

냉각탑 성능 평가 기술

Performance Test of Cooling Tower

소 헌 영
H. Y. So
(주) 경인기계 기술개발부



- 1956년생
- 냉각탑 제조업체에 근무해 왔으며 냉각탑의 개발, 열해석, 환경오염, 컴퓨터이용에 관심을 가지고 있다.

1. 머릿말

냉각탑의 수요는 계속 증가하고 있으며 중요성은 날로 더해가고 있다. 냉각탑의 성능저하로 인한 손실이 실제로 엄청나게 크다는 인식은 증가되고 있는 추세인데 반해 냉동기의 원래성능 발휘를 위한 적정 냉각수온을 얻는 것은 점점 더 어려워지고 있다. 이러한 경향은 일선 현장에서 계속 확인되고 있으며 원인은 설치장소의 제한, 미관위주의 배치등에 주로 기인되나 제조자의 과소설계도 예상할 수 있다.

사용자의 성능에 대한 관심이 높아짐에도 불구하고 실제 냉각탑의 성능을 시험하고 평가하는 것은 쉽지 않다. 왜냐하면, 평가방법의 정확한 이해와 자료가 필요하고 냉각 열매체가 대기이므로 기후에 의존하게 되는 자체의 특성 때문이다. 최초 건설시의 성능평가는 구매자의 당연한 권리와 요구로 제조자가 시행하고 있으나 사용자의 지속적인 성능평가는 냉각탑의 보수관리와 시설확장 등의 기본자료

로 활용해야 하므로 반드시 필요하다.

냉각수와 공기가 직접 접촉하며 강제로 송풍되는 형식의 냉각탑을 기준으로 성능의 시험/평가/인증에 대해 이미 제정된 규정을 살펴보고 기술적 문제점과 배경에 대한 이해를 넓히고자 한다.

2. 평가성능의 이해

산업혁명으로 일찍부터 구매자가 요구하는 항목을 사전에 합의된 방법에 의해 시험하고 평가하는 것을 보편적인 방법으로 삼아온 유럽에서도 독일을 제외하고는 독립적인 성능평가규격을 갖추었다고 말하기는 어렵다. 세계적으로 원용되고 있는 미국냉각탑협회의 규정도 쌍방향합의에 의한다면 문제가 없는 것으로 처리하는 부분을 두고있다.

열적성능평가를 위해서는 하기항목들이 설계조건으로 설정되고 시험되어야 한다.

- ① 냉각수 순환수량(m^3/h)
- ② 냉각수 입구수온($^{\circ}C$)

- ③ 냉각수 출구수온(℃)
- ④ 공기의 습구온도(℃)
- ⑤ 소요 송풍동력(kW)

필요한 열용량을 위해 사용자가 필연적으로 제시하는 항목은 상기의 ① ② ③이 되고 제조자는 ⑤항의 공기송풍동력을 사전에 제시하여 성능보장을 하여야 한다. 시험은 상기항목들을 실측하며 평가는 설계조건대비 시험실측치를 비교계산하여 %를 산출한다. 이 시험성능 %의 의미는 상기 ②~⑤항목의 설계조건에서 감당해낼 수 있는 냉각수 순환수량과 설계조건 ①과의 비율이다.

여기에서 주의를 기울여야하고 문제가 되는 것이 ④번 항목인 공기의 습구온도이다. 이것은 다음의 두가지로 나눌 수 있다.

- ④ 대기의 습구온도(℃)
- ⑥ 냉각탑 입구공기의 습구온도(℃)

④의 대기습구온도는 표준적 측정치로서 다른 열원으로부터 독립되고 냉각탑을 향하는 바람상류의 습구온도를 뜻하는 반면, ⑥의 입구공기습구온도는 냉각탑 토출공기의 일부가 재순환되거나 다른 냉각탑의 토출공기가 혼합되는 간섭현상등의 영향으로 ④의 습구온도보다는 높아져 실제 냉각탑으로 들어가는 공기의 습구온도를 말한다.

