

건습식 일체형 백연방지 냉각탑

소현영 / (주)경인기계 심무

1. 신제품·신기술 요약

1.1 기술개발목표

냉각탑에 적용되는 백연방지 기술 중 기존 습/건식 냉각탑의 여러 문제점을 해소하여 백연을 효과적으로 제거할 수 있는 건습식 일체형 백연방지 냉각탑의 설계 기술 확보와 제품의 개발에 있다.

1.2 기술개발의 목적 및 중요성

일반 냉각탑은 대기의 습도가 높을 경우 백연이 발생하며, 레지오넬라균의 확산 및 잠재적 손실을 갖고 있다. 이러한 이유로 백연방지형 냉각탑의 수요가 급증하고 있으나 기존의 백연방지형 냉각탑은 제작비가 비싸고, 부식에 약하였다. 이러한 단점을 해소하고 저렴한 백연방지 냉각탑을 개발했다.

1.3 기술개발의 내용 및 범위

백연방지를 위한 가열 코일(Finned tube bundle)을 사용하지 않는 새로운 방식의 습/건식 냉각탑의 제품과 설계를 위한 소프트웨어를 개발했다.

1.4 기술개발 결과

기술개발혁신사업명 “NWD 냉각탑”으로 개발한 결과, 수 차례의 시험 및 생산/판매를 통하여 원가 절감, 백연의 효과가 입증되어지고 있으며, 특히 출

원(출원번호 10-1999-0040011)과 과학기술부에서 KT(국산신기술인정 0803호) 마크를 획득하였다.

1.5 기대효과

환경오염 문제가 대두되어 주로 사용되던 기존 백연방지 냉각탑의 여러 문제점을 개선하였으므로 많은 수요의 효과를 기대 할 수 있다.

2. 기술 개발 목표

본 연구에서는 백연 방지 기술 중 기존의 습/건식 냉각탑의 여러 문제점들을 해소하면서 백연을 효과적으로 제거할 수 있는 NWD 냉각탑 설계 기술과 제품을 개발하는 것이 목표이다. 이 NWD 냉각탑은 냉각탑 내의 공간을 효율적으로 이용하고자 하는 측면에서 개발된 것으로 최대 냉방 부하가 걸리는 여름철에 비해 겨울철에는 냉방 부하가 적기 때문에 훨씬 적은 전열 면적으로도 원하는 열적 효과를 얻을 수 있게 된다. 따라서 여름철 기준으로 설계된 냉각탑 내의 여유 공간을 백연 방지를 위한 공기 가열부(dry heating section)로 활용, 백연의 생성을 방지하게끔 하는 것이다. 이를 위해 NWD 냉각탑은 기존의 습/건식 냉각탑과는 달리 그림 2에서 보는 바와 같이 finned tube bundle로 이루어진 건식 열

교환부를 따로 설치하는 것이 아니라 습식 열교환부인 fill 영역에 습식과 건식이 결합된 fill(그림 1)을 사용하는 것이다. 이 중 습식 fill 부분으로는 항상 냉각수가 통과되도록 하고 반면에 습/건식 fill 부분으로는 백연 방지 조건으로 냉각탑이 운전될 때에 외기만 통과하고 냉각수는 공급되지 않도록 하여 이 부분이 공기 가열부로서의 역할을 수행하게 된다. 이로 인해 물과 공기의 2차원 직교류 이상 유동(two phase flow)을 해석 해야만 하고 습식 열교환부 내에서 냉각수가 fill 표면에 수막을 형성하는 유동의 불균일성이 고려되어야 하는 해석상의 어려움이 있지만 설계에 큰 영향을 미치는 몇 가지 중요한 parameter들에 대해 parametric study를 통해 각각의 설계 조건에 맞는 최적 설계가 프로그램 개발로 가능할 것이다.

