

# 공업용 클린룸을 위한 프리쿨링 냉열원 시스템

○ 유경훈\*, 송원일\*\* | 한국생산기술연구원 나노오염제어연구실  
수석연구원\*, 연구원\*\*  
E-mail : khyoo@kitech.re.kr

## 1. 서론

우리나라는 2012년 기준으로 이산화탄소 배출 세계 7위, 온실가스 누적 배출량 세계 16위, 1인당 배출량 OECD 6위로 방대한 양의 에너지를 사용하고 있다. 최근 정부는 2030년에 우리나라의 온실가스 배출전망치(BAU)인 851 백만톤 대비 37%, 산업계는 부문 BAU의 12%의 감축률을 목표로 확정하였다. 이러한 온실가스 배출 규제에 의해 향후 산업계 전체로 에너지 절약활동이 수행되어야 하고 특

히, 산업통상자원부가 지정한 에너지 다소비 업종 중의 하나이면서 우리나라의 수출주력품목인 반도체/디스플레이 산업에서도 에너지 절약에 대한 대책이 시급하다. 이에 따라 제품을 제조하기 위해 필수적으로 운용되고 있는 그림 1과 같은 공업용 클린룸은 연간 온습도(항온항습)와 청정도를 유지하기 위한 공조에너지 소비가 방대하므로 온실가스 감축 및 제품 제조비용 절감을 위해서 공조에너지의 절감 요구가 급격히 증대되고 있다.

국내 메이저급 3사의 반도체/디스플레이 제조공

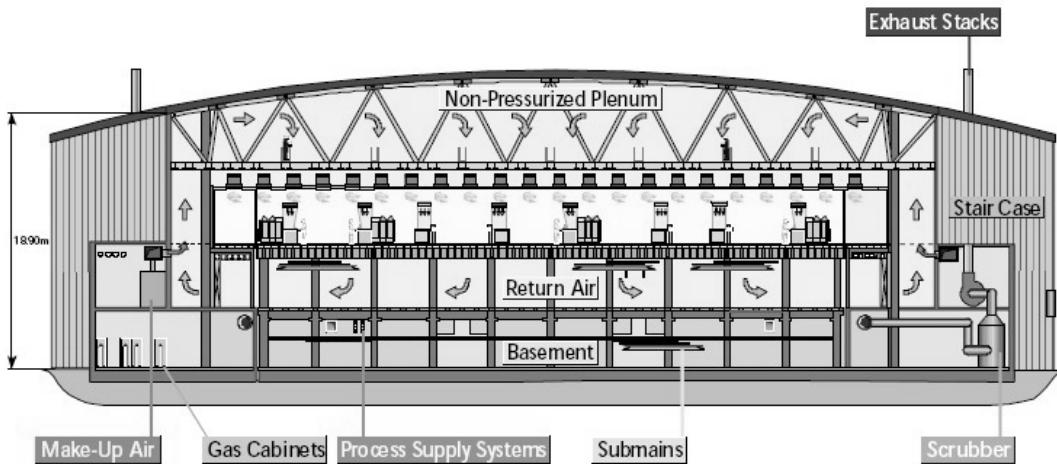


그림 1. 반도체/디스플레이 제조용 초청정 클린룸 시스템 (FFU방식)

표 1. 국내 메이저급 반도체/디스플레이 제조공장 및 클린룸 외기량 현황

업체별 공장 현황	외기도입량 (CMH, m <sup>3</sup> /h)
삼성전자 기흥/화성 반도체공장	32,000,000
SK하이닉스반도체 이천 반도체공장	2,000,000
SK하이닉스반도체 청주 반도체공장	5,000,000
삼성전자 천안 탕정 디스플레이공장	20,000,000
LG디스플레이 파주 디스플레이공장	6,000,000
LG디스플레이 구미 디스플레이공장	5,000,000
합 계	70,000,000

장의 공업용 클린룸의 경우 표 1.의 설치현황을 살펴보면 외기량 기준으로 약 7천만 CMH(m<sup>3</sup>/h)로 2005년도에 비해 약 300%로 대폭 증설되었고 그림 2와 같이 우리나라 전체의 약 60% 정도가 경기도에 소재하고 있어 경기도가 국내 첨단전자산업의

전략적 요충지역임을 알 수 있다. 한편, 반도체/디스플레이 등 첨단 전자산업의 경쟁 심화로부터 제품 원가의 약 10%를 차지하는 용역 비용의 대규모 절감의 필요성을 인지할 필요가 있다. 반도체/디스플레이 제조공장의 연간 1차 에너지 소비량은 그림 3에 도시된 바와 같이 약 93%가 전력이고 공조설비와 유틸리티설비의 총칭인 용역설비의 1차 에너지 소비량은 제조공장 전체 에너지 소비량의 37%를 차지하고 있다. 특히, 용역설비 중에서 최대의 전기 사용처는 냉동기(냉각) 설비이며, 용역 설비 전체의 50% 이상, 제조공장 전체의 20% 정도로 높은 비율을 차지하고 있다. 공업용 클린룸의 공조에너지 절감에 있어 그림 4의 FFU반도체/디스플레이 클린룸 시스템의 클린룸설비 건설비용 부분에서 열원설비 항목에 주목할 필요가 있다. 열원설비는 클린룸설비 건설비용의 단지 20 %만을 차지하고 있으나 반면에 상기 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 냉동기설비가 담당하고 있는 냉각부하는 공장 전체의 20%에 달하기 때문이다. 따라서 작은 비용으로 큰 에너지 절감효과를 볼 수 있다는 가능성이

