

동시부하율을 고려한 전기로의 수요관리 잠재량 산출

손학식*, 김인수*, 임상국*, 김형중*, 허동렬**, 김재철***
 에너지관리공단*, (주)뉴그린테크**, 송실대학교***

Calculation of DSM's Latent capacity for arc-furnace Considered with the Same Time Load Factor

Son Hak-sig*, Kim In-su*, Im Sang-kug*, Kim Hyeung-jung*, Hur Dong-ryol**, Kim Jae-chul***
 KEMCO*, New-Green Tech**, Soongsil University***

Abstract - This paper has calculated DSM's latent capacity through a survey investigating electric arc furnaces in over 2,000 toe companies and related organizations. The latent capacity of DSM calculated with the same time load factor is considered in this paper. The time load factor depends on the probability of each electric arc furnace of the value to work and the consideration of experts and technician's experience. Also, this paper verifies the reliability and application of proposed capacity which compared the old latent capacity of Load Management with KEMCO and KEPCO's Direct Load Control gathering capacity.

1. 서 론

국내 전력수요는 지속적으로 성장하여 2015년에는 최대부하기준 6,775만[kW]로 증가 될 것으로 예측되나 이러한 전력수요에 대한 전원의 최적공급에 대해 자금의 투입여력, 전원입지 확보, 지구온난화가스 억제 및 환경 규제문제 등으로 전력공급 측면에서 어려움에 직면하고 있다.

특히 전력소비의 49.3[%] 이상을 차지하는 산업부문의 경우 전력수요관리 목적에서 정확한 수요예측과 기초 정보제공자료 확보의 중요성이 부각되고 있다. 산업 부문 중 철강·금속업종에서 널리 사용하고 있는 전기로는 단위 전력사용량이 커서 국내 전력 부하의 최대치에 영향이 크나 이에 대한 정확한 전력소비실태에 대하여 깊이 있게 조사된 바 없다.

따라서 본 논문에서는 에너지 사용량이 2,000[toe] 이상의 전기로 사용업체와 에너지이용합리화 자금 지원을 받은 업체, 전기로 관련 협회 및 유관기관의 참고자료로 조사된 산업용 전기로를 대상으로 수요관리 잠재량을 산출하고자 하였다.

수요관리 잠재량은 본 논문에서 제안한 동시부하율을 고려하여 산출하였으며, 동시부하율은 현장 기술자 및 전기로 관련 전문가의 경험을 바탕으로 한 가중치를 고려하여 설비별 전기로가 가동될 확률로 산출하였다. 또한 기존의 부하관리 잠재량 및 한국전력공사와 에너지관리공단인 확보한 수요관리 계약전력과 비교함으로써 본 논문에서 제안한 기법의 신뢰성 및 유용성을 입증하였다.

2. 잠재량 산출

2.1 국내전기로의 전력사용현황 및 분포현황

본 논문에서 조사한 아크로 설비는 대부분이 대용량 설비로서 2,000[toe] 이상의 에너지를 사용하고 있는 설비를 중심으로 연구하였다. 연구대상업체는 국내 아크로 업체의 대부분인 22개 업체를 대상으로 하였으며, 설비대수로는 53대의 설비가 가동되고 있었다. 아크로 전력

사용량은 전기로 전체 전력사용량에 비해 69.6[%]의 비중을 차지하는 9,895[GWh]이었다. 이는 설비용량 조사에서도 알 수 있었듯이, 전기로 전체 설비의 71.9[%]를 차지하는 2,445[MW]의 대용량 설비로서 아크로 1대의 설비용량이 다른 전력사용 설비보다 매우 많은 전력을 소비하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이와 같이 1대의 설비용량이 큰 아크로에 수요관리를 도입하기 위한 수요관리 잠재량을 분석하는 것은 매우 중요할 것으로 사료된다.

