

지역난방의 부하변동을 고려한 열병합발전

Process의 최적화

Cogeneration for District Heating with Load Variation

정 찬 교*

Chan Kyo Chung

1. 개 요

열병합발전에 의한 전기와 난방용 열의 발생이 이 두 종류의 에너지를 각각 발생시킬 경우와 비교할 때 1차 에너지를 집약적으로 이용하여 에너지 절약 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 대단히 큰 효과를 가져온다.

또한 도시지역의 많은 보일러시설의 배기가스가 처리되지 않은 상태에서 직접 생활권에 유출되어 대기를 오염시키고 있다. 이러한 대기오염문제도 열병합발전에 의한 중앙 집중적인 열발생으로 SO₂의 오염물질 유입량을 현존하는 소규모의 많은 보일러시설과 비교할 경우 약 1/100로 감소시킬 수 있다.¹⁾

이와 같이 두 종류의 에너지를(전기 및 난방용 열) 발생시키는 열병합발전소는 환경보호면에도 일익을 담당하고 있다.

본 연구는 열병합발전 - process 중 여러 종류의 증기 - process의 열역학적 변화를 조사하여 주어진 환경에 - 필요한 전력 및 열부하 - 가장 적합한 process를 개발, 1차 에너지 절약과 대기오염방지에 이바지하고자 한다.

computer를 이용한 대부분의 현존하는 증기 - process의 순서에 입각하여 구성되었으므로 다른 종류나 변경된 process를 계산

하자면 그 process에 적합한 다른 program을 구성하여야만 한다.

이와 같은 방법으로는 위에 언급한 조사연구를 실현시킬 수 없으므로 새로운 계산방법을 개발하여 증기 - process에 의한 열병합발전의 포괄적인 변수변화 영향분석에 실질적으로 적용하여 성공적인 효과를 볼 수 있었다.^{2),10)}

2. 연구 목적 및 과제 설정

열병합발전을 이용하여 주어진 환경에 필요한 에너지(전기 및 난방용 열에너지)를 가장 적합하고 경제적으로 발생시킬 수 있는 방법을 개발하는데 본 연구의 목적이 있다.

열병합발전 - process는 여러 종류의 구성요소가 복잡하게 연결된 기술적 복합체를 나타낸다. 이러한 복합체에 임의의 변수를 변화시키면 이 변수에 직접적인 영향을 받는 구성요소는 물론, 상호 밀접한 관계에 있는 기타 전 복합체의 변화를 초래한다.

일정한 변수의 최적치를 얻고자 변수에 변화를 가하여 해당 구성요소에 일어나는 1차적인 변화 뿐만 아니라 동시에 전 구성요소에 파급되는 변화도 아울러 고려하기 위하여는 process의 복합적 최적화의 방법이 필요하다.

복합적 최적화를 위한 필수 예비조건은 영향 인자의 포괄적인 분석과 이에 적합한 계산방법을 개발하는 것이다.

위에 언급된 변수는 기술적(technological) 변수와 구조적(constructive) 변수로 구분되며 기술적 변수로는 제한된 변화의 범위를 소유하고 있는 열역학적 크기(p, t, h)와 전기 및 열출력 그리고 process 구성요소의 접속방법을 들 수 있다. 구성요소의 구조적 변수는 전부하 상당시간에 걸쳐 임의의 운전방법에도 변하지 않으므로 본 연구 대상에서 제외된다.

전기와 난방용 열을 동시 발생시킬 경우 process의 효율, 열반출량, 입열량과 전기 및 열출력은 열부하, 열매의 온도수준과 열병합발전 구성요소의 접속방법에 영향을 받는다.

종래에는 이와 같은 관계의 분석은 process의 순서에 입각한 계산방법에 의하여 설계조건하에서만³⁾ 이루어 졌거나, 또는 송수온도, 열매의 온도차나⁴⁾⁵⁾ 열부하⁶⁾와 같은 단일변수의 변화에 의한 영향분석에 한정되어 있었다.