냉각탑을 하나의 열교환기로 보아서 ⑥의 습구온도에 대한 설계조건이 설정되고 실제시험치가 측정되어야 한다. 그러나 사용자가 설계조건을 결정할 경우에는 ④의 통계치를 기반으로 여름철 1~5%의 시간이 초과하는 점을 설계조건으로 하고져 한다. 한편, ④와 ⑥의 온도차이는 탑자체의 특성과 바람의 방향 및 속도에 따라 달라질뿐 아니라 주변의 장애물과 기압변화에도 영향을 심하게 받는다.

대부분의 성능평가시험 규정과 인증제도, 그리고 실제의 평가가 ⑥의 입구습구온도로 이루어지고 있기 때문에 냉각탑의 성능평가가 100%를 상회하여도 사용자가 만족한다고 보장할 수는 없다. 제조자의 성능미달품보다는 현장여건의 문제와 이의 간과로 일어나는

문제가 훨씬 심각하며, 실제 서울시내의 빌딩용 냉각탑은 ④와 ⑥의 차이로 빚어지는 성능차이가 무려 30%에 달하는 경우가 상당하며 거의 모든 경우에 이런 현상이 나타나고 있다.

3. 국내의 자료 및 규격

3.1 냉각탑 설계 및 시험기술 기준

1980년에 공업진흥청에 의해 (사)공기조화·냉동공학회의 연구로 공업표준 심의회의 심의를 거쳐 347쪽으로 이루어졌다. 내용은 냉각탑의 열교환 이론, 설계, 시험방법등이며 성능평가를 위한 절차, 조건, 계기, 측정, 평가등이 미국냉각탑협회(CTI)의 규격을 원용하였으며 단위를 변환시키고 측정방법등에 KS 규정을 적용하였으나 특성곡선방법에서 T표시도표를 그대로 사용하고 있다.

3.2 한국공업규격

KS B 6364 강제통풍식 냉각탑 성능시험방법-1983년 제정되었으며, 표준설계조건(37:32/27℃)과 소용량(200,000kcal/h)의 냉각탑에 한정되어 능력/소음/물손실 시험방법과 평가방법을 규정하고 있다.

(1) 시험조건

	설계조건 대 비	허 용 변 동 치	측정회수
순환수량	+10%~20%	±2%	4
입구수온	±2℃	±0.4℃	4
습구온도	10~30℃	±1.0℃	4
최대풍속	5m/sec		
측정시간	30 min		
공 기 량	-		1

(2) 특징 및 문제점

- ① 평가방법은 향류형과 직교류형의 냉각탑 특성계수를 달리보도록 도표를 제공하고

있다.

- ② 적용조건이 너무 제한적이라 활용폭이 넓지 않다.
- ③ 특정의 충전재 특성치를 이용하여 능력산출을 하고 있다.
- ④ 소요송풍동력 대신 공기량을 측정케 함으로서 정확성이 떨어진다.
- ⑤ 출구수온 측정점이 조정되어야 한다.

4. 미국 냉각탑협회 시험규격 (CTI Code ATC-105)

4.1 개요

수(水) 냉각탑의 열적능력을 평가하기 위한 시험계기 및 순서와 성능평가방법을 규정하며, 시험조건/측정 및 계기/평가방법 및 예제등을 자세히 기술하고 있다. 또한 실제 활용적 측면의 제조자/사용자/시험기관과의 시행문제도 기본적으로 서술하고 있다.

4.2 시험조건

깨끗하고 원활한 물과 공기의 흐름이 전제되고 열적변화를 줄수있는 보급수와 배수는 보정되거나 중지시킨다. 설계조건대비 시험운전조건범위/시험기간동안의 변화제한치/시험시간/항목별 측정회수등을 규정한다.

표1 중요조건

	기준또는 설계대비	허용 변동치	시간 당 측정회수	기록단위
순환수량	±10%	5%	3	1 gpm
입구수온		2°F/h	12	0.1°F
출구수온			12	0.1°F
습구온도	±10°F		12	0.1°F
송풍동력	±10%		1	0.1hp
입출수온차	±20%	5%		
열용량		5%		
평균 풍속	10miles/h		6	1 mph
1분간 풍속	15miles/h			
시험시간	1 hour			
급배수량·온도			2	0.1°F/1gpm

4.3 측정 및 계기

측정계기의 인증/정밀도/종류와 측정 개소/위치/방법등을 규정하였다. 모든계기는 협회의 검사와 인증을 거치고 조정되어야 한다.