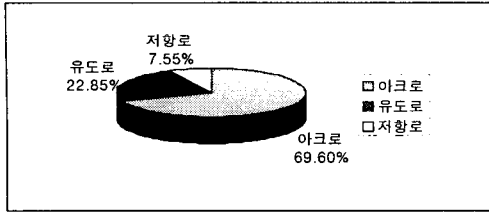
유도로의 경우에는 국내 매우 다양하게 분포하고 있는 것으로 조사되었으며, 설비 또한 매우 다양한 용량으로 가동되고 있었다. 조사대상에서 유도로의 점유율이 82.4[%]로서 733개 업체로 파악되고 있는 것은 유도로 업체의 조사가 다른 전기로 업체조사보다 상세히 이루어진 이유이나, 실제 유도로 전체업체에서 조사업체의 조사율은 파악하기 곤란하였다. 설비대수로는 1,170대로 가동되고 있었으며, 유도로 전력사용량은 3,249[GWh]로서 국내 전체 전기로의 사용량에 비해 22.9[%]로 소비되고 있었다. 아크로에 비해 1대의 설비가 소비하는 전력은 작지만 다른 전력사용 설비보다는 전력소비가 매우 큰 설비이다.

저항로의 경우는 실제 업체들의 수에서 다른 전기로 업체들에 비해 훨씬 많은 업체들로 구성되어 있는 것으로 조사되었으나, 저항로 설비규모가 작고 업체들의 전력사용량 역시 다른 전기로에 비해 매우 미비하여 본 조사에서는 전기로의 수요관리에 부합하는 업체들로 조사하였다. 이는 전기로의 특성상 소용량의 설비들로서는 수요관리 효과 면에서 다소 미흡하다고 판단되어 소규모 및 소용량 업체들을 배제하여 저항로 업체의 수가 유도로에 비해 미비하였다. 본 연구에서 조사대상으로 파악되고 조사된 국내 저항로는 134개 업체로 파악되고 있으며, 설비대수로는 780대로 조사되었다. 이는 국내 저항로 전체업체 중에서 약 15[%]에 해당하는 자료로서, 나머지에 대한 저항로 업체들의 저항로 설비들이 소용량으로 이루어져 있는 것으로 추정되었다.

따라서 본 연구에서 조사한 저항로가 소비하는 연간 전력사용량은 1,072[GWh]로서 국내 전체 전기로 전력사용량에 비해 매우 작은 7.5[%]의 전력소비가 이루어지고 있다. 이는 앞서서 설명한 많은 저항로 업체들의 수가 본 연구에서 추구하는 바와 다소 차이가 있어 배제되어 발생한 결과라고 할 수 있다.

[표 1] 종류별 산업용 전기로의 분포현황

구분	전기로 업체		설비대수		설비용량		전기로 년간전력사용량	
	업체수	구성비[%]	대수	구성비[%]	용량	구성비[%]	사용량 [MWh]	구성비[%]
아크로	22	2.47	53	2.65	2,445	71.9	9,895,165	69.60
유도로	733	82.45	1,170	58.41	753	22.1	3,249,036	22.85
저항로	134	15.07	780	38.94	203	6.0	1,072,744	7.55
합계	889	100	2,003	100	3,401	100	14,216,945	100



[그림 1] 전기로의 전력사용 실태 현황

2.2 동시부하율을 고려한 잠재량 산출

본 논문에서 제안한 방법으로 동시부하율을 고려한 수요관리 잠재량을 산출하였다. 동시부하율은 현장기술자 및 전기로 관련 전문가의 경험을 바탕으로 설비용량별 가중치를 선정하여 산출하였다. 실제 설비별 및 용도별 등에 따라 가동시간대가 다르며, 또한 일일 가동시간 및 연간 가동시간 또한 상이하게 차이가 있었다.