대부분의 문헌에 제시된 바와 같이 경제성 계산에 이용되는 전력평가지수는 설계조건하에서 산정되어 부분부하 운전시 너무 높은 지수를 나타낸다는 사항도 이와 관련하여 언급되어야 하겠다.⁷⁾

최적의 열병합발전-process를 개발하기 위하여는 열부하, 열매의 온도와 난방용 복수기의 접속방법등의 변수를 종합적으로 고려한 기술적(technological) 관계를 설계조건하에서 뿐만 아니라 부분부하운전 조건하에서도 정확히 제시, 분석되어야 하겠다.

3. 구성 및 효율의 평가기준

주변환경에 의한 일정한 양의 전기 및 열에너지를 적절히 효율적으로 발생시키기 위한 열병합발전-process의 최적설계조건은 system 형태에 따라 제한되어 있는 외부영향인자를 고려하여 분석되어야 한다.

한편 선정된 열병합발전소의 형태에 단일 영향인자가 미치는 효과분석을 위한 전략 방법 설정원칙의 정립이 필요하며 다른 한편

은 변수변화에 의한 process의 반응분석과 파생된 변화 그리고 이것을 기초로한 적합한 분석의 범위설정이 필요하다.

3.1 구 성

여러 증기-process 중 추기복수-process는 전기 및 열부하의 비교적 심한 변동도 감소할 수 있고, 많은 열병합발전-process로 이용되고 있으므로 기본 증기-process로 선정하였으며 난방용 복수기를 통하여 연결된 지역 난방 배관망은 3관을 이용하여 형성되어 있다.(연구 project²⁾와 동일)

3관을 이용한 지역별 공급은 다음과 같다.

— 고온 송수관: 공기조화설비, 급탕설비에 고온수 공급

— 난방 송수관: 외기 온도에 입각한 난방용 온수 공급

— 환 수 관: 냉각된 공급수의 공동 환송 필요한 전기 및 열출력을 충당시키기 위하여 다음과 같은 process 제어운전 방법을 이용하였다.

— 저압 터어빈 앞에 설치된 제어 valve는 항상 일정한 발생증기량으로 전기 및 열출력을 조정하게끔 작동한다.

— 제어 valve는 열려있는 상태에서 발생증기량으로 필요한 전기 및 열출력을 조정한다.

3.2 Process 효율의 평가기준

3.2.1 열추가 소모(Additional Heat Expenditure)

여러 종류의 열병합발전-process 효율을 보편적으로 타당하고 논리적으로 비교 평가하기에 열추가소모(AHE)나 열추가소모지수(b_{AHE})가 알맞은 기준이며 열병합발전으로 절감되는 1차 에너지의 양을 정확히 나타내는 척도이다.

$$AHE = Q_{cog}(P, Q_H) - Q_{cond}(P)$$

$$b_{AHE} = AHE / Q_H$$

열추가소모지수는 전기 P 및 열출력 Q_H 을 동시에 발생시키는 열병합발전-process의 입열량 Q_{cog} 과 동일한 양의 전기 P를 발생시

키는 일반 발전-process (복수-process)의 입열량 Q_{cmd} 의 상대적 비교로 성립된다. 후자의 경우 열출력을 발생시키기 위한 입열량은 Q_H 와 동일하다.

이와 같이 열추가소모지수는 전기와 열출력을 각각 발생시킬 경우 열출력을 발생시키기 위한 입열량중 열병합발전에 의한 동일한 양의 열출력을 발생시키는데 필요한 양을 나타낸다.

열추가소모지수는 연료의 종류나 연료비의 변동에 무관하며 필요시에는 간단한 식에 의하여 경제성계산도 가능하다.

3.2.2 Exergy

열병합발전-process 내의 각 발생출력에 해당되는 1차 에너지의 소모량을 분석하기에는 exergy가 유일한 열역학적 크기다.

