

천연가스 수요관리-효율향상

천연가스 수요관리를 위한 효율 향상 방안을 기기별(주방용, 난방용, 냉방용, 열병합발전, 수송용)로 기술하고, 국외의 수요관리 사례와 동향에 대해서 알아본다.

김민수

서울대학교 기계항공공학부(minskim@snu.ac.kr)

강용태

경희대학교 기계산업시스템공학과(ytkang@khy.ac.kr)

서론

부존 자원이 부족한 우리나라의 경우 석유, 천연가스, 석탄 등이 주요한 에너지원으로 자리 잡고 있다. 대부분의 석유 및 천연가스를 해외로부터 수입하고 있어 수입량은 연중 거의 일정한 상황에서, 특히 천연가스의 경우 동절기와 하절기의 수요 차이가 매우 커서 하절기에는 저장을 위한 막대한 시설이 필요한 상황이다. 특히 도시가스로 사용되는 부분은 다른 연료로 대체하여 사용하는 것이 매우 어려운 상황인데, 이러한 도시가스 수요가 전체 수요의 반 이상을 차지하고 있으며, 앞으로 그 비중은 더욱 늘어날 것으로 전망되고 있다. 이러한 현실을 감안할 때 저장설비의 확충이 매우 필요하며, 이러한 부분의 투자는 지속적으로 증대되어야 할 것이다. 저장설비의 확충을 통해서 동절기 천연가스 수요에 대처할 수 있는 공급량을 확보할 수 있다는 것이 기본적인 개념이지만, 이와는 별개로 천연가스를 이용하는 기기들의 효율 향상을 통해 사용량을 줄이면서 동일한 효과를 내는 방안을 모색하는 것도 매우 필요한 상황이다. 따라서 여기서는 각종 가스 이용 기기 및 시스템(난방용, 주방용, 냉방용, 수송용 등)의 효율개선을 통해 천연가스의 수요를 관리할 수 있는 방안을 모색하고, 이를 통해 천연가스 자원의 합리적인 이용을 도모하기 위한 방안에 대해 고찰하고자 한다.

가스 이용 기기 효율 향상 사례

난방기기

가스이용 난방기기의 대표적인 가스보일러의 경우 그 효율을 입열합계(연료의 저위발열량+연료의 현열+공기의 현열-가열로 내분입 증기에 의한 입열)에 대한 발생증기의 보유열의 비로 나타낸다. 연료의 발열량은 원칙적으로 열량계에 의해 고위발열량을 실측하고 연료의 성분을 분석하여 저위발열량을 구한 뒤, 연료의 현열은 연료의 평균비열과 사용 시의 연료온도와 기준온도와 차에 의하여 계산함으로써 구한다. 또한 공기의 현열은 기름이나 석탄 등 연료가 연소할 때에는 반드시 일정량의 공기가 있어야 하는데 공기량을 실측하기는 매우 곤란하다. 따라서 공기량은 연료의 성분 및 연소가스의 분석을 통하여 산출하게 된다. 난방기기 효율향상 사례로 먼저 콘덴싱 보일러의 경우 배기가스 중에 포함되어 있는 현열과 수증기의 응축 잠열을 회수하여 에너지효율을 극대화한 보일러이다. 그리고 공기 예열기에 히트 파이프 등을 사용하여 폐열을 회수함으로써 열효율을 극대화시킨다. 또한 고효율 보일러는 보일러의 배기가스 출구에 공기에열기(heat pipe type) 및 콘덴싱 이코노마이저를 설치하여 배기가스 중의 현열과 수증기의 응축잠열을 회수함으로써 보일러의 효율을 거의 100%까지 향상시키며, 콘덴싱 과정에서 CO₂를 40% 이상 절감시키는 친환경 보일러이다.