3. 기술개발의 목적 및 중요성

기계류와 산업의 발전은 인류에게 쾌적함과 풍요로움을 주지만 그러한 산업공정이 효율적으로 운전

되기 위하여 발생하는 열은 지속적으로 제거해 주어야 한다. 이러한 산업용 냉각기기나 건물의 냉방에서 필요한 열의 배출은 냉각수에 의해 열 교환되어 최종적으로는 대기로 방출된다. 이러한 냉각수는 세계적인 물의 고갈 추세에 따라 재 냉각 순환시켜 재사용 시키는 냉각탑이 석유화학, 제철, 식품제조, 냉동, 공기조화 등 광범위한 산업 분야에서 사용되고 있다

1980년대에 들어오면서 기존의 냉각탑에서 발생되는 환경 문제들, 즉 소음 및 진동, 방출 용수 오염, 비산, 백연 문제에 대해 사회적 인식의 변화와 관련 법규의 강화로 인해 이들을 해소하기 위한 연구가 국내외적으로 활발하게 진행중이다. 이중에서 특히 공항이나 도로 근처 또는 주택 밀집 지역에 설치된 냉각탑의 경우 시각적 공해원인 백연에 대한 고려가 설계에 반드시 반영되어야 하며 최근까지 백연을 감소 내지는 방지하기 위한 다양한 방법들이 제시되어져 왔다. 그 중에서 실체적으로 많이 쓰이고 있는 방식이 습/건식 냉각탑(wet/dry type cooling tower)인데 본 개발사업에서는 기존의 전통적인 습/건식 냉각탑(conventional wet/dry type

그림1. Schematic diagram of NWD tower.

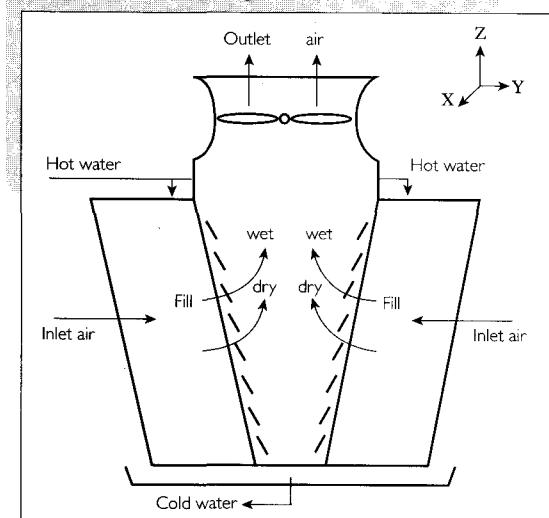
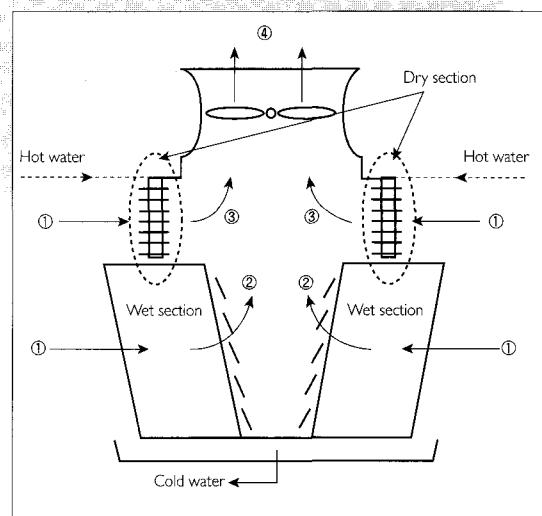


그림2 Schematic diagram of conventional wet/dry tower



cooling tower)보다 비용과 성능면에서 더 우수한 새로운 습/건식 냉각탑(novel wet/dry type cooling tower : NWD)의 냉각탑을 개발하였다.

4. 기술개발의 내용 및 범위

4.1 제품의 개발 내용 및 범위

1) 뛰어난 백연 제거 성능

기존의 습/건식 냉각탑에서는 외기가 방출되는데 소요되는 짧은 시간(대략 1초 내외)안에 건식 열교환부와 습식 열교환부를 통과한 외기가 냉각탑 plenum 부분에서 충분히 혼합되지 못하여 불균일 상태인 채로 냉각탑 외부로 방출되는 문제가 있다. 이렇게 되면 백연 방지 조건으로 냉각탑이 운전되고 있음에도 불구하고 뚜렷하게 백연이 생성되게 된다. 하지만 NWD 냉각탑은 습식 fill을 통과한 외기와 습/건식 fill을 통과한 외기가 fill 출구 부분에서 바로 혼합이 되고 별집 모양으로 구성된 drift eliminator를 통과하면서 거의 균일한 상태로 혼합이 된 후 냉각탑 외부로 방출되어 백연의 가시도가 무시할 정도로 낮게 된다.

