

# 하이브리드 냉풍건조기 개발

최현웅<sup>†</sup>, 정광섭<sup>\*</sup>, 이태호<sup>\*\*</sup>, 박승태

(주) 에이티이엔지 기술연구소, \*서울산업대학교 건축학부, \*\*농협중앙회

## Development of the hybrid desiccant cooling dryer

Hyunwoong Choi<sup>†</sup>, Kwangseop Chung<sup>\*</sup>, Taeho Lee<sup>\*\*</sup>, Seungtae Park

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

<sup>\*</sup>School of Architecture, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

<sup>\*\*</sup>National Agricultural Cooperative Federation, Seoul 100-707, Korea

**ABSTRACT** : After analyzing the characteristics of the cooling dryer, the mixed cooling dryer was developed by adding the desiccant dryer which supplement the cooling dryer's demerits. Also, the hybrid desiccant cooling dryer was developed to use effectively the exhaust heat energy of the cooling dryer. It could make a more that 20 percent reduction in energy compared with the mixed desiccant cooling dryer. It has become essential to supply this equipment and search the suitable drying product.

**Key words:**

Mixed desiccant cooling dryer(복합식 냉풍 건조기), hybrid desiccant cooling dryer(하이브리드 냉풍건조기), Critical moisture content(한계함수율), Equilibrium moisture content(평형함수율) Constant drying rate period(항률건조구간), Falling drying rate period(감률건조구간)

**기 호 설 명**

- $R_c$  : 항률건조속도 [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$ ]
- $R_d$  : 감률건조속도 [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$ ]
- $W$  : 무수재료의 중량 [kg]
- $A$  : 표면적 [ $\text{m}^2$ ]
- $K$  : 물질이동계수 [ $\text{kg}/\text{hm}^2\text{C}$ ]
- $G$  : 공기의 물질속도 [ $\text{kg}/\text{hm}^2$ ]
- $H_w$  : 재료표면일정온도에서의 포화절대습도 [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]
- $H$  : 재료주변공기의 절대습도 [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]
- $h$  : 열전도율 [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{hC}$ ]
- $C_h$  : 공기의 습윤비열 [ $\text{kcal}/\text{kgC}$ ]
- $t$  : (재료주변공기의) 온도 [ $\text{C}$ ]
- $t_w$  : 습구온도 [ $\text{C}$ ]
- $w$  : 함수율,  $W_c$  : 한계함수율,  $W_e$  : 평형함수율
- $\theta_c$  : 항률건조시간 [h],  $\theta_d$  : 감률건조시간 [h]
- $\lambda_w$  : 습구온도에서의 증발잠열 [ $\text{kcal}/\text{kg}$ ]

**1. 서 론**

최근에는 식생활의 합리화에 따라 다양한 건조 식품이 만들어지고 있으나, 소비자의 요구에 따라 고품질의 것이 요구되어지고 있다. 식품건조의 저장·운반의 향상을 목적으로 한 시대는 지나가고 오늘날 식품과학의 발전과 같이 복원성·품질 등에 대한 품질향상이 추구하고 있다. 그리고, 예로부터 비교적 안정된 가격의 식품을 경제적이면서 대량으로 건조하는 방법으로 천일이나 열풍건조가 많이 이용되어져 왔으며, 현재에도 천일이나 열풍건조가 주류를 이루고 있으나, 천일에서는 기후에 좌우되어 균일한 건조물이 얻어지지 못하고, 또 열풍건조는 수분에 열을 가해 증발시켜 고온에서 건조하므로, 건조물의 품질, 맛, 향, 기능성 등이 변화하고, 외국제품에 비해 에너지 손실 또한 커서 이에 대응하는 냉풍건조기술과 데시칸트 제습기술의 장점들을 조합한 고효율 데시칸트 냉풍건조기 개발은 기존의 자동화 라인으

<sup>†</sup> Corresponding author  
 Tel.: +82-31-777-9241; fax: +82-31-777-9240  
 E-mail address: desikant@naver.com

로 연속적인 냉풍건조기에 별도의 복합식 냉풍건조시스템의 데시칸트 건조 채용만으로 생산량을 증가 및 운전시간 단축을 위해 개발되었으나, 향후 신규시장도입을 위하여 한 계통상에 두 가지 기능을 내장한 하이브리드 냉풍건조기를 개발하였다. 본고에서는 기존의 냉풍건조기와 복합식 냉풍건조기, 하이브리드 냉풍건조기에 대해 비교 등에 대해 기술한다.