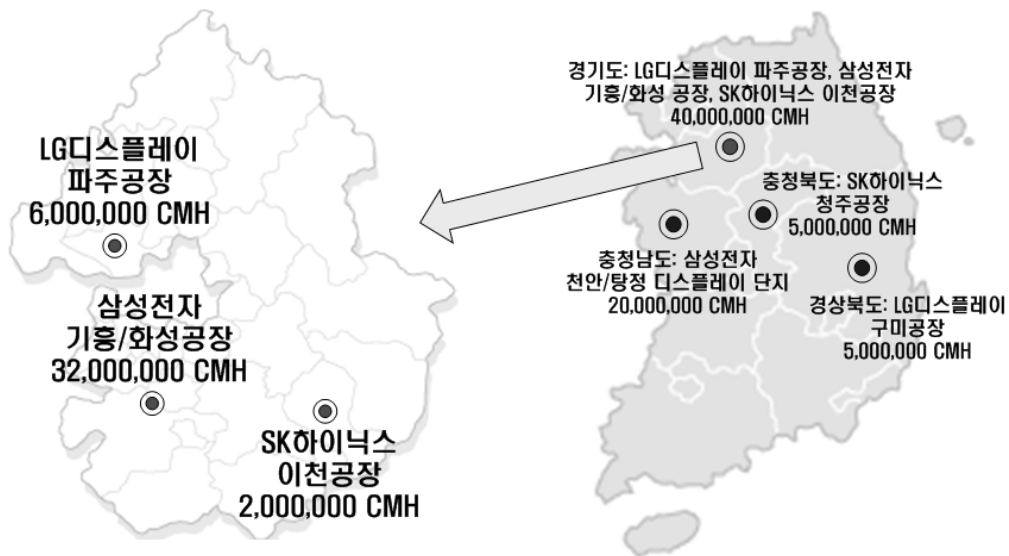


그림 2. 국내 및 경기도 소재의 메이저급 첨단전자산업 클린룸 제조공장 분포

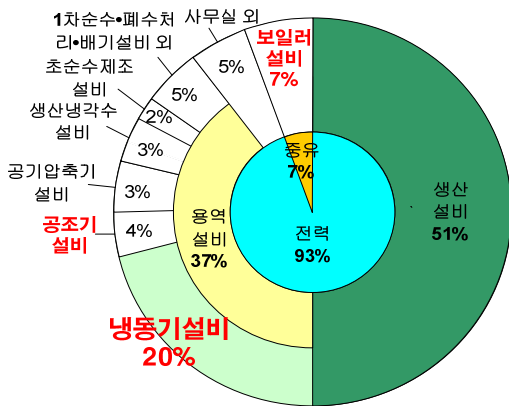


그림 3. 반도체/디스플레이 제조공장의 1차 에너지 소비량 분포

존재한다는 것을 의미한다. 따라서, 첨단전자산업을 위한 클린룸 제조공장에 필수적인 냉각(냉동기) 설비에 있어서의 에너지 절약대책은 매우 중요하며 높은 에너지절약 효과를 실현할 수 있는 냉각 열원 설비가 절실하다.

한편, 반도체, 디스플레이 제조공장이나 인터넷 데이터 센터 등과 같이 내부 발열이 큰 시설에서는 연간 지속적인 냉방이 필요하기 때문에 냉각시스템

의 에너지 절약대책으로 중간기와 동계에 자연에너지인 저온 외기의 냉열을 이용하여 냉각탑으로부터 냉수를 직접 제조하는 프리쿨링(외기냉수냉방, Free Cooling, FC) 방식의 냉각시스템이 주목받고 있어 본 지면에서 소개하고 공업용 클린룸을 위한 냉열원 시스템으로의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 기존 방식의 냉열원 시스템

전자 디바이스 분야의 냉열원 시스템은 클린룸 내 생산설비가 발생하는 열의 처리나 도입 외기의 냉각·제습을 수행하고 있다. 기존의 냉열원 시스템은 냉수 제조용 냉동기, 냉수 펌프, 냉동기가 처리한 열을 대기로 방출하는 냉각탑, 냉각수 펌프로 구성되고 필요에 따라 냉수조를 설치하고 있다. 공업용 클린룸의 기존 냉열원 시스템의 일례를 그림 5에 도시한다. 그림에 나타난 바와 같이 클린룸 내의 열부하는 아래와 같이 크게 3개로 분류된다.

- ① 생산 장치를 직접 냉각하는 장치냉각부하,
  - ② 생산 장치로부터의 발열, 조명 등 클린룸 내부에서 발생하는 현열부하,
  - ③ 도입한 외기를 냉각·제습하는 외기부하
- 이러한 열부하 처리에 필요한 냉수 온도는 각각

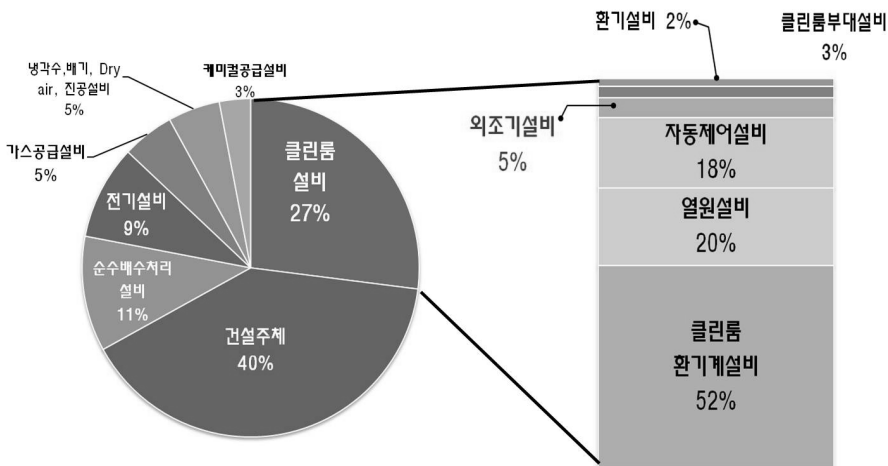


그림 4. 반도체/디스플레이 클린룸 시스템의 건설비용 구성 (제조장비 제외)

