

이용율과 혼소율을 이용한 발전기의 입출력 특성시 선정

송경빈*, 남재현**, 박시우**

*대구호성기톨릭대학교, **한전 전력연구원

Calculation of the generator cost functions using the utilization factor of generators and the mixed fuel burning ratio of the generators

Kyung-Bin Song*, JaeHyun Nam**, Si-Woo Park**

*Catholic University of Taegu Hyosung, **Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The generator cost function is one of the basic data for the generation scheduling. Generally the cost functions are obtained from design calculations or from heat rate tests. The real operating condition may be different from the condition of design or the tests. Some of the conditions may not be tested during the periodical maintenance. In order to improve the calculation of the generator cost function, this paper presents a new calculation method of the generator cost functions using the utilization factors of generators and the mixed fuel burning ratio of the generators.

식(1)에서 표현되는 입출력 특성계수 a, b, c 는 정기적인 성능진단시험에서 산출된 발전출력[MW] (1/4, 2/4, 3/4, 4/4 부하)과 이에 해당하는 효율[%]을 입력열량[Gcal/h]으로 환산하여 최소자승법(Least square method)에 의해 산출한다. 이 외에 각 발전소는 발전기 출력 중 일부분을 소내전력으로 사용하므로 이에 대한 특성식도 식(2)와 같이 근사화 된 1차식으로 표현하며 이를 소내소비 특성식이라고 한다.

$$P_g = a_{aux}P_n + b_{aux} \quad (2)$$

여기서, a_{aux}, b_{aux} : 소내소비 특성식의 1차 및 상수 계수
 P_g : 발전단출력[MW]
 P_n : 송전단출력[MW]

1. 서 론

마찬가지로 식(2)에서 표현되는 입출력 특성계수 a_{aux}, b_{aux} 또한 정기적인 성능진단시험에서 산출된 송전단출력[MW] (1/4, 2/4, 3/4, 4/4 부하)과 이에 해당하는 효율[%]을 발전단출력[MW]으로 환산하여 최소자승법(Least square method)에 의해 산출하게 된다.

발전기의 입출력특성식은 2차식으로 나타나며 각 발전기의 입출력특성식은 발전비용을 나타내는 수학적 표현이다. 모든 발전기의 입출력 특성식의 합이 발전계획의 목적함수가 되며 제약조건을 추가하여 문제의 정식에 대해 최적화를 수행함으로써 경제급전을 수행한다. 따라서 발전계획의 가장 기초가 되며 발전계획의 정확도의 출발점이기도 하다. 발전계획에 발전기의 설계치 또는 성능검사치를 기본으로 한 입출력 특성식을 사용할 경우 계획 대비 실적간 오차가 발생할 수 있다. 첫째, 발전기의 성능시험은 4단계의 부하수준 즉 25%, 50%, 75%, 100%에서 특정연료에 대한 시험이므로 혼소율이 고려된 비용함수 적용에 어려움이 있다. 둘째, 성능시험 자료가 오래된 경우, 자료의 신뢰성이 떨어진다. 셋째, 운용상의 긴급함으로 4단계의 부하수준으로 성능검사가 이루어지지 않는 경우가 있어 성능검사자료의 신뢰성이 부족하다. 넷째, 성능시험조건과 실제운전조건사이에 차이점이 존재하여 발전기 특성식의 산정시 계절별 또는 조건별로 보정이 요구된다. 따라서, 계획대비 실적의 정확도를 높이는 것은 발전소별 목표관리 및 사용연료의 정확한 산정 등을 위해 필요하며 고신뢰도의 경제급전계획을 수립할 수 있어 경제성을 증진시킬 수 있다. 본 연구에서는 이용율과 혼소율을 이용한 입출력 특성식을 산정하는 방안을 제안한다.

