

## 냉각탑의 선정방법

냉각탑의 성능저하방지와 에너지절감 및 민원발생방지를 위한 형식, 용량, 배치, 설치의 최적 선정 방안을 제시한다.

소현영

(주)경인기계 냉각탑기술연구소(rd@kyunginct.co.kr)

냉각탑의 부적합한 선정은 에너지의 과도한 낭비를 초래하고 민원과 안전문제도 발생하여 추가적인 비용 부담을 갖게 된다. 최적선정방안은 시스템의 특성과 연관시켜 시스템 전체의 설비비와 운전비를 포함하는 경제성 검토가 주 목적이다. 그러나 민원과 안전에 문제없는 형식, 용량, 배치와 설치 등의 세부적인 사항에 대한 충분한 사전숙지가 필요하며 냉각성능의 보장, 내구성 및 보수점검성은 별도로 검토항목에 포함시켜야 한다.

### 시스템의 선정

냉방시스템에서 수냉식과 공랭식, 냉각탑의 개방식과 밀폐식, 냉동기의 터보와 흡수식, 냉각수 배관과 순환펌프의 통합여부, 운전방식과 자동제어방식 등의 시스템 선정에 있어서 냉각탑은 설비비와 운전비의 한 요소가 된다. 냉각탑의 설비비는 시스템에서 통상 5% 미만의 비중이고 운전비의 비중은 더 적어지나 다음 사항은 시스템 선정 시 중요한 검토요소가 된다.

-냉각수의 순환수량과 입출구 수온을 표준조건에 구애받지 않고 변화시켜 경제성 비교검토를 한다. 에너지 비용의 집계년수에 따라 냉동기, 냉각수 펌프 및 배관, 냉각탑등의 최적 선정 결과가 크게 달라짐을 알 수 있다. 특히, 냉각수 공급온도를 약간 더 낮추었을 때, 냉각탑의 비용증가 보다 훨씬 더 큰 폭의 냉동기, 냉각수 펌프 및 배관의 설비비와 운전비가 절감될 수 있다.

### 냉각탑 형식의 선정

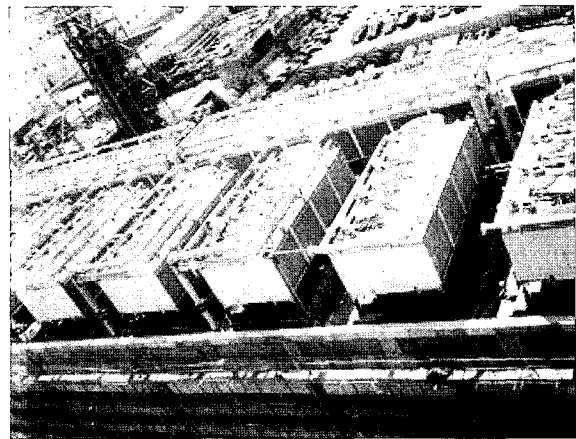
냉각탑은 구분방법에 따라 몇 가지 형식으로 나눌

수 있으며 형식별 특징을 고려하여 시스템에 알맞은 형식을 선정할 수 있다.

### 설치방법에 따른 냉각탑 형식과 특징

- 공장조립형 : 공장에서 조립되어 완제품으로 공급되는 형태
- 현장조립형 : 사용할 장소에서 주요 조립작업을 하는 형태

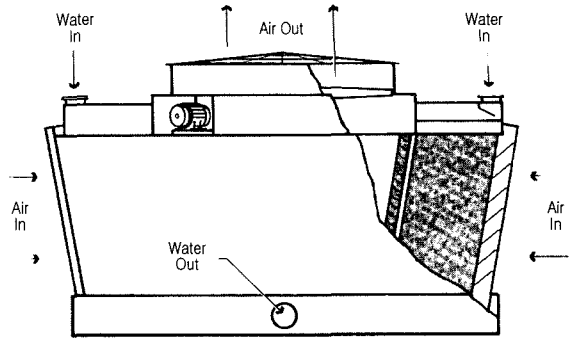
일명 팩케이지형이라고 불리는 공장조립형은 공장에서 완전조립상태 또는 운송수단이 허용하는 제한크기 이내로 분할된 부분조립상태에서 출하되는 형태를 말하며 큰 용량은 셀 단위로 조립하여 현장에서 이어 붙여 설치한다. 제조공장에서 사전 조립검사와 시운전이 가능하므로 안정된 품질과 설치기간의 단축을 기대할 수 있다. (그림 1)



