

# 에너지 절약을 위한 냉온수 배관시스템의 설계

## (Hydronic System Design for Energy Saving)

류 해 성\*  
Hae Seong Ryu

### 1. 序 言

공기조화 설비에 있어서 물배관(水配管)시스템은 열원설비에서 생산된 냉·난방 에너지를 사용처(terminal)까지 반송(搬送, distribution)하기 위한 가장 기초적이며 필수적인 설비요소이다.

최근 건물이 대형화되고 또한 그 기능이 다양화되면서 배관설비가 더욱 복잡하게 되는 것은 필연적이며 이에 함께 배관설비에 대한 시스템에서의 요구성능도 더욱 엄격하게 되는 경향이 있다. 그러나 이와 관련한 정밀한 엔지니어링 기술의 활용은 아직 미흡한 실정이며 특히 필요이상의 과대한 유량으로 설계되거나 시스템 구성의 부적합, 제어 및 운전방식의 미숙, TAB(밸런싱) 작업의 소홀 등 여러가지 원인으로 배관시스템 전체의 에너지 효율이 아주 낮아지고 운전비가 필요이상으로 과다하게 되는 사례를 많이 볼 수 있다.

여기서는 냉온수 배관의 에너지 절약과 성능 향상을 위해 시스템 설계 측면에서 고려해야 할 몇가지 사항을 살펴보고 그 대책을 논의하기로 한다.

### 2. 펌프의 과다 용량 선정 (Oversized Pump)

흔히 펌프 선정에 있어서 양정(揚程, head) 계산을 엄밀히 하지 않고, 최장거리 배관의 길이에 관경 선정시 기준으로 정해두었던 단위 길이당 배관마찰손실을 곱한 후 설계자 임의대로 일정한 비율의 배관부속(fitting) 손실을 더하고 거기에 열원기기, 터미널 유닛 등의 최대 마찰손실을 합산하여 개략적인 양정을 구하는 것이 일반적인 현실이다. 또 이 과정에서 상당히 많은 비율의 안전율(safety factor)을 고려하는데, 이 값은 설계자의 경험이 부족하면 할수록, 또한 계산과정이 엉성하면 할수록 더욱 커지는 경향이 있다.

여기에 더하여 펌프 제조회사에서는 유량부족에 의한 트러블(trouble)의 素地를 없애기 위해서 발주시방보다 약간 넉넉하게 또 한번의 안전율을 적용하게 된다. 이것은 용량이 모자라면 말뚝이 되지만 남는데는 아무런 문제가 없다는 잘못된 사고방식(발주자나 공급자 모두 이러한 인식에 젖어 있는 경우가 많다)에 기인하고 있는데, 이는 엔지니어링 기술의 발전을 위해서 우리 모두가 하루 빨리 극복해야 할 고질적 병폐가 아닌가 생각된다.

다음의 그림 1은 Oversizing 된 펌프에 의한 동력손실을 나타내고 있는데 점 A가 설계시 예상된 운전점이나 실제 배관 저항은 이보다

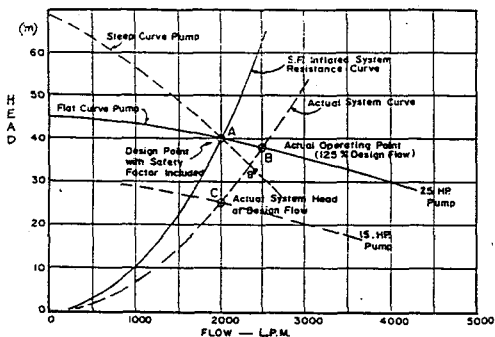


그림 1. Influence of Safety Factors

$$BHP_A = \frac{2,000 \text{ LPM} \times 40\text{m}}{4,500 \times 0.75} = 23.7 \text{ BHP (THROTTLING - 84\%)}$$

$$BHP_B = \frac{2,500 \text{ LPM} \times 38 \text{ m}}{4,500 \times 0.75} = 28.1 \text{ BHP (NO ACTION - 100\%)}$$

$$BHP_C = \frac{2,000 \text{ LPM} \times 25 \text{ m}}{4,500 \times 0.75} = 14.8 \text{ BHP (IMPELLER TRIM - 53\%)}$$

작아서 점 B에서 펌프가 운전되어 약 25%의 유량이 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이때 펌프 모터를 25HP로 했다면 전동기에 과부하가 걸리고 장시간 가동하면 전동기는 소손된다.