## 2. 냉풍건조장치 개발진행 상황

### 2.1 냉풍건조의 원리

건조속도를 빠르게 하기 위해서는 공기온도를 낮춘 ( $t-t_w$ )차를 크게 한다. 이 원리를 이용한 것이 열풍건조기이지만 고온으로 되어 식품중의 지방분의 산화에 의한 변색, 방향(芳香)이 손실, 이상한 냄새가 발생하는 단점이 있다. 이상의 단점을 보완하기 위해 ( $H_w-H$ )의 차를 크게 하는 방법으로 냉각제습건조가 있다. 냉각제습건조가 설비비용이 싸고 취급이 간편한 것은 공기노점온도 이하까지 냉각하고 제습하는 냉각제습방법이 있다. 이 냉각제습방법을 이용한 것이 냉풍건조이다.

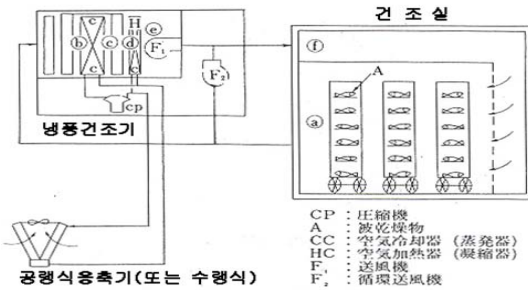
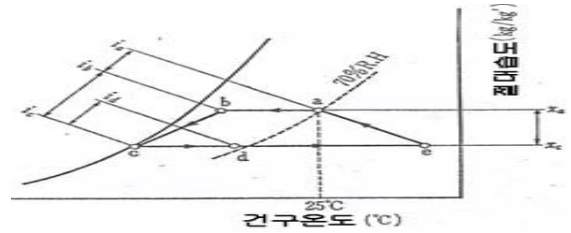


Fig.1 냉풍 건조기 계통도

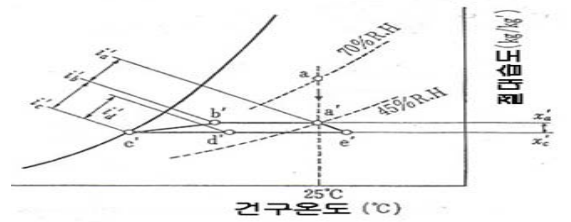
순환송풍기는 건조실내의 통기속도를 올려 건조속도를 증가시키는 것으로 건조실의 상류와 하류의 온도차를 작게 하고 건조열록(고르지 못한 것)을 방지 목적으로 설치하는 경우가 많다. 건조실내 공기 ㉑는 공기냉각기에서 냉각제습되어 ㉒가 된다. 이 공기는 냉동사이클의 응축열 이용에 의해 공기가열기로 ㉓까지 가열하고 송풍기에서 건조실로 송풍시킨다.

결국 건조실 송풍 공기는 ㉓와 ㉑의 공기를 혼합한 ㉔의 상태로 실내에 들어가 피건조물에 의한 수분을 취하는 것으로 증발잠열로 온도가 낮게 되어 습구온도가 일정한 상태에서 ㉑가 된다.

