관련 지자체에서의 계획이 필요할 것으로 사료된다.

후기

본고는 중소기업청 중소기업기술혁신과제인 “제습 소재(Desiccant)이용 고효율 건조기 (제습 건조) 기술개발”의 일환으로 작성되었습니다.

참고 문헌

1. HEAT PUMP TYPE 건조(제습)기술, 2001, 홍정성, 남양저온건조연구실
2. 冷凍空調装置の設計例, 1978, 日本冷凍協會, pp.191-194
3. 冷凍空調便覽 第4版, 1981, 日本冷凍協會, pp.668-672
4. 冷凍空調便覽 第4版, 1993, 日本冷凍協會, pp.331-336