용량과다의 펌프에 대한 대책으로는 펌프 토출측 밸브를 교축시켜 설계대로 배관 저항을 증가시키거나 펌프 임펠러를 TRIM하는 방법이 있는데 점 A는 교축에 의한 유량조정으로 이때의 펌프 동력은 23.7HP이며 실제 운전점 B상태 보다 약 16% 정도 운전 전력이 줄어든다. 그러나 임펠러를 TRIMMING 하면 펌프의 성능곡선이 달라지고 운전점은 C로 되어 펌프동력 14.8HP로 약 47% 정도의 전력절감이 가능하다.

### 3. 1차-2차 펌프 시스템

1차-2차(P-S) 펌프 시스템은 열원설비측과 사용설비측의 배관 회로를 독립시켜 각

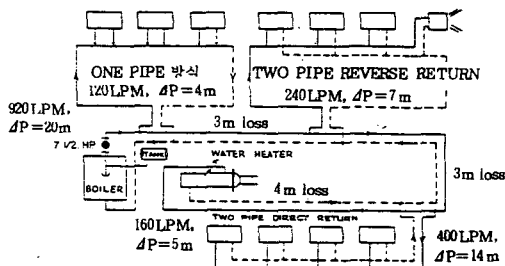


그림 2. Two Pipe Direct Return Single Pump System

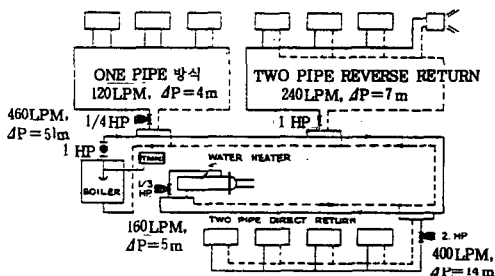


그림 3. Two Pipe Direct Return with Primary Secondary Bridging

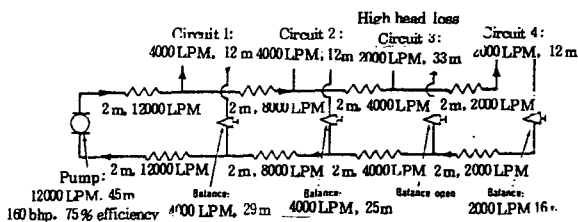


그림 4. No primary-secondary pumping. Primary pump at 160 bhp with balance valves set hard.

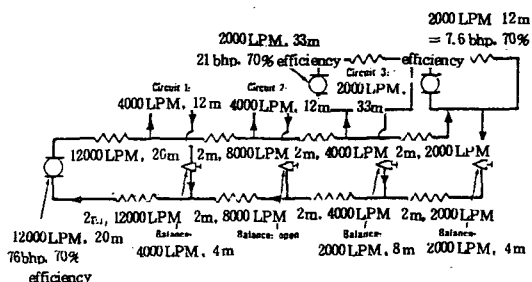


그림 5. Primary-secondary pumping application saves approximately 55 bhp, reduces balance valve setting, and improves overall system control.

각 1차(primary) 펌프와 2차(secondary) 펌프를 설치함으로써 열원설비측의 이용온도차를 크게하고 1차 회로의 유량을 줄여 펌프 동력을 크게 절감하는 방법이다.

그림 2는 일반적인 난방배관 시스템의 한 예를 나타내는데 순환펌프는 가장 저항이 큰 배관 회로를 고려하여 7.5IP으로 하고 있다.