① 순환수량(급·배수량)측정: 유량측정법은 피토크/오리피스/벤츨리미터/용적법/웨어/노즐/터빈미터 중 어느것이나 무방하고 정밀도는 ±1.25% 이내이어야 한다.

② 입출구 수온 측정: 측정점은 물이 완전한 혼합이 이루어진 곳이라야 하며 0.2°F이하로 단위표시되는 ASME 규격품이어야 한다. 펌프압력에 의한 수온상승은 보정한다.

③ 입구습구온도 측정: 0.2°F이하로 단위표시되는 기계흡출식 습구온도계로 공기입구측 1.2m 이내에서 측정하되 10초 간격으로 3번 읽어 평균치를 기록하고 5분간격으로 계속한다. 충분한 측정점을 갖기위한 공식을 제시한다.

④ 송풍동력 측정: 전동기일 경우 출력을 기준하게 되며 전압과 전류를 측정하고 전동기 제조자가 제시한 효율과 역률에 의해 출력이 계산되어야 한다.

⑤ 풍속 측정: 회전풍속계로 측정하되 탑쪽으로 불어오는 개방된 곳에서 냉각탑 높이에 따라 위치를 달리한다.

4.4 시험결과의 평가

열성능의 능력평가방법은 다음 두가지로 대별된다.

(1) 특성곡선방법(Characteristic Curve Method)

제조사로부터 제출받은 특성곡선을 이용하여 평가하게 되며 미리 출력된 협회의 조건별 그래프를 이용해야 한다. 그래프는 항류형과 직교류형에 관계없이 사용하여도 무방하다. 특성곡선은 설계조건에서의 실험데이터가 되며 냉각탑 특성치(KaV/L)를 수공기비(L/G)로 구할 수 있는 것이다(그림 1). 여기에 시험측정된 조건점과의 평행선과 설계조건과의 교차점으로 얻은 수공기비와 설계치의 비교를 능력

으로 삼는 과정을 거친다(그림 2).

측정 수공기비는 측정순환수량과 그 설계치 비 그리고 측정송풍동력과 그 설계치비의 1/3

승에 의해 계산된다. 조건별 그래프가 없을시 측정점 특성치의 적분계산을 약산할 수 있도록 계산법을 제시한다.