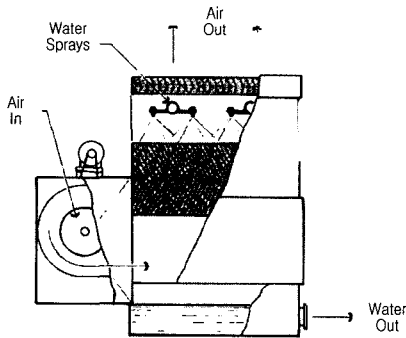
[그림 1] 공장조립형/연결형/직교류형



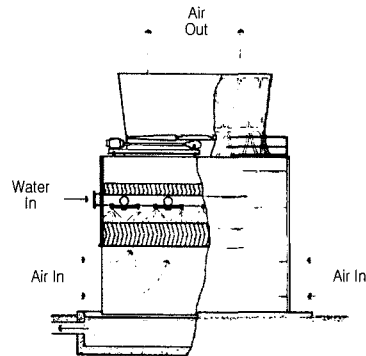
[그림 2] 현장설치형/백연방지형/대향류형



[그림 3] 흡입식/직교류형



[그림 4] 압송식



[그림 5] 대향류형

현장설치형은 대용량 냉동기 또는 산업용에 주로 쓰이며 동력과 재순환이 적고, 보수점검 대상 숫자는 적으나 중정비 수준이 요구되며, 냉각수조를 포함하면 설비비가 1.5배 정도이고 설치기간이 길다. 그림 2는 인천국제공항에 설치된 예를 보여준다.

의한 재순환으로 성능저하가 쉽고 크게 발생한다. 운전동력과 소음 및 겨울철 운전이 불리하나 원심송풍기를 사용하여 높은 정압에서도 운전할 수 있어서 지하설치 용도에 적합하다.

**송풍방식에 따른 냉각탑 형식과 특징**

**공기흐름에 따른 냉각탑 형식과 특징**

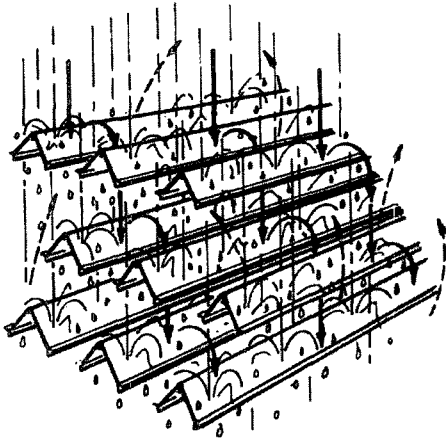
- 흡입식 : 팬이 냉각탑의 공기출구측에 위치해 있는 것
- 압송식 : 팬이 냉각탑의 공기입구측에 위치해 있는 것

- 대향류형 : 충전부에서 공기의 흐름이 수직상방향으로 움직여 냉각수와 마주 교차하며 열교환되는 형태
- 직교류형 : 충전부에서 공기의 흐름이 수평방향으로 움직여 냉각수와 직각으로 교차하며 열교환되는 형태
- 조합형 : 대향류형과 직교류형이 동일 냉각탑에 조합된 형태

흡입식 그림 3은 광범위한 용도로 소용량에서 대용량까지 널리 사용되고 있다. 공기흡입속도가 3~4 m/sec 정도이며 출구속도는 3~4배 빨라서 재순환에 의한 성능저하가 적고 쉽게 계량화가 가능하다.