그림 3은 이것을 P-S 펌프 시스템으로 바꾸어 본 것인데, 1차 회로의 이용온도차를 2배로 하여 유량을 1/2로 줄임으로써 1차 회로의 저항은 1/4로 되고 따라서 시스템의 전체 펌프용량 합계는 약 4.33 IP으로 그림 2의 일반적인 방법보다 약 42% 정도나 동력을 절감하고 있다.

그림 4나 그림 5는 또 다른 P-S 시스템의 예를 나타낸 것으로 각 Sub-circuit간의 배관 저항이 크게 다를 경우 1차 회로의 유량을 줄이지 않고도 P-S 시스템을 적용하여 시스템의 성능향상과 에너지 절약 효과를 크게 할 수 있음을 보여주고 있다.

**4. 부분부하에 대응하기 위한 용량분할의 중요성**

부분부하를 고려하여 열원기기의 용량을 분할하여 설치하는 것은 매우 중요한 일이다. 이것은 열원기기의 자체효율 뿐만 아니라 순환펌프 등 補助機器의 동력소비에 아주 큰 영향을 미치며 또 시스템 전체의 제어 성능에도

커다란 영향을 주게 된다. 그러므로 부분부하의 발생 Pattern을 예상하여 이에 적절한 용량 분할을 고려하는 것은 시스템 설계에 있어서 무엇보다도 강조되어야 하는 것이다.

아래 표에 난방용 보일러의 예를 들어 용량 분할시의 동력변화를 나타내어 보았다.

또 그림 6은 여러대의 펌프를 설치한 경우와 1대의 펌프를 설치한 경우에 있어서 저부하시(저유량시), 컨트롤 밸브에서 부담하여야 할 ΔP의 차이를 보여주고 있는데 기기를 분할하여 설치하는 경우에 제어성능이 좋아지게 됨을 간접적으로 보여주고 있다.

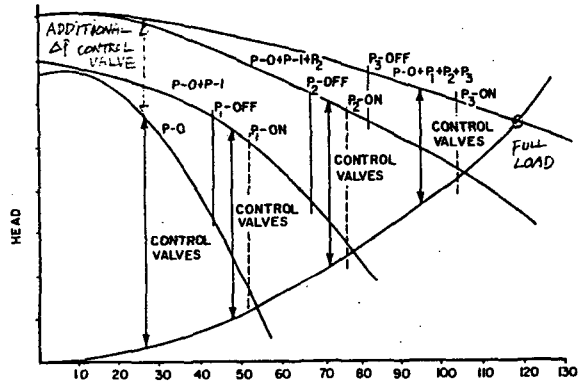


그림 6. MULTIPLE PUMP SEQUENCING

**5. Parallel/Series Pumping (병렬/직렬 펌프방식)의 활용**

열원기기의 용량분할에 맞추어 각 열원기기

표. Comparison of Power Consumption under Part Load Conditions

Boiler	System No.1		System No.2		System No.3	
% of Full Load	100 %	60 %	40 %	50 %	25 %	25 %
HEAT OUTPUT (Mcal/h)	5,000	3,000	2,000	2,500	1,250	1,250
Blower Motor HP	20 IP	15 IP	7½ IP	7½ IP	5 IP	5 IP
Pump Motor HP (0 40° ΔT)	10 IP	3 IP	1 IP	2 IP	1½ IP	1½ IP
Part Load HP	30 IP	18 IP	9½ IP	9½ IP	6½ IP	6½ IP
Total System HP	30 IP	27½ IP		22½ IP		

Note) 1. SYSTEM No. 1의 구성 : 100 % 부하 1대 설치  
 2. SYSTEM No. 2의 구성 : 60 % 부하 1대 + 40 % 부하 1대 (계 2대) 설치  
 3. SYSTEM No. 3의 구성 : 50 % 부하 1대 + 25 % 부하 2대 (계 3대) 설치

마다 1대씩의 펌프를 설치하는 것이 常例化 되어 있는데, 이를 보다 세분하여 2대의 펌프를 병렬 또는 직렬로 설치하면 운전상의 여러 가지 Flexibility를 얻을 수 있다.