따라서 설비유형별로 현장 진단 및 조사·연구한 자료를 활용하여 수요관리 잠재량을 산출하였다. 이와 같이 수요관리 잠재량 수식을 설정한 근거는 산업용 전기로가 년 평균 가동되어질 부하를 산출한 다음 이 부하가 피크 발생시에 어느 정도 부하가 가동되어질 것인가를 조사하기 위하여 설정하였다. 따라서 본 잠재량 수식은 상시 어느 정도의 전기로 부하가 가동되어지며, 또한 그 부하가 동시에 어느 정도 나타날 지를 조사하여 전기로 부하의 차단할 수 없는 비중을 구하여 산출한 결과이다.

따라서 앞서서 설명한 설비유형별 전기로의 특성을 감안하여 수요관리 잠재량[1식]을 산출하였다.

$$\text{수요관리 잠재량[MW]} = \text{부하용량[MW]} \times \text{동시 부하율} \times \text{참여율} \quad (1)$$

$$\text{동시 부하율} = \frac{\sum_{n=1}^m LF_n h_n \omega_n}{24 \times m}$$

참여율 = 1 - 기저부하율

기저부하율 = 상시부하(항시 지속적으로 운전하는 부하 : 차단할 수 없는 부하)

LF_n = n번째 업체의 부하율

h_n = n번째 업체의 일가동시간

ω_n = n번째 업체의 가중치

m = 총업체수

상기 수식에서 동시부하율 산정은 전기로의 종류별로 계산하였으며, 아크로의 경우에는 실질적으로 부하율이 상당히 높으며, 아크로 가동시간 또한 24시간 조업이 많은 결과로 다른 전기로에 비해 동시 부하율이 높은 52.86[%]로 계산되었다. 반면 유도로는 다른 전기로에 비해 가장 낮은 수치의 동시부하율이 계산되었으며, 이는 앞서 설명한 바와 같이 유도로의 특성이 매우 다양하며 조업패턴 역시 매우 다양하게 이루어지고 있다. 또한 다른 가열방식에 비해 고온의 온도를 유지하면서도 설비할 소규모로 제작할 수 있으며 경제성이 뛰어난 설비로서 많은 업체들이 사용하여 유도로 가동시간이 매우 다양하게 운전되고 있는 결과로 보여진다. 참여율은 전기로 모두 80[%] 설정하여 계산하였다. 이는 전기로의 기저부하 즉, 차단할 수 없는 부하를 20[%]로 가정하여 실제 참여 가능한 부하로 계산하였다.

수요관리 잠재량[1식]을 산출한 결과 아크로의 경우에는 477.65[MW]로 국내 전체 수요관리 잠재량에 비해 77.55[%]의 비중을 차지하고 있으며, 유도로는 94.83[MW], 저항로는 43.44[MW]로 조사되었다. 이는 국내 전기로 업체용량 4,002.2[MW]에 비해 수요관리 잠재

량은 약 15[%]의 수준이며, 국내 전기로 용량 1,623[MW]에 비해 수요관리 잠재량은 약 38[%]에 해당하는 수준이다. 다만, 전기로 전체가 수요관리에 100[%] 동참의사가 있을 경우이므로 참여의지(인센티브제도 등)에 따라 수요관리 잠재량은 다소 차이가 있을 것으로 사료된다.

[표 2] [1식]에 의한 수요관리 잠재량 산출

구분	부하용량 [MW]	동시부하율 [%]	참여율 [%]	잠재량 [MW]	구성비 [%]
아크로	1,130 (53대)	52.86	80	477.65	77.55
유도도	371 (1170대)	31.96	80	94.83	15.40
저항로	122 (780대)	44.34	80	43.44	7.05
합계	1,623 (2003대)	-	-	615.92	100.00

2.3 피크부하 일치율을 고려한 잠재량 산출

본 절에서는 기존의 전동기 실태조사에서 수요관리 잠재량을 구한 수식을 참고로 하여 전기로의 특성에 맞게 수정한 수요관리 잠재량[2식]을 산출하였다. 2002년 8월 29일 15시에 발생한 전국 전력사용이 45,770[MW]로서 피크일 때 전기로가 점유한 율로서 설비유형별로 별도로 파악하여 수요관리 잠재량[2식]을 산출하였다.

