

## 하베스트방식 빙축열 설비

### Dynamic Harvest Ice Thermal Storage System

신 용 식  
Y. S. Shin  
(주) 한미터보



- 1956년생
- 빙축열 냉방설비와 이를 이용한 저온급기 공조시스템에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

빙축열을 이용한 냉방은 최근 국내외적으로 크게 각광을 받고 있다. 대부분의 냉방설비가 전력을 이용하고 있으며 전력의 특성중 하나가 생산과 소비가 동시에 이루어져야 한다는 점이다. 이러한 특성으로 인해 전력회사에서는 갈수록 심화되고 있는 계절별, 시간별의 전력수요 격차를 최소화 하는것이 전력사업의 매우 중요한 과제가 되고 있다. 빙축열설비는 이와같은 문제를 해결할 수 있는 가장 효과적인 방법으로 전력회사측에서 여러가지 지원혜택을 주어 설치를 유도하므로써 미국 등 선진국에서는 보급이 확산되는 추세이며 국내에서도 각계에서 많은 관심을 보이고 있다. 특히 1991년 3월부터 한국전력에서 무상지원금 지급 등의 지원제도가 시행되면서 국내에서도 보급의 촉진이 예상된다. 본 글에서는 국내에 소개된 여러방식중 HARVEST 빙축열설비와 이 설비를 이용한 저온급기 공조시스템에 대하여 소개하고자 한다.

#### 2. HARVEST 빙축열시스템

##### 2.1 개요

현재 개발되어 사용하고 있는 빙축열시스템은 얼음을 얼리는 방법과 저장하는 방법에 따라 그 종류가 다양하며 특성도 상이하다. HARVEST 빙축방식은 이중 판형으로 된 제빙판(증발기) 양면에서 생성되는 박빙(약 6.5m/m)의 얼음을 주기적으로 분리 이탈시켜 하부에 설치된 빙축조에 조각 얼음형태로 저장하였다가 이를 녹여 냉방에 이용하는 시스템이다.

##### 2.2 시스템의 구성

HARVEST 빙축시스템의 구성은 그림 1에서와 같다. 이 방식에서는 항상 축열조 상부에 냉동기(ICE MAKER/CHILLER)가 설치된다. 그림 1에서 야간 축열운전은 P-2 순환펌프에 의해 축열조의 물이 냉동기(ICE MAKER/CHILLER)에 공급되어 냉동기내의 증발판(EVAPORATOR PLATES)에서 판형의 박빙으로 얼려 하부의 축열조로 떨어진다.

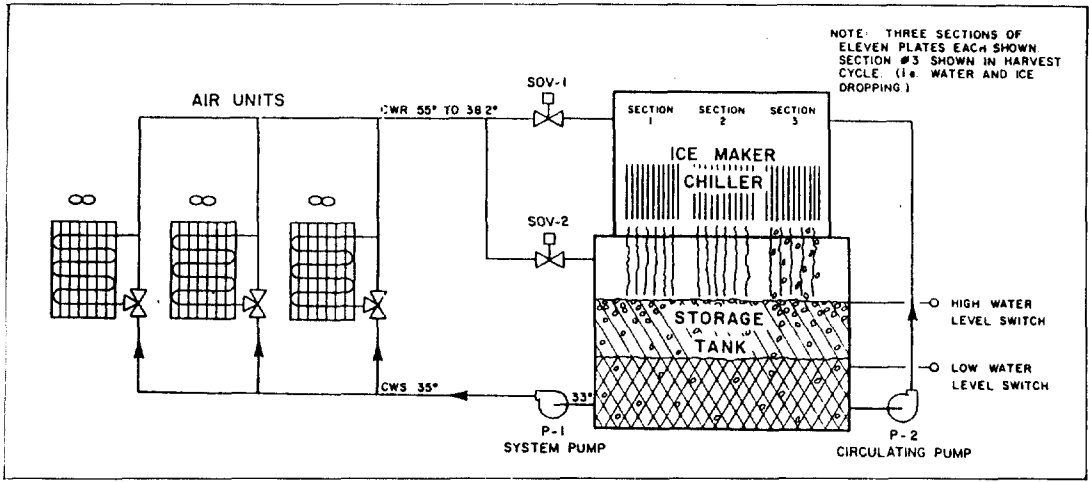
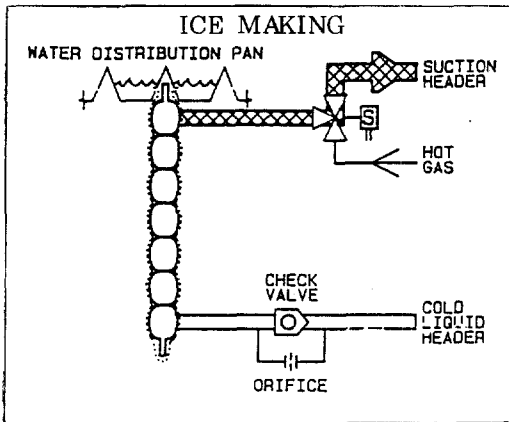


