

핀치기술을 이용한 중소규모 산업공정의 에너지절약

박 교 식*, 최 기 련
에너지자원기술개발지원센터

가. 요약

제조공정의 근간을 이루는 가열, 용해, 성형, 냉각등의 단위조직은 일반적으로 에너지이용면에서 매우 비효율적이므로 이들을 체계적으로 연결하면 어느 공정의 방출에너지를 다른 공정에 이용할 수 있다. 이 때 핀치기술(Pinch Technology)을 응용하면 기존 공장에 대해서는 에너지 및 비용절감의 가능성을, 신축공장에 대해서는 효율적인 에너지 사용을 위한 설계지침을 제공해 준다. 본 원고에서는 중소규모의 여러가지 산업공정에서의 핀치기술의 적용실례를 밝혀준다.

나. 내용

장치산업은 에너지 사용량이 방대하여 제품원가 중 에너지 비용이 매우 크므로 에너지사용 효율화를 위한 연구가 1970년대 이후부터 다양하게 전개되어 왔다(1~5). 이들중 에너지 배분에 가장 직접적인 영향을 미치는 열교환망의 최적합성에 관한 연구가 특히 강조되었다. 가열 및 냉각에 대해 이상적인 필요조건을 정해주고 가능한 에너지회수량을 명확하게 하기위해 핀치점을 정할 필요가 있다. 그림 1에 나타난 것처럼 열교환망의 온류 및 냉류를 온도-엔탈피선도에 나타낸 다음(a), 이를 합성한다(b). 그림 1-b에서 보듯이 상충부의 온류합성 곡선을 수평이동하면 점선처럼되며 두 곡선은 한 점에서 만나게 되는데 이를 핀치점이라 한다.

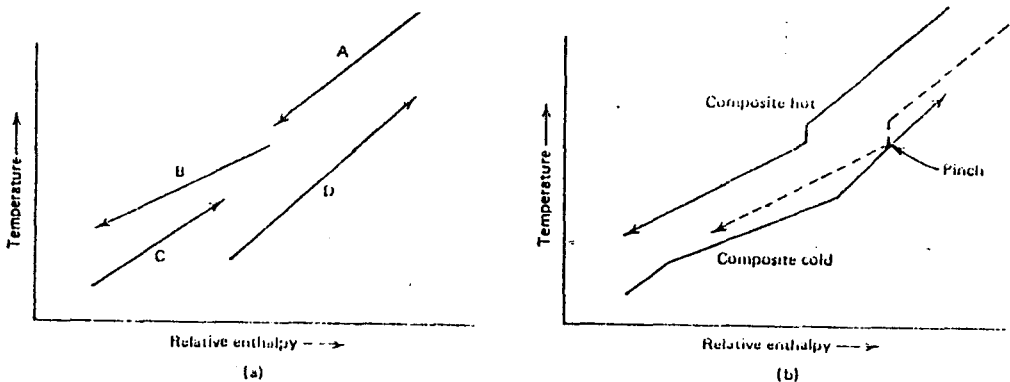


그림 1 (a) 열교환기의 전형적인 냉-온류 곡선, (b) 냉-온류 곡선의 합성도

핀치점에서의 온도차는 열교환기에서의 최소온도차(ΔT_{min})이며, 설계방식에 의해 변할 수 있다. 대개 ΔT_{min} 을 증가시키면 유틸리티 소요량이 늘어나는 반면, 열교환기의 설비비는 줄어들게 된다. 따라서 설계시 설비비 및 에너지 사용을 고려하여 trade-off가 가능하게 된다.

핀치기술은 응용하므로써 설계전략을 좀더 체계적으로 세울 수 있다. 문제를 열교환에 대한 제한조건이 가장 많은 핀치점에서 둘로 양분한다. 각 부분을 핀치에서 시작해 이동하면서 독립적으로 설계한다. 이처럼 핀치기술개념은 간단하지만 매우 효과적인 방법으로 알려져 있으며, 공정데이터 수집, 목표설정, 공정변경, 최소에너지 설계, 최적화 등 크게 5단계로 나눌 수 있다. 다수의 업체에서 이러한 전략을 활용해 상당량의 에너지를 절감하고 비용절감 효과를 본 것으로 알려져 있으며 여기에 몇가지 적용사례를 소개하고자 한다.

