캐스케이드 시스템
(Cascade System, 소용량 온열원의 멀티 제어 방식)

김 영 균
경동나비엔 SE 담당
(yk2@kdiwin.com)

서 론

에너지를 생산하거나 소비하는 기계장치와 에너지를 변환하는 장치의 높은 운전 효율은 경제성뿐만 아니라 깨끗한 자연환경을 보전하고 쾌적한 실내환경을 조성할 수 있는 필요조건이라고 볼 수 있다. 운전효율은 보편적으로 전부하를 기준으로 제시하나 대부분을 부분부하 운전을 하게 되며 이때의 운전효율이 높여야 할 것이다.

부분부하 운전 효율을 높이기 위한 방법중 하나로 건물에서는 대수제어 방식을 적용하고 있으며 대수 제어 방식은 열원 장비뿐만 아니라 부하 장비에도 적용되고 있다. 대표적으로는 냉방 방식의 멀티 시스템 에어컨, 관류형 증기 보일러의 병렬제어 방식, 급수용 부스터 펌프와 공기조화기의 직결 구동형 멀티팬 등이 있다.

캐스케이드 시스템은 관류형 증기보일러를 다수 연결하여 노통연관 증기 보일러 또는 수관 보일러 이상의 용량을 구현하고 적용한 온열원 시스템이라는 공통점을 갖고 있다.

이러한 시스템은 다수의 기기를 적용하여 부분부하에 능동적으로 대응함으로써 운전효율이 높을 뿐만 아니라 일부 장비의 고장 시에도 에너지 공급의 연속성을 유지할 수 있어 시스템의 신뢰성이 높

[그림 1] 서울 명동 스카이파크 호텔 센트럴점에 설치된 Cascade System

다는 공통점을 갖고 있다.

캐스케이드 시스템은 소용량의 고효율 콘덴싱 가스 온수 보일러 또는 가스 온수기를 병렬로 연결하여 중대형 용량을 구현하는 방식으로 **그림 1**은 서울 명동에 위치한 숙박시설의 급탕용 온수기를 설치한 사례이다. 그리고 열원의 연소 제어 기술과 시스템의 대수제어를 통해 부분부하에 대응함으로써 과잉열량을 방지할 뿐만 아니라 잦은 운전/정지 시 필요한 기동 부하가 적어 운전효율의 저하가 낮은 이상적인 시스템 중 하나이다.

소용량 열원기기

소용량의 가스 온수 보일러 또는 가스 온수기는 첫째로 설비, 검사 및 물류 자동화로 대량생산을 통해 높은 품질과 단위 열량당 낮은 단가를 유지함으로써 높은 원가 경쟁력을 갖추고 있다.

둘째, 누구나 운반할 수 있을 만큼 작고 가벼워 최적의 설치 공간과 유지관리에 필요한 공간을 최소화할 수 있고 증설, 이설 및 열원 장비의 갱신이 용이하다.

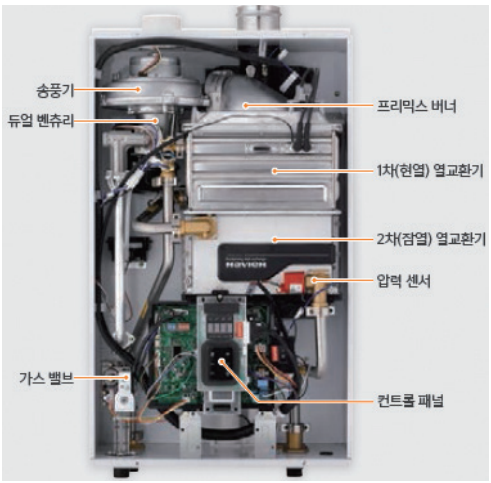
셋째, 초급 기능 인력이면 누구나 설치와 시운전이 가능하며 유지관리는 전문 기술이 없는 일반인도 가능하고 24시간 이용할 수 있는 콜센터를 통해 언제나 전문가의 도움을 받을 수 있다.