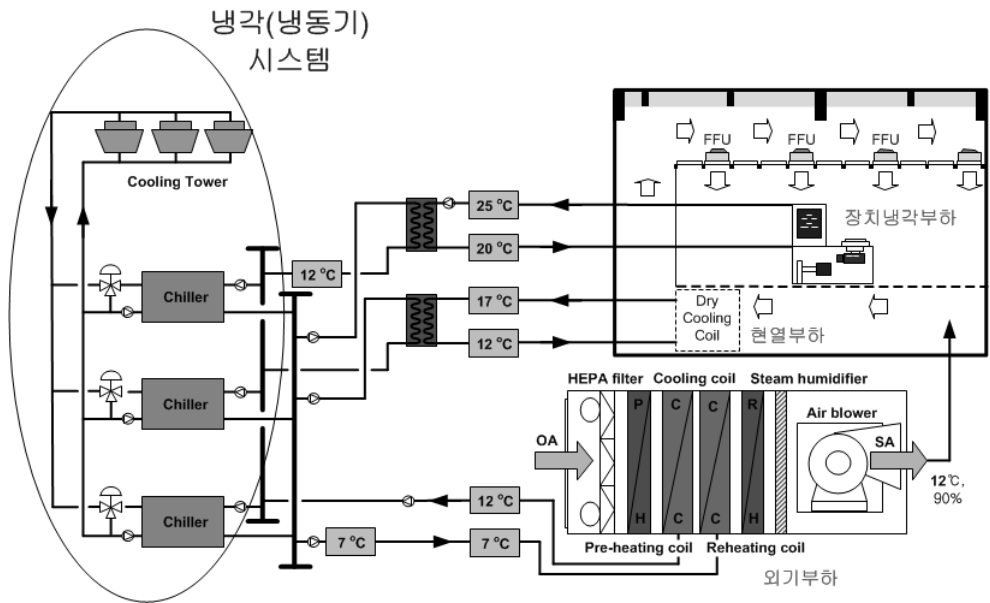


그림 5. 첨단전자산업 제조공장의 기존 냉열원 시스템의 개략도

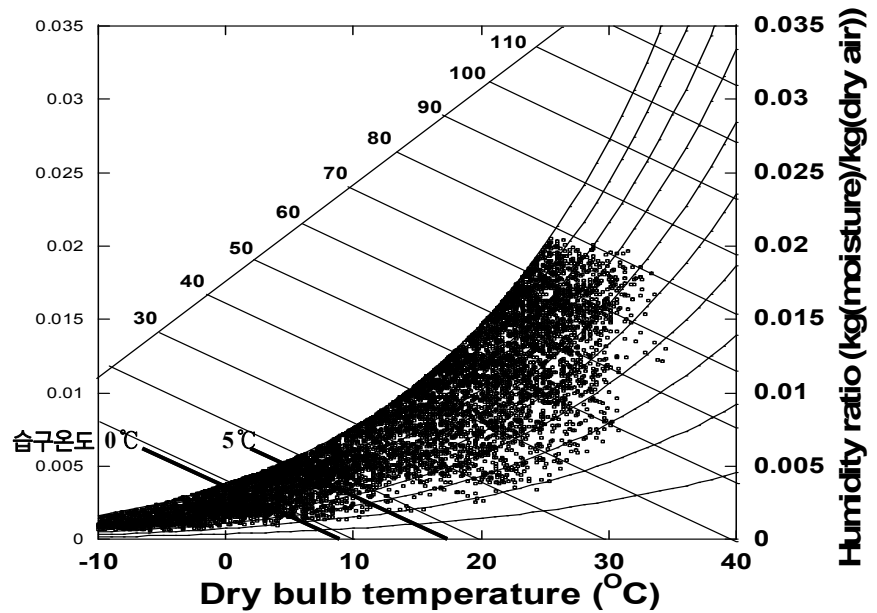


그림 6. 기흥 지역의 연간 1시간마다의 외기온습도 기상청 자료 예

20℃, 12℃, 7℃로 서로 다르지만, 기존의 냉열원 시스템에서는 외기의 냉각·제습에 필요한 7℃의 냉수로 모든 부하를 처리하는 경우가 많았다. 그러나, 냉동기는 제조하는 냉수의 온도가 낮을수록 효율(COP)이 저하하기 때문에 종래의 냉열원 시스템에서는 냉동기의 효율이 낮다는 문제가 있었다.

### 3. 프리쿨링 방식의 냉열원 시스템

#### 3.1 개요

우리나라 반도체 제조공장의 메카인 경기도 기흥의 경우 그림 6의 기상청 연간 1시간마다의 외기 자료로부터 연평균 기온이 약 12.2℃, 연평균 상대습도 약 73.5 %이고 이로부터 외기의 습구온도는 약 9.7℃로 상정될 수 있다.

이는 외기의 자연에너지인 냉열을 이용할 수 있는 프리쿨링(FC) 단독운전을 통하여 냉동기의 도움 없이 12℃의 냉수를 1년 365일 공짜로 제조할 수 있다는 의미가 된다. 공업용 클린룸의 냉열원의 에너지 절약대책으로서 동계나 중간기의 저온 외기를 이용하여 냉각탑에서 냉수를 제조하는 프리쿨링 방식을 도입할 수 있다. 이 방식에서는 냉각탑과 냉각수/냉수 펌프를 운전하는 것으로 냉수 제조가 가능하고, 냉동기보다 높은 효율에서의

운전이 가능하다. 프리쿨링은 그림 4의 열부하 중에서 가장 냉수 온도가 높은 장치 냉각부하 계통에 적용할 수 있는 가능성이 많고 장기간의 이용을 기대할 수 있다. 또, 장치 냉각수 계통만을 위한 것이 아닌 공조 계통의 에너지 절약 대책으로의 적용도 필요하다. 그러나 실제로는, 운전의 전환을 관리자가 수행하고 있어 최적의 운전 전환이 어렵고, 운전의 안전성을 고려해서 운용하고 있다. 그 때문에, 프리쿨링에 의한 냉수 제조는 외기가 충분히 저온이 되는 동기에만 한정되어 그 외의 기간은 프리쿨링을 유효하게 활용하고 있지 않다.

#### 3.2 프리쿨링 방식의 종류

##### 3.2.1 직접(direct) 및 간접(indirect) 프리쿨링 방식

냉각탑을 이용한 프리쿨링 시스템은 외기의 습구 온도가 7~8℃ 이하로 유지되는 동계나 중간기에 냉동기를 가동하지 않고 냉각탑을 운전하여 냉각탑에서 냉각된 냉각수를 직접 냉수로 이용하는 그림 7의 직접 프리쿨링 방식과 이 직접 방식에다가 중간 열교환기를 추가하여 2차측 냉수를 이용하는 그림 8의 간접 프리쿨링 방식이 있고 간접 방식이 일반적이다. 반도체나 디스플레이 제조공장과 같이 냉각탑에서 열교환된 냉각수의 오염성으로 인