펌프선정시 유량과 양정의 균형이 맞지 않아 효율이 나쁜 펌프를 선정하게 되는 경우가 종종 있는데, 대유량, 저양정의 경우에는 병렬 펌프 방식으로, 소유량, 고양정의 경우에는 직렬펌프 방식으로 설계하면 펌프의 운전효율을 증가시킬 수 있다. 또 저부하시에는 펌프를 1대만 가동시켜도 60~70%의 유량을 유지할

수 있으므로 기간 동력소비를 대폭 절감할 수 있으며 기기고장을 대비한 STD-BY(예비) 펌프를 갖출 필요가 없어서 초기설비비도 절약할 수 있다.

그림 7~그림 9에 병렬 및 직렬 운전방식의 대표적인 응용 예를 나타낸다.

### 6. 변유량(VVV) 시스템

변유량 시스템에 의한 펌프 동력의 절감 효과는 이미 잘 알려져 있다. 그러나 아직 우리의 현실로는 이에 대한 시도를 거의 찾아보기 어려운 형편인데 그 이유는 대부분의 설계자가 열원기기(냉동기나 보일러, 열교환기)에서 유량을 변화시키는데 대해 공포감을 갖고 있지 않나 하는 생각이다. 그러나 냉동기 제조 기술자의 의견을 들어보면 정격유량의 40%~60%까지도 유량감소를 허용할 수 있다고 한다.

다음 그림 10은 변속 펌프에 의한 변유량 시스템의 특성변화를, 그림 11은 병렬/직렬 펌프방식의 복합에 의한 변유량 시스템의 특성을 나타내고 있다.

여기서 주목할 것은 VVVF 장치나 기타 값이 비싼 변속장치 없이도 펌프의 조합에 의한 변유량 시스템의 실현이 가능하며 간단한 시퀀스 제어로 일반 공조설비에서의 성능요구에 충분히 부합할 수 있다는 사실이다.