넷째는 거주영역에 설치하는 만큼 2중 3중의 안전장치와 더불어 최적의 운전조건을 찾아 스스로 제어할 수 있고 운전소음이 매우 작은 것이다.

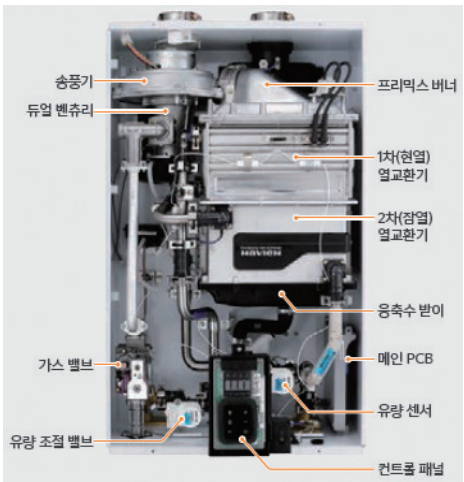
다섯째, 캐스케이드 시스템에 적용되는 소용량의 온수 보일러와 온수기는 콘덴싱 기술을 적용해서 고효율 운전을 한다. 콘덴싱 보일러의 총발열량(고위발열량)기준 운전효율 98.1%는 이론적인 연소 효율에 있어서 정점에 도달했다고 볼 수 있으며 연소 공식에서 확인할 수 있는 것처럼 총 발열량의 약 10%에 해당되는 증발잠열을 이용하는 기술이다.

CH_4(메탄) + $2O_2$(산소)
→ $2H_2O$(수증기) + CO_2(이산화탄소) + 열
도시가스 1 Nm^3 = 9,420 kcal + 1,010 kcal = 10,430 kcal
(진발열량) (증발열=응축열) (총발열량)

여섯째, 기기 내에 관수량이 거의 없어 장비내의 예열 부하에 따른 손실 열량이 매우 작다. 건물은 대부분 간헐 냉난방을 하므로 시스템의 규모, 즉 관



[그림 2] 가스 온수 보일러 내부



[그림 3] 가스 온수기 내부

수량에 따라 예열부하량이 정해진다. 소용량의 온수 보일러와 온수기의 관수량은 진공 온수 보일러 대비 약 5% 수준이다. 이는 기기의 내부 관수량에 의한 예열 부하가 거의 존재하지 않아서 온수의 생산 시간이 짧아 부하 대응이 용이하고 운전 효율의 저하를 방지할 수 있음을 말한다.

그리고 정밀한 가스량 제어를 통해 TDR(Turn down ratio) 10%를 구현하는 등 많은 첨단 장치와 편의 사양이 작은 체적 안에 집약되어 있는 것을 **그림 2**와 **그림 3**을 통해 확인할 수 있다. 이러한 요소들은 운전 효율 향상, 사용자의 안전성뿐만 아니라 위생성을 높이기 위해 스테인리스 열교환기 등 내식성 자재를 적용하고 제어 패널을 내장하고 있으며 이외에도 각종 기능이 추가되어 앞선 기술을 집약하고 있는 것이다. 이러한 많은 장점에도 불구하고 작은 열용량 때문에 그동안 일반 건물에는 적용하지 못하고 주거용에 국한되어왔다.

에너지 절약

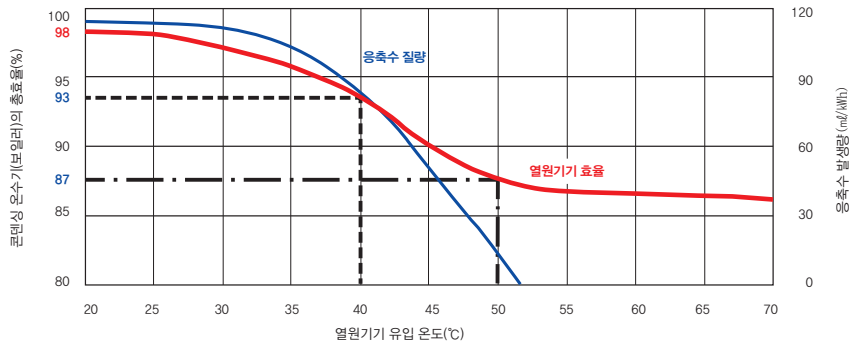
시스템에서 운전 효율을 높이는 것은 열원 장비만의 몫은 아니다. 열원 장비는 물론이거니와 부하 장비와 이를 제어할 수 있는 시스템이 열원장비 못지 않게 중요하다고 볼 수 있다.