다. 결과 및 논의

< 낙농 공정 >

사례연구대상인 Steuben Foods는 뉴욕의 버팔로 교외에 위치하고, 요구르트 및 유사제품을 생산하며, 전체적인 공정은 일련의 가열 및 냉각 단계(멸균, 균질화, 숙성등)으로 구성되어 있다.

표 1에서 각 항목의 운전조건 및 에너지절감량을 정리해 놓았다. 공정의 에너지 통합에 의해서 시간당 3.15MMBtu의 스팀과 400kW의 전력사용을 절감했으며, 냉동기의 방열을 온수열원의 일부로 이용하는 열펌프를 적용하면 연간 약 16만 달러의 냉각수사용 비용을 부수적으로 절감할 수 있다. 보일러의 효율개선을 위해 예열기를 부착할 경우 전체 효율은 3%정도 향상하였으며 멸균과정에 저장탱크를 2개 추가설치하여 매년 각각 470MMBtu의 가열 및 냉각에너지를 절감하였다. 보일러 급수장치 공기 및 냉각용 압축기에 인버터(ASD, Adjustable Speed Drive)를 250kW의 전력절감이 가능하였다. 이와같이 핀치연구를 통하여 다양한 에너지절약기술을 달성할 수 있었으며 표 1에서 보듯이 총 35만달러 투자에 연간 29만달러(열에너지 50%, 전기에너지 20%)를 절감했다. 이외에도 또한 공기 및 냉각수 등의 수요를 줄임으로써 공해저감에도 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다(6).

< 식료품 공장 >

J.Lyons 그룹은 영국내 Greenford 등 몇개 지역에 3개의 주요공장으로 나누어져 위치하고 있으며, 1985년의 연간에너지 사용비용이 350만파운드 정도이다.

표 2에서 보듯이 아이스크림 제조공장의 경우, 스팀소비의 약 66%, 냉동 에너지절약 약 32%를 절감해 연간 10만 파운드의 에너지 비용을 절감하는 등 총 30만 파운드의 투자로 연간 스팀비용 27만 파운드를 절감했다(7).

< 주 조 공 장 >

주조공정은 기본적으로 재래적인 방법을 고수하므로 거의 변화없이 오랜세월을 유지해 대개가 에너지 다소비 공정이다. 그러나 모델로 삼은 스위스의 Brasserie du Cardinal 주조공장의 경우 최근 10여년 동안 에너지 절감을 위한 연구개발에 깊은 관심을 보여 그 소비에너지를 1/2이하로 저감시켰다. 1984/85년 사이에 주조공정에 핀치를 적용해서 개선하여 에너지 회수율이 높게 설계한 결과, 맥아냉각시 10.6kWh 및 증기응축시 5.6kWh를 포함해 약 20kWh의 에너지를 회수하였으며 이는 회수에너지 Hot Brewing에 3.3kWh, Sparging에 4.9kWh, 맥아예열에 2.8kWh, 기타온수용으로 3.7kWh등에 주로 이용되었다. 맥주 헥토리터당 주요 에너지 사용량을 보면 열에너지 37kWh, 전기에너지 11.3kWh, 물 8.5h1등을 소모해 전체 비용의 5~6%를 차지한다. 한편, MVR을 설치할 때 약 7kWh 정도의 추가 절감이 가능하다(8).

< 철 강 회 사 >

영국의 Sheerness Steel Works회사는 철강스크랩으로 부터 reinforcing bar, engineering steel bar, 선재 등을 주로 생산한다. 1985년의 연간 에너지 비용은 1,300만 파운드 정도였고, 연속 및 회분식 공정으로 구성 되어 있으며, 업체 특성상 상시운행을 하고 있다(7).