2) 운전 조건 변동에 따른 조작의 간단

기존의 습/건식 냉각탑에서는 보통의 습식 냉각탑 운전 조건과 백연 방지 운전 조건사이의 전환방법으로 마땅한 것이 없는 반면 NWD 냉각탑은 두 운전 조건사이의 전환이 단지 냉각수 공급 배관밸브를 습/건식 fill로는 냉각수가 유입되지 않도록 개폐만 하면 되므로 아주 간단하다.

3) 냉각탑의 소형화

NWD 냉각탑에는 finned tube bundle로 구성된 건식 열교환부를 따로 설치할 필요가 없으므로 기존의 습/건식 냉각탑보다 냉각탑의 높이 또는 폭이

줄어들게 되어 냉각탑의 소형화가 가능하다.

4) 비용의 감소

건식 열교환부를 설치하지 않음으로 해서 그 만큼의 설치 비용과 냉각탑 하중을 줄일 수 있다. 또한 그로 인해 불필요한 여유공간을 두지 않기 때문에 내부 구조가 간단해 지고 유지 및 보수 비용도 보통의 습식 냉각탑과 거의 비슷한 수준까지 낮출 수 있다.

4.2 설계 소프트웨어의 개발 내용 및 범위

본 연구에서는 일차적으로 직교류형 냉각탑을 해석할 수 있는 성능해석 그래프 및 프로그램을 개발하기 위해서 다음과 같이 단계적으로 연구를 수행하였다.

1단계로 직교류형 냉각탑에 대한 냉각탑의 설계 및 성능 해석을 위한 프로그램을 개발하고 Merkel의 방정식을 직교류형에 적용하여 해석하는 방법으로 적분하는 방법에 따라 Zivi 와 Brand 방법, Baker와 Shryock 방법, 수정된 LMED 방법등이 있다. 본 연구에서는 이 방법들을 비교 검토 적용하여 직교류형 냉각탑 demand 곡선을 전산화하여 쉽게 성능 해석을 할 수 있도록 한다. 또한 직교류형의 계산 결과와 대향류형의 계산 결과와 비교 검토한다.

2단계로 국내의 각 지역의 평균 기후 조건에 대해 조사하고 각 조건에 대해 백연 발생 조건을 구하고자 한다. 이 결과는 앞으로 냉각탑업체 및 설계 회사에서 백연 방지 냉각탑 설치 댓수를 산정하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

3단계로 위에서 연구한 내용을 토대로 백연 방지를 위한 가열 코일을 사용하지 않는 새로운 방식의 습/건식 냉각탑(NWD) 설계를 위한 소프트웨어를 개발한다.

5. 기술개발 결과

5.1 제품의 개발

1) 뛰어난 백연 제거 성능

전통적인 WET/DRY 냉각탑 또한 습식 부분에서 빠져 나온 공기는 건식 부분의 더운 공기와 만나 외기에 의해 냉각된 순간에 포화 상태가 아니기 때문에 백연이 방지되는 효과를 가진다. 하지만 이들은 혼합 과정에서 덩어리의 형태로 만나기 때문에 충분히 섞이지 않고 비균일한 습도를 가지고 출구를 빠져나가게 된다. 이는 수 미터까지 백연이 형성되는 원인이 된다. 하지만 NWD 냉각탑에서는 습식 부분과 건식 부분은 수많은 열(列:row)로 구성되어 있다. 습식 부분의 습 공기와 건식부분을 빠져 나온 건 공기는 순식간에 섞이게 된다. 드리프트 엘리미네이터를 통과한 혼합 공기는 벌집 모양의 형태로

수직·수평 방향으로 수많은 난류 유동으로 나누어 지므로, 혼합 공기는 충분히 섞이게 되고 균일한 불포화 상태가 된다. 따라서 출구 부근에서 백연이 거의 발생하지 않는다.