에너지를 절약할 수 있는 첫 번째 요인은 소용량 열원기기에서 언급했듯이 콘덴싱 기술에 있다.

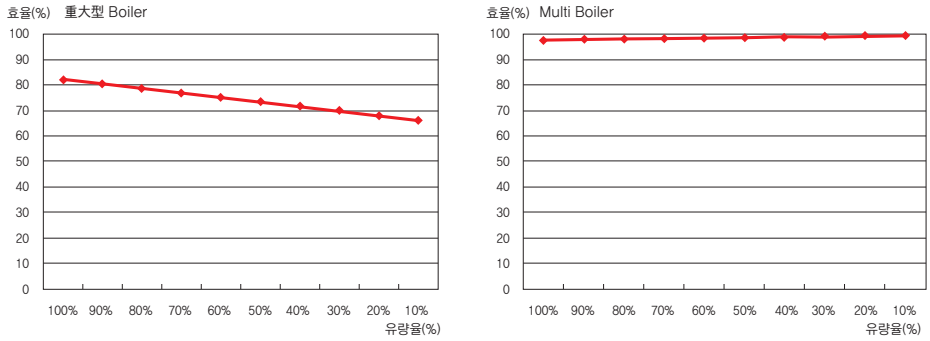
열원기기로 유입되는 열전달 매체의 온도에 따라 달라지지만 순간급탕방식을 적용할 경우 유입온도가 20℃ 이하이므로 **그림 4**와 같이 98%의 운전 효율을 갖게 될 수 있다.

둘째는 부하에서 필요한 열량만큼만 생산하는 기술에 있다. 열원 장비 10대를 적용할 경우 열원 장비의 TDR 10%를 고려할 때 시스템에서의 TDR은 1%로 세밀하고 능동적이며 매우 지능적인 열원 제어가 가능하다.

셋째는 열원 장비를 연속 운전함으로써 잦은 기동·정지로 인한 가스 낭비와 예열량을 줄이는 대수제어에 있다. 화석 연료를 사용하는 가스보일러와 기름보일러는 과열과 가스 팽창 등으로 인한 안전사고를 방지하기 위해 연소실내 잔류 가스 또는 연소공기를 제거하는 기능을 내장하고 있다. 연소전후에 잔류 가스를 배출시키는 프리퍼지(Pre-Purge)와 포스트 퍼지(Post-Purge)를 할 때 중대형 보일러는 연소실의 체적이 커서 잔류 가스와 연소공기량이 많기 때문에 손실열량이 증가하는 반면 소용량 열원은 이를 최소화하게 된다. 이러한 사항은 **그림 5**에서 부분 부하 비율이 낮을수록 효율이 낮아지는 중대형 보일러와 부분부하에서도 운전효율을 유지하는 캐스케이드 시스템(=Milti Boiler)를 그래프에서 확인할 수 있다.



[그림 4] 열매체의 열원기기 유입 온도에 따른 콘덴싱 효과



[그림 5] 중대형 보일러와 멀티 보일러의 부분부하시 운전 효율

넷째는 탱크 없는(tankless) 순간 급탕 중앙 방식은 탱크 표면의 손실 부하를 줄일 수 있다. 난방과 달리 급탕은 연중 부하가 발생되며 급탕을 사용하는 시간보다 사용하지 않는 시간이 절대적으로 많은데 60℃의 높은 온도의 온수를 아무리 단열이 우수한 탱크에 저장한다 해도 표면 부하 손실의 발생은 피할 수는 없다. 특히 탱크를 설치한 장소에 환기를 할 수 밖에 없다면 표면 열손실 부하는 그렇지 않은 환경보다 훨씬 많이 증가하게 될 것이다. 가열량이 적고 저탕 계수가 큰 용도일수록 탱크 부하는 높을 것이다. 그러나 Tankless 순간 급탕 캐스케이드 시스템에서는 저탕탱크로 인한 손실 부하가 발생되지 않아 에너지 절약적인 방식임이 틀림없다.