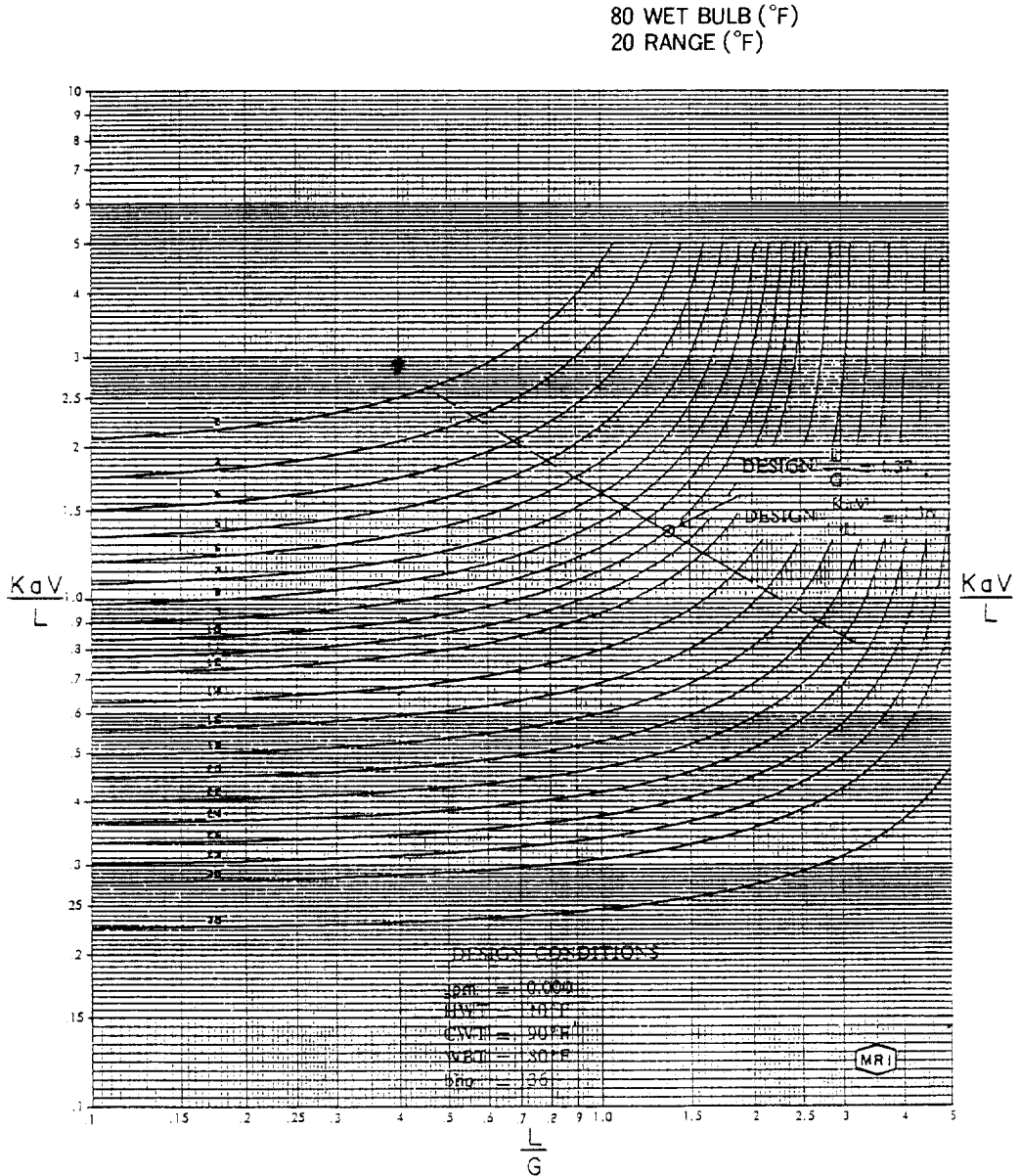


그림 1 냉각탑 특성곡선

80 WET BULB (°F)
20 RANGE (°F)

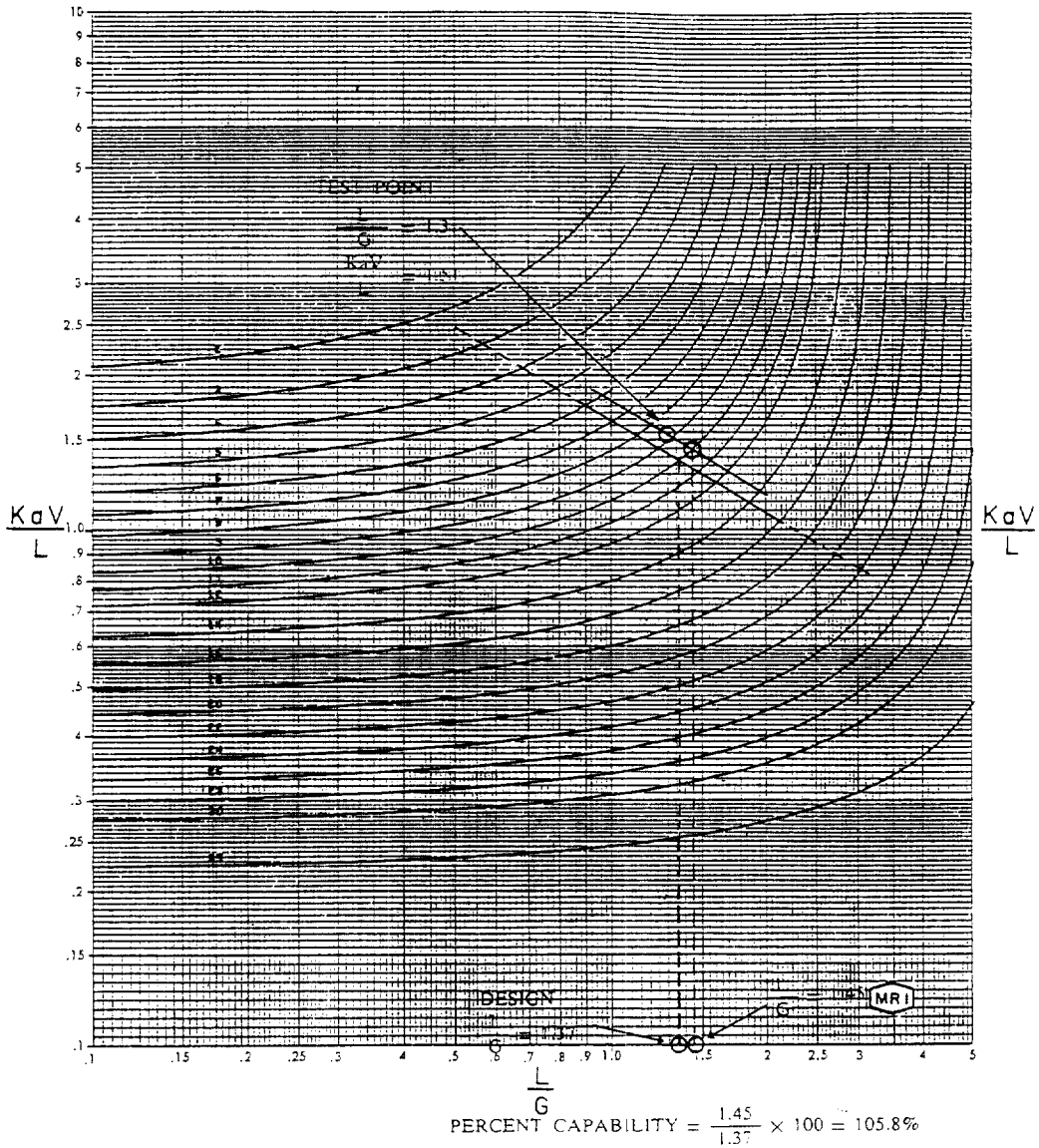


그림 2 특성곡선에 의한 성능평가

(2) 성능 곡선 방법(Performance Curve Method)

제조자는 각각 3개의 곡선으로 이루어진 3장의 성능곡선을 제출한다. 3장은 순환수량이 설계치의 각각 90%, 100%, 110%에 해당하며 3개의 곡선은 각각 입출구수온차가 각각 80%, 100%, 120%일때의 습구온도별 냉각수 출구수온을 나타내게 된다(그림 3). 이들 곡선에서 시험습구온도와 시험입출구수온차를 기준으로 한 출구수온과 예상순환수량과의 관계 그래프를 작성하고 시험출구수온에 의한 예상순환수량을 읽는다. 또한 시험순환수량으로부터 측정

송풍동력과 그 설계비치의 1/3승에 의해 조정 순환수량을 계산하여 예상순환수량과의 비를 성능능력으로 삼는다.

실제의 특성곡선은 로그 그래프상에서도 직선으로 엄밀하게 표시되지 않는다. 두 가지 방법 모두 수작업의 과정으로 성능평가방법을 제시하고 있으나 실제로 제조자는 특성곡선 및 성능곡선의 출력과 정확한 평가계산을 컴퓨터에 의존하고 있다. 또한, 두 가지 방법 모두 제조자의 제출된 자료의 신뢰성에 기반을 두고 있기 때문에 평가에 앞서 그 진실성에 대한 판단능력을 전제로 하게된다.