2) 운전 조건 변동에 따른 조작의 간단

DRY 영역부분을 단순히 충진재 상단에 "U"자형 CAP으로 덮어 냉각수의 유입을 막는 방식의 CAP의 단순히 CAP의 개수를 조절하여 서로 상대적인 백연과 성능의 관계를 조절할수 있다.

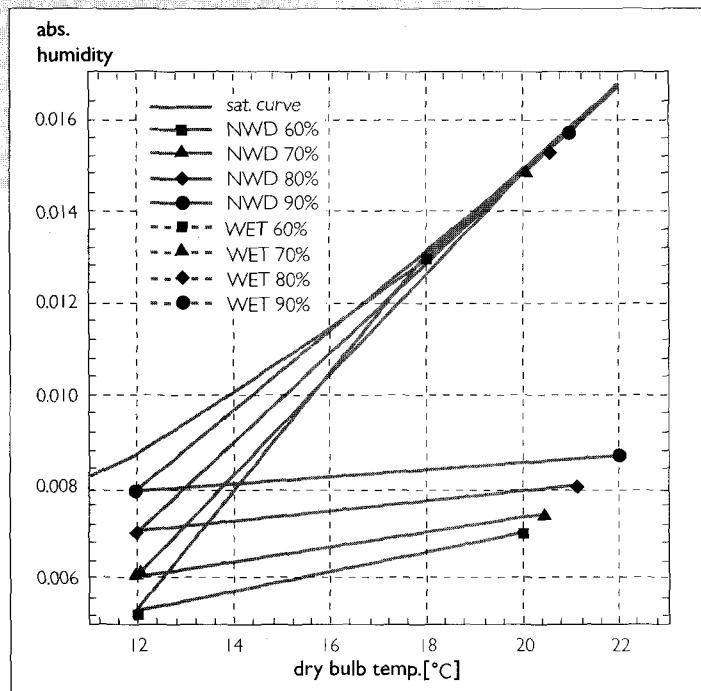
3) 냉각탑의 소형화

가. NON FINNED TUBE TYPE : NWD 냉각탑에는 그림과 같이 finned tube bundle로 구성된 건식 열교환부를 따로 설치할 필요가 없으므로 기존의 습/건식 냉각탑보다 냉각탑의 높이 또는 폭이 줄어들게 되어 냉각탑의 소형화가 가능하다.

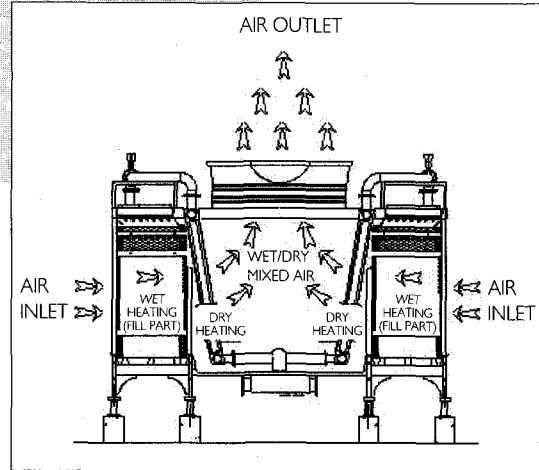
나. 고효율 충진재 : 종래의 충진재는 상부수조에서 SPRAY되는 냉각수가 하부수조로 수직 낙하하도록 설계되어 FAN의 운전시 수직 낙하하던 냉각수가 공기(바람)의 영향으로 ELIMINATOR(공기 유출면)쪽으로 쏠려 LOUVER(공기 유입면)쪽에는 냉각수가 흐르지 못하여 충진재와 냉각수가 접하지 않는 일종의 DEAD AREA가 형성되는 반면에, 고효율 충진재는 판재형상을 흐르는 물의 흐름 방향을 조정하여 FAN의 운전시 낙하되는 냉각수가 편향하지 않도록 설계되어 공기와 물의 접촉 면적을 커지므로 냉각 효율을 높일 수 있다.