초기 투자비 절감

초기 투자비 절감의 가장 큰 요인은 첫째로 열원 장비의 단가가 낮은 것이다.

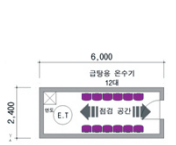
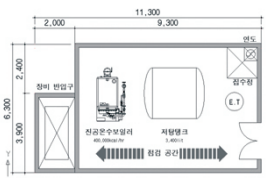
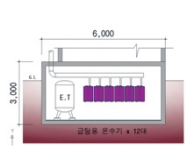
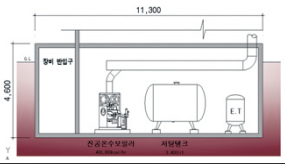
소형 열원 기기의 특징에서 언급됐지만, 제조과정에서의 높은 자동화율과 부속류의 모듈화 및 표준화를 통해 공정을 단축시켰고 무엇보다 대량생산으로 고효율 진공 온수보일러보다 저렴하게 공급되고 있다.

둘째는 보일러 설치 시 부대시설이 불필요하거나 단순화할 수 있다.

연도는 배기가스 온도가 67℃ 이하로 고온의 위험성이 없어 저가의 PVC 재질을 적용할 수 있고 중량이 작아 벽에 부착하여 설치하므로 장비의 콘크리트 패드와 방진 장치 등이 불필요하다.

운전 효율을 높이기 위해 콘덴싱 열교환기 등이 내장되어 있으므로 공기 예열기와 이코노마이저 등의 부착이 불필요하다.

또한, 캐스케이드 시스템은 대수 제어, 순환 펌프 운전 제어를 위한 제어 프로그램이 제공되므로 별도

항 목		Cascade System(순간급탕방식)	중대형 Boiler(저탕탱크방식)
평면	도면		
	비율	22% (14.4 m²)	100% (66.39 m²)
단면	도면		
	비율	66% (3.0 m)	100% (4.6 m)
총체적비		15% (43.20 m²)	100% (305.40 m²)

[그림 6] 진공온수 보일러와 Cascade System 설치 공간 비교

의 자동 제어 설비가 요구되지 않는다.

셋째는 규격과 중량이 작아 이동과 장비 반입이 용이하기 때문에 운송비용이 적고 장비 반입에 중장비의 동원이 불필요하다는 점이다. 이외에도 중대형 보일러의 주문 생산 시 공장 검수 과정이 필요하지만 이를 생략할 수 있고 제작 검사와 설치 검사가 불필요하며 운전 하중을 고려하여 건축 구조를 보강해야 하는 등의 제약조건을 완화시킬 수 있다. 건물의 규모, 용도 등에 따라 정도의 차이는 발생하겠지만 이러한 요인들을 고려하면 중대형 보일러 대비 초기 투자비는 약 60~80% 수준이다.

설치 공간의 최적화

열원 용량 10,000 kcal/hr기준 중대형 진공 온수 보일러의 체적은 0.21 m^3이고 질량은 38 kg이다. 이는 소형 벽걸이 보일러의 체적이 0.024 m^3로 중대형 보일러 대비 약 10%에 해당되며 중량은 7.1 kg으로 약 18%에 해당된다. 이는 설치 공간을 결정하는 데 결정적인 요인으로 작용할 수 있으며 이외에도 장비 설치와 교체 공사를 고려한 반입구와 반입로가 불필요하고 유지 관리를 위한 점검 공간 역시 점검자의 이동통로만으로 충분하기 때문에 점검용 공간 구획의 필요성은 줄어든다.

이러한 사례로 **그림 6**을 통해 캐스케이드 시스템의 설치 면적은 중대형 보일러 대비 22%, 설치 높이는 66% 정도에 해당되는 것으로 확인되었다. 이는 신축건물에 있어서 공간절약이 건축 공사비와 직결되는 요인으로 작용할 수 있으며 장비 교체 공사 시에는 여유 공간의 확보가 가능하다는 결과를 가져온다.