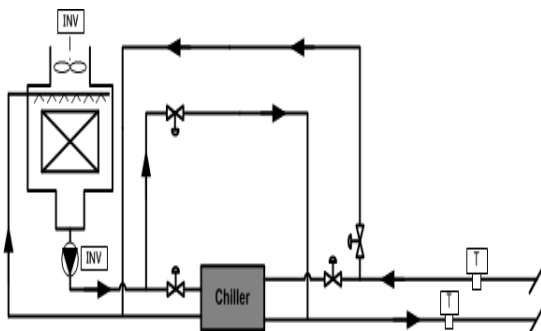


그림 7. 직접(direct) FC 방식

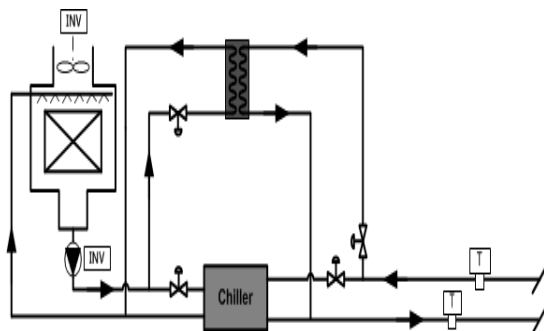


그림 8. 간접(indirect) FC 방식

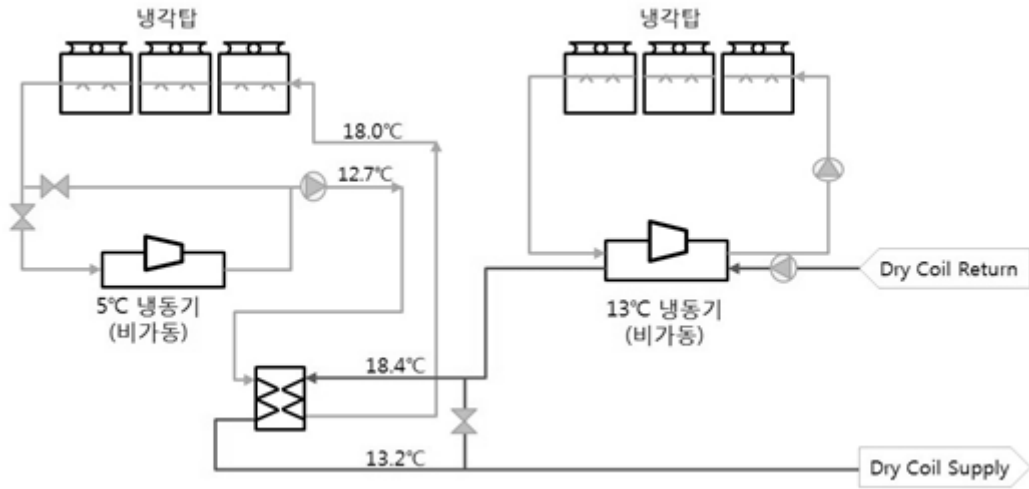


그림 9. 간접(indirect) FC 방식의 냉열원 시스템 적용예 (양성철, 2014)

하여 부하측에서 직접 냉각수를 사용할 수 없는 경우는 간접 프리쿨링 방식과 같이 2차측 냉수를 위한 중간 열교환기가 필수적으로 요구된다. 본 직접 및 간접 방식에서는 운전제어로서 시스템의 구조상 냉동기만으로 냉수를 제조하는 「냉동기 단독운전」과 냉각탑만으로 냉수를 제조하는 「프리쿨링 단독운전」의 두가지 운전만이 가능하고 「프리쿨링 + 냉동기의 동시(dual)운전」이 불가능하므로 프리쿨링 운전은 외기가 충분히 저온이 되는 동계에만 한정되어 그 외의 기간에는 프리쿨링을 유효하게 활용하지 못하는 단점이 있다.

그림 8에 도시한 바와 같이 간접 프리쿨링 방식의 냉열원 시스템은 부하가 요구하는 냉수를 제조하기 위한 냉동기, 냉각탑, 판형 열교환기로 구성되어 배관 계통과 기기의 운전·정지를 조작하고, 외기 온도가 높을 때는 냉동기 운전을 실시하고 외기 온도가 낮을 때는 판형 열교환기를 개입시켜 냉수를 냉각하는 프리쿨링 운전을 실시하는 열원시스템이다. 콘트롤러는 외기 온도와 부하의 계측치를 기반으로 기기 특성 시뮬레이션을 이용하여 프리쿨링의 운전 가능 판정을 실시해서 냉동기 운전과 프리쿨

링 운전을 자동적으로 전환한다. 냉수는 냉수 출구 온도를 일정하게 하고, 냉수의 왕복 온도차가 일정하게 되도록 냉수 유량을 냉수 펌프의 인버터로 제어한다. 그림 9는 간접 프리쿨링 방식의 적용예를 보여주고 직접 프리쿨링 방식에 비해 배관구성이 추가로 필요하지만 냉수계통의 오염이 적고 control 이 용이한 점이 있다.

### 3.2.2 이중 냉각탑(double cooling tower) 방식

그림 10과 같이 기존의 일반 냉각시스템에다가 추가적인 FC 전용의 냉각탑과 중간열교환기를 설치한 경우이다. 상기의 직접 및 간접 방식에서는 불가능한 「프리쿨링+냉동기의 동시(dual)운전」을 가능하게 하여 동계 뿐만 아니라 중간기에도 프리쿨링을 유효하게 활용할 수 있도록 함으로써 프리쿨링 운용기간의 장기화를 도모하였다. 그러나, 간접 방식에 비해 추가적인 냉각탑 설치에 따른 초기투자비용 증가 및 공간 확보에 어려움이 따른다.