### 2.2 기존 냉풍건조의 감률건조에서의 단점



(a)향률건조구간에서의 제습량



(b) 감률건조구간에서의 제습량

Fig.2 에너지 절감형 냉각제습기

피건조물의 건조과정에는 초기의 향률건조와 말기의 감률건조가 있으며 기존의 배열이용 냉풍건조시스템에 있어서 향률건조구간에서는 Fig.2의 (a)에서처럼 냉각열량이 잠열부하를 제거하는데 많이 사용되며 피건조물의 수분증발에 이용되는 가열부하는 응축기의 배열부하를 이용하고, 냉각코일의 입출구의 절대습도가 차가 커 효율적인데 반하여 감률건조 구간에서는 Fig.2의 (b)에서처럼 투입되는 냉각열에 비해 현열냉각부하가 크고 제습되는 절대습도차가 작아져 건조시간이 길어지는 단점이 있다.

### 2.2 복합식 냉풍건조장치의 개발

복합식 냉풍건조기의 제품사진과 구성도 Fig.3에 개략적으로 나타내었다.

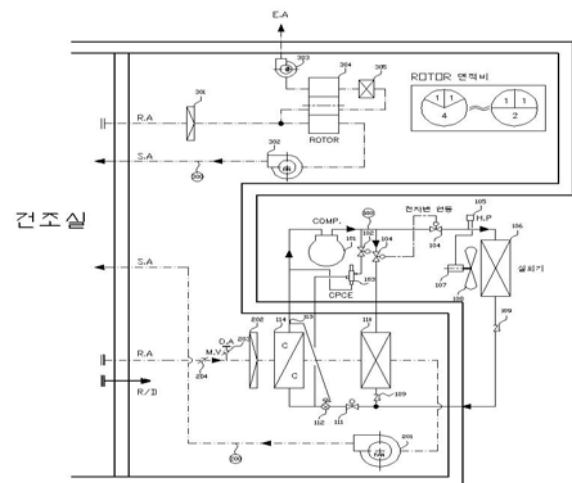


Fig.3 복합식 냉풍건조 시스템의 구성도

### 2.3 하이브리드 냉풍건조장치의 개발

하이브리드 냉풍건조기의 국내 최초 제작된 제품사진과 구성도를 Fig.4, 5와 Fig.6에 개략적으로 나타내었다.



Fig.4 하이브리드 냉풍건조기 제품사진(1)



Fig.5 하이브리드 냉풍건조기 제품사진(2)

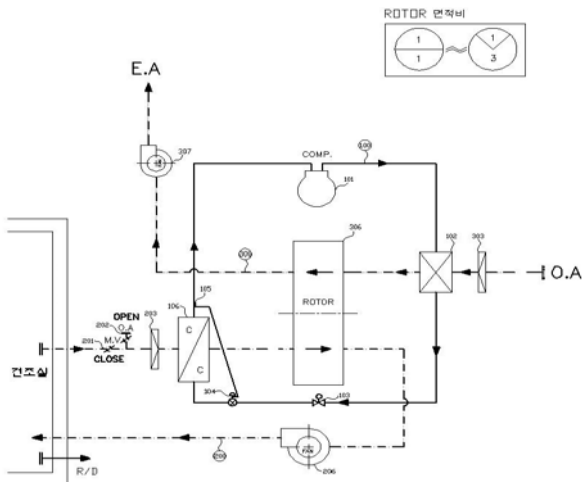


Fig.6 하이브리드 냉풍건조시스템의 구성도

복합식 냉풍건조시스템과 하이브리드 냉풍건조시스템과의 큰 차이점은 복합식 냉풍건조기는 냉풍건조기와 데시칸트 건조기를 독립적으로 별도로 운전이 가능하며 냉풍건조의 경우에는 냉각제습과 재열기능이 있어 단독운전이 용이하고, 데시칸트 건조의 경우에는 온도제어를 위해 냉풍운전을 병행하는 것이 필요하다.

하이브리드 냉풍건조기의 큰 특징은 냉각제습 그리고 응축기배열로 데시칸트 건조를 하는 배열이용 시스템으로 고온의 응축열을 이용해야 하기 때문에 냉각 COP는 떨어지나 데시칸트 재생열원은 보조열원 없이도 가능하기 때문에 복합식에 비해 콤팩트하며 에너지 사용량도 적어 차후에 냉풍건조를 계획하고 있다면 하이브리드 냉풍건조를 이용하는 것이 여러 가지 측면에서 유리할 것으로 사료된다. 하기는 하이브리드 냉풍건조에 대한 설명이다.