대향류형 그림 5는 소용량의 경우, 직교류형보다 냉각수 분사압력과 공기압 손실이 더 커지므로 냉각수 순환펌프와 팬의 동력이 크게 되나 대용량의 경우에

압송식 그림 4는 냉각탑에 공기를 불어넣는 방식으로 공기흡입속도가 빠르고 출구속도가 느려 바람에



[그림 6] 비말형 충전재

는 저압의 중력식 물분배 방식을 사용하고 충분한 공간확보가 가능하여 직교류형과 비슷하다. 설치면적과 시설비용에 있어서는 대향류형이 유리하고 보수점검성과 유지관리비용은 직교류형이 유리하다. 대향류형의 발생소음은 낙하수음이 포함되어 3dBA정도 높게 나타난다.

### 충전재 종류에 따른 냉각탑 형식과 특징

- 필름형 : 표면적을 넓힌 수직형태의 충전재를 사용해서 냉각수가 그 표면에 얇은 막을 형성하며 흘러내리도록 한 것
- 비말(飛沫)형 : 충전재를 평행되게 상하로 교차시키는 방법 등으로, 물이 표면을 적시며 반복적으로 방해받아 낙하하면서 작은 물방울로 흩뿌려지게 하는 형식의 것(그림 6).
- 무필(無fill)형 : 별도의 충전재를 삽입하지 않는 형식.

필름형 충전재는 열교환 효율이 뛰어난 반면 스케일이나 슬라임에 의해 막힐 수 있으므로 냉각수 수질관리가 필요하다. KS M 0077 냉동·공조용 냉각수 수질기준에 규정된 수질유지는 필름형을 사용하는데 전혀 문제가 없다.

비말형 충전재는 주변환경의 문제 등으로 냉각수 오염이 심한 경우에 사용할 수 있으나 열교환 효율이 필름형의 1/4정도에 불과하다. 무필형은 폐수의 냉각 등 슬러지가 과대한 경우 사용된다.

### 모양에 따른 냉각탑 형식과 특징

- 사각형 : 평면상 탑의 형체가 사각인 것
- 원형 : 평면상 탑의 형체가 둥글거나 8각형 이상의 다면체 형태
- 연결형 : 셀을 계속 이어 붙여 갈 수 있는 형태(그림 1,2)

냉각탑 몸체가 원통형을 이루면 바람으로 인한 재순환 영향을 작게 받는다. 반면, 사각형은 바람에 방해정도가 크므로 후면쪽에 압력이 낮은 후류가 형성되어 토출공기의 재순환이 더 많다. 그러나 국내에서 사용되는 FRP제의 원형은 비산방지판이 간이 형식이며 공기흡입구에 바람막이(wind baffle)를 설치하지 않아서 비산이 과다한 경향이 있다. 또한, 건축물과의 조화성이 떨어지고 스카이라인이 좋지 않아 펜스설치 등 추가 건축비용을 유발시킬 수 있다.

대용량의 경우에 냉각탑을 이어 붙여 설치하는 연결형으로 설계하게 되며 여름철 주된 바람의 방향과 냉각탑 연결길이 방향을 일치시키는 것이 재순환 방식에 유리하다.

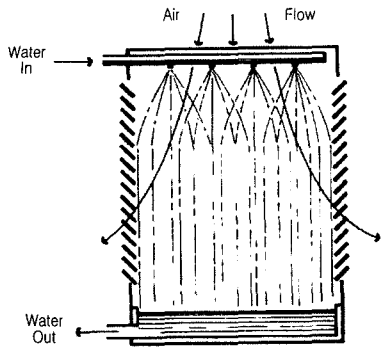
### 열전달 방법에 따른 냉각탑 형식과 특징

- 개방형 : 냉각수와 공기가 직접 접촉하며 냉각수의 증발이 수반되어 열교환하는 형태
- 밀폐형 : 냉각수와 공기가 간접 접촉하여 열교환하는 형태
- 드라이쿨러(dry cooler) : 증발이 없는 감열냉각 형태

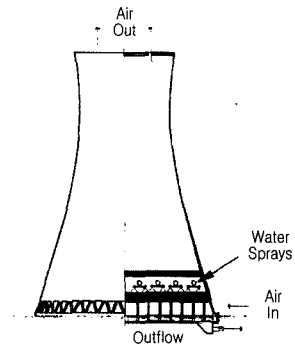
일반적인 냉각탑은 충전재를 사용하는 개방형이며 증발잠열을 이용하기 때문에 습구온도의 영향을 받아 대기의 건구온도보다 낮은 냉각수온을 얻을 수 있다. 개방형은 대기중의 오염물질이 냉각수를 오염시켜 냉동기 콘덴서 등에 부식과 스케일의 문제를 일으킨다.