보일러의 효율향상을 위한 기술로는 첫째 버너와 연소실의 조화를 이루는 기술을 들 수 있다. 연소상태의 적합여부는 초기혼합영역에 있어서의 산소농도에 따라 결정되므로, 어느 정도 초기혼합 상태가 양호한 버너에서도 저과잉공기로 연소시킬 경우에는 화염이 커지게 되나, 동일한 저과잉공기 연소에서도 초기혼합 상태가 양호한 버너일수록 버너의 화염을 줄일 수 있다. 또한, 연소상태의 적합여부는 연소실 열부하에 의해서도 판단되나, 이것은 버너자체의 성능에만 관계하는 것이 아니라 화염형상과 연소실 형상의 조화여부에 따라서도 크게 좌우된다. 연소실의 형상이 버너의 화염형상과 완전히 동일하다면 연소실에서 가장 높은 열부하 상태로 연소시킬 수 있으나, 이러한 연소상태는 실제로는 불가능하므로 버너가 가지는 화염형상에 가장 근접한 형상으로 연소실을 설계하지 않으면 안 된다. 이렇게 하기 위해서는 버너에 사용되는 연료가 균등하게 공급되어야 할 뿐만 아니라, 연소용 공기도 균등하게 공급되어야 하고, 또 사용연료와 공기가 균등하게 혼합되어야 한다. 그리고 연소조정기술을 향상시키는 것으로 보일러의 연소성능을 최종적으로 결정하는 것은 시운전시에 있어서의 연소조정기술과 상당한 관계가 있다. 보일러, 즉 연소설비를 설치하는 장소에 따라서 연돌의 높이, 연도의 형상, 다른 연소장치와의 관계, 연료성상 및 공기온도 등이 각각 다른 조건하에 있어서, 보다 저과잉공기로 완전 연소시킬 뿐만 아니라 저 NOx 및 저분진 상태로 연소시키기 위해서는 연소설비마다 이러한 조건들을 종합적으로 고려한 연소조정 기술이 필요하게 된다. 마지막으로 고도의 제어장치를 고안하는 것인데 저과잉공기 연소상태를 유지시키기 위한 제어방법으로서 가장 널리 사용되고 있는 것은 공연비제어와 산소(O₂) 제어를 들 수 있다. 연료와 공기량의 비율설정에 의한 캐스케이드(cascade) 제어인 공연비제어방법에서는 제어장치가 간단하기 때문에 공연비의 설정이 정밀하지 못하다는 것이 하나의 가장 큰 문제이나, 피드백(feedback) 제어인 산소(O₂) 제어에 있어서 배기 가스중의 산소(O₂) 농도는 여러 가지 요인에 의하여 변동하게 되며, 본 항에서의 제어장치 고도화라고 하는 것은 공연비의 설정오차나 산소(O₂) 농도의 변동요인에 따라서 가능한 한 높은 정밀도로 대응한다

는 것을 말한다.

주방기기

일반적으로 천연가스를 이용하는 주방기기 중 대표적인 가스기기인 가스레인지의 보통 물을 끓이는데 사용한 열량과 가스가 투입되면서 발생한 열량 사이의 비로써 나타낸다. 가스레인지의 효율을 높이기 위해 여러 가지 연구가 활발히 진행 중에 있는데 먼저 가스버너의 구성 재료 특성을 향상시키는 기술, 가스/공기 혼합비 향상(1:1) 기술 등의 연구가 주를 이루고 있다.

냉방기기

일본에서는 CO를 현재보다 30% 이상 삭감하는 것을 지향하는 「초고효율GHP」의 개발에 도시 가스와 LP가스의 양 업체가 기기 메이커의 협력을 얻어 공동으로 대응하고 있다. 이는 실외기의 컴프레서를 가스 엔진으로 구동시키는 히트 펌프 운전에 의해 냉난방을 행하는 공조시스템이다. 공조시스템에는 전기에 의한 EHP, 등유에 의한 KHP, 그리고 가스에 의한 GHP 등 세 가지 타입이 있다. 각각 특징이 있지만, CO₂ 배출 등으로 말미암아 환경 특성은 EHP가 뛰어난 것으로 되어 있다. 히트 펌프의 효율을 나타내는 성능계수는 출력에 대한 입력 에너지의 비율을 나타내는 것으로 에너지를 일정하게 하면, 입력 에너지가 작을수록 효율이 높다고 할 수 있다. 현재의 GHP의 평균적인 주력 기종은 COP가 1.1로 되어 있다. 그러나 지구 온난화 방지에 향한 CO₂ 삭감 때문에 「지구 온난화 대책 추진에 관한 법률」 혹은 「개정 에너지절약법」의 시행, 2007년도까지 1차 에너지의 COP 1.44를 지향하는 EHP에의 대항, 화력발전소의 발전 효율의 향상 등을 배경으로 2004년도에는 COP 1.5의 GHP를 개발하기로 했다. 저NOx, 신냉매 HFC(R407C)의 채용, 설계 수명 3만 시간이 주요 사양으로 CO₂ 30% 이상 삭감이 개발 목표로 되어 있다. 요소 기술로서는 고압축화·층상연소(層狀燃燒) 등에 의한 35% 이상의 효율 향상을 가능하게 하는 가스 엔진, 그 경우 배열이 적어지는 것에 대응할 수 있는 배열회수 시스템, 스크롤 형상의 최적화·압력 손실 저감에 의한 컴프레서 효율의 향상, 고성능 전 열관 등의 냉동 사이클 효율의 향상이 주된 관건이