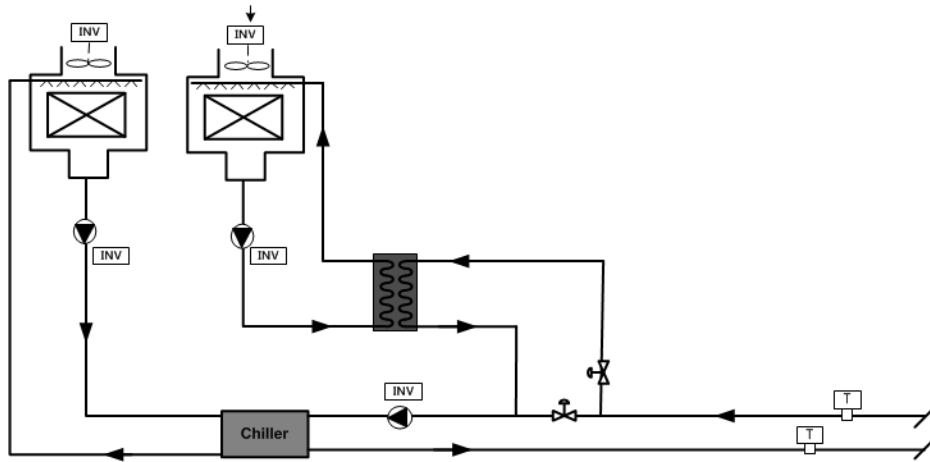


그림 10. 이중 냉각탑(double cooling tower) FC 방식

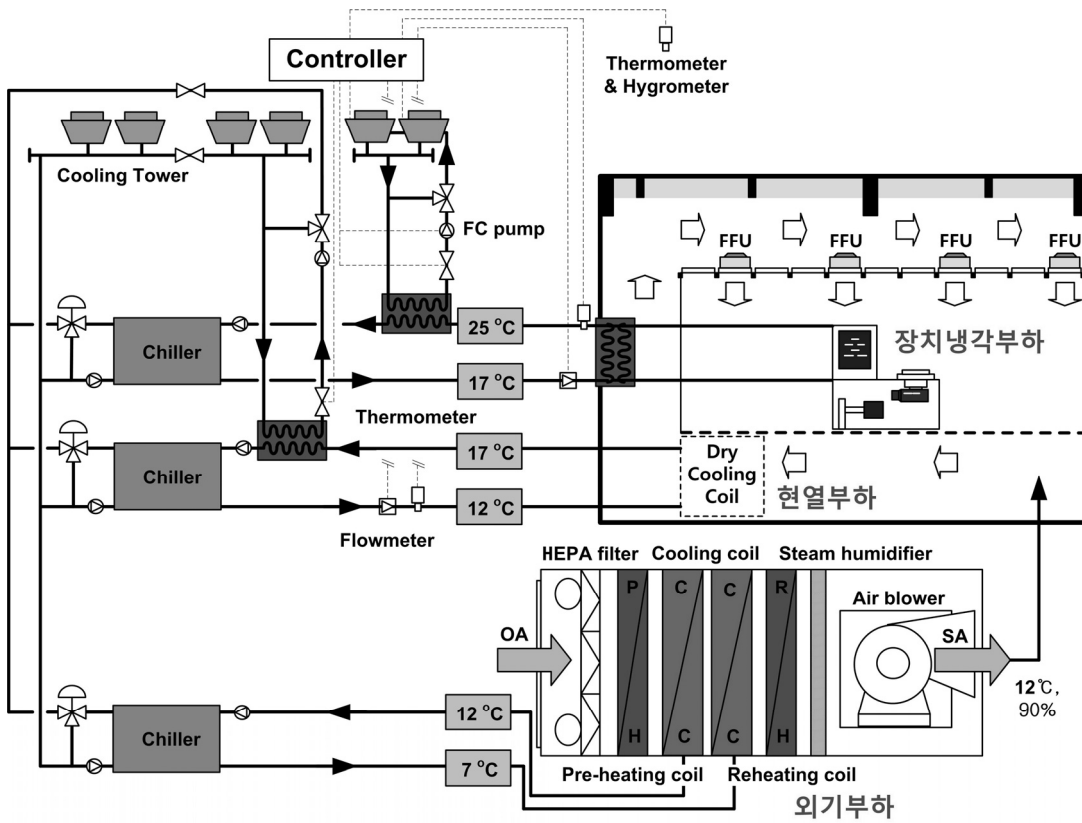
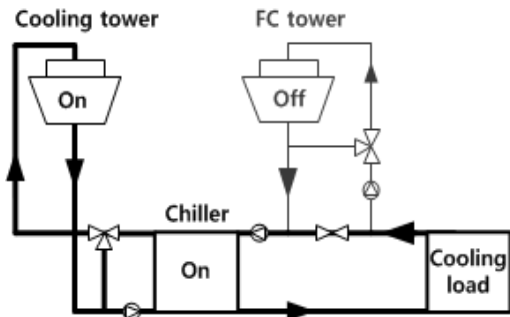
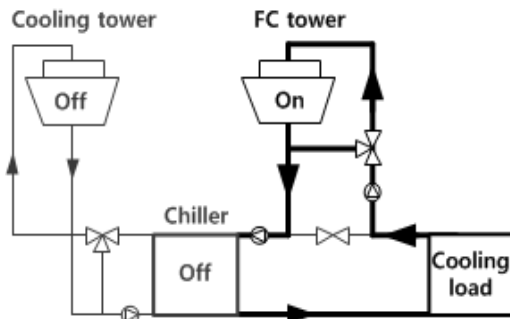


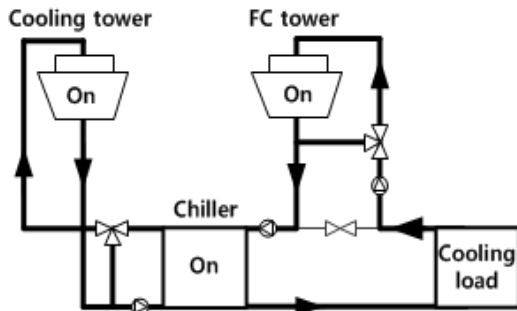
그림 11. 이중 냉각탑 FC 방식 냉열원 시스템이 적용된 공업용 클린룸 시스템



(a) 냉동기 단독 운전-하계



(b) 프리쿨링 단독 운전-동계



(c) 프리쿨링+냉동기 직렬 동시 운전-하계

그림 12. 이중 냉각탑 FC 방식 냉열원 시스템의 운전 모드

(1) 시스템의 구성

이중 냉각탑 방식 냉열원 시스템을 적용한 공업용 클린룸 시스템의 예를 그림 11에 나타낸다.

이 클린룸 시스템은 3개의 열부하의 온도대별로 냉동기를 배치해서 우선 냉수의 고온화에 의해 냉동기의 효율 향상을 도모했다. 그리고, 프리쿨링을 유효하게 사용하기 위해 장치 냉각수 부하 계통과 현열 부하 처리 계통에 프리쿨링 설비를 냉동기와 직렬 접속해서 자동으로 냉동기 단독, 프리쿨링+냉동기 직렬 동시운전, 프리쿨링 단독으로의 전환 운전을 가능하게 했다. 이 프리쿨링에 이용하는 냉각탑에는 기존 시스템의 냉각탑을 겸용하는 방식과 신규로 프리쿨링 전용 냉각탑으로서 도입하는 이중냉각탑 방식의 2가지 방법이 있다. 후자는 투자액이 증가하지만, 에너지 절약 효과가 크다.

(2) 운전 제어

열원 시스템의 자동 전환 운전 제어의 개요를 그림 12에 나타낸다. 운전 제어로서는 그림 12(a)의 냉동기만으로 냉수를 제조하는 「냉동기 단독 운전」, 그림 12(b)의 냉각탑만의 「프리쿨링 단독 운전」, 그림 12(c)의 프리쿨링에 의한 예냉 후에 냉동기로 냉수 제조를 실시하는 「냉각탑+냉동기의 직렬 동시운전」의 3가지의 운전 모드를 마련했다. 운전 제어에는 미리 냉각탑기 운전 시뮬레이터에 의해 운전 모드를 전환 판정 논리를 작성해서 냉각탑 출구 온도를 미리 계산한 운전 모드 판정기준으로 운전모드를 전환한다.

이것에 의해 운전 모드의 적절한 변경이 가능해져서 프리쿨링 운전 기간을 장기화해서 한층 더 에너지 절약화를 실시하는 것이 가능하다. 그림 13에 운전 모드의 판정기준의 일례를 도시한다. 운전 모드는 냉각부하를 처리한 후 냉동기로 돌아오는 반환 냉수의 온도와 외기의 습구 온도로부터 결정된다. 여기서, 「프리 쿨링 단독 운전」과 「냉각탑+냉동기의 직렬 동시운전」과의 전환에는 냉동기의 가동과 정지를 빈발하게 발생시키지 않기 위해서 간섭대를 설치해서 안전성의 확보를 실시한다.