밀폐형은 냉각수가 폐쇄회로를 순환하므로 수질오염을 방지할 수 있으나 열교환 코일 외부에 별도의 물을 살포하여 증발잠열을 이용하는 형식이므로 금액이 비싸진다. 밀폐형은 콘덴서 등 장비수명의 연장과 겨울철 결빙문제가 적은 장점을 가지고 있다.

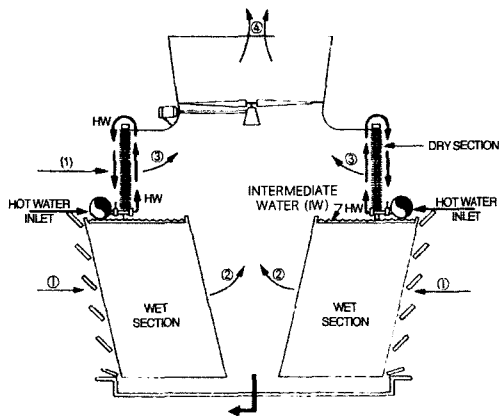
개방형은 냉각수 자체가 증발하고 밀폐형은 살포수가 증발하므로 수질관리와 보급수가 필요해진다. 반



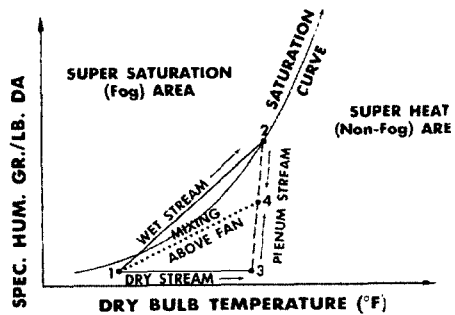
[그림 7] 대기압식



[그림 8] 자연통풍식



[그림 9] 백연방지냉각탑



면에 드라이쿨러는 감열만을 이용하기 때문에 물의 소모가 전혀 없으나 냉각수온이 높아지고 시스템 비용과 운전비용이 6배 정도 커지게 된다.

### 소음에 따른 냉각탑 형식 구분과 기타 형식

- 일반형 : 저소음 기준치 이상의 것
- 저소음형 : 저소음 기준치 미만의 것
- 초저소음형 : 초저소음 기준치 이하의 것

소음기준은 한국설비기술협회 단체규격 KARSE B-003에 의하며 일본냉각탑협회(JCI) 규격과 동일하다.

- 대기압식 냉각탑 (atmospheric tower) : 냉각탑 초기형태는 연못이나 분수형태에서 그림 7과 같

은 대기압식 형태로 발전하였으나 넓은 면적이 필요하고 비산손실이 크며 바람에 의한 성능변화가 심하여 기계식 강제통풍형으로 전환하였다. 현재도 원자력발전소 등에서 팬 동력이 없이 안정적으로 냉각수온을 유지할 수 있는 대용량 자연통풍식 (natural draft tower)을 널리 사용한다(그림 8).

- 백연방지 냉각탑 (plume abatement tower) : 고온다습한 냉각탑 토출공기가 대기와 부딪히면서 냉각될 때, 포화수증기가 응축되어 가시화하며 이 백연이 환경오염과 민원의 대상이 될 수 있다. 백연을 감소시키기 위하여 그림 2, 그림 9와 같이 토출공기를 입구냉각수온에 의해 가열시키는 장치를 설치한다. 가열장치로 핀튜브 코일방식을 사용해 왔으나 최근에는 충전재만으로 구성되어 비용이 저렴한 방식이 개발되었다.