다. 충진재의 열교환 등온도선 유추 및 적용 : NWD 냉각탑의 열교환부에는 습식풍로와 건식풍로가 있는데 습식풍로란 공기와 순환수가 직접 접

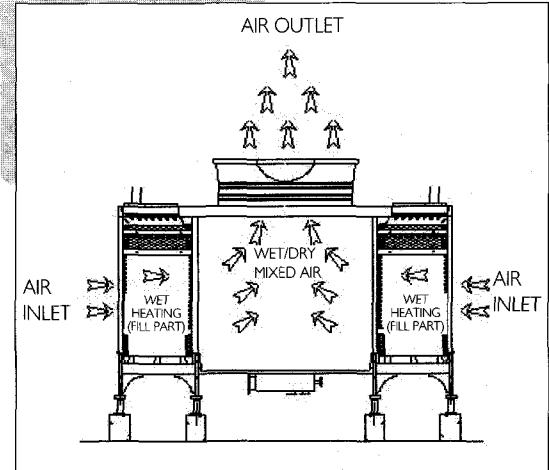
그림 3 상대 습도 변화에 따른 백연 발생 여부



기존 백연방지 냉각탑



NWD 냉각탑



촉하여 현열 또는 잠열에 의해 열교환을 이루어지고 건식풍로에서는 공기와 순환수가 FILL을 사이에 두고 간접 열전달이 이루어 진다. 그러므로 건식풍로가 많을수록 백연의 효과는 증가하나 본연의 냉각성능은 저하될 수밖에 없는 것이 필연적이다. 건식풍로는 백연방지기능에 필수적으로 갖추어야될 조건이지만 건식풍로의 하단 부분 일정 지점부터는 건식풍로로 유입된 공기가 습식풍로에서 냉각된 순환수보다 온도가 높아져 냉각된 순환 수가 다시 가열되는 역전현상이 발생된다. 이러한 바람직하지 않은 역전현상을 없애기 위하여 FILL에 열교환 등온 도선을 유추하여 역전현상이 시작하는 지점을 찾아 건식풍로를 습식풍로로 전환 사용할수 있도록 고안하여 바람직한 열전달현상이 되므로 순환수의 냉각효과와 백연방지 기능을 최대로 증폭 하였다.

5.2 설계 소프트웨어의 개발

1) 직교류형 습식 냉각탑의 1차원적 해석

2) NWD 냉각탑의 해석

먼저 Stoecker법에 의해 습식 충진재 영역에서의

물과 공기간의 직접 접촉에 의한 열전달을 해석하여 물의 출구 온도와 공기의 출구 엔탈피를 구하고 이 값과 건식 충진재 영역의 공기 온도와의 차이에 의한 혼열전달을 고려하여 온도를 수정한다. 각 격자에 대해 이 과정을 계속 반복하면서 모든 격자에서의 오차값, 즉 이전 계산에서의 온도와 새로운 온도와의 차이가 0.001이하가 되도록 한다. 이를 순서도로 나타내면 그림4와 같다.

3) 결론

가. 직교류형 냉각탑의 일차원적인 해석을 세 가지 방법을 적용하여 특성치를 계산하고, 설계곡선을 작성하는 프로그램을 개발하였다.

- Baker법, Stoecker법, Zivi법

나. 습식 냉각탑과 NWD 냉각탑의 성능비는 수치해석 결과와 실험에 의한 성능 값의 오차는 약 1.4%이다.

다. 동일한 건구 온도에서 상대 오차가 증가함에 따라 습식 냉각탑의 경우에는 백연 발생의 가능성이 상당히 증가하고 있는 반면에 NWD 냉각탑은 더욱 더 공기 작동선의 기울기가 낮아져 백연발생이 거의 희박함을 알 수 있다.