그림 1 HARVEST TYPE 빙축열시스템의 구성



주간의 방열운전은 P-1 냉수펌프에 의해 축열조 하부에서 냉수만을 부하측에 공급하여 냉방을 하고 더워진 물이 냉동기(ICE MAKER/CHILLER) 증발판을 거쳐 축열조의 얼음 위로 살포된다. 이때 냉동기(ICE MAKER/CHILLER)가 가동된다면 증발판에서는 제빙(ICE MAKING) 대신 냉각(CHILLING) 작용만을 하여 냉동기로 들어오는 물을 냉각시켜 축열조로 떨어뜨린다.

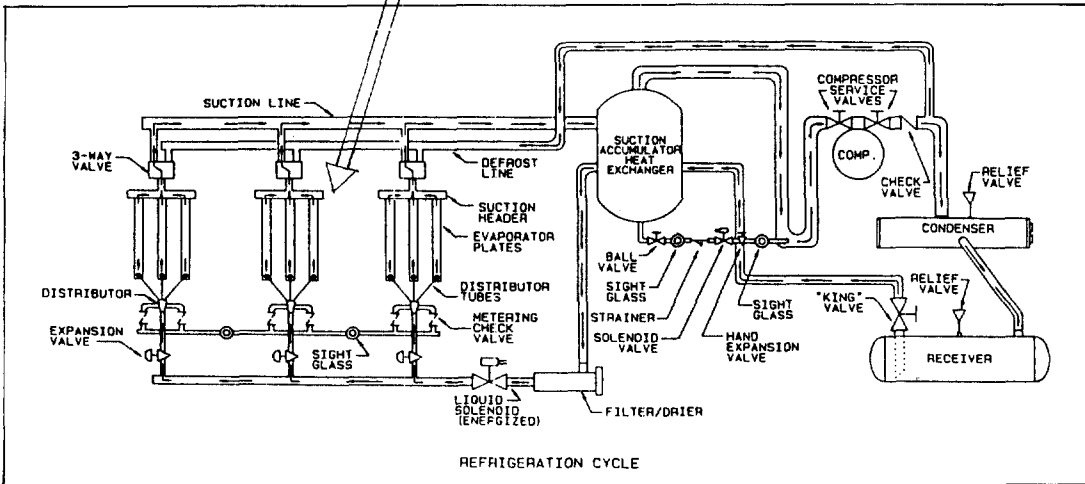


그림 2 냉매계통도-제빙과정

### 2.3 제빙(ICE MAKING) 및 탈빙(ICE HARVESTING)

그림 2는 냉동기(ICE MAKER/CHILLER) 내부의 냉매계통도로 액냉매(R-22)는 증발판 하부의 팽창밸브를 거쳐 증발판 내부로 유입되어 증발한 후 상부 흡입관을 통하여 압축기로 흡입된다. 이때 증발판 상부의 물분배장치로부터 물이 증발판 양쪽면으로 흘러내리면서 판외부에 얼음이 생성된다.

그림 3은 탈빙과정으로 제빙과정이 20분정도 계속되면 증발판 양쪽면에 생성된 얼음의 두께가 약 6.5m/m가 된다. 이 때 상부의 DEFROST LINE으로부터 압축기 토출측의 고온 고압 냉매가스가 3-WAY 밸브를 통하

여 증발판 내부로 유입되면 얼음은 증발판 외부로부터 분리되어 하부의 빙축열조로 떨어진다. 표준 CYCLE의 작동시간은 20분 제빙에 30초간 탈빙이 이루어진다.

### 2.4 운전특성

Harvest 빙축시스템의 냉동기(Ice Maker/Chiller)는 제빙시 증발온도가 비교적 높고( $-6.7^{\circ}\text{C}$ ) 일정하게 유지할 수 있어, 제빙효율이 높고 압축기의 내용연수가 길다. TURBO IGC-160 장비의 예를 들어 운전특성을 소개한다.

#### 가. 증발식 응축기(Evaporative cooled condenser)

그림 4와 그림 5는 외기습구 온도변화에 따른 장비용량 및 소요동력의 변화곡선을 나타낸다.

#### 나. 수냉식 응축기(Water cooled condenser)

그림 6과 그림 7은 냉각수 입구 온도변화에 따른 냉동용량 및 소요동력의 변화곡선을 나타낸다.

#### 다. 공냉식 응축기(Air cooled condenser)

그림 8과 그림 9는 외기 건구 온도변화에 따른 냉동용량 및 소요동력의 변화곡선을 나타낸다.