복합 연도

이러한 장점에도 불구하고 개별 연도를 적용함으로써 설치 수량이 증가할 경우 시공성이 떨어지고 배출위치 선정에 제약 조건이 많았다. 이러한 문제점은 복합 배기통과 복합 공동 배기구 적용으로 이를 극복할 수 있게 되었다.

복합배기통이란 70 kW 이하 즉 60,000 kcal/hr이하의 열원기기는 6대까지 연도를 연결하여 연소가스를 배출할 수 있는 연도를 말하고 복합 공동 배기구는 다수의 복합배기통을 연결할 수 있는 연도를 뜻한다.

그림 7은 PVC관으로 복합 배기통을 구성한 사례로 배출되는 배기가스의 온도가 낮기 때문에 가능하다.

열원기기에는 역풍 방지 장치 등을 적용하여 복

[그림 7] 복합 연도를 적용한 Cascade System

[그림 8] Modular를 적용한 Cascade System

합 배기통 연결이 가능한 구조임을 검사 받아야 하며 이는 2012년 1월 5일 도시가스 사용시설의 시설·기술 검사 기준이 개정됨으로써 가능하게 되었다.

시공성 향상을 위한 모듈의 개발

여러 대의 장비를 설치하면 공정이 증가하여 시공 기간이 길어질 뿐만 아니라 시공성이 저하될 우려가 높다. 이를 보완하기 위해 표준화된 설치 모듈을 벽에 설치할 수 있는 In-line과 2열로 설치하는 Back to back 형태로 개발하였다. 이를 기본으로 하여 대수에 맞게 설치할 수 있도록 보급하고 있다. 표준화된 설치 모듈은 필요한 부속류를 포함하고 있다. 공급과 환수(급탕과 환탕)는 기본이고 제어를 위한 컨트롤 판넬, 동력선이나 제어선의 시공성을 고려한 공간 확보, 가스관과 배수관의 설치를 고려한 공간과 L.L.H 등을 적용하여 초급 기술자가 설치하기에 충분한 제품을 제공하고 있다.

그림 8은 Back to back 난방용 모듈로 보일러 6대, L.L.H, 컨트롤러 및 하부 배관을 일체화했다.

결 론

캐스케이드 시스템은 운전효율 1등급 장비와 더불어 열원 장비의 대수제어 방식으로 효율을 향상시켜 에너지를 20~40%까지 절약할 수 있는 방식이다. 또한, 초기투자비의 절감, 설치 공간의 감소, 열원 장비 운전의 신뢰성 향상, 열원 장비 증설의 편의성이 강화된 시스템이다.

이를 적용하여 국제적 규제 대상인 온난화 물질의 배출 감소로 환경성이 강화되고 에너지 사용량과 운전비용을 절감하여 경제성을 높일 뿐만 아니라 유연한 확장성, 수질 오염을 방지한 환경성이 향상된다.

자연환경은 우리가 후대로부터 빌려온 것이다. 캐스케이드 시스템의 경제성은 LCC 측면뿐만 아니라 환경성에 대한 영향을 고려하고 있는 LCA기법으로 볼 때 그 파급 효과는 더 높아질 것으로 기대하고 있으며 판매를 시작한 가정용 소용량 열교환기인 Flat Station이나 전기를 생산하는 소형 열병합 발전 보일러에도 캐스케이드 시스템을 적용하면 지금보다 발전된 시스템이 될 것이다.

참고문헌

1. 국토교통부 고시 제 2013-141호 건축물의 에너지 절약 설계 기준, 2013.4.
2. Report, Contribution of the calorific value method to the reduction of primary energy consumption for heating purpose in Germany, 2005.6.
3. Green Town 개발사업(III)(도시·건축설비분야), 1999.12.
4. Modern Hydronic Heating, John Siegenthaler, P.E., 2012.
5. A Study of Control and Efficiency Characteristics of a Multi-boiler System, 김영일, 2014.4.