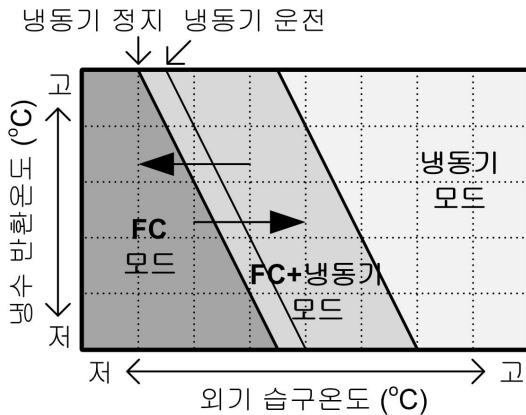


그림 13. 이중 냉각탑 FC 방식 냉열원 시스템의 운전 모드의 판정 기준 사례

### 3.2.3 듀얼(dual) 프리쿨링 냉각탑 방식

본 저자는 기존 프리쿨링(FC) 방식 냉열원(냉각) 시스템들의 단점을 해소하여 반도체나 디스플레이 제조공장, 인터넷 데이터 센터, 냉동냉장 설비 등의 에너지 절약을 실현하고 프리쿨링 냉각시스템의 시장 활성화를 도모하기 위하여 이중냉각탑 FC 방식의 장기간 운용에 의한 에너지절약의 장점을 최대한 살리면서 동시에 추가적인 프리쿨링 전용의

냉각탑 및 중간 열교환기를 설치할 필요가 없는 기존의 밀폐형 냉각탑의 활용을 통한 듀얼 프리쿨링 냉각탑 방식의 냉열원 시스템을 고안하였다. 이 듀얼 프리쿨링 방식은 그림 14에 도시한 것처럼 이중 냉각탑 방식에 비해 초기투자비 절감 및 공간 절약화의 경제성을 모두 갖추고 냉동기와 프리쿨링(FC)의 동시 운전이 가능한 신규의 냉각탑을 탑재한 새로운 개념의 듀얼(dual) 프리쿨링 냉각탑 방식의 냉열원 시스템이다.

#### (1) 시스템의 구성

프리쿨링 냉열원 시스템의 구성 기기를 삭감하는 수단으로서 밀폐형 냉각탑의 구성을 이용한 시스템의 활용을 들 수 있다. 부하 측의 냉수 조건으로서 외기와 접촉한 오염된 냉각수를 사용할 수 없는 공업용 클린룸의 경우, 프리쿨링용 열교환기를 이용하여 냉각수와 냉수를 열교환할 수 있다. 한편, 냉동기의 응축기는 종래부터 개방형 냉각탑의 냉각수로 냉각되고 있다. 여기서, 밀폐형 냉각탑의 구성을 이용해서 배관을 개조하여 냉각탑과 열교환기를 일체화시킨 그림 14와 같은 신형의 냉각탑을 고안할 수 있다.

신 냉각탑은 종래의 밀폐형 냉각탑을 개조한 혼

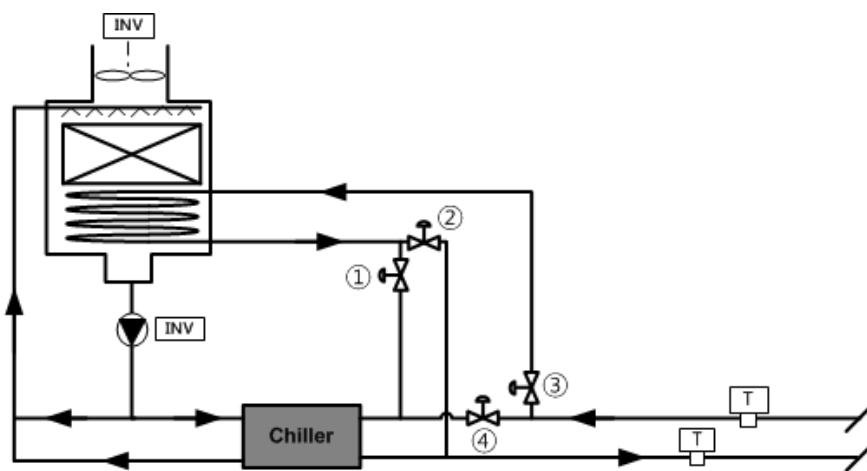


그림 14. 본 저자가 제안하는 듀얼 프리쿨링(FC) 방식의 냉각시스템

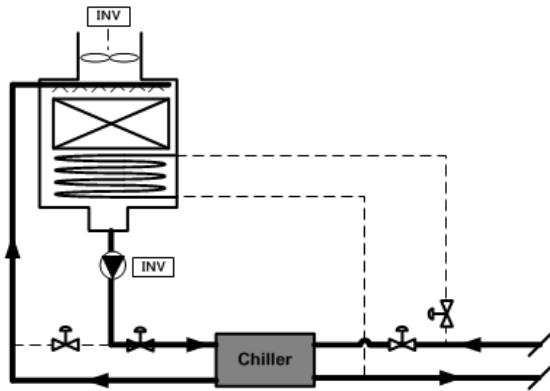


그림 15. 냉동기 단독운전 하계

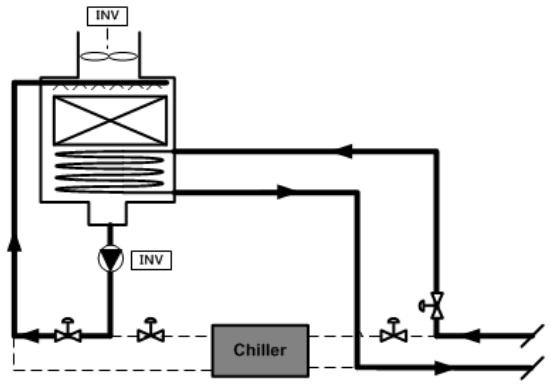


그림 16. 프리쿨링 단독운전-동계

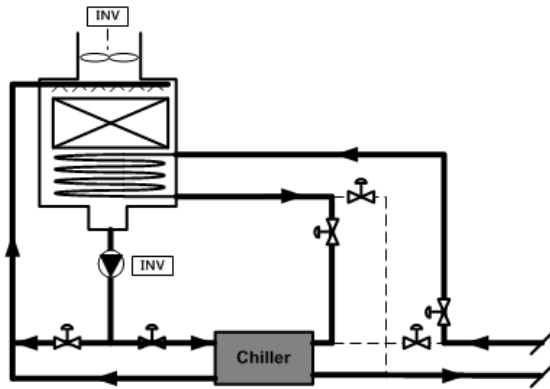


그림 17. 냉동기+FC 동시운전-중간기

합형이다. 종래의 밀폐형 냉각탑은 살포수를 순환하고 냉각탑 내부에서 외기를 이용해 살포수를 냉각하고 그 냉각된 살포수는 튜브형 열교환기로 냉수를 냉각한다.

