

# 열병합발전시스템의 배전계통 도입전망

김 세 철\*, 최 주 호\*\*  
(\*승실대 전기공학과, \*\*한국전기연구소, \*\*\*충북대 전기전자공학부)

## 1. 서 론

산업경제의 발전 및 생활수준의 향상으로 전력수요가 급격히 증가함과 동시에 주야간의 부하격차가 점점 심화되어 부하율이 현재의 70%, 60%대에서 2000년대에는 60%, 50%대로 하향될 전망이다. 이와 같은 수요변동에 대응하여 중간 부하용 또는 최대부하용 전원에는 중규모 화력발전 및 가스 터빈 발전이, 기저부하용 전원에는 원자력 발전 및 대형화력 발전이 각각 이용되어 전체적으로 적절한 수급균형을 이루며 운전되고 있다. 그러나 현재 발전량의 약 50%(설비용량으로는 36%)를 점유하고 있는 원자력발전의 구성비율이 점점 증가추세를 보이고 있으며 이대로 계속될 경우 머지않아 심야 경부하시에 공급량이 수요량을 상회하는 심야 잉여전력의 발생 및 주파수 조정용량의 부족 등 수급조정능력의 저하가 예상된다. 즉, 전력수급의 장기적 안정을 확보하기 위해서는 전력수급양면에 걸친 장기적 대책이 필수 불가결하다. 따라서, 종래의 전력공급은 대규모전원의 개발을 중심으로 수요에 대응해 왔지만, 앞으로는 수요의 관리·제어를 고려한 에너지관리체계(Energy Management System) 또는 수요측 관리(Demand-Side Management)를 적극적으로 추진해나가고, 나아가 다양한 에너지자원의 효율적 활용 및 개발을 목표로 한 열병합발전시스템 등의 분산형전원의 개발과 도입을 적극적으로 추진하는 등의 폭넓은 정책이 마련·시행될 필요가 있다.

이러한 현 시점에서, 우리 나라는 에너지원의 97%를 수입에 의존하고있으며, 연간 수입액도 200억\$, 에너지 탄성치는 1.4에 육박하여 단위 GNP생산에 소비되는 에너지량이 선진국의 약 3배에 이르는 에너지 다소비 국가에 해당한다. 또한 우리 나라의 총 에너지 수요는 2001년까지는 연평균 6.6%, 그후 2010년까지 연평균 3.4%씩, 그후 2020년까지는 2.1% 증가하여 2020년에 348.2백만 TOE로 1995년의 약 2.3배 수준으로 증가할 것으로 예상되어 에너지의 해외의존도가 매우 높은 우리 나라로서는 에너지 절약 기기를 포함한 에너지 관련 기술개발과 보급은 지속적인 경제 발전 및 현재의 외환위기 타개를 위한 긴급한 과제들 중의 하나라고 생각된다.

이의 한 예로서, 그림1에서와 같이 대표적인 에너지 절약 설비인 열병합발전시스템(Cogeneration System)을 도입하여 종합효율 75%정도를 실현할 경우, 기존 발전방식의 발전효율 40%정도에 비하여 약 35%의 에너지를 절약할 수 있는 에너지 절약효과를 거둘 수 있다. 따라서 2006년까지 시설용량의 2%에 해당하는 1,400MW를 열병합설비를 도입하는 경우 842,800TOE정도의 에너지를 절약할 수 있고, 금액으로는 약 2,000억원 정도의 절약을 예상할 수 있다.

한편, 향후 10년간의 열병합 관련 기술개발을 통하여 기술개발 목표를 달성하는 경우 가스터빈 열병합 시스템은 150만원~170만원/kW, 가스엔진 열병합시스템의 경우 100만원~130만원/kW정도의 초기투자비중에서 약 20%를 절약하고, 35%의 에너지 비용저감을 통하여 관련 산업의 경쟁력 향상을 꾀할 수 있고, 설비비를 110만원/kW로 하고 국산화율을 최저 금액대비 50%로 간주할 때 7,700억원의 수입대체 효과를 거둘 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 에너지 절약 및 설비의 수입 대체를 포함한 전체의 수입대체 효과는 9,700억원에 이를 전망이다.

전술과 같이 에너지절약에 상당히 효과가 있는 대표적 에너지절약설비인 열병합발전설비는 그 대부분이 비전기사업자의 발전설비로서 전기사업자가 그의 계획, 관리 및 운영을 집중적으로 수행하는 기존의 전원과는 그 성격이 다르다. 또한, 이들 열병합발전설비는 전력계통과는 별도로 독립적으로 운용할 수도 있지만, 전력계통과 연계된 상태에서 운전함으로써 수용가 측면에서는 보다 안정한 전력의 확보, 전기사업자측면에서는 전력설비의 효율적인 활용, 국가적인 측면에서는 자원의 효율적인 활용 등의 잇점을 얻을 수 있다. 그림2에서는 열병합발전시스템 등의 설비가 전력계통에 도입됨에 따라 변동비용감소 및 송,배전설비의 투자지연효과를 거둘 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 이러한 잇점을 갖고 있는 열병합발전설비의 전력계통에의 도입형태에 대해서는 기존에는 스케일메리트(Scale Merit)이 있는 대규모 집중전원의 형태가 고려되어 왔지만, 최근 들어 에너지 환경문제와 더불어 대규모전원의 입지확보 및 송전선의 루트 확보가 어려워져 가고 있으며, 또한 장기적 전력수급의 안정성 확보상의 불확실성, 지역적인 고신뢰고품질의 전력확보, 전력시장의 개방