### 냉각탑의 능력 선정

냉각탑의 능력을 선정하기 위한 최소필요 사양항목 (설계조건)은 다음과 같다.

- 순환수량 kg/h(L)
- 입구 수온(HWT)
- 출구 수온(CWT)
- 입구공기 습구온도(WBT)

냉각탑의 능력선정은 제조사의 선정표 또는 프로 그램에 의하나 필요 사양치는 설비설계자의 책임사항 이 되므로 특히, 입구공기 습구온도의 선정은 충분히 검토해야 한다. 냉각탑 능력은 표준냉각톤으로 표시 하고 영문단위 표기는 CRT로 하며 표준설계조건(냉 각수 입구온도 37℃, 냉각수 출구온도 32℃, 입구공 기 습구온도 27℃)에서 순환냉각수 유량이 0.78m<sup>3</sup>/h 일 때, 냉각탑 능력을 1톤으로 한다. 표준냉각톤을 냉 동기 능력 RT와 혼동하거나 냉각열량으로 나누어 산 정하지 않도록 주의해야 한다.

### 냉각탑의 입구공기 습구온도의 선정

냉각탑 설계조건인 입구공기 습구온도는 국내에서 통상적으로 27℃를 선정하기도 하나 상당한 주의를 요하며 시스템과 현장의 여건에 맞는 설계조건을 설 비설계자의 책임으로 결정해야하며 다음사항을 모두 고려해야 한다.

- 주변공기 설계습구온도 : 연간 0.4%의 시간 (35hr)이 상회하는 지점을 추천하며 미국냉동공 조협회 핸드북 기준으로 다음과 같다. (℃)

서울 26.5	인천 25.2
대전 25.9	울산 26.4
대구 26.3	제주 27.5
광주 26.4	강릉 25.3

- 재순환에 의한 상승온도 : 냉각탑에서 토출되는 공기는 34℃ 이상이며 거의 포화된 상태이므로 재순환하는 경우, 냉각탑 입구공기 습구온도가 상 승하게 된다. 재순환율은 바람과 토출공기의 속 도비, 냉각탑 형태에 따라 달라지며 저기압 상태 와 도심의 와류현상 시 더 크다고 볼 수 있다. 또 한, 냉각탑의 공기토출구 보다 더 높은 주변 장에

물은 바람의 속도에 비례하여 상당한 재순환을 가 져오므로 주의해야 한다. 표준적인 상태에서 재 순환에 의한 습구온도의 상승은 풍속이 초속 4m 의 경우로 산정할 수 있다.

풍속(m/s)	재순환율(%)	상승온도(℃)
2	1.8	0.14
3	2.5	0.19
4	2.9	0.22
5	3.2	0.24

- 간섭에 의한 상승온도 : 간섭은 주변의 다른 냉각 탑에서 토출된 공기가 흡입되는 것을 말하며 탑간 거리와 풍향 및 저기압과 밀접한 연관이 있다. 동일 장소에 대용량의 냉각탑이 설치되는 경우에도 발생하며 개방된 장소에서 용량별 보정온도는 다음과 같다.

냉각탑 용량(CRT)	상승온도(℃)
10,000	0.1
40,000	0.2
90,000	0.3

- 기타 열원에 의한 상승온도 : 냉각탑 흡입공기에 영향을 주는 배기나 장비 등의 열기가 있는 경우
- 입구공기의 유동제한 영향 : 냉각탑 설치환경에 따라 냉각탑의 입구공기에 저항이 있는 경우 공기 량의 감소를 보완해야 한다.
- 최근 환경변화추세와 지역별 특성에 따른 영향 : 주변공기 설계습구온도의 기준은 오래된 과거년도의 데이터이므로 최근의 지구온난화 추세가 급격 한 것에 대한 고려가 필요하다. 또한, 지역별 주변 에 따른 영향도 무시할 수 없으며 기준 온도 데이 터는 복사열을 받지 않는 곳에서 얻은 것이므로 건 물 옥상에 냉각탑이 설치될 경우 자체 건물과 주변 건축물의 복사열에 의한 온도상승도 간과할 수 없 다. 이러한 영향의 평가는 쉽지 않으나 경험상 도 시에서는 0.2~0.5℃의 온도상승이 예상된다.