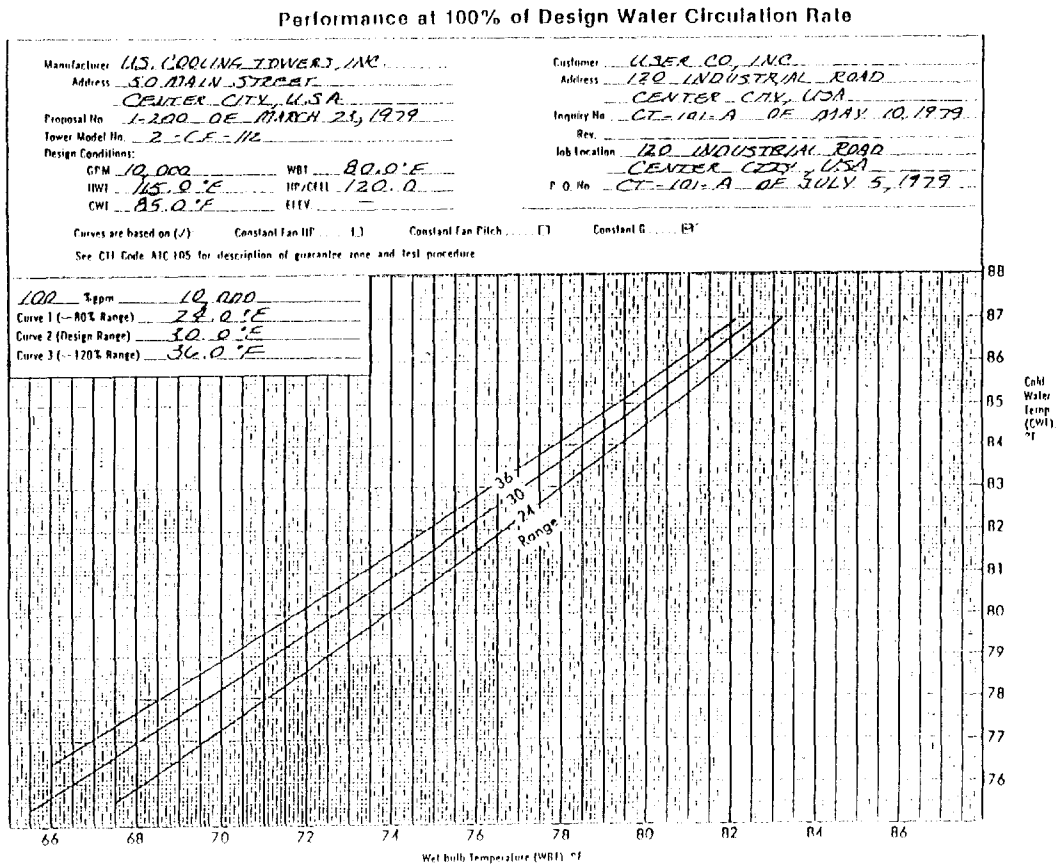


그림 3 냉각탑 성능곡선(100% 순환수량)

5. 미국 냉각탑협회 열성능인증규격 (CTI Standard STD-201)

5.1 개요

이 규격은 제조자에 의해 성능이 표시되고 상품화된 水 냉각탑에 대하여 실시하는 협회의 성능인증제도를 규정하고 있다. 한 시리즈의 전규격모델에 대해 동시에 인증이 이루어지며 제조자의 성능선정방법이 포함된다. 성능평가 시험은 상기 ATC-105의 성능곡선방법에 의하며 시험오차는 ±5%로 성능이 95% 미만이면 재시험의뢰 하거나 또는 시험성능으로서 제조자의 규격을 바꿀 수 있다. 성능시험과 병행하여 제조자가 제출한 기술사양에 대한 현품확인 과정을 거치며 한 시리즈가 여러모델일 경우 협회에서 임의선정 할 수 있다. 대리기관에서 성능시험을 할 수 있으며 매년 협회에서 지정하는 모델에 대해 재 검증시험을 마쳐야 인증의 연속성을 유지할 수 있다. 인증된 제품을 구입한 사용자는 성능에 대한 이의제기를 협회에 할 수 있으며 현품에 대해 직접 성능시험을 실시하는 절차를 기술하고 있다. 이러한 인증성능의 중요한 전제조건 하나가 습구온도를 냉각탑 입구의 것을 기준하고 오염되지 않은 순환수의 주변의 장애가 전혀없는 공기흐름 및 재순환상태를 조건으로 하는것이다.