그래서 프리쿨링 운전 시에는 종래와 같이 살포수를 순환시키고 냉동기 운전 시에는 살포수를 냉각수로서 활용 가능하기 때문에 밀폐형 냉각탑의 살포수 배관을 개조하여 냉동기의 냉각수 계통에 접속 가능하게 한다.

또, 냉각수 배관에는 자동 밸브를 설치하고, 계통 전환이 가능하게 해서 냉각수 펌프와 팬의 운전·정지, 인버터 주파수의 변경에 의한 유량·풍량의 변경이 가능하다.

## (2) 운전 제어

냉동기 단독 운전을 그림 15에 나타낸다. 냉동기 단독 운전에서는, 냉각수는 신 냉각탑과 냉동기 응축기 간을 순환하면서 외기에 의해 냉각되어 개방형 냉각탑과 같은 운전 상태가 된다. 신 냉각탑의 냉수 계통은 정지하고, 냉수는 밸브의 변환에 의해 냉동기로 전환된다. 콘트롤러는 기기의 운전, 정지나 밸브의 전환을 실시해서 냉각탑 팬이나 펌프의 인버터 주파수를 제어한다.

프리쿨링 단독 운전을 그림 16에 나타낸다. 프리쿨링 단독 운전에서는 냉동기를 정지하고, 프리쿨링으로 냉수를 냉각하는 운전 상태이다. 냉수, 냉각수 계통 동시에 밸브를 바꾸고, 냉각수는 냉동기로 보내지 않고 신 냉각탑을 순환한다. 냉각수는 살포해서 외기에 의해 냉각되는 것과 동시에 튜브형 열교환기부에서 냉수를 냉각한다. 이 때, 밀폐형 냉각탑과 같이 냉수를 외기와 접촉시키지 않고 운전하는 것으로 오염을 방지할 수 있다. 또, 콘트롤러는 냉수 출구 온도가 제어 목표치에 가까워 지도록 신규 냉각탑의 팬을 제어한다.

냉동기+프리쿨링 동시 운전을 그림 17에 나타낸다. 본 동시 운전에서는 봄, 가을의 중간기에 냉동기를 운전하면서 그림 14의 냉수 계통의 밸브 ①과 밸브 ③을 개방하고 밸브 ②와 밸브 ④를 폐쇄한다.

표 2. 프리쿨링(FC) 방식 냉원시스템의 비교

비교 항목	간접 FC 방식	이중냉각탑 FC 방식	듀얼 FC 방식
개념도			
추가 냉각탑	불필요	필요	불필요
중간열교환기	필요	필요	불필요
장기화 운전	X	○	○
냉동기와 FC의 동시 운전	X	○	○
원가경쟁력	○ (1,000USRT 8억원)	X (1,000USRT 12억원)	○ (1,000USRT 8억원+a)
공간 절약	○	X	○
에너지절약 성능	△ (13.26GWh/년) (FC없는 것 대비 87.2%)	○ (8.10GWh/년) (FC없는 것 대비 61.1%)	○ (8.10GWh/년) (FC없는 것 대비 61.1%)
국내외 기술수준	국내 기술수준 (초기 기술)	세계 기술수준 (일본 히타치)	세계 최초 (국내특허 출원)

이렇게 하면 신 냉각탑의 튜브형 열교환기에서 1차로 냉수를 냉각하고 연이어 냉동기로 추가 냉각할 수 있기 때문에 이중 냉각탑 방식의 직렬 동시운전의 장점을 그대로 실현할 수 있다. 따라서 본 신 냉각

탑은 냉각수를 살포해서 외기에 의해 냉각수를 냉각시키고 그 냉각수를 이용하여 프리쿨링으로 냉수를 냉각하는 동시에 냉동기 응축기를 순환하면서 냉각시키는 혼합형 냉각탑과 같은 운전 상태가 된다.

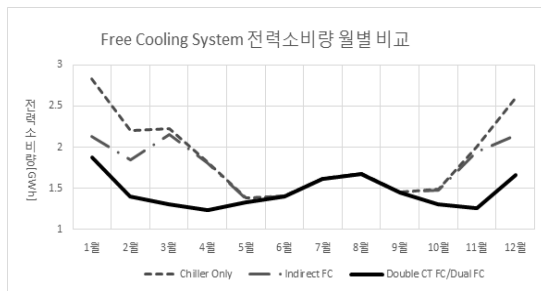


그림 18. FC 방식별 월간 소비전력량의 비교 (기흥지역)

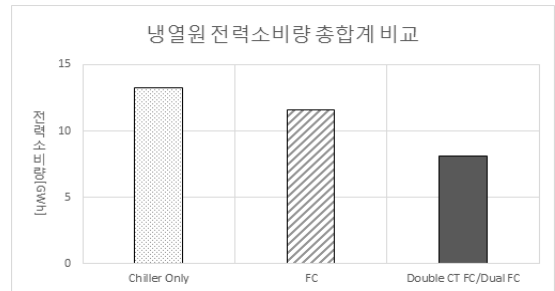


그림 19. FC 방식별 연간 소비전력량의 비교 (기흥지역)

표 3. 프리쿨링(FC) 방식 냉원시스템의 냉각탑 용량 비교((주)경인기계 제공)

외기 습구온도 (°C)	냉각탑 출구 수온 (°C)	냉각탑 입구 수온 (°C)	FC 냉각탑 크기
0	20	25	72 %
0	12	17	139 %
0	7	12	245 %
5	20	25	87 %
5	12	17	203 %
5	7	12	550 %

콘트롤러는 외기 상태와 냉각 부하에 대응하여 냉동기 운전과 프리쿨링 운전의 운전 변환을 수행한다. 냉동기 단독운전은 하계를 상정하고 프리쿨링 단독운전은 동계의 프리쿨링이 가능 기간을 상정한 운전 상태이다. 프리쿨링 운전시에는 밀폐형 냉각탑의 살포수로 냉수를 냉각하기 때문에 냉수의 냉각능력에 대해 살포수의 냉각능력이 클 필요가 있다. 냉동기 운전시에는 살포수 계통을 냉각수로서 이용하기 때문에 동일한 습구온도와 부하 조건에 대해 프리쿨링 운전의 냉수보다도 냉각수 온도가 저온이 된다고 생각할 수 있다. 냉동기 운전에 있어서의 냉각수 온도가 저온화할 수 있어 냉동기의 소비 전력을 삭감할 수 있다고 생각한다. 또, 냉동기 운전과 프리쿨링 운전에서는 냉각에 필요한 냉각수 유량을 변경할 필요가 있다.