$$\text{수요관리 잠재량[MW]} = \text{최대부하[MW]} \times \text{피크부하 일치율} \times \text{제어율} \quad (2)$$

$$\text{최대부하(MW)} = \frac{\text{평균부하(MW)}}{\text{부하율}}$$

$$\text{피크부하 일치율} = \frac{\sum \text{점유율}}{\text{업체수}}$$

$$\text{참여율} = \frac{\text{실제참여업체}}{\text{설문전체업체}} \times 100$$

상기 수식에서 정의한 수요관리 잠재량[2식]을 전기로 종류별로 산출하였다. 최대부하는 부하용량의 값에서 부하율로 나누어 계산하였으며, 부하율은 진단 및 조사·연구에서 평균부하를 산출하여 최대부하로 나누어 산출한 값으로 하였다. 아크로의 부하율은 72.08[%]의 높은 수치를 보이고 있으며, 유도로는 63.11[%], 저항로는 64.36[%]의 부하율을 보이고 있다. 피크부하 일치율 산정은 2002년 8월 29일 15시에 발생한 전국 전력사용이 45,770[MW]로서 피크일 때 전기로가 점유한 율로서 종류별로 별도로 계산하였다. 아크로의 경우에는 실질적으로 피크 발생당시 점유율이 상당히 높게 조사되었으며, 대부분의 아크로가 가동 중으로 68.25[%]의 피크부하 일치율로 판명되었다. 유도로는 매우 다양한 설비들을 보유하고 있음에도 불구하고 피크부하 일치율은 59.84[%]로 비교적 높게 나타났다. 하지만 저항로는 다른 전기로에 비해 연속로가 아닌 단속로로 운전하는 설비가 많은 관계로 피크부하 일치율이 16.29[%]로 계산되었다. 제어율은 설문조사를 통해서 업체들이 수요관리에 참여할 의사를 조사하여 계산하였다. 본 연구에서 조사한 결과 전체 447개 업체들의 응답자 중에서 수요관리 참여희망 업체들은 249개 업체로 55.7[%] 높은 제어율이 나타났다. 이는 현재 수요관리 제도에 만족하여 참여하겠다는 업체와 앞으로 인센티브를 고려하여 참여하겠다는 업체 모두를 참여하겠다고 간주하여 파악한 수치이다.

수요관리 잠재량[2식]을 산출한 결과 아크로의 경우에는 595.83[MW]로 국내 전체 수요관리 잠재량에 비해 73.65[%]의 비중을 차지하고 있으며, 유도로는

195.89[MW], 저항로는 17.27[MW]로 조사되었다. 이는 국내 전기로 업체용량 4,002.2[MW]에 비해 수요관리 잠재량은 약 20[%]의 수준이다. 또한 제어율은 인센티브를 고려하여 참여한다고 설문조사에 응답한 업체들 모두를 제어율에 포함하였기 때문에 제어율이 다소 높은 55.7[%]로 조사되었다. 따라서 [2식]에 의한 잠재량은 실제로 피크부하 발생시 수요관리에 나타날 수 있는 양으로 여겨진다.