열소비를 특성식의 표현

연료수급계획 또는 수급상황에 따라 연료를 혼소하는 경우, 발전기의 이용률 대 열소비율(Heat-Rate) 특성이 혼소연료의 종류에 따라 상향 또는 하향 이동하므로, 이를 기반으로 산출된 2차식의 입출력 특성식도 혼소율에 따라 가변하게 된다. 그러므로, 이를 고려하기 위해 해외의 WESCOUGER와 같은 상용 패키지에서는 연료를 혼소하는 경우, 열소비율에 혼소율의 변화에 따른 보정계수를 일괄적으로 곱한 특성식을 산출하여 사용하고 있다. 그러나, 이러한 보정계수는 연료의 혼소량에 따라 가변되며 운용자의 직감에 의해 선택해야하는 어려움이 있다. 한편, 발전기별 운전시간, 이용률, 효율, 혼소율 등의 실적을 이용하여 각 발전기별 혼소율에 대한 보정계수의 관계를 근사화 된 2차식으로 산정하여 연간 계획 혼소율이 주어지면 해당되는 입출력특성식을 산출하여 사용하는 방안도 제시된다. 이러한 혼소율이 고려된 특성식을 열소비율 특성식이라 하며 식(3)과 같이 실이용율[p.u] 및 혼소율[p.u]에 대한 열소비율[kcal/kWh]로 표현한다.

2. 본 론

2.1 발전기 입출력 특성식의 정의

$$H(X, M) = (H_1X^2 + H_2X + H_3) \times (D_1M^2 + D_2M + D_3) \quad (3)$$

일반적으로 경제급전에 적용하는 발전기 입출력 특성식은 식(1)과 같이 근사화된 2차식으로 표현되며, 단위 시간당 발전기에 투입된 열량[Gcal/h]에 대한 발전기의 발전 출력[MW]으로 표현된다.

여기서, H_1, H_2, H_3 : 이용율 2차, 1차 및 상수 계수
 D_1, D_2, D_3 : 혼소율 2차, 1차 및 상수 계수
 X : 실이용율[p.u]
 M : 혼소율[p.u]
 H : 열소비율(Heat-Rate)[kcal/kWh]

$$F(P) = aP^2 + bP + c \quad (1)$$

여기서, a, b, c : 입출력 특성식의 계수
 P : 발전출력[MW]
 F : 시간당 열량[Gcal/h]

마찬가지로 소내소비 특성식의 경우도 혼소율을 고려하여 다음 식(4)와 같이 표현하며 이를 소내전력률 특성식

이라고 한다.

$$I(X, M) = (A_1 X^2 + A_2 X + A_3) \times (B_1 M^2 + B_2 M + B_3) \quad (4)$$

여기서, A_1, A_2, A_3 : 이용율 계수
 B_1, B_2, B_3 : 혼소율 계수
 X : 실이용율 [p.u]
 M : 혼소율 [p.u]
 I : 소내소비율 [%]

그러므로, 위 식(3), (4)를 경제급전에 직접 적용하는 문제를 검토해 볼 수 있으나, 2차식으로 표현되는 일반적인 입출력특성식에 비해 표현단위가 다르고, 이에 따라 혼소율까지 최적화해야하는 어려움이 있다. 하지만 실제 수급계획시에는 연료수급계획에 따라 일정기간별 계획혼소율이 지정되므로 먼저 발전기별 실적데이터를 이용하여 열소비를 특성식을 산출한 후, 계획혼소율에 따라 식(3), (4)를 입출력 특성식 (1), (2)로 환산하여 발전계획에 사용하는 방안을 제시한다.

2.2 열소비를 특성식의 산정

열소비를 특성식의 산정을 위해 사용할 발전실적 데이터는 발전기명, 발전기코드, 연월일, 운전시간, 발전량 (kWh), 소내전력량(kWh), 소내전력률(%), 열효율(%), 역운전이용율(%), 실 운전이용율(%), 혼소율(%), 감소전력량(kWh), 연료코드, 사용량, 발전량(보통 4종류이하의 주 연료 및 부연료를 사용)과 같은 내용을 포함한다. 발전실적 데이터로부터 열소비를 특성식 계수($H_1, H_2, H_3, D_1, D_2, D_3$)를 산정하는 세부 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 운전시간이 24시간이 아닌 경우는 발전기의 기동, 정지시의 출력특성이 실적에 반영되므로 운전시간이 24시간인 경우만 선택
- 2) 운전이용율(%)를 단위 이용율(p.u.)로, 열효율을 열소비를(kcal/kWh)로 환산