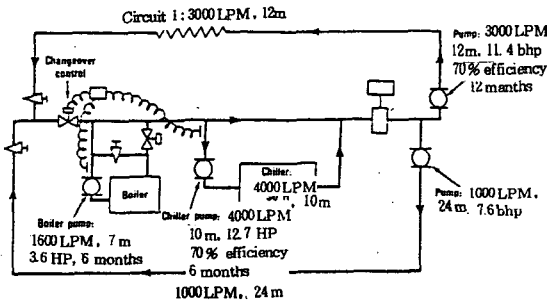


그림 7. TYPICAL BOOSTER PUMPING SYSTEM

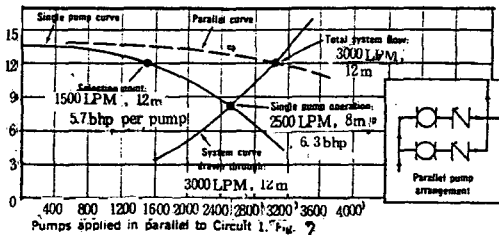


그림 8. 병렬펌프방식의 응용

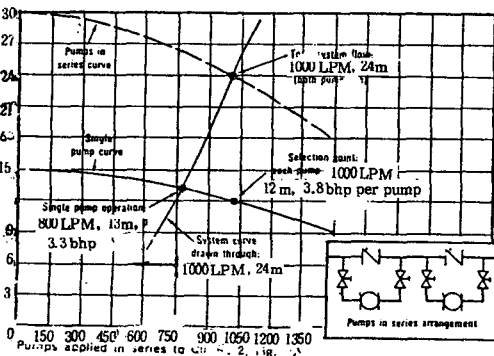


그림 9. 직렬펌프방식의 응용

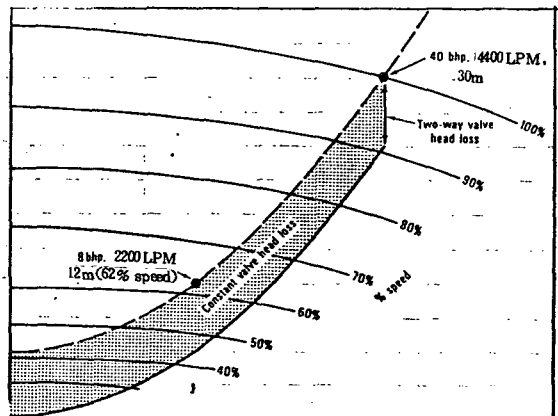


그림 10. 무단 변속 펌프에 의한 변유량 시스템의 제어특성

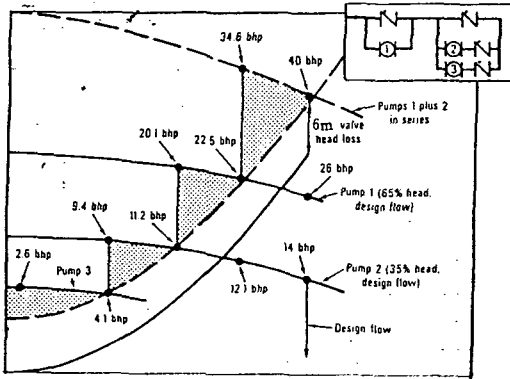


그림 11. 병렬/직렬 펌프방식의 조합에 의한 변유량 시스템의 제어특성

그러므로 앞으로 이러한 변유량 시스템에 대한 시도가 활발해 지기를 기대한다.

7. Air Elimination 과 팽창탱크

물배관 시스템에서의 공기제거는 유량분배의 밸런싱을 위해 필수적인 전제조건이다. 배관중에 공기가 함유되어 있으면 밸런싱을 위한 계속작업에 있어서 커다란 오차를 일으킬 뿐 아니라, 변유량시 배관유속이 저하되면 배

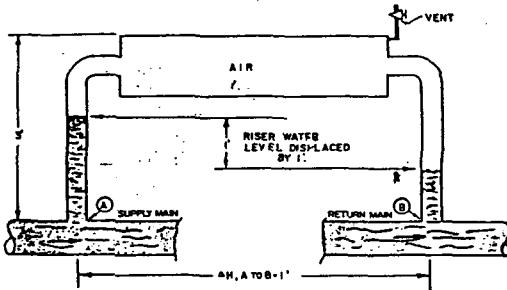


그림 12 A. TERMINAL AIR-BINDING

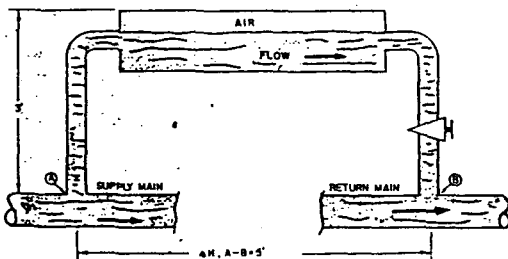


그림 12 B. AIR PROBLEM- LOW FLOW

관을 따라서 순환하던 기포가 분리되어 각종 터미널 유니트에 체류하게 되고 유량분배의 균형을 잃게 된다.(그림 12)

종래의 개방형 팽창탱크 시스템에서는 이러한 공기로 인한 순환장애 현상을 완화하기 위해 입상관, 터미널 유니트, 에어포켓이 예상되는 배관의 굴곡부 등에 AIR VENT를 설치하고 배관유속을 높게 유지하는 것이 일반적인 실정이다.(공기가압식 밀폐형 팽창탱크 시스템도 또한 같다) 이 방법을 AIR CONTROL 이라고 하며, 개방형 팽창탱크 방식에서는 대기와 접촉하고 있는 팽창탱크로부터 공기가 배관내로 계속 혼입되고 있으며 이 혼입된 공기는 배관계통을 거쳐 순환하다가 AIR VENT를 통해 시스템의 바깥으로 배출되는 과정을 되풀이 하게 된다. 즉 배관계통은 일종의 AIR PUMPING 작용을 하고 있는 것이다.(그림 13 참조)