Energy에 의한 각 발생출력의 1차 에너지 분석이 타당성이 적은 부정확한 결과를 초래하는 반면 1차 및 2차 열역학 법칙을 고려한 exergy에 의한 전기 및 열발생출력에 해당되는 1차 에너지 소모량의 분석은 합리적이다.⁶⁾

Exergy에 의한 분석은 Carnot-효율을 이용한 exergy-효율로 성립되며 Carnot-효율은 고온송수와 난방송수의 주변온도를 고려하였다.

4. 계산방법

현재까지 사용되는 열병합발전 process는 대부분 process의 순서에 입각한 program을 이용하여 계산되고 있다. 이와 같은 방법은 process 구성요소의 접속방법과 program의 계산순서가 고정관계로 성립되어 있어 process의 간단한 변경도 program의 변경을 불가피하게 한다.

Program의 변경을 요하지 않고 여러 종류의 process와 process의 변경이 가능한 새로운 계산방법이 필요하므로 이에 적절한 계산방법을¹¹⁾ 착안하여 증기-process의 새로운 계산방법을 개발하였다.

이 계산 model의 특성은 modul식 구성과

동시계산이다. 열병합발전소의 가능한 한 구성요소는 각각의 modul로 성립되어 있으며 이 modul은 물리적 과정을 수학적으로 나타내는 비선형적 수식들로 구성되어 있다. 이러한 수 지식은 유량 m , 압력 p , 엔탈피 h 와 터어빈, 펌프의 단일 상태변화와 터어빈의 부분부하상태를 나타내는 증기원뿔식과 같은 관계를 나타낸다.

이렇게 준비되어 있는 구성요소의 modul은 주어진 회로도에 따라 필요시 program내에서 자체적으로 사용된다.

실제적인 구성요소의 접속관계는 회로도에 나타난 전 구성요소의 modul들로 수식system을 형성함으로써 실현화 된다. 이 수식system은 대입된 modul의 전 수식중 n -미지수와 동일한 수의 수식으로 구성되며 관용의 numeric 방법으로 푼다. 종래의 방법은 많은 숫자의 단일 iteration에 의하여 계산되는 반면 새로이 개발된 방법은 전 수식system을 동시에 iteration하므로 계산시간도 단축되며 오차의 범위도 좁힐 수 있다. 모든 미지수의 값은 마지막 iteration의 값으로 동시에 얻어진다.

이 새로운 계산방법의 개발중 특히 difficulty한 점은 수식-system에 대입된 modul의 전 수식 수가 항상 n -미지수에 필요한 n -수식 숫자보다 많은 점이다. 예를 들면 수식중 일부는 주어진 값이나 전 부하 계산시 부분부하 운전시에 사용되는 수식과 같은 자동적으로 충족되는 수식의 제거다.

전 modul의 수식중 불필요한 수식의 추출은 많은 경험과 열역학적 이해를 요하므로 이와 같은 지식을 program-logic으로 변환시켜 n -미지수에 일치하는 n -수식을 자동적으로 성립시킨다.

실제적인 계산순서로는 우선 주어진 회로도의 최고 전기출력이나 최고 열출력에 의한 설계조건하의 계산이 필요하며 이 계산의 결과치가 유량, 기계 및 기기의 출력을 제한시키며 부분부하운전시 필요한 reference 값으로 사용된다.

5. 적용 예

1984년부터 1986년까지 연구 project로서 서부-Berlin시의 지역난방 배관망의 광범위한 측정을 하였다. Project의 목적은 지역난방 배관망에 연결된 building-stations의 여러가지 제어 및 난방비 분배방법에 의한 building-stations의 열소모량과 열병합 발전소의 입열량에 끼치는 영향분석이었다. 당시 얻어진 측정치와 결과치는 위에 언급한 새로운 계산방법을 시험하기에는 적절한 현실적인 data와 비교치를 제공하였다.

이와 같이 현실적으로 현존하는 지역난방 배관망의 data로 계산된 열병합 발전소의 (Fig. 1의 회로도) 결과중 한 예로서 Fig.2의 열추가소모지수가 난방송수온도의 변화에 따라 변하는 것을 볼 수 있다.