다. 엔진 배열이용 기술, 고효율 컴프레서 기술을 개발하고 있다.

열병합발전

일반적으로 화석연료로부터 생산할 수 있는 전기의 생산의 효율은 약 35% 정도이다. 열병합 발전은 이러한 비효율성을 개선하고자 만들어졌다. 즉, 난방용이나 온수용 열원은 온도가 그렇게 높지 않아도 되므로 일차적으로 연소시킨 열을 전기로 생산하고 거기에서 나온 폐열로 난방이나 온수를 만드는 것이다. 현재 많이 쓰이는 열병합 발전에서의 발전방식은 가스터빈과 증기터빈을 이용한 방법이 있다. 전체 효율의 향상은 전기 생산방식에 있어서의 효율을 높이므로 전체의 효율을 높이는데 있다. 먼저 복합 사이클 열병합 시스템(combined cycle cogeneration systems)의 경우 고온의 열원으로 부터 일차적으로 발전기를 돌리고 폐열로 다시 발전기를 돌리는 형태의 시스템이다. 이러한 다단 발전시스템의 경우 전기 생산 효율 35~45%, 전체 에너지 이용 효율은 70~88% 정도이다. 또한 연료전지의 경우 다른 방식과 달리 여러 기기를 거치지 않고 직접 연료로부터 전기를 얻는 방식이므로 전기 생산 효율이 높다. 또한 연료 전지의 종류나 방식에 따라 다양한 양의 전기를 생산할 수 있고 시스템도 간단하다. 연료 전지에 따라 다르지만 작동 온도 또한 충분히 높아 열병합 발전에 있어서 효율 향상에 긍정적이다. 전기생산 효율 37~45%, 전체 에너지 이용 효율은 85~90%이다. 스틸링 엔진 시스템은 다른 엔진 시스템에 비해 효율이 높고 외연기관이라 연료 사용에 제한이 적으며 배출가스가 적을 뿐만 아니라, 소음이 적은 것이 장점이다. 전기 생산 효율은 30~35%, 전체 에너지 이용 효율은 65~85%이다.

수송용

수송용 기기, 즉 자동차의 효율은 일반적으로 연료의 화학적 성분에 의해 표시되는 에너지소비효율(또는 연비)에 의해 판단되는데 에너지소비효율은 자동차에서 사용하는 단위 연료에 대한 주행거리(km/L)를 말하고, 좀 더 구체적으로 연료의 화학적 성분에 의해서 식으로도 나타낼 수 있다. 수송용 기기의 효율향상 기술 및 보급현황을 보면, 천연가스를 연료