#### 1) 향률건조(냉풍건조운전+데시칸트건조운전)

건조실내에 피건조물을 건조시키기 위해 냉풍건조기를 동작하여 건조실내의 습한 공기를 냉각코일에서 제습되며 응결수는 드레인 배관을 통해 외부로 배출되고, 냉각 제습된 공기는 데시칸트로터 처리측에서 다시 데시칸트 제습과 가온이 되어 건조실내로 공급되며, 외기공기는 압축기 응축코일에서 가열되어 데시칸트로터 재생측에 유입되며 처리측에서 흡착한 수분을 탈착시켜 외기로 방출시킨다. 건조실내는 피건조물의 빠른 건조를 돕도록 건조실내 순환형 팬은 피건조물에 적정하도록 대량의 풍량으로 순환하여 피건조물의 건조를 돕는다.

#### 2) 감률건조(냉풍건조운전+데시칸트건조운전)

피건조물이 향률건조구간을 지나 일정습도 이하에서 감률건조가 시작되어도 하이브리드 냉풍건조시스템은 냉각이 되면서 처리측공기의 온도를 낮추어 데시칸트 제습의 효율을 높이고 재생열원을 응축기배열만으로도 건조가 빠르게 되어 건조시간을 단축시킬 수 있으며 외기에 의한 계절적인 영향이 크며, 하절기보다는 동절기에 외기 절대습도에 의한 영향이 크다.

## 2.4 테스트 설비

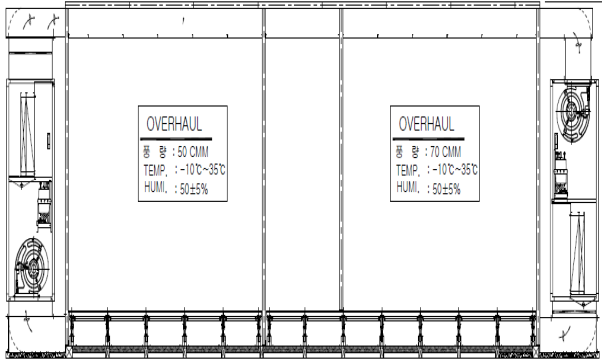


Fig.7 항온항습 실험실 도면



Fig.8 항온항습 실험실 전경사진



Fig.9 항온항습 실험실 A실, B실용 실외기 사진



Fig.10 항온항습 실험실 A실용 항온항습기 사진



Fig.11 항온항습 실험실 B실용 항온항습기

### 3. 하이브리드 냉풍건조장치 성능 테스트

하이브리드 냉풍건조장치를 시작품으로 제작하여 항온항습시험실이 초기계획에 비교하여 늦어진 관계로 하이브리드 냉풍건조기의 상태를 파악하기 위해 자체실험을 하여 아래의 Table과 같은 결과를 얻었으나 우리가 요구하는 충족한 데이터는 발췌하지는 못했지만 체크해야 할 항목이나 문제점에 대해서는 충분히 숙지하는 계기가 되었다. 재생풍량을 인버터제어에 의해 풍량을 조절하여 재생온도를 조절하는 실험을 하였다.

Table 1 하이브리드제습기 제습효율 성능체크

	30HZ	35HZ	40HZ	45HZ	50HZ	55HZ	60HZ	평균
ΔX(g/Kg)	4.90	3.56	4.64	3.83	6.28	4.12	5.09	4.63
제습량 (Kg/h)	7.22	5.58	7.28	5.87	9.25	6.46	7.81	7.07
총 소비전력 (kW)	4.85	4.64	4.42	4.43	4.36	4.38	4.48	4.51
제습효율 (Kg/kW)	1.49	1.20	1.65	1.33	2.12	1.48	1.74	1.56
복합식(kg/kW)	0.99	0.87	0.99	0.65	0.99	0.56	0.75	0.83

\*하이브리드 형이 복합식에 비해 150%이상효율 예상.