### 냉각탑의 배치방법

냉각탑의 냉각매체는 공기나 대기이므로 배치는 가 능한 넓게 할수록 재순환과 간섭, 바람의 속도와 방향

등에 따른 잠재적 성능저하를 최소화 할 수 있다. 그러나, 실제적으로는 배치면적이 협소할 뿐 아니라 여유가 있는 경우라도 주차장 등 다른 용도로 활용할 면적을 넓히기 위해 가능한 좁혀서 배치되는 실정이다. 또한, 미관적인 고려에서 위치가 결정되고 장애물이 설치되는 경향이 있으나 성능저하를 최소로 하는 간격배치와 주위장애물의 영향을 알고 배치를 검토하여야 한다.

- 장애물과의 이격거리 : 장애물은 주변의 높은 건물, 옥상의 난간 그리고 냉각탑을 가릴 목적의 팬스 등이다. 장애물의 높이가 냉각탑보다 높을 경우에는 항상 심각한 재순환이 일어날 수 있으며 2면 이상일 경우 치명적인 성능저하로 나타난다. 장애물과 냉각탑 흡입구와의 이격거리는 냉각탑 높이만큼을 추천한다. 직교류형에서는 공기흡입구 높이로 완화할 수 있다. 협소한 배치현장의 경우 장애물에 루바를 가능한 설치하도록 한다.
- 냉각탑간의 거리 : 바람에 의한 간섭영향을 줄이도록 배치되어야 한다. 저항 및 후류가 없는 횡방향 배치간격은 냉각탑 길이 만큼을 추천하고 있다. 흡입구가 마주 놓일 경우에는 냉각탑 높이의 2배 만큼, 직교류형에서는 공기흡입구 높이의 2배로 완화시킨다.
- 공기유동제한 : 배치간격의 최소치 개념은 공기 저항을 더 일으키지 않도록 공기흡입구 정미면적만큼의 공기 유동의 자유면적을 확보하는 것이다. 냉각탑 하부에 골조를 세워 배관 공간 및 공기 유도의 면적으로 사용하면 성능저하를 줄일 수 있다.
- 바람방향과 기타 : 적은 면적의 냉각탑면이 마주치게 하는 것이 좋다. 배관 및 자동제어방식에 따라서도 배치방법이 달리 고려되어야 한다.

주변여건에 따라 장애물이 많거나 높은 경우 혹은 협소한 경우에는 설계 입구공기 습구온도를 높여서 보상해야한다.

### 냉각탑의 위치선정과 설치방법

냉각탑의 성능유지를 위한 배치방법을 고려하는 것 이외에도 냉각탑의 위치선정이 잘못되면 환경오염원이 될 수 있으므로 주의를 요한다.

소음은 냉각탑 민원문제로 빈번히 발생한다. 충분한

사전 검토가 없이 설치를 한 다음 방음대책을 세울 경우 엄청난 비용을 감수해야 한다. 거리감쇠로 민원대상과 멀리 떨어지게 설치하는 것이 우선이고 밀집지역에서는 초저소음형의 선정으로 소음원을 줄이는 것이 경제적이다. 팬 구동부와 냉각수의 소음대책은 사전계획이 가장 중요하다. 차후의 방음시설은 어떠한 경우라도 성능을 저하시키거나 막대한 비용부담을 안게 된다. 목표지점에서의 소음예측은 소음원, 거리, 반사벽, 장벽, 대기상태 및 방향성에 따라 이론식과 다소의 차이를 가지므로 주의를 요한다.

소음문제가 예상되는 설치위치는 백연문제도 함께 발생한다고 생각되어지므로 백연방지형의 선택여부를 검토한다.