[표 3] [2식]에 의한 수요관리 잠재량 산출

구분	최대부하 [MW]	부하율 [%]	피크부하 일치율 [%]	제어율 [%]	잠재량 [MW]	구성비 [%]
아크로	1,567.13	72.08	68.25	55.70	595.83	73.65
유도로	587.70	63.11	59.84	55.70	195.89	24.21
저항로	190.27	64.36	16.29	55.70	17.27	2.13
합계	2,345.09	-	-	-	808.99	100.00

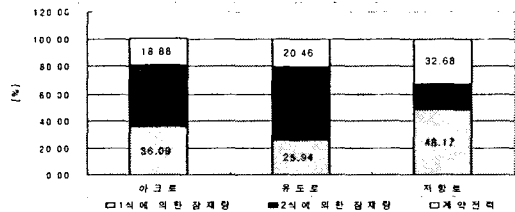
3. 수요관리 효과 검증

국내 산업용 전기로의 수요관리 잠재량이 어느 정도 되는가를 앞 절에서 살펴보았으며, 본 절에서는 현재 수요관리에 참여하고 있는 전기로의 계약전력을 조사하여 실제추정량을 산출하였다. 따라서 실제 추정량은 앞 절에서 구한 [1식]과 [2식]의 계산 결과 값에서 현재 수요관리에 동참하여 시행하고 있는 계약전력을 뺀 값이다.

현재 전기로가 수요관리에 참여한 계약전력을 살펴보면, 앞 절에서 산출한 수요관리 잠재량과 비슷한 구성비의 값을 보이고 있다. 아크로가 249.85[MW]로 가장 많은 계약전력을 보유하고 있으며, 유도로는 74.8[MW], 저항로는 29.47[MW] 순으로 수요관리에 참여하고 있다. 이는 현재 수요관리에 참여한 계약전력이 [1식]에 의해 산출한 수요관리 잠재량에 비해 아크로는 약 52[%], 유도로는 약 79[%], 저항로는 약 68[%] 수준이며, [2식]에 비해서는 아크로는 약 42[%], 유도로는 약 38[%] 수준이며, 저항로는 실제 계약전력이 수식에 의한 수요관리 잠재량보다 더 많은 양을 보이고 있다. 이는 [2식]의 피크일치율 계산에서 저항로의 경우 미비한 값으로 산출되었기 때문으로 해석된다.

[표 4] 종류별 전기로의 수요관리 실제추정량 산출

구분	잠재량[MW]			계약전력 [MW]				실제추정량[MW]			
	1식 [A]	2식 [B]	[C]	A-C	C/A [%]	B-C	C/B [%]	A-C	C/A [%]	B-C	C/B [%]
아크로	477.65	595.83	249.85	227.80	52.31	345.98	41.93				
유도로	94.83	195.89	74.80	20.03	78.88	121.09	38.18				
저항로	43.44	17.27	29.47	13.97	67.84	(12.20)	(170.65)				
합계	615.92	808.99	354.11	261.81	57.49	454.88	43.77				



[그림 2] 전기로의 수식별 수요관리 잠재량과 계약전력의 비교

지역별로 수요관리에 참여한 [표5]의 계약전력을 살펴보면, 경상지역의 전기로가 가장 많은 233.46[MW]로 [1식]의 수요관리 잠재량 302.46[MW]에 비해 약 77[%]가 참여하고 있으며, [2식]의 수요관리 잠재량 398.88[MW]에 비해 약 59[%]의 높은 비율로 참여하고 있다. 경기지역에서는 수요관리 잠재량이 두 번째로 많은 174.11[MW][1식]와 233.4[MW][2식]의 수요관리 잠재량을 보이고 있지만 현재 수요관리에 참여한 계약전력은 66.25[MW]로 [1식]에 비해 약 38[%], [2식]에 비해 23[%]의 비율로 조사되고 있다. 이렇게 경상지역에 비해 경기지역의 수요관리 참여 비율이 낮은 이유는 수요관리 홍보 부족이 원인으로 작용할 수 있으나, 아직까지 국내 수요관리 참여에 대한 인센티브 제도가 업체관리자 입장에서 불 대 미비한 수준이기 때문으로 해석된다. 따라서 수요관리 참여에 대한 인센티브를

높게 책정한다면 이보다 훨씬 많은 수요관리 잠재량이 확보 될 것으로 사료된다.