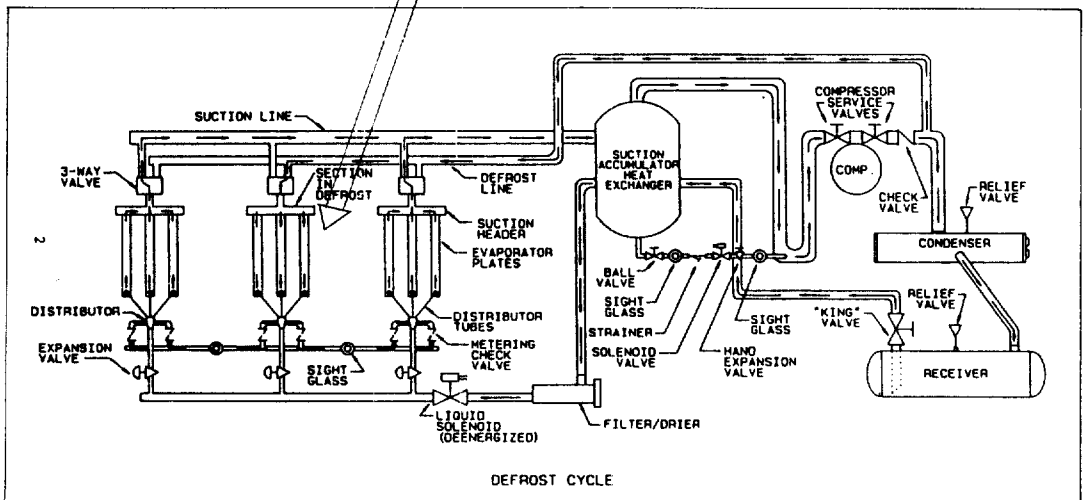
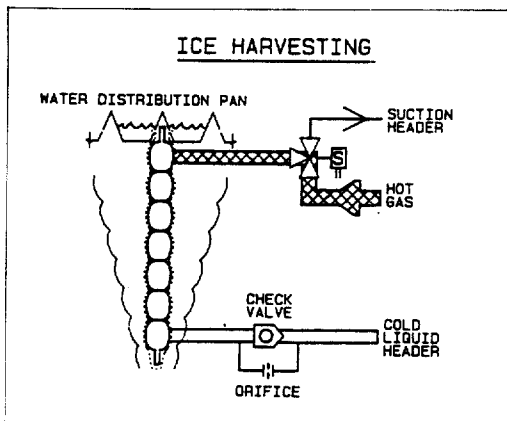


그림 3 냉매계통도 - HARVEST 과정

(응축온도 35°C 기준)

MODEL	압 축 기	물 온도 (C)	냉동용량 (R/T)	소요동력 (kw)	순환수량 (LPM)	kw/Ton
IGC-160	125 HP×2	0	161.8	155.5	3.089	0.96
		2.2	182.6	160.6	3.089	0.88
		4.4	224.9	164.7	3.089	0.73
		6.7	241.8	166.8	3.089	0.69
		10.0	268.6	170.0	3.089	0.63

- ※ 1. 물 온도 : 증발기판에 공급되는 물온도
- 2. 순환수량 : 증발기판 공급 물유량

응축온도 변화에 따른 보정계수

응축온도 (C)	냉동용량 (TONS)	소요동력 (kw)
26.7	1.08	0.85
29.4	1.05	0.90
32.2	1.03	0.95
35.0	1.00	1.00
37.8	0.97	1.05
40.6	0.95	1.10
43.3	0.89	1.15
46.1	0.89	1.19
51.6	0.83	1.29