비산은 작은 물방울이 토출공기와 함께 배출되어 낙하됨으로 인근보행자에게 불쾌감을 주지 않도록 냉각탑 위치를 조정해야 하고, 비산이 레이오넬라균의 이동경로이므로 중앙식 공기조화기의 외기취입구로 바람에 의한 이송이 되지 않도록 해야 한다. 특히, 병원에서는 공조기의 멸균장치로만 이에 대비하는 경우가 많은데 저항력이 약한 환자에게 비산되지 않도록 출입로 및 산책로 등을 고려하고 고층에 설치하거나 병동과는 별도로 설치하여야 마땅하다.

진동은 운전중량에 대한 구조설계시 함께 고려되어야 하며 가능한 다른 공조기와 공진 여부도 살펴야 한다. 기동과 주보에 하중이 전달되도록 설치가 계획되어야 하며 기초 및 슬래브의 강도 확보가 중요하다.

냉동기보다 낮은 위치에 설치하는 경우, 냉각탑 하부수조를 충분히 크게 할 필요가 있다.

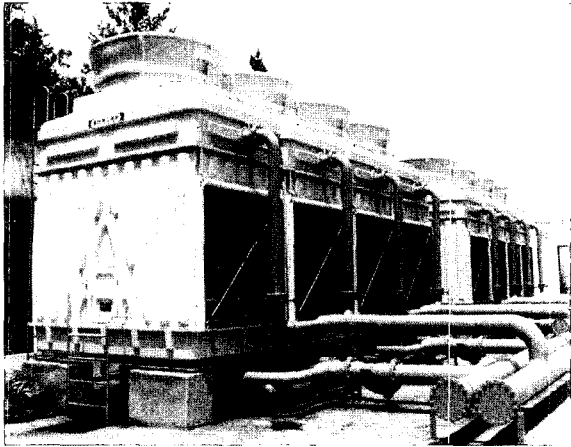
진입로, 양중방법, 통로 및 작업면적이 확보되어야 하며 보수 및 교체시에도 문제가 없는지 확인한다..

지상 설치시에는 나뭇잎 등의 이물질의 유입을 방지하여야 한다

배수, 오버후로우 등을 위해 냉각탑 주변에 배수로가 설치되어야 하며 안전을 위한 접근방지 팬스와 경고문, 소화전 및 소화기의 배치를 추천한다.

### 냉각탑의 배관

냉각탑 하부수조의 운전수위보다 높은 위치에 있는 배관라인을 가능한 줄여야 한다. 특히 수평배관을 줄이지 않으면 냉각수 순환펌프의 시동시 하부수조의



[그림 10] 냉각탑 설치 예

수위가 과도하게 낮아져 공기가 유입되고 펌프 정지 시에는 수위가 과도하게 높아져 냉각수가 넘친다.

다수의 셀로 구성된 냉각탑이 여러대가 설치되어 하나의 배관으로 연결하는 경우에는 역환수배관(reverse return system)을 고려할 수 있으나 통상적으로 대부

분 필요하지 않다. 냉각탑의 하부수조는 수로나 균압관(equalizing pipe)으로 연결시켜야 하며 반드시 수력계산에 의하여 확인하여야 한다. 모든 라인의 수압손실을 계산하되 설계와 달라질 수 있는 현장오차를 충분히 감안하여 수압차이를 상쇄시킬 수 있는 조정밸브를 설치하여야 한다.

냉각수량 분배오차는 최대 10% 이내로 설계하면 적합하다. 조정된 상태에서는 최대 20% 분배오차까지 냉각성능은 거의 영향을 받지 않도록 냉각탑을 설계하는 것이 일반적이므로 냉각수 분배오차에 따른 성능저하는 크지 않다.

냉각탑과 연결되는 모든 배관은 개폐기능을 포함하는 밸브와 플렉시블 조인트를 장착한다. 배관라인의 수축 및 팽창이 영향을 미치지 않는가를 검토하여 필요시 익스펜션 조인트를 설치한다. 또한, 냉각수가 순환하면 운전중량이 변화하고 방진스프링의 처짐이 더해짐으로 배관연결 부분의 응력에 문제가 없는지를 검토하고 배관작업 시 이를 유의하여야 한다. ㉔