[표 5] 지역별 전기로의 수요관리 실제추정량 산출

구분	잠재량[MW]			계약전력 [MW]				실제추정량[MW]			
	1식 [A]	2식 [B]	[C]	A-C	C/A [%]	B-C	C/B [%]	A-C	C/A [%]	B-C	C/B [%]
경기지역	174.11	233.40	66.25	107.86	38.05	167.16	28.38				
강원지역	22.17	28.25	14.00	8.17	63.14	14.25	49.55				
충청지역	47.65	59.72	12.20	35.45	25.60	47.52	20.43				
경상지역	302.46	398.88	233.46	69.00	77.19	165.42	58.53				
전라지역	69.53	88.73	28.21	41.32	40.57	60.52	31.79				
합계	615.92	808.99	354.11	261.81	57.49	454.88	43.77				

4. 결 론

본 논문에서는 현장 기술자 및 전기로 관련 전문가들의 경험을 바탕으로 한 가중치를 선정하여 전기로의 종류별로 동시부하율을 고려하여 수요관리 잠재량을 산출 하였다. 또한 기존의 방식 및 현재 한국전력공사와 에너지관리공단 에 협약한 수요관리 계약전력과 비교함으로써 본 논문에서 제안한 방법의 유용성을 입증하였다.

연구 결과의 중요성은 다음과 같다.

- 1) 전기로 업체들의 지역 편중화에 따른 별도의 관리소 운영으로 수요관리 효과의 효율성
- 2) 일정 지역에서 피크부하 발생시 본 논문에서 제안한 전기로의 수요관리 잠재량 활용으로 피크부하 억제
- 3) 장·단기 산업용 전기로의 전력수요 예측 및 장·단기 부하곡선 예측자료로 활용
- 4) 전력부하 수급계획(전력수요 관리)수립의 기초자료로 활용
- 5) 산업용 전기로의 전기요금 제도개선 및 가격정책 수립의 기본자료로 활용

향후 전기로의 생산공정 프로세서를 가미한 가중치 고려 등 보다 지능적이고 체계화된 최적시스템 구축으로 수요관리 잠재량을 산출하는 연구가 계속 이어져야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 에너지관리공단, 수요관리 실태조사 연구, 산업자원부, 2002.12
- [2] 한전정보네트웍스식회사, 전력수요관리를 위한 DB 구축사업에 관한 보고서, 한국전기연구소, 2000.3
- [3] 에너지경제연구원, 2002년도 에너지총조사 보고서, 산업자원부, 2003.6
- [4] 에너지관리공단, 전기수요관리진단 종합보고서, 한국전력공사, 2002.1
- [5] 에너지관리공단, 건물용도별 전력원단위 조사 연구, 산업자원부, 2002.12
- [6] 에너지관리공단, 수요관리실태 조사연구, 산업자원부, 2002.12
- [7] 공업로협회, 2002 열처리로 & 공업로총람, 2002.9
- [8] 공업로협회, 공업로 & 유도로의 응용과 활용기술, 1999.9
- [9] 건국대학교, 직접부하제어 사업활성화를 위한 적정 지원급 산정방안 연구, 에너지관리공단, 2002.1
- [10] 에너지관리공단, DSM 프로그램별 M&V 및 경제성평가, 2000.12
- [11] 한국전력공사, 최대전력관리장치 보급방안 연구, 1997.10
- [12] 한국전력공사, 전력수요관리 이론과 실무, 2002.11
- [13] 기초전력공학공동연구소, DSM 성과계량 및 비용효과 분석 연구, 에너지관리공단, 2000.7
- [14] 창원대학교, 최대부하관리를 위한 전기에너지 저장기와 수용가 최대전력 관리장치 시스템 구성 및 운용 최적화방안 연구, 산업자원부, 2001.4
- [15] 한국전력공사, 2002년도 전력수요관리사업 수행결과 보고서(1), 산업자원부, 2003.1
- [16] 한국철강협회, 2000년도 철강생산능력, 2001.3