5.3 기타

1) 특허출원

(특허청)

가. 권리명 : 특허

나. 발명의 명칭 :

직교류형 백연방지

냉각탑용 충진재 및 냉각방법

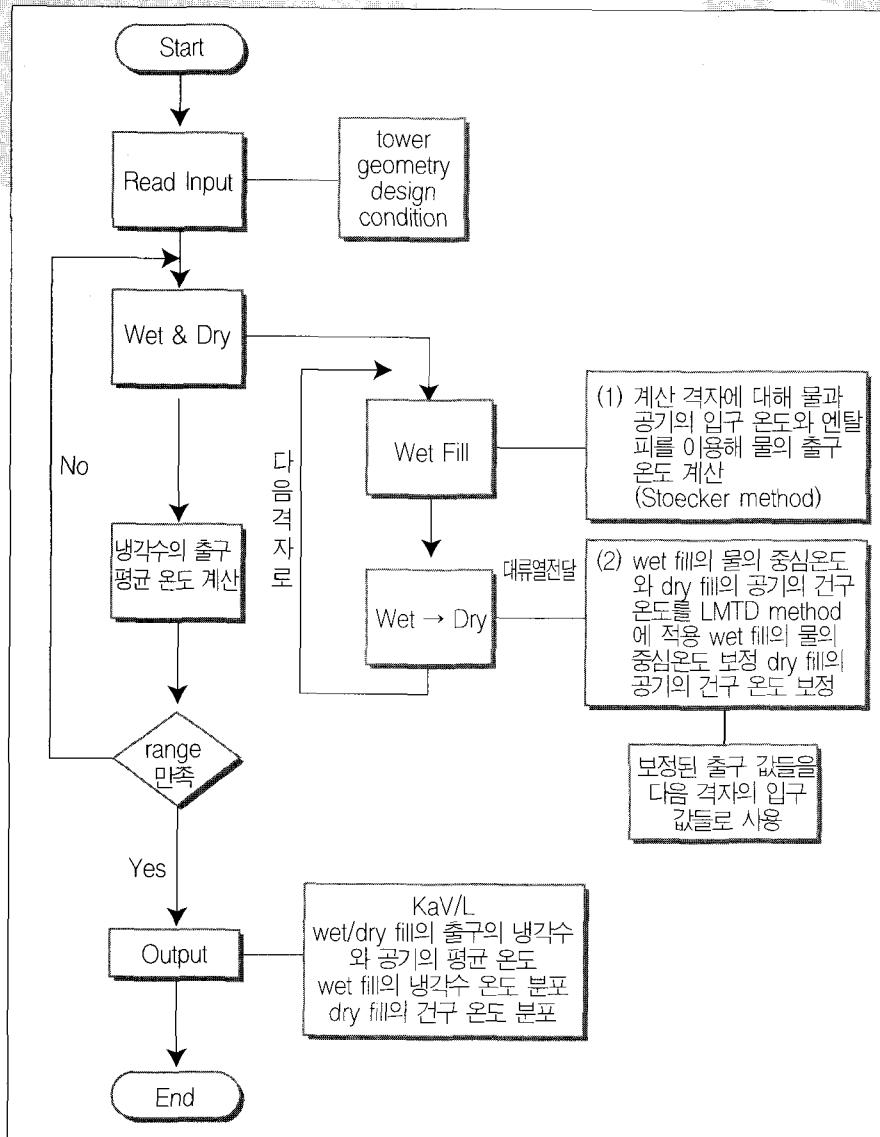
다. 출원번호 : 10-

1999-0040011

라. 내용요약 : 본 발명은 소요의 수의 건식풍로와 습식풍로가 병렬로 배치되어 이루어진 충진재내에 횡방향으로 흡입되는 공기와 교차되게 흐르는 방식으로 냉각수를 냉각하는 직교류형 백연방지 냉각탑용 충진재와 냉각방법에 관한 것으로, 건식풍로를 둘러싸는 냉각판의 한쪽 또는 양쪽으로 역전현상이 발생하는 지점에 습식풍로로 흐르는 냉각수의 일부를 건식풍로로 유도하여 습

식냉각을 행하기 위해 역전라인을 따라 냉각수 유도부를 형성함으로써 건식풍로의 공기에서 습식풍로의 냉각수로 열이 전달되는 역전현상을 제어하여 냉각탑의 냉각성능을 향상시킨 직교류형 백연방지 냉각탑용 충진재 및 냉각방법에 관한 것이다.