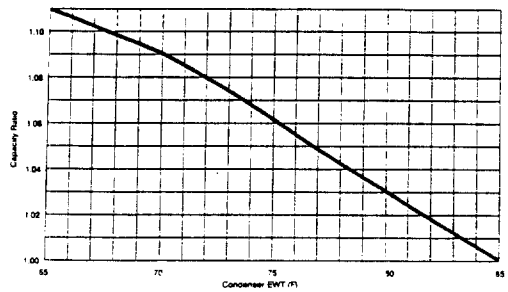


그림 6 Capacity Ratio Versus Entering Water Temperature

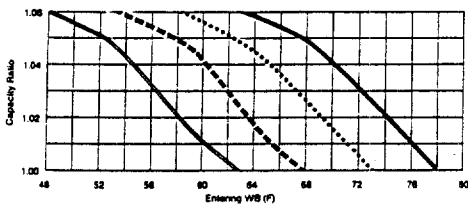


그림 4 Capacity Ratio Versus Entering Wet Bulb

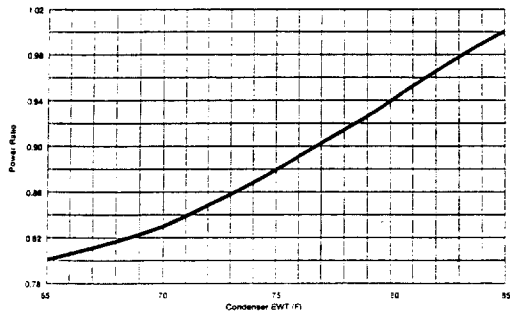


그림 7 Power Ratio Versus Entering Water Temperature

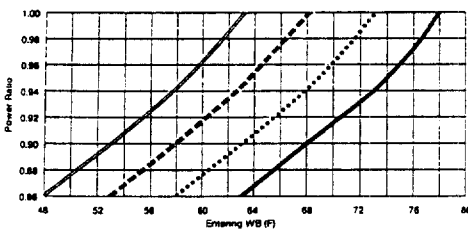


그림 5 Power Ratio Versus Entering Wet Bulb

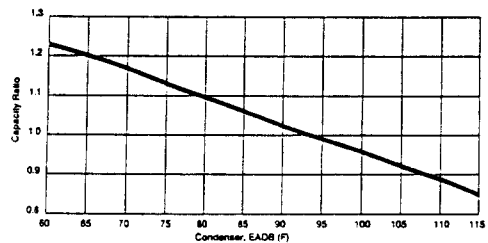


그림 8 Capacity Ratio Versus Entering Air Dry Bulb Temperature

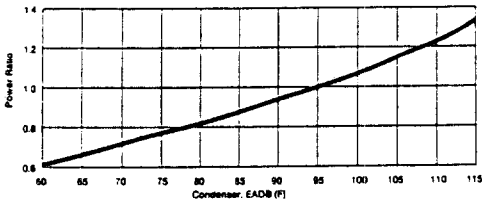


그림 9 Power Ratio Versus Entering Air Dry Bulb Temperature

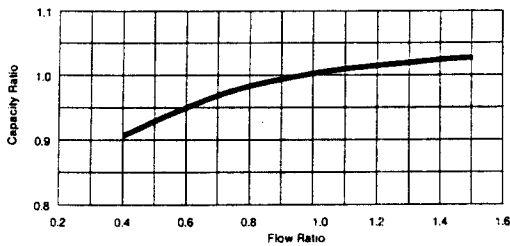


그림 10 Capacity Ratio Versus Flow Ratio (Water Chilling)

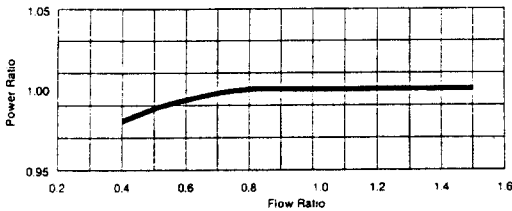


그림 11 Power Ratio Versus Flow Ratio (Water Chilling)

또한 그림 10 과 그림 11 은 냉각(chilling)운전시 순환수량에 따른 용량 및 소요동력의 변화를 나타낸다.

### 2.5 축열운전방식

HARVEST 방식의 축열운전방식은 전력요금체계, 부하특성 등을 감안하여 4가지 축열 방식 중에서 한가지 방식을 채택한다. 특히 타시스템과는 달리 주말 운전방식을 채택할 수 있어 장비용량을 가장 적게 선정할 수 있다.

#### 가. 전량축열방식(Full Storage)

##### 1) 일부하 이동방식(Daily Load Shifting)

매일의 필요한 부하를 심야전력시간(22:00 ~ 08:00)에 장비를 가동하여 얼음을 저장하

였다가 다음날의 냉방에 이용하는 방법으로 4가지 운전방식중 장비용량은 가장 크게 되나 연간 운전비용 절감액이 많다.

##### 2) 주간부하 이동방식(Weekly load Shifting)

일주일간의 공조부하를 토·일요일을 포함한 매일의 심야전력시간에 장비를 가동하여 냉방에 이용하는 방식으로 장비용량은 Daily load shifting에 비해 작아지나 Storage tank는 크다. 연간 절감액은 Daily load shifting과 비슷하다.

##### 나. 부분축열방식(Partial storage)

##### 1) 일부하 평준화방식(Daily load leveling)

매일의 부하를 24시간 장비를 가동하여 냉방하는 방법으로 장비용량과 탱크 크기가 shifting 방식에 비해 많이 작아지나 연간 절감비용이 shifting에 비해 적다.

##### 2) 주간부하 평준화방식(Weekly load leveling)

일주일간의 공조부하를 토·일요일을 포함한 일주일 계속 가동하는 방법으로 장비용량은 가장 적으므로 Storage tank는 Daily load shifting과 비교하여 커진다. 연간 절감액은 Daily load leveling과 비슷하다.

## 2.6 장비선정방법

냉방면적 8.360m<sup>2</sup>(약 2.530평)의 일반 사무실용 건물에 대한 장비선정의 예를 들어본다.