< 합 성 고 무 공 장 >

합성고무공장의 모델로 채택된 American Synthetic Rubber Plant는 Kentucky주 Louisville에 위치하고 있으며 틀루엔 용제하에서 부타다이엔을 중합하여 폴리부타다이엔 러버(PBR)를 생산한다. 부대설비 없이 핀치 기술을 통한 에너지 통합만을 하여서 1,035.8ft²의 열교환기 면적을 8,500ft² 만큼 증가시켰을 때, 연간 약 23만 달러의 비용을 절감하여 2년 이내에 투자비를 회수하였다. 추가로 MVR을 적용하면 시간당 15.4MMBtu의 스팀이 절감되나 함유된 고무성분의 분리 등을 고려하여야 하므로 그 효과는 다소 줄어들 것으로 전망된다(9).

라. 결 론

다수의 연구에서 낙농, 식료품, 주조, 철강 및 합성고무공장등 중소규모 장치산업에서 핀치기술의 적용결과 에너지의 사용 및 공업 용수등을 절감할 수 있음을 알 수 있었다. 에너지 및 장치비용 등에 따라 여러가지 사양의 설계를 도출하여 최소에너지 뿐만아니라 최소 생산비용까지 고려한 설계를 가능하게 했으며, 아울러 실적용한 결과의 투자 회수기간이 대부분 1~2년 으로서 투자효과가 매우 좋은 것으로 나타났다.

표 1. 에너지절감 잠재량 및 예상비용

항 목	절 감 량	운전시간 (hr/yr)	전기사용량 (kW)	절 감 량 (\$ /yr)	예상비용 (\$)	회 수 (yrs)
Heat Integration	3.15 hot MMBtu/hr] 2,184 5,616	- 278	35,665	18,626	0.5
	3.15 cold MMBtu/hr		- 119	46,700	9,000	0.2
	1.35 MMBtu/hr		+ 240	158,438	216,880	1.37
열펌프	5MMbtu/hr	7,488		13,825	20,000	1.45
예열기	0.5MMbtu/hr	7,000			4,000	1.30
공정개선 고온 저온	470MMbtu/hr			2,500		
	470MMbtu/hr			660		
인버터 10HP 15HP 250HP 350HP	55.473kWh		- 6	835	3,000	3.60
	85.666kWh		- 7	1,285	3,500	2.72
	911.164kWh		- 104	13,667	35,000	2.56
	1,114.675kWh		- 127	16,720	42,500	2.54
총	합			290,295	352,506	1.21

표 2. J.Lyons 그룹의 PT에 의한 에너지절감액

적 용 공 정	개 선 세 부 내 용	절감내용(절감액)
아이스크림 제조	혼합/멸균 공정의 혼합냉각기로 유입우유에 열열교환기와 냉동공정의 암모니아 압축 및 압축기 윤활유로 대체	스팀소비 66% 냉동에너지 32% (10만 파운드/연)
커피 및 음료제조	효율적인 열회수	(4.6만 파운드/연)
홍차, 커피 및 간식 저장/포함	건조기의 배기손실 저감, 스팀공급 시스템 개선	(4.5만 파운드/연)
난 방 용	470,000파운드 투자로 각 공정당 매년 67,000파운드, 31,000파운드, 140,000파운드 절감	
총 합	30만 파운드 투자로 연간 스팀 비용 27만파운드 절감	

마. 참 고 문 헌

1. J.W. Ponton and R.A.B. Donaldson, Chem. Eng. Sci., 29, 2375-2377(1974)
2. B.Linnhoff and E.Hindmarsh, Chem. Eng., Sci., 38(5), 745-763(1983)
3. E.N. Pistikopoubs and I.E. Grossman, Comput. Chem. Eng., 12, 719-731(1988)
4. A.R.Ciric and C.A. Floudas, Ind. Eng., Chem. Res. 29, 239-251(1990)
5. J.Jezowski, Comput. Chem. Eng. 16, 129-133(1992)
6. A. Amarnath et al, CADDET Newsletter, 4, 13-15(1992)
7. A. Mercer, ibid, 2, 4-7(1991)
8. P. Krummenacher et al., ibid, 4, 6-9(1992)
9. P. Tripathi et al., 2, 11-13(1991)