$$\text{운전이용율 [p.u.]} = \frac{\text{운전이용율 [%]}}{100} \quad (5)$$

$$\text{열소비율 [kcal/kWh]} = \frac{86000}{\text{열효율 [%]}} \quad (6)$$

- 3) 선택된 데이터 중에 같은 혼소율을 갖는 가장 많은 데이터를 추출
- 4) 이용율(x축) 대 열소비율(y축) 데이터로부터 H_1, H_2, H_3 계수산정
- 5) 발전실적 데이터는 고부하시의 실적이 대부분이므로 열소비를 특성식을 산출해보면 고부하시에는 실적이 일치하나 저부하에서는 오차가 상대적으로 크다. 이를 위해서 일반적인 열소비율 특성식의 형태를 산출하기 위하여 산출계수를 비교한다. ($H_1 > 0, H_2 < 0, H_3 > 0$)
- 6) 조건이 만족되면 7)로 진행. 만족하지 않으면 3)으로 진행하여 다음으로 가장 많은 데이터를 갖는 혼소율을 선택,
- 7) 혼소율 대 보정계수 데이터로부터 계수산정(D_1, D_2, D_3). 보정계수의 의미는 그림 1과 같다.

$$\text{혼소율 [p.u.]} = \frac{\text{혼소율 [%]}}{100} \quad (7)$$

$$\text{보정계수 [p.u.]} = \frac{n}{H} \quad (8)$$

여기서, 같은 혼소율을 갖는 경우의 보정계수들은 평균

값을 이용한다.

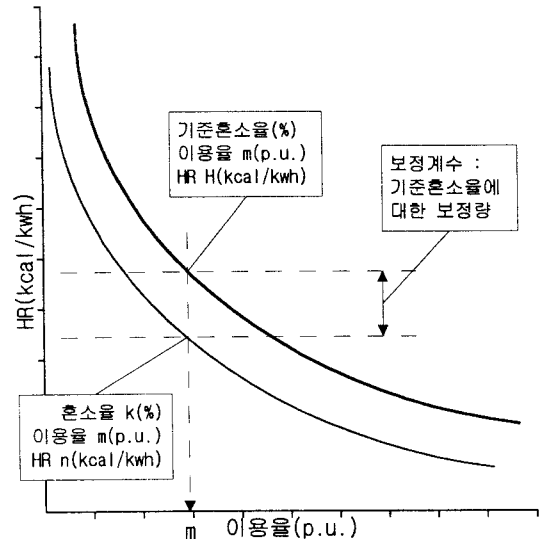


그림 1. 혼소율에 따른 열소비율 곡선의 이동

소내전력률 특성식 계수 산정을 위해서 소내전력률 특성식 계수($A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$)는 열소비를(kcal/kWh) 대신 소내소비율(%)을 사용하여 열소비를 특성식의 산출방법과 동일한 수순으로 산출한다.

2.3 복합발전기의 혼합형 입출력 특성식 산정

입출력 특성식 산정을 위한 발전실적 데이터는 발전기별 실적이다. 이러한 실적은 복합발전기의 개스터빈(G/T)만 단독운전하는 경우에는 적용가능하지만, 일반적으로 복합발전기는 개스터빈(G/T)과 스팀터빈(S/T)이 동시에 운전하는 복합사이클로 운전하는 경우가 대부분으로 복합발전기의 입출력 특성식을 산출하기 위해서는 두 실적 자료로부터 새로운 실적 테이블을 생성해야만 한다. 이를 위해서 복합발전소의 동일 블럭내 동일 날짜의 G/T, S/T 실적자료를 검색하여 산출한 다음, G/T와 S/T 출력을 합하여 새로운 실적데이터를 생성한다. 표 1은 동일한 발전실적 데이터 형태로 복합사이클 운전시 복합발전기의 실적을 생성하는 방법을 정리한 것이다. 이렇게 산출된 복합사이클 실적 데이터는 일반 발전기의 열소비율 특성식을 산출하는 과정과 동일하게 처리되며, 발전계획에 적용하기 위해 입출력 특성식을 계산한다.