그림 16 은 검토건물의 월요일과 화요일의 부하분포곡선을 나타낸다. 두 분포곡선에서 나타난 부하량의 차이는 냉방을 하지않은 주말에 축열된 건물의 잔류열에 의한 것이다. 일반적으로 HARVEST 빙축장비의 용량은 화요일 부하를 기준으로 선정한다. 평일보다 크게 나타나는 월요일 부하는 주말 시간대를 이용하여 여분의 축열을 하였다가 대응할 수 있다.

#### <장비선정공식>

빙축장비용량은 다음식으로 결정한다.

$$I = T \cdot H / (NHI + 1.3 \times NHC)$$

I = 장비용량(제빙용량 TONS)

T·H = 요구된 냉방부하량(TON-Hour)

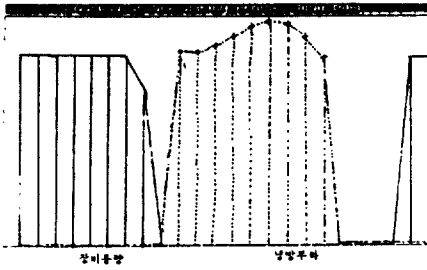


그림 12 일부하 이동방식의 부하와 장비용량

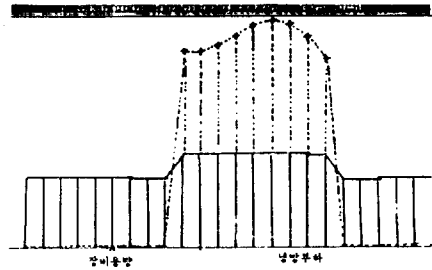


그림 14 일부하 평균화방식의 부하와 장비용량

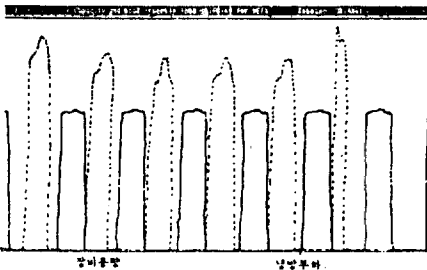


그림 13 주간부하 이동방식의 부하와 장비용량

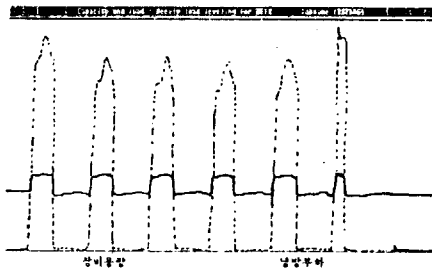


그림 15 주간부하 평균화방식의 부하와 장비용량

표 1 냉방부하표

시 간	냉 방 부 하 (Tons)							
	월	화	수	목	금	토	일	계
09:00	209.83	150.84	150.84	150.84	150.84	150.84	0	964.03
10:00	166.85	151.69	151.69	151.69	151.69	151.69	0	925.30
11:00	198.88	153.37	153.37	153.37	153.37	153.37	0	965.73
12:00	192.13	187.23	187.23	187.23	187.23	187.23	0	1,128.28
13:00	195.51	196.82	196.82	196.82	196.82	196.82	0	1,179.61
14:00	211.52	204.78	204.78	204.78	204.78	0	0	1,030.64
15:00	225.00	216.57	216.57	216.57	216.57	0	0	1,091.28
16:00	200.56	182.87	182.87	182.87	182.87	0	0	932.04
17:00	168.54	167.7	167.7	167.7	167.7	0	0	839.34
18:00	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3	0	0	661.5
계	1,900.96	1,744.17	1,744.17	1,744.17	1,744.17	839.95	0	9,717.59

<냉방운전조건>

- 심야 전력시간 : 10 시간 (10:00 P.M - 08:00 A.M)
- 냉방시간
  - 월요일 ~ 금요일 : 10 시간 (08:00 A.M - 06:00 P.M)
  - 토요일 : 5 시간 (08:00 A.M - 01:00 P.M)

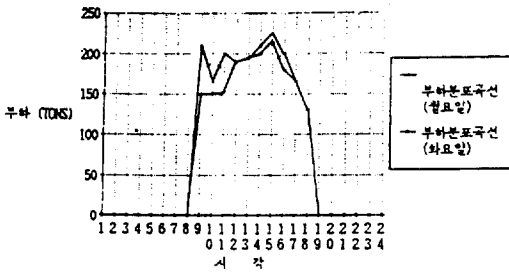


그림 16 부하분포곡선

NHI = 제빙운전시간

NHC = 냉각운전시간

1.3 = 제빙 운전용량에 대한 냉각운전용량의 비

축열조 용량은 다음과 같다.

$$\text{용량 (m}^3\text{)} = \text{NHI} \times \text{I} \times 0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hour}$$