설계조건 ;

- max. 증기 발생량 280 t/h
- 발생 증기 상태 121 bar, 530 °C
- max. 복수 전기출력 75 MW
- max. 열출력 100 MW
- 난방송수온도는 외기온도에 따라 조정되며
- 고온송수온도 110 °C

Fig.2에는 또한 난방부하에 따른 부분부하

운전방법이 나타나 있다.

난방송수온도가 비교적 낮을시에는 제어 val-

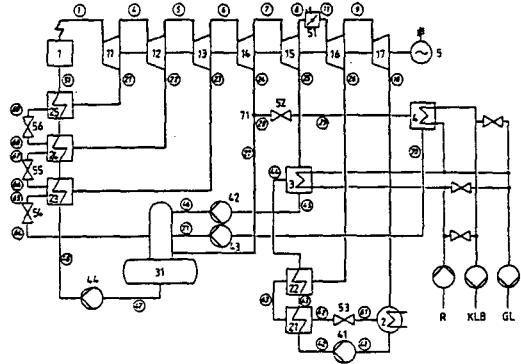


Fig. 1 Extraction-condensing turbine cycle

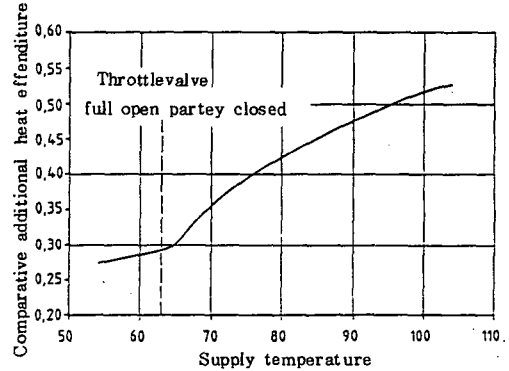


Fig. 2 Comparative additional heat expenditure

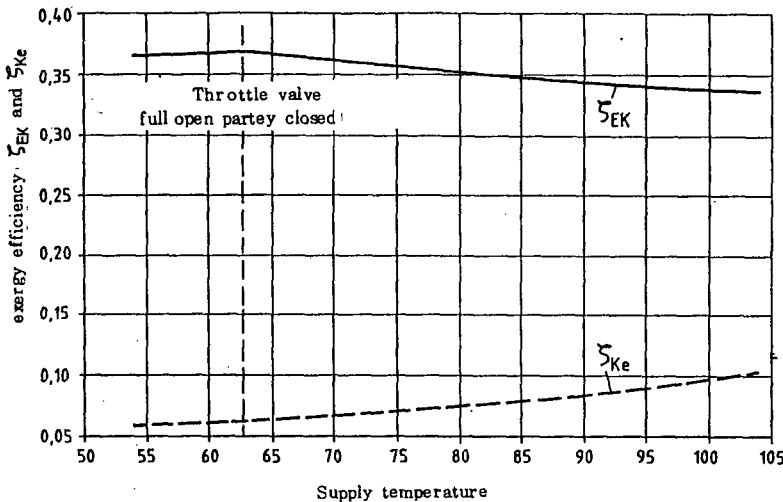


Fig. 3 Vergleich der exergetischen Wirkungsgrade

ζ_{EK} : exergy efficiency of cogeneration process

ζ_{Ke} : exergy efficiency of boiler

ve가 열린 상태에서 필요한 난방 복수기(Fig. 1의 구성요소 3)의 추기압력이 공급될 수 있으며 난방송수온도가 높을시에는 필요한 추기압력을 일정한 발생증기량을 유지하며 제어 valve로 조정한다.

Fig. 2에서 제시하는 바와 같이 열병합발전에 의한 열출력으로 열부하를 충족시킬 경우 필요한 열부하의 28~52.5%에 상당하는 1차 에너지를 일반 발전-process의 1차 에너지에 추가 투입하여 72~47.5%의 1차 에너지를 절약할 수 있다.