Table 2 하이브리드제습기 처리속 성능체크

	30HZ	35HZ	40HZ	45HZ	50HZ	55HZ	60HZ	
쿨링 코일 입구	평균온도[℃]	22.04	20.67	21.17	21.67	25.41	25.22	25.30
	평균습도[%]	50.23	43.71	52.11	38.37	43.93	29.34	39.43
	절대습도 [g/kg]	8.28	6.61	8.15	6.17	8.88	5.84	7.90
	엔탈피 [Kcal/kg]	10.32	8.97	10.02	8.93	11.51	9.61	10.88
쿨링 코일 후단	온도[℃]	14.27	11.24	12.51	12.07	14.94	16.04	14.47
	습도[%]	60.54	68.30	71.68	54.46	64.72	36.08	60.13
	절대습도 [g/kg]	6.11	5.64	6.45	4.75	6.82	4.07	6.14
	엔탈피 [Kcal/kg]	7.11	6.10	6.89	5.76	7.71	6.31	7.18
처리 입구	냉각열량 (kcal/h)	4,730	4,501	4,909	4,862	5,600	5,176	5,674
	제습량 (g/h)	3,198	1,521	2,666	2,178	3,036	2,776	2,699
처리 출구	평균풍속 [m/s]	6.93	7.40	7.40	7.23	6.93	7.40	7.23
	평균풍량 [CMH]	1,228	1,307	1,307	1,278	1,228	1,307	1,278
	평균온도[℃]	29.49	27.52	27.57	26.99	31.36	28.65	28.46
	평균습도[%]	13.29	13.45	15.40	10.65	9.18	7.12	11.73
	절대습도 [g/kg]	3.38	3.05	3.51	2.34	2.60	1.72	2.81
	엔탈피 [Kcal/kg]	9.14	8.46	8.75	7.90	9.11	7.93	8.54
	제습량 (g/h)	4,023	4,062	4,611	3,696	6,219	3,686	5,107

Table 3 하이브리드제습기 재생속 성능체크

	30HZ	35HZ	40HZ	45HZ	50HZ	55HZ	60HZ	
재생 입구	평균온도 [℃]	22.20	22.58	21.96	23.74	26.90	28.63	27.09
	평균습도 [%]	60.97	60.29	59.73	42.38	35.03	23.14	29.94
	절대습도 [g/kg]	10.18	10.31	9.83	7.74	7.72	5.62	6.66
	엔탈피 [Kcal/kg]	11.51	11.68	11.24	10.40	11.16	10.30	10.56
재생 코일 후단	평균온도 [℃]	65.83	63.44	58.93	57.70	55.73	54.29	51.12
	재생열량 [kcal/h]	6,010	6,411	7,269	7,081	8,035	7,300	8,558
재생 출구	평균풍속 [m/s]	2.69	3.06	3.84	4.07	5.44	5.55	6.95
	평균풍량 [CMH]	475	541	678	719	961	981	1,228
	평균온도 [℃]	32.08	32.38	31.44	34.14	37.48	38.09	35.03
	평균습도 [%]	51.58	47.84	51.81	33.18	27.34	19.85	28.69
	절대습도 [g/kg]	15.51	14.61	15.01	11.12	11.01	8.23	10.09
	엔탈피 [Kcal/kg]	17.19	16.71	16.73	15.01	15.76	14.20	14.59
	탈습량 점토 (g/h)	3,038	2,792	4,214	2,916	3,794	3,072	5,054