※ 0.09 m<sup>3</sup>/TON-Hour

$$= \frac{3,024 \text{ kcal/h}}{80,000 \text{ kcal/m}^3 \times 0.45 \text{ (I. P. F)}}$$

가. 일부하 이동방식 (Daily load shifting)

표 1 냉방부하표에서

화요일부하 : 1,744.17 TON-Hr

월요일부하 : 1,900.96 TON-Hr

1) 화요일 부하기준

$$\text{장비용량} = \frac{1,744.17}{10} = 175 \text{ TONS}$$

$$\text{축열량} = (175 \text{ TON}) \times (10 \text{ Hr})$$

$$= 1,750 \text{ TON-Hr}$$

$$\text{축열조용량} = (1,750 \text{ TON-Hr}) \times$$

$$\times (0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hr}) = 158 \text{ m}^3$$

2) 월요일 부하기준

$$\text{장비용량} = 175 \text{ TONS}$$

$$\text{축열량} = 1,750 + (1,900.96 - 1,744.17)$$

$$= 1,906.79 \text{ TON-Hr}$$

$$\text{축열조용량} = (1,906.79 \text{ TON-Hr}) \times$$

$$\times (0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hr}) = 172 \text{ m}^3$$

나. 주간부하 이동방식 (Weekly load shifting)

주간총냉방부하 9,717.59 TON-Hr

$$\text{장비용량} = \frac{9,717.59}{7(10)} = 139 \text{ TONS}$$

$$\text{축열량} = (139 \text{ TON}) \times (20 \text{ Hr}) -$$

$$839.95 \text{ TON-Hr} = 1,940.05 \text{ TON-Hr}$$

$$\text{축열조용량} = (1,940.05 \text{ TON-Hr}) \times$$

$$(0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hr}) = 175 \text{ m}^3$$

다. 일부하 평균화방식 (Daily load leveling)

표 1 냉방부하표에서

화요일부하 : 1,744.17 TON-Hr

월요일부하 : 1,900.96 TON-Hr

1) 화요일 부하기준

$$\text{장비용량} = \frac{1,744.17}{[14 + 1.3(10)]} = 65 \text{ TONS}$$

$$\text{축열량} = (65 \text{ TON}) \times (14 \text{ Hr})$$

$$= 910 \text{ TON-Hr}$$

$$\text{축열조용량} = (910 \text{ TON-Hr}) \times$$

$$(0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hr}) = 82 \text{ m}^3$$

2) 월요일 부하기준

$$\text{장비용량} = 65 \text{ TONS}$$

$$\text{축열량} = 910 + (1,900.96 - 1,744.17)$$

$$= 1,066.79 \text{ TON-Hr}$$

$$\text{축열조용량} = (1,066.79 \text{ TON-Hr}) \times$$

$$(0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hr}) = 96 \text{ m}^3$$

라. 주간부하 평균화방식 (Weekly load leveling)

주간총냉방부하 9,717.59 TON-Hr

$$\text{장비용량} = \frac{9,717.59}{[(1.3) \times (55) + 113]}$$

$$= 53 \text{ TONS}$$

$$\text{축열량} = (53 \text{ TON}) \times (11 + 24 + 8)$$

$$= 2,279 \text{ TON-Hr}$$

$$\text{축열조용량} = (2,279 \text{ TON-Hr}) \times$$

$$(0.09 \text{ m}^3/\text{TON-Hr}) = 205 \text{ m}^3$$

마. 총 팔 표

구 분	장비용량 (TON)	축 열 조 (m <sup>3</sup> )	비 고
기 존 방 식	225	-	
일 부 하 이 동	175	172	전량축열
주 간 부 하 이 동	139	175	전량축열
일 부 하 평 준 화	65	82	부분축열
주 간 부 하 평 준 화	53	205	부분축열

바. 축열운전방식 결정

위와 같이 선정된 4가지 방식의 장비와 기존 냉방방식의 장비에 대하여 초기투자비 및 연간운전비를 산출하여 경제성검토를 한후 경제성과 축열조 설치공간 등을 감안하여 운전방식을 결정한다.

3. 빙축열설비를 이용한 저온급기 공조 시스템

3.1 개요

빙축열설비에서 사용할 수 있는 1~3℃의 냉수를 이용하여 건물의 공조 급기 온도를 기존의 10~15℃에서 5.5~9.5℃의 저온급기를 할 경우 초기 투자비를 줄이고 건물 높이를 낮출 수 있으며 전기수요 및 에너지를 줄일 수 있다는 잇점으로 미국 등 선진국에서 널리 적용되고 있다.

그외에도 쾌적성과 실내공기의 질이 더 좋아진다는 점도 주목된다. 여기서는 저온급기 공조시스템과 급기방법 등에 대하여 소개한다.