표 1. 복합사이클 운전시 복합발전기의 실적 테이블 생성 방법

항 목	설 명
발전기명	사전에 정의된 이름
발전기코드	사전에 정의된 코드
년	G/T, S/T 동일년
월	G/T, S/T 동일월
일	G/T, S/T 동일일
운전시간	S/T의 운전시간
발전량(kwh)	G/T, S/T 모두 합산
소내전력량(kwh)	G/T, S/T 모두 합산
소내전력율(%)	$\frac{\text{소내전력량} \times 100}{\text{발전량}}$
열효율(%)	$\text{열효율} = \frac{(\text{발전량} + \text{감소전력량}) \times 860 \times 100}{\sum_i (\text{연료사용량}_i \times \text{연료발열량}_i)}$
역운전이용율(%)	$\frac{\text{발전량}}{\sum \text{용량} [MW] \times 1000 \times 24} \times 100$
실운전이용율(%)	$\frac{\text{발전량}}{\sum \text{용량} [MW] \times 1000 \times \text{운전시간}} \times 100$
혼소율(%)	$\text{혼소율} = \frac{\sum (\text{연료사용량}_j \times \text{연료발열량}_j)}{\sum (\text{연료사용량}_i \times \text{연료발열량}_i)} \times 100$ (단, j는 부연료코드)
감소전력량(kwh)	G/T, S/T 모두 합산
연료코드1	G/T, S/T 동일코드
사용량1	G/T 중 동일 코드에 대해 사용량 모두 합산
발열량1	G/T, S/T 동일발열량
연료코드2	G/T, S/T 동일코드
사용량2	G/T 중 동일 코드에 대해 사용량 모두 합산
발열량2	G/T, S/T 동일발열량
연료코드3	G/T, S/T 동일코드
사용량3	G/T 중 동일 코드에 대해 사용량 모두 합산
발열량3	G/T, S/T 동일발열량
연료코드4	G/T, S/T 동일코드
사용량4	G/T 중 동일 코드에 대해 사용량 모두 합산
발열량4	G/T, S/T 동일발열량

2.4 발전기 입출력 특성식 변환

산정된 열소비율 특성식을 발전계획에 바로 적용 할 수 없으므로, 일반적인 발전기 2차식의 입출력 특성식으로 변환해줘야 한다. 다음은 세부적인 입출력 특성식 산출 알고리즘이다.

입출력 특성식 산정 알고리즘

- 1) 계절별 또는 월별 계획혼소율 입력
- 2) 산출된 열소비율 특성식에 계획 혼소율과 4종류의 부하수준(1/4, 2/4, 3/4, 4/4)을 대입하여 각각의 열소비율을 산출
- 3) 부하수준별 이용율을 각 발전기의 발전출력(MW)으로 환산하고, 열소비율을 시간당 열량(Gcal/h)으로 환산

$$\text{발전출력} [MW] = \text{이용율} [p.u.] \times \text{설비용량} [MW] \quad (9)$$

$$\text{시간당열량} [Gcal/h] = \frac{\text{열소비율} [kcal/kwh] \times \text{발전출력} [MW]}{1000} \quad (10)$$

4) 발전출력과 시간당 열량으로 a, b, c 산정

소내소비 특성식 산정

- 1) 계절별 또는 월별 계획 혼소율 지정
- 2) 산출된 소내전력율 특성식에 계획 혼소율과 4종류의 부하수준(1/4, 2/4, 3/4, 4/4)을 대입하여 소내소비율(%) 산출
- 3) 부하수준별 이용율을 각 발전기의 발전단출력으로 환산하고, 소내소비율(%)을 송전단출력(MW)으로 환산

$$\text{발전단출력} [MW] = \text{이용율} [p.u.] \times \text{설비용량} [MW] \quad (11)$$

$$\text{송전단출력} = \text{발전단출력} \times \left(1 - \frac{\text{소내소비율} [\%]}{100}\right) \quad (12)$$

4) 발전단출력과 송전단출력으로 A_{aux} , B_{aux} 산정

3. 결 론

발전기의 입출력 특성식의 신뢰도를 제고하기 위해 기존의 발전기의 설계값 또는 성능시험에 의해 산정된 입출력 특성식을 이용율과 혼소율을 이용하여 산출하는 기법을 제안하였다. 제안된 본 기법을 이용하여 발전계획을 수립하면 계획 대비 실적의 오차를 개선할 것으로 예상된다. 향후, 제안된 기법의 체계적인 검증방법을 제시코자한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, *Power Generation Operation and Control*, John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, 1983.
- [2] Arthur R. Bergen, *Power Systems Analysis*, PRENTICE-HALL, INC., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [3] 송경민, 남재현, 박시우, 안양근, "전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한 연구(중간보고서)", 한국전력공사 전력연구원, TM94Yj15.M1998.24, 1998. 1.
- [4] 윤용범, 남재현, 박시우, 안양근, "전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한 연구(최종보고서)", 한국전력공사 전력연구원, TR.94YJ15.J1998.89, 1998. 12