난방송수온도 63°C 이하의 경우 제어 valve가 열린 상태의 열추가소모지수는 예측한 바와 같이 난방송수온도와 선형적 관계를 이루고 있다.

Fig. 3은 열병합발전-process와 난방전용-process의 현격한 exergy-효율의 차이를 잘 나타내주고 있다.

6. 맺 음 말

종래 계산적으로만 가능하였던 복합 기술적 process는 점차 simulation 계산방법에 의하여 분석할 수 있으며 특히 위에 제시한 다양한 회로도에 적용할 수 있는 새로운 경제적인 열병합발전-process의 simulation 계산방법을 이용하여 정확하고 질적인 분석은 학문적인 연구나, 설계 과정 또는 투자 타당성 분석에 필수적이라 할 수 있다.

둘 이상의 동일 또는 상이한 작동매체의 열역학적 cycle로 구성된 이른바 복합 열병합발전-process (combined cogeneration cycle) 중 상이한 작동매체의 cycle로 구성된 process가 각 매체고유의 특성을 이용할 수 있어 더 효과적이다.

복합 열병합발전-process 중 가장 많이 보급되어 있는 개방 gasturbine-cycle과 증기 turbine-cycle로 구성된 복합 열병합발전-process의 계산방법을 추가 개발 조사분석되어야겠다.

참 고 문 헌

1. Hans Neuffer, "Stand der Fernwärmeverversorgung in der Bundesrepublik Deutschland," Fernwärme International Jahrbuch 1988, S. 1/7.
2. G. Zollner, W. Schwarz, Wärmeverbrauchsmessungen bei unterschiedlichem Heizbetrieb für weiterführende energetische Berechnungen, FuE-Vorhaben im Auftrag der Berliner Kraft- und Licht (BEWAG)-AG, Apr. 1988.
3. Hrsg. T. Bohn, Handbuchreihe Energie Band 5, Konzeption und Aufbau von Dampfkraftwerken, Technischer Verlag Resch, Verlag RUV Rheinland, 1985.
4. Hans Peter Winkens, Wirtschaftliche Vorlauftemperaturen in der Fernwärmeverversorgung, Fernwärme International Jahrbuch 1988, S. 17/23.
5. H. Munser, G. Glaser, Ein Beitrag für die Bewertung der in Heizkraftwerken erzeugten Fernwärme, Energietechnik, 28. Jg., Heft 12, Dez. 1978.
6. T. Derbentli, T.H. Kuehn, Thermodynamic and economic analysis of cogeneration steam cycles; ASHRAE Transaction, 1987, part 2, Volume 93.
7. Alfre Buch, Fernwärme; Stand und Entwicklungsaussichten in der BRD, Resch-Verlag, 1983.
8. H.D. Baehr, Zur Thermodynamik des Heizens, II Primärenergieeinsparung durch Anergienutzung, BWK 32 (1980), Nr.2, Feb.
9. G. Hausmann, H. Schmitz, Ein neues Berechnungsverfahren für Wärmekraftwerks-Kreisläufe, BWK 35 (1983), Nr.12, Dez.
10. G. Zollner, C.K. Chung, Rechnerische Simulation von Heizkraftprozessen als

Instrument zur Parametervariation und Optimierung, zum internationalen Kongreß "CLIMA 2000", Aug. 1989, eingereichtes Manuskript.

11. C.K. Chung, Rechnerische Simulation von thermodynamischen Wasserdampf-Kreisprozessen mit Heizwarmeauskopplung, Diplomarbeit Nr.159, Hermann-Rietschel-

Inst. für Heizungs- und Klimatechnik, TU-Berlin, Dez. 1987.

12. H.D. Baehr, Gleichungen und Tafeln der thermodynamischen Funktionen von Luft und einem Modell-Verbrennungsgas zur Berechnung von Gasturbinenprozessen, VDI-Fortschrittberichte, Reihe 6, Nr.13, Dez. 1967.