3.2 저온급기 방식의 특성

가. 투자비 절감

저온급기는 급기량을 줄임으로서 급기 Fan과 Duct를 작게 설치하여 투자비를 절감할 수 있다. 또한 작은 Duct는 층간 높이를 8~15cm 줄일 수 있고 이것은 건축의 구조, 외관 등 기타 건축비용을 절감한다. PEARSON은 1989년 3가지의 다른 검토방법으로 빙축열을 이용한 저온급기와 기존급기 방식의 예상 설비 비용을 비교한 결과 빙축열을 이용한 저온급기 방식의 건축비용이 기존방식보다 11.6% 감소한다고 추정했다.

나. 건물높이 감소

건물높이 제한구역에서 저온급기 공조방식을 채택하는 것이 매우 유리하다. 급기덕트의 크기가 작아짐으로 인해 층고를 8~15cm 정도 낮출 수 있기 때문이다.

미국 워싱턴의 Bellevue 빌딩에서 이 방식을 적용하여 제 21층을 추가로 얻었는데 이것은 각층 높이에서 10cm 씩을 줄였기 때문에

가능했다. 또한 미국 필라델피아의 60층 건물은 이 방식을 적용 세계에서 가장 낮은 60층 건물로 지어졌다.

다. 실내 쾌적성 및 공기의 질향상

저온 급기에 의해 유지되는 낮은 습도는 실내를 더 쾌적하게 한다. Berglund는 1990년 한실험에서 사람은 낮은 습도에서 더 쾌적하고 시원하게 느끼며 공기의 질은 더 좋고 신선하다는 것을 증명했다. 일반적으로 저온급기 공조방식은 38% 정도의 상대습도를 유지하므로 기존방식의 상대습도 55%일때보다 실내 온도를 2℃정도 높게 설정할 수 있다.

다음은 1990년 Bosman과 Rosk가 조사한 저온급기 방식에 의한 실내공기의 질에 관한 연구 결과이다.

- 저온급기에 의한 실내공기는 기존 방식의 공기보다 더 쾌적, 신선하다.
- 저온급기 방식에서는 위생에 나쁜 영향을 주는 저온 박테리아(Cold Bacteria)가 생기지 않는다.
- 어떤 미생물에 있는 독성의 농도는 기존 시스템보다 저온급기 시스템이 더 낮게 나타난다. 이것은 저온에서 해로운 박테리아의 활동이 억제되기 때문이다.

라. 에너지 소비

저온급기 시스템을 사용하면 급기 Fan의 에너지 소비는 30~40%까지 줄일 수 있다. 그러나 저온급기 방식에서 Fan-Powered Mixing Boxes를 사용할때는 증가할 수도 있다.

3.3 급기방법

가. Series Fan Powered Mixing Boxes 방식

저온급기 시스템의 Mixing Box에서 Fan을 통과하기전 1차 공급공기와 재순환공기가 혼합되는 방식이다(그림 17 참조).

이 방식은 1차 공급공기가 실내에 들어오기 전 순환공기와 혼합되므로 저온급기에 따른 문제는 없어진다. 또한 실내에 공급되는 공기량은 기존시스템과 같이 비교적 일정하게 유지되며, 시스템의 설계도 간단하다.

그러나 이 방식은 에너지 소비면에서 기존



방식보다 증가한다. 1988년 어느 저온급기시스템의 조사결과 급기 Fan은 기존시스템 에너지 소비의 66%만 사용하였으나, Mixing Fan을 포함해서는 9%가 증가했다. 이외에도 소음문제, 유지비 과다 등의 단점이 있다.

나. Parallel Fan-Powered Mixing Boxes 방식

순환공기만 Fan을 이용하여 Mixing Box로 공급하는 이 방식은 Fan Motor가 적고, 소음 및 에너지소비로 적으므로 Series Box 방식보다 선호된다(그림 18 참조).

다. 유인 유니트 방식 (Induction Units)

이 방식에서 순환공기는 1차공기의 흐름에 의해 유입되며, 일반적인 유입비율은 1차 공기 70% 대 순환공기 30%이다. 이 비율로 6℃의 1차 공기가 공급되면 최종 급기온도는 10~14℃가 된다.

라. 직접급기방식(Direct Air Supply)

요구된 특성에 맞는 Diffusers를 사용하여 가장 간단하면서도 적은 설치비와 에너지로 실내공간에 저온의 공기를 직접 공급하는 방식이다. 그동안 이 방식은 불충분한 공기분배와 찬 공기의 하강현상(Dumping) 때문에 채용을 꺼려하였으나 Diffusers에 대한 성능향상과 시험의 결과로 이 방식이 저온급기 방식에서 최적의 공기분배 기능을 수행할 수 있다는 것이 분명해졌다. 디퓨저의 주요한 기능은 쾌적상태유지와 필요환기에 맞게 실내공간 전역에 공기를 고루 분배하는 것이다.