로 사용하는 차종의 경우 종래에는 가솔린 승용차를 개조해서 가솔린과 천연가스를 병행하여 사용할 수 있는 'bi-fuel' 자동차가 많았지만 현재는 주로 천연가스 전용엔진을 탑재한 자동차를 운행하고 있다. 특히, 최근 들어서는 정부와 지방자치체 등 공익사업체를 중심으로 버스·트럭 등의 중량차에 보급이 늘어나고 있다. 미국과 일본 등의 선진국에서는 90년대 초부터 천연가스 자동차 보급에 주력하고 있다. 특히 일본의 경우 지나친 석유의존도를 낮추기 위해 2010년까지 천연가스 자동차 100만대 보급 계획을 설정해 추진하고 있다. 이에 우리도 본격적인 천연가스 버스 보급을 시작하여 현재 천연가스 버스가 약 3천대 정도 보급되어 있다. 앞으로 시내버스 2만대를 2007년까지 연차적으로 천연가스 버스로 교체 보급할 예정이다. 천연가스 버스의 출력은 290 마력으로 기존의 디젤 시내버스보다 약 50~65 마력 정도 출력이 높은 편이며, 현재 새로이 생산되고 있는 고풍력 버스와 출력이 동일하거나 약 10 마력 정도 높은 편이다. 그에 비해 연비는 천연가스 버스가 디젤 버스에 비해 조금 높다. 천연가스 버스가 2.0~2.3 km/m³, 디젤 버스가 2.3~2.5 km/L로 평균 0~0.2 km/m³ 정도 차이가 있다. 천연가스 버스의 충전시간은 충전기 종류 및 충전량에 따라 다소 차이는 있으나 약 4~7분 정도 걸리며 1회 충전 때 주행거리는 350 km로 현재 국내 시내버스가 1일 평균 약 260 km를 운행하고 있는 점을 고려할 때, 1일 1회 충전만으로도 운행이 가능하다.

국의 천연가스 수요관리 사례

먼저 영국에서는 영국국영가스회사(BG)가 민영화된 이후 경쟁체제의 도입과 경영효율화를 위하여 소규모 소비자에 대한 요금체제로서 가격상한제가 도입되었다. 가격상한제는 독점체제에서 경쟁체제로 바뀌는 동안의 과도기적인 규제방법이었다. 또한 수요관리 정책의 일환으로 추가적인 수요에 대비한 새로운 LNG 터미널 증축과 파이프라인 개설 등 인프라 확충에 박차를 가하고 있다.

한편 독일은 영국의 뒤를 이어 EU 2위의 천연가스 소비국으로서 대부분 수입으로 충당한다. 독일의 유일한 해상 천연가스전은 German North Sea의 해상 190마일에 위치해 있으며 2000년 9월 생산을 개시했



다. 독일도 천연가스 수요관리를 위해 파이프라인 등 인프라 구축에 힘쓰고 있는데 유럽 천연가스 배관망의 주요한 목적지이자 주요 통과지점이기도 하다. 또한 아-독일 간 천연가스 파이프라인 건설 계획을 공동 개발하는데 동의했으며, 증대되는 수요에 대비하기 위해 2006년까지 100기의 천연가스 보급소(자동차용)를 설립할 계획에 있다.

이탈리아는 천연가스 수요관리 사업 일환으로 주로 수송용에 대한 기술개발과 효율향상에 대한 연구를 하고 있고, CNG 차량으로의 교체 작업을 활발하게 진행하고 있으며, CNG 충전소의 추가 설치 계획을 세우고 있다.

프랑스도 영국의 가격상한제와 유사한 제도를 도입하여 시행하였다. 정부는 GDF(Gas de France)의 생산성 향상을 위해 GDF가 제출한 재무계획을 6개월에서 1년에 걸쳐 심의한 뒤, 채무상환이나 투자의 수익성 등을 고려하고 있다. 시장 개방에는 소극적이나 EU내 시장개방 정책에 따라 GDF의 구조개편을 추진 중에 있다.

수요대비 효율향상 기대효과

표 1에는 2004년 보급대수에 대한 가스 수요량을 각각의 용도별 대표적 기기에 대해 나타내었다. 냉난

<표 1> 2004년도 가스이용기기 보급현황 및 가스 수요량

구분	난방용 [가스보일러]	주방용 [가스레인지]	냉방용 [GHP]	발전용 [열병합]	수송용
보급대수	852,435	1,500,000	5,000	96	1,899
가스수요량 [천톤]	7,332	1,112	317	273	181
비용(13.3원/m³)	약 975억원	약 150억원	약 42억원	약 36억원	약 24억원

* GHP 1대당 연간수요량 20 HP급 기준 - 4.46 톤(5,560 Nm³/톤)

<표 2> 수요대비 효율향상 효과[난방용]