### 3.3 프리쿨링 방식의 비교

듀얼 프리쿨링 방식은 기존의 밀폐형 냉각탑을 활용하여 프리쿨링 기능이 없는 기존의 냉각시스템에 비해 추가적인 제조비용의 증가가 없는 냉각시스템이므로 완공 직후의 운영 년도부터 절약된 전기요금의 이득을 바로 볼 수 있어 단순 상각년수(투자비 대비 회수기간)가 1년 이하로 평가되므로 기업 입장에서는 상당히 매력적인 혁신기술이 된다. 그림 18, 19는 청정도 class 1,000, 바닥면적

4,167 m<sup>2</sup>, 외기량 100,000 CMH급의 기흥지역 반도체 클린룸 제조공장에 대해 월별과 연간 전력소비량을 각각 도시한 것이다. 그림 19로부터 FC가 없는 경우(Chiller only), 간접 방식 FC의 경우(FC), 이중냉각탑 및 듀얼 FC의 경우(Double CT FC/Dual FC) 냉열원 시스템의 연간 소비전력량이 각각 13.3 GWh(100%), 11.6 GWh(87.2%), 8.1 GWh(61.1%)로 평가되어 최대 약 39 %의 에너지 절감율을 달성할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 클린룸 시스템에서 각 냉수의 사용 온도는 장치 냉각수 부하 20°C→25°C, 현열 처리 부하 12°C→17°C, 외기 냉각제습 부하 7°C→12°C이므로 각 계통에 프리쿨링 냉각탑을 설치할 경우 기존 프리쿨링 없는 냉각탑 대비 냉각탑 크기의 증가에 대한 평가를 표 3.에 수록한다. 프리쿨링 단독운전을 실시하기 위한 외기 습구온도가 높아질수록 FC 냉각탑의 크기가 증가됨을 알 수 있다. 이는 그림 6에 도시한 바와 같이 외기의 습구온도 0°C, 5°C에 상당하는 등엔탈피선의 좌측에 있는 모든 외기 상태점들은 FC 단독운전이 가능한데 이 가능 상태점들이 늘어남에 따른 일종의 비용 증가라고 간주할 수 있으므로 적절한 trade-off가 필요하다. 또, 클린룸 시스템의 부하 처리를 위한 FC 냉각탑 출구의 냉수 온도가 감소할수록 냉각탑의 크기가 증가함을 알 수 있다. 외기부하의 처리하기 위한 7°C의 냉수는 FC 냉각탑의 크기가 상당히 커지지만 장치 냉각수

부하용 20℃, 현열 처리 부하용 12℃의 냉수의 경우는 그다지 커지지 않는음을 알 수 있다. 따라서 그림 5와 같은 공업용 클린룸 시스템에서 공조부하의 95%는 냉각부하이며 제습부하는 5% 미만이므로 7℃의 냉수가 사용되는 외기부하를 제외하면 장치 냉각부하(20℃), 현열부하(12℃)를 프리쿨링 냉열원 시스템으로 처리할 수 있어 큰 에너지절약을 실현할 수 있다.

#### 4. 결론

본고에서는 공업용 클린룸 제조공장 전체의 약 20%의 에너지 소비량을 차지하는 냉열원 시스템의 에너지절약을 목적으로 중간기와 동계에 자연 에너지인 저온 외기의 냉열을 이용하여 냉각탑으로부터 냉수를 직접 제조하는 프리쿨링을 최대한 이용하기 위한 시스템의 구성과 운전 방식에 대해 검토하였다.

특히, 우리나라와 같이 외기의 연평균 습구온도가 낮은 지역에 집중적으로 배치되어 있는 공업용 클린룸 제조공장으로 프리쿨링 냉열원시스템을 도입할 경우 상당한 에너지절약을 실현할 수 있다.

또한 본 저자가 고안한 듀얼 FC 냉각탑 방식 냉열원 시스템은 국내의 첨단전자산업 제조공장으로의 프리쿨링 냉동기설비 시장의 활성화를 도모할 수 있고 단숨에 프리쿨링 세계시장을 선점할 수 있는 세계 최초의 기술이 될 수 있다고 판단된다.

본 프리쿨링 시스템의 채용에는 공업용 클린룸 시스템의 열부하의 3 계통 분류에서 장치 냉각수 부하 20℃→25℃, 현열 처리 부하 12℃→17℃에 대한 상세한 시스템 구성을 우선 검토할 필요가 있다. 기존 설비에 대해서는 듀얼 프리쿨링 냉각탑 방식의 경우 냉열원 시스템의 큰 변경 없이 적용가능하기 때문에 비교적 단순한 갱신을 통하여 프리쿨링의 장기 운전이 부가된 형태로의 채용을 할 수 있는 것으로 생각한다.

#### - 참고문헌 -

1. 양성철, 2014, “반도체 클린룸에서의 에너지 재활용/절감 사례”, 공기청정기술, 제27권, 제1호, pp. 15-29, 한국공기청정협회.
2. 이윤수, 2014, “클린룸 외조기 에너지 절감 사례”, 공기청정기술, 제27권, 제1호, pp. 30-45, 한국공기청정협회.
3. 이성연, 김민호, 이성구, 연창근, 2011, “데이터 센터의 냉방에너지 절감을 위한 Free Cooling 시스템 개선에 대한 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 810-814.
4. 김범수, 김영일, 권용일, 최종연, 송명규, 2010, “외기냉수냉방의 운전사례 및 에너지 절감량 분석”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 1088-1093.
5. 福井 伊津志, 中島 健一, 2008, “클린룸을 위한 에너지절약 열원시스템”, クリーンテクノロジー (클린테크놀로지), 7월호, pp. 65~67.
6. Nakashima, K., Miyajima, Y., Tanaka, M., Kikuchi, H., 2007, “High efficient heat source system with optimized free cooling”, 일본 공기조화위생공학회 대회 학술강연 논문집, pp. 1797-1800.
7. Miyajima, Y., Kikuchi, H., Mizushima, T., Hanaoka, H., 2010, “High efficient heat source system with optimized free cooling (4) Test of Cooling Module for Chilling Water and Condenser Water”, 일본 공기조화위생공학회 대회 학술강연 논문집, pp. 935-938.
8. 유경훈, 송원일, 2015, “프리 쿨링 시스템 및 프리 쿨링 시스템 제어방법”, 출원인 한국생산기술연구원, 대한민국 특허 출원번호 10-2015-0130174.
9. 소현영, 2003, “냉각탑의 선정방법”, 설비저널, 제32권, 제12호, pp. 31-37.