저온급기 방식의 Diffuser은 찬 공급공기가 천정을 따라 평행으로 공급되어 필요한 만큼 혼합되게 해야한다. 공급된 1차공기의 흐름에 유도되어 실내공기가 혼합된다. 유속이 감소하여 하향부력이 상향정압을 증가하는 시점까지 공급공기의 흐름은 천장에 유지한다. 이때까지 순환공기의 양은 증가하고 유속은 감소하며 전체유통직입은 일정하게 유지하게 된다. 이와 같이 실내 공간에 5.5~9.5℃의 공기를 직접 공급하기 위해서는 높은 유속으로 천정을 따라 공기를 유도하는 Diffuser가 필요하다. 또다른 직접급기 방식의 Diffuser는 1차 저온 공급공기를 교란작용을 통하여 실내공기

와 잘 혼합되게 하는 방식이다(그림 21 참조). 이 방식에서 교란작용은 짧은 거리에서 공기의 혼합을 유도한다. 이 방식은 어느정도 높은 천정에 설치하는 것이 적당하다.

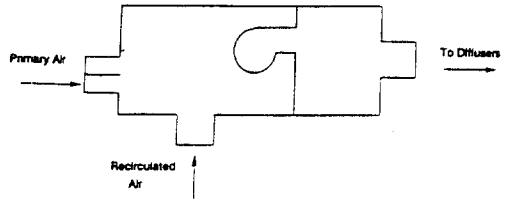


그림 17 Series fan-powered mixing box

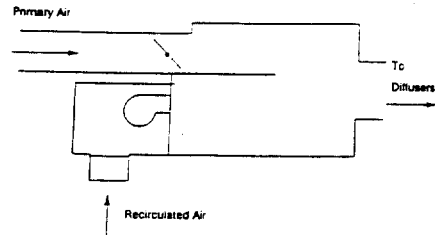


그림 18 VAV Parallel fan-powered mixing box

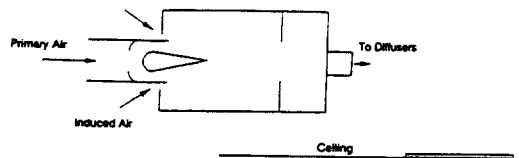


그림 19 Non-powered Induction VAV box

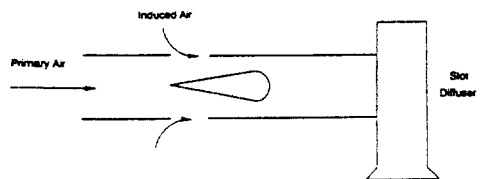


그림 20 Non-powered induction unit

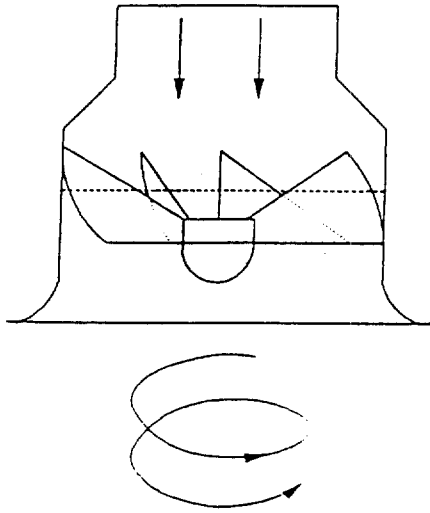


그림 21 Diffuser designed for turbulent mixing

#### 4. 맺음 말

빙축열 설비는 여러가지면에서 많은 장점을 가지고 있는 설비이다. 이 설비의 사용자는 가격이 저렴한 심야전력을 이용함으로써 건물관리비의 대폭절감이 가능하고 또한 한전의 투자비 특별부담금 지급, 세제감면, 금융지원등

이 기대된다. 한전에서는 최대수요 전력의 억제에 따른 전력설비투자비 절감과 부하율개선으로 전력설비의 효율적운용이 가능하다.

또한 국가적으로는 대부분 수입에 의존하는 국가 에너지자원의 효율적인 이용과 화석연료의 사용을 줄임으로서 지구 온실화현상, 산성비 등의 환경오염과 공해를 방지하는데에도 크게 기여할 수 있다.

최근 국내에도 냉방수요가 급격히 증가하는 추세에서 설비계획시 냉방에 빙축열설비의 적용을 적극 고려하는 것이 필요하다고 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. ASHRAE 1987. "Thermal storage" HVAC Hand Book, Chapter 46.
2. D.E. Knebel 1987. Economics of Harvesting Thermal storage system: A case study of a Merchandise Distribution center.
3. C.D. Noble, C.M. Landry 1990. "Cost Effective Low Temperature Air Distribution/ Ice thermal storage case study.
4. J.S. Elleson 1990. "High-Quality Air Conditioning with Cold Air Distribution.