효율향상 기준(90%)	효율 개선후 기대 효과(연간)			
	절감량(톤)/대	% 절감	절감액(원)/대	총절감량(천톤)
91	0.0945	1.09	2,174	693
92	0.187	2.17	2,482	1,371
93	0.277	3.22	3,683	2,031
94	0.366	4.25	4,862	2,683
95	0.453	5.27	6,026	3,321

<표 3> 수요대비 효율향상 효과[주방용]

효율향상 기준(90%)	효율 개선후 기대 효과(연간)			
	절감량(톤)/대	% 절감	절감액(원)/대	총절감량(천톤)
91	0.00085	1.09	112	9
92	0.0161	2.17	214	17
93	0.0239	3.22	236	26
94	0.0315	4.25	311	35
95	0.039	5.27	385	43

<표 4> 수요대비 효율향상 효과[냉방용-GHP]

효율향상 기준(COP 1.0)	효율 개선후 기대 효과(연간)			
	절감량(톤)/대	% 절감	절감액(원)/대	총절감량(천톤)
1.04	2.44	3.84	32,379	12
1.08	4.7	7.41	62,482	23
1.1	5.77	9.1	76,733	28
1.16	8.75	13.8	116,364	43
1.2	10.57	16.67	140,565	52

<표 5> 수요대비 효율향상 효과[발전용-열병합]

효율향상 기준(40%)	효율 개선후 기대 효과(연간)			
	절감량(톤)/대	% 절감	절감액(원)/대	총절감량(천톤)
41	135.26	4.76	1,789,171	12
42	258.21	9.1	3,437,680	25
43	370.48	13.04	4,926,083	35
44	473.39	16.68	6,301,155	45
45	568.07	20	7,555,342	54

방용은 계절적 요인이 수요에 큰 영향을 미치고 있고 가스 수요량도 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 수송용 등을 비롯한 나머지에 대한 가스수요는 거의 일정한 수준의 패턴을 보이고 있다. 이를 토대로 기 보급된 기기 효율을 가정한 후 효율 상승치를 가정하여 기대 효과를 산출하였는데, 예를 들어 난방용인 경우 연간 가스수요량이 7,331,835 톤을 보급된 대수 852,435 대로 나누면 1대에 들어가는 가스수요량이 산출된다. 거기에 가정했던 효율을 적용하여 절감량이 얼마나 되는지를 산출한 후 효율을 각각 1%씩 증가할 때 절감량, 절감액 등을 계산한 것이다. 또한 비용절감 측면에서 절감 비용 산출은 현재 천연가스 비용이 1 m³ 당 13.3원(변동가능)으로 했을 때 총비용을 산출한 다음 효율 향상시 절감 되는 비용을 계산하였다. 표 2에서 표 5에 대표적인 가스기기에 대한 수요대비 효율향상 효과를 정리하였다.

결 론

지금까지 천연가스 수요관리에 대한 효율 향상 방

안을 기기별(주방용, 난방용, 냉방용, 열병합발전, 수송용)로 기술하였고 국외의 수요관리 사례와 동향에 대해서 알아보았다. 동절기에 집중되는 가스수요 및 장기 수급계약에 따른 가스저장시설확보에 많은 비용이 소요되고 있고, 대부분의 가스를 수입에 의존하는 우리의 입장에서 에너지의 절약방안을 모색하는 한편, 기기의 효율개선에 따른 에너지 이용의 합리성을 증진시킬 필요성이 있다. 천연가스 이용기기의 효율향상에 따른 에너지 절감 효과를 산정하고 계량화하고자 하였다. 고효율의 에너지 절약형 천연가스 기기에 관한 핵심기술을 확보하는 것이 필요하며, 효율향상 정도에 따른 에너지 절감효과를 계량할 수 있는 시스템을 개발하여 고효율화를 통한 운전비 및 가스비 절감, 그리고 계절 간 수요격차 완화 및 장기수급계약에 따른 저장시설 확보 비용 절감 효과를 정확하게 예측할 수 있기를 기대한다. 아울러 수요관리 투자에 대한 계량적인 경제성 분석을 통해 합리적인 투자계획을 수립하여 천연가스 수입 절감효과를 가져올 수 있기를 기대해 본다. ㉞