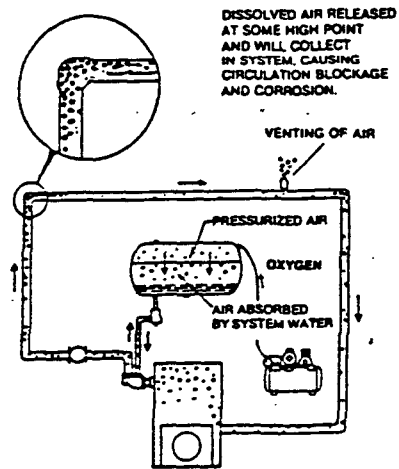


그림 13. AIR CONTROL SYSTEM

냉온수 배관에 있어서 열매체인 배관수의 가장 이상적인 조건은 공기가 전혀 없는(AIR-FREE) 상태인데 이 상태를 DEAD WATER 라고 하며, 이렇게 하기 위해서는 첫째, 팽창탱크를 밀폐화 시켜 공기의 침입을 방지하고, 둘째, 배관 최초 물채움시 또는 보급수 중의 공기를 제거하기 위해 공기제거 장치를 설치하며 셋째, 보급수량을 줄이기 위한 배관의 누

수를 철저히 없애고 펌프에 Mechanical Seal 을 채용하는 것이다.

다음에 AIR ELIMINATION SYSTEM 을 구성하기 위한 방법을 개략적으로 설명한다.

1) DIAPHRAGM식 팽창탱크

공기와 배관수를 다이어프램으로 격리시켜 팽창탱크에서의 공기의 혼입을 막아주며 배관을 적절한 수준으로 가압하여 공기를 쉽게 배출할 수 있게 한다.

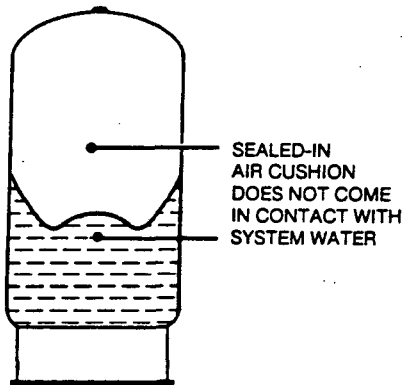


그림 14. 다이어프램식 밀폐형 팽창탱크

2) AIR SEPARATOR+AIR ELIMINATOR

대량의 공기를 분리 배출하는 장치로 주로 MAIN 배관 또는 보일러 (또는 열교환기) 출구에 설치하여 공기를 제거하는 장치

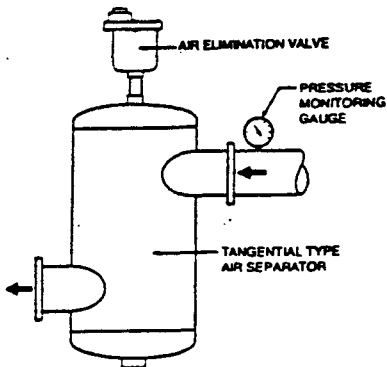
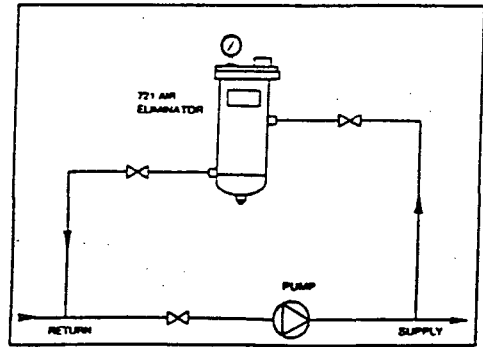


그림 15. 공기 분리기와 공기제거 밸브

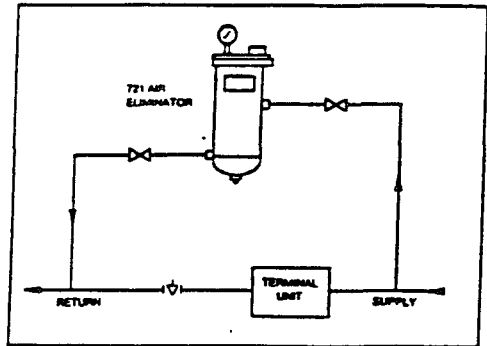
3) AIR SEPARATOR/ ELIMINATOR

BY-PASS 설치에 의하여 공기를 제거하는

장치로 SEPARATOR 와 ELIMINATOR 가 일체로 되어 있으며 2)의 경우 보다 공기배출 능력은 작으나 소규모 배관시스템에 설치하면 효과적이다.