그림 4 NWD 냉각탑 해석을 위한 순서도



라. NWD 냉각탑의 dead area를 줄여 x방향으로 중간 점 이후에는 물·공기 시스템의 열전달 효과를 기대하기 위해서는 일정한 공기량에 대해서는 물의 양을 줄이거나, 팬의 동력을 키워 일정한 물의 양에 대해 공기의 양을 늘려 수공비(L/G)를 줄이면 된다.

식냉각을 행하기 위해 역전라인을 따라 냉각수 유도부를 형성함으로써 건식풍로의 공기에서 습식풍로의 냉각수로 열이 전달되는 역전현상을 제어하여 냉각탑의 냉각성능을 향상시킨 직교류형 백연방지 냉각탑용 충진재 및 냉각방법에 관한 것이다.

2) KI(국산신기술인정)마크 획득

가. 기술명 : 건습식 일체형 백연방지 냉각탑

나. 인정단체 : 과학기술부

다. 인정서 번호 : 제 0803 호

라. 인정 기술 요약

(1) 고효율 백연방진 충진재

(2) 충진재의 열교환 등온도선 유추 및 적용

(3) 냉각탑 해석을 통한 백연방지용 냉각탑 설계 소프트웨어 개발

6. 기대효과

6.1 백연방지 냉각탑 수요의 급증

산업용 공기조화 시스템과 열교환기 등에서 국소 온도의 상승을 막기 위해 열전달을 통한 열 소산은 필수적이고 이를 위해 보통 차가운 냉각수를 통한 열교환이 경제적이다. 냉각수를 강, 호수 등으로부터 취득하여 사용후 자연으로 배출하는 것은 대부분의 환경조건에서 장소 선정, 냉각수의 예열, 냉각수 배출로 인한 환경 문제 등으로 불가능하다. 따라서 냉각수를 순환시켜 재사용하는 냉각탑이 석유화학, 제철, 식품제조, 냉동, 공기조화 등 광범위한 산업분야에서 사용되고 있다. 1980년대에 들어오면서 기존의

냉각탑에서 발생되는 환경문제들, 즉 소음 및 진동, 방출 용수 오염, 비산, 백연 문제에 대해 사회적 인식의 변화와 관련 법규의 강화로 인해 이들을 해소하기 위한 연구가 국내외적으로 활발하게 진행중이다. 이 중에서 특히 공항이나 도로 근처 또는 주택 밀집 지역에 설치된 냉각탑의 경우 시각적 공해원인 백연에 대한 고려가 설계에 반드시 반영되어야 하며 최근 까지 백연을 감소 내지는 방지하기 위한 다양한 방법들이 제시되어지고 있다.

6.2 NWD 냉각탑 수요 급증

기존 대부분의 백연방지 냉각탑은 백연을 감소시키기 위하여 FINNED COIL TUBE라는 장치를 추가 장착하였으나, 이로 인해 제조원가가 일반 냉각 탑 보다 약 90% 상승, FINNED TUBE의 부식으로 인해 성능 저하, 유지보수의 어려움 등의 문제가 일반적으로 발생하였다. NWD 냉각탑은 이러한 문제를 해결하기 위하여 근본적으로 FINNED COIL TUBE를 사용하지 않으므로 기존의 문제점을 대부분 해소할 수 있으며, 냉각탑의 중량을 줄였고 제조원가 또한 기존의 60% 정도면 가능하다. 이러한 이유로 앞으로 백연방지형 냉각탑 시장에서 NWD 냉각탑은 기존 형식보다 많은 수요를 창출하게 될 것이다.

7. 판매실적

1999년 하반기~2000년 6월 현재 수주

항 목	모델명	대 수
현대건설/구로동주상복합 빌딩	EX-700 NWD	2
조달청/정부중앙청사(광화문)	MEX-1200 NWD	2
롯데건설/롯데백화점(강남점)	EX-300 NWD	2
롯데백화점(포항점)	EX-150 NWD	8
마그넷(광주 상무점)		
마그넷(대구 내당점)		
마그넷(울산점)		
마그넷(부산 사하점)	EX-100 NWD	2