Table 4 하이브리드제습기 모터속 성능체크

	30HZ	35HZ	40HZ	45HZ	50HZ	55HZ	60HZ	
처리 팬 / 재생 팬	FAN(A) [R]	0.79 / 0.23	0.79 / 0.28	0.82 / 0.34	0.80 / 0.43	0.79 / 0.5	0.78 / 0.61	0.81 / 0.8
		[S]	0.77 / 0.25	0.74 / 0.35	0.82 / 0.33	0.79 / 0.43	0.74 / 0.5	0.81 / 0.62
	[T]	0.73 / 0.26	0.80 / 0.34	0.73 / 0.37	0.78 / 0.45	0.77 / 0.47	0.72 / 0.55	0.74 / 0.8
		평균	0.76 / 0.25	0.78 / 0.32	0.79 / 0.35	0.79 / 0.44	0.77 / 0.49	0.77 / 0.59
	소비전력 [Kw]	0.50 / 0.18	0.51 / 0.21	0.52 / 0.23	0.52 / 0.29	0.51 / 0.32	0.51 / 0.39	0.52 / 0.51
	압 축 기	COMP(A) [R]	6.12	5.71	5.41	5.46	5.22	5.10
[S]		6.51	6.10	5.49	5.60	5.39	5.28	5.35
[T]		6.36	5.86	5.62	5.23	5.29	5.26	5.30
평균		6.33	5.89	5.51	5.43	5.30	5.21	5.18
소비전력 [Kw]		4.16	3.87	3.62	3.57	3.48	3.43	3.40
로터 모터	MOTOR(A) [R]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
	[S]	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
	[T]	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	평균	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	소비전력 [Kw]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
총 소비전력(KW)	4.85	4.64	4.42	4.43	4.36	4.38	4.48	

Table 5 복합식 냉풍건조시스템

건조실 조건(장비입구조건)					냉풍건조기 토출조건(습도90%)					데시칸트건조		출구조건		참고치		합계		비고
온도 (℃)	상대 습도 (%)	절대 습도 (g/kg')	노점 온도 (℃)	엔탈피 (kcal/kg')	온도 (℃)	절대 습도 (g/kg')	엔탈피 (kcal/kg')	제습량 (g/kw)	절대 습도차 (g/kg')	온도 (℃)	절대 습도 (g/kg')	제습량 (g/2.7kw)	제습량 (g/kw)	제습량 (kg/h)	제습량 (g/kw)	절대 습도차 (g/kg')		
25	50	9.88	13.86	12.01	11.3	7.49	7.22	1,147	2.39	41.5	3.6	3,014	1,116	4.16	990	6.28		
25	43	8.48	11.56	11.16	10.0	6.86	6.53	762	1.62	40.5	2.9	2,678	992	3.51	836	5.58		
25	40	7.88	10.48	10.8	9.4	6.59	6.22	619	1.29	40.0	2.6	2,534	939	3.15	750	5.28		
25	36	7.08	8.91	10.31	8.6	6.22	5.81	404	0.86	39.5	2.2	2,342	867	2.74	652	4.88		
25	32	6.23	7.04	9.79	7.7	5.85	5.35	178	0.38	39.0	1.7	2,174	805	2.35	560	4.53		
25	30	5.89	6.34	9.59	7.4	5.74	5.21	72	0.15	38.5	1.55	2,059	763	2.13	507	4.34		

주) 1. 냉풍건조 냉동기 1HP(=1kW 소비전력기준), 풍량 480kg/h 적정함, 1.2kW/HP  
 2. 데시칸트퍼지건조 처리풍량 480kg/h, 재생풍량 160kg/h (퍼지형 1:1:3) 재생히터2.7kW 3m/s =3kW  
 3. 냉풍건조기+데시칸트건조기=4.2kW

하이브리드냉풍건조시스템을 국내에서 최초로 개발함에 있어서 어려움도 있지만 그보다도 새로운 시스템에 도전한다는 것에 의미가 있으며 상기와 같이 실험설비를 갖추어 충분한 실험과 개선을 통해 사용자에게 이익이 되는 제품개발에 목적이 있다.

후기

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

참고 문헌

1. HEAT PUMP TYPE건조(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5版, 1993, 日本冷凍協會, pp.331-336
5. ASHRAE Journal, 2007, January, pp.34-49.