Circulating Pump By-Pass Installation



Terminal Unit By-Pass Installation

그림 16. AIR SEPARATOR/ ELIMINATOR 의 응용

4) AIR PURGER+AIR VENT SYSTEM

AIR SEPARATOR 를 설치할 공간이 없을 때 설치하는 것으로 배관중에 설치하기가 간편하고 값이 싸나 공기 배출량은 AIR SEPARATOR

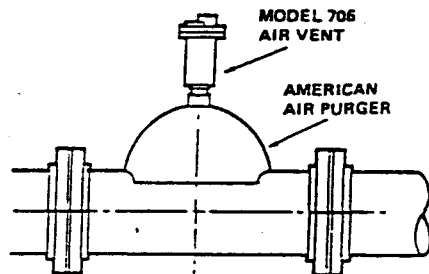


그림 17. AIR PURGER와 VENT 의 이용

에 비해 작다.

AIR ELIMINATION 시스템 (그림 18 참조)을 채용하는 배관계통의 장점은 다음과 같다.

- ① 배관의 부식이 현저히 줄어든다. 산화 부식은 완전히 없어진다.
- ② 공기로 인한 순환장애 현상이 없어진다.
- ③ 에어포켓이 예상되는 배관의 굴곡부등에 AIR VENT 처리를 하지 않아도 된다.
- ④ 펌프용량은 감소시켜 변유량으로 하여도 적절한 유량분배가 이루어지므로 펌프동력을 대폭 절감할 수 있다.
- ⑤ AIR VENT, 팽창탱크의 불탑 등 유지보수상 번거로운 일이 대폭 줄어들게 되므로 관리인건비가 절약된다.

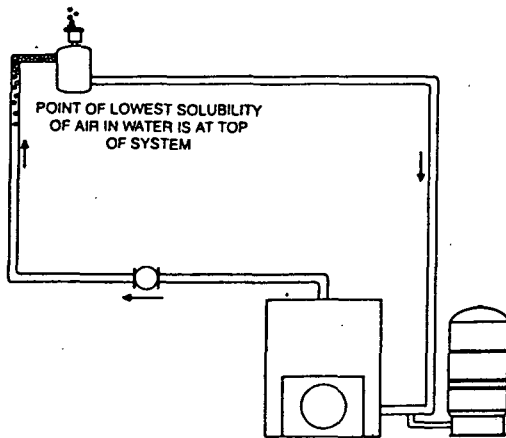


그림 18. AIR ELIMINATION SYSTEM

⑥ 배관시스템을 적절한 수준으로 가압할 수 있으므로 필요한 온도의 난방수를 쉽게 얻을 수 있고 공기 빼기의 확실한 기능을 보장한다.

## 8. 結 言

위에서 냉온수 배관시스템의 설계에 있어서 고려해야 할 몇가지 사항들을 필자의 소견으로 정리해 보았지만 이것 외에도 중요한 사항들이 아주 많이 있으며, 기술자 各人의 지식과 경험수준에 따라 강조하는 우선 순위도 매우 다를 것으로 생각된다.

예를 들면 T.A.B(시운전 조정) 작업의 중요성이라든지, 정유량 밸브(FCV)의 응용, 펌프의 효율향상, 운전방식의 최적화 시도, CONTROL VALVE의 AUTHORITY 부여, 펌프의 CURVE(Flat 또는 Steep) 특성에 대한 고려 등등이 이러한 범주에 속한다.

이러한 문제에 대해서도 관심을 가진 여러분들과의 토론기회가 있기를 바란다.