5.2 인증시험 운전조건범위

표2 운전 조건 범위

	최 소	최 대
습 구 온 도	60°F (15.5°C)	85°F (29.5°C)
입 구 수 온		125°F (52°C)
입출구수온차	4°F (2.2°C)	
approach	5°F (2.8°C)	
순 환 수 량	60%	140%
송 풍 동 력	90%	110%
대 기 압, 기 준	-1" Hg (-25mmHg)	+1" Hg (25mmHg)

* approach = 출구수온 - 습구온도

6. 맺음말

냉각탑의 성능평가는 시험측정후 제조자의 제출자료에 의하고 다소 번잡한 평가과정을 거쳐야하는 점이 특징적이다. 또한, 이렇게 평가된 성능이 실제의 사용자가 반드시 얻을 수 있는것이 아님을 이해하고 냉각탑의 형식, 배치 방법, 주변환경에 따른 성능저하를 계획단계에서 풍동시험이나 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 사전에 반영해야 한다(그림 4,5).

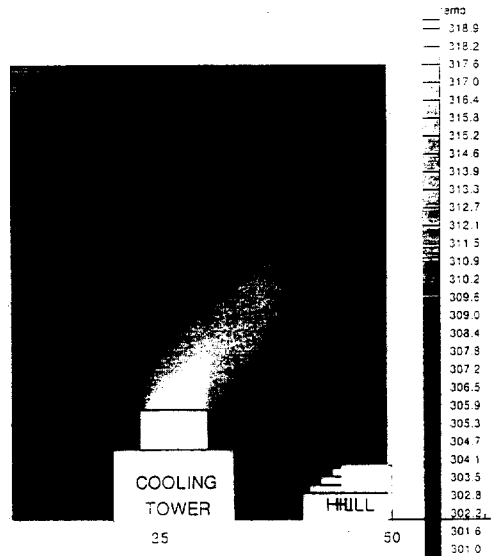


그림 4 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 냉각탑 재순환 예측

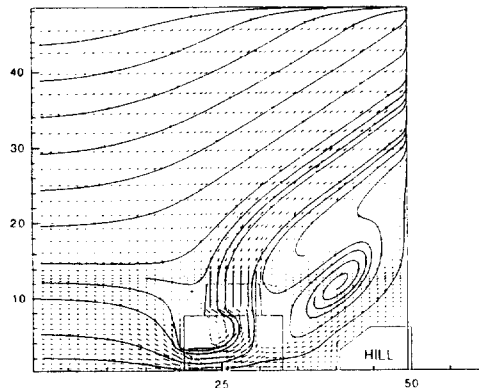


그림 5 냉각탑 공기흐름의 컴퓨터 시뮬레이션

현재 국내의 몇몇 냉각탑 제조자에 의해 미국냉각탑규정에 따라 성능평가시험이 훌륭히 치러지고 있지만 널리 보편화 되어있다고 말할 수 없다. 국내에 맞는 규정의 제정이 시급하나 단위환산에 따른 단순변환의 시도마저 특성상 장시간의 노력이 필요하며 학계의 참여와 검증이 필요할 것으로 예상된다.

냉각탑의 중요성과 시장규모가 커지고 있는 추세에 맞춰 학술적인 연구에 필요한 전문인력의 배양과 참여 및 관심이 학계측에 요망된다.

참 고 문 헌

1. CTI Code ATC-105 : Acceptance Test Code for Water-Cooling Tower
2. CTI Standard STD-201 : Standard for the Certification of Water-Cooling Tower Thermal Performance
3. CTI Bulletin PFM-116 Recirculation
4. Cooling Tower Fundamentals, Marley
5. CTI Journal 1990 Winter
6. 냉각탑 설계 및 시험기술기준 KSCP-B-1027
공업진흥청
7. 한국공업규격 KS B 6364 : 강제 통풍식 냉각탑 성능시험 방법
8. 월간 냉동공조기술 1993. 6,7,8,9월호