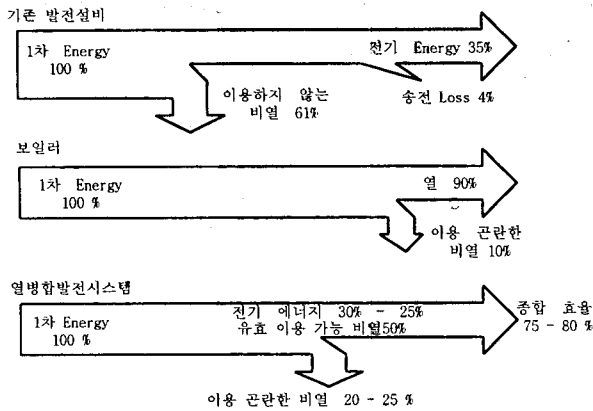


그림 1. 각 에너지시스템의 에너지 이용효율 비교

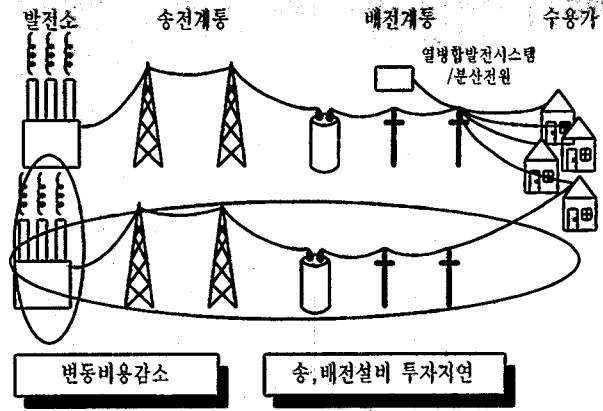


그림 2. 열병합발전시스템/분산전원의 도입에 의한 변동비용감소 및 송, 배전설비 투자지연 효과

등이 가속화되어가고 있어, 중소규모의 열병합발전시스템이 다수 분산적으로 전력계통(특히, 배전계통)에 연계운전되는 형태로 보급될 것으로 전망할 수 있다.

이러한 현재의 상황에서 열병합발전시스템의 배전계통 도입에 대한 긍정적인 시각으로는 (1) 대규모전원의 보완 및 전원계획의 유연성, (2) 변동비용감소 및 송, 배전설비 투자 지연 효과 (3) 에너지자원의 효율적 이용 등을 생각할 수 있으며, 다른 한편 부정적인 시각으로는 (1) 경제성 확보의 어려움, (2) 기존 배전계통의 전력품질 및 신뢰도 저하 (3) 계통 운용상의 문제 등이 열거될 수 있다.

따라서, 본 고에서는 전술의 열병합발전설비가 보급될 경우에 해결하여야 할 배전계통도입에 따른 제반문제와 국내의 계통연계규정을 살펴보고, 또한 장차 배전계통에 열병합발전설비가 분산형전원의 형태로 다수 도입된 차세대 배전계통에 있어서의 요구되는 기능과 그 기능수행과 관련된 연구개발분야 등에 대해 기술하기로 한다.

## 2. 열병합발전설비의 배전계통도입에 따른 제반문제

열병합발전이 배전계통에 도입되어 연계 운전하기 위해서는 여러 가지 해결해야할 문제가 있다. 이 절에서는 배전계통과의 연계운전에 수반되는 제반문제들을 기술적 측면과 사회·경제적으로 나누어 검토한다.

### 2.1 연계운전상의 기술적 문제점

기존의 배전계통에 있어서의 전력조류는 변전소에서 수용가를 향한 단방향이지만, 열병합발전시스템이 도입된 배전계통의 경우에는 그 출력용량 및 역조류에 따라 양방향의 전력조류가 발생하여 계통운용상 여러 가지의 문제점이 야기될 수 있다. 열병합발전시스템의 역조류는 대규모 전원의 보완적 역할, 배전선로상의 국부적 부하 감당할 수 있다. 그러나 이의 역조류를 허용하기 위해서는 이에 따른 제반 기술

적 문제점을 검토·분석하여 이의 충분한 대비가 필요하다. 이하에서는 이의 문제점을 검토하여 본다.

**상시전압변동 및 조정** 전기사업자는 저압배전선의 공급전압을 전기사업법에서 정한 적정범위로 유지할 의무가 있기 때문에, 열병합발전시스템이 배전계통에 도입된 경우라 하더라도 공급전압을 이 규정범위내에 유지하여야 한다. 현재의 배전계통의 전압관리는, 변전소에서 부하에 이르기까지의 전력조류가 단방향이라는 사실을 전제로 하고 있다. 이와 같이 전력조류가 단방향일 경우는 부하의 변동에 의해 배전선에 흐르는 전류가 변화해 전압이 변동하더라도, 전압은 변전소 인출부로부터 배전선말단을 향해 단조 감소하기 때문에 선로의 전압조정은 LDC(Line Drop Compensation)방식 및 주상변압기의 탭 설정 및 콘덴서 등의 설치로 비교적 쉽게 조정할 수 있다. 그러나, 배전선로에 열병합발전설비가 도입되어 계통으로 역조류가 발생하게 되면 연계지점의 전압이 높아져 배전선로상의 전압분포는 상이한 분포를 가진다. 이와 같은 상황에서 기존의 전압제어 방식으로는 적정 전압조정 능력을 상실할 가능성이 존재한다. 이와 같은 문제는 이의 도입용량을 적절히 제어함으로써 어느 정도 대처가 가능하지만, 이는 열병합발전시스템의 보급 저해요인이 되므로 이를 적절히 대처할 수 있는 진보된 전압조정방식이 필요하며 이를 통해 규제를 완화할 필요가 있다.

**순시전압변동** 열병합발전시스템의 연계·분리 운전 때 다른 연계 계통의 순시전압변동은 첨단 정보 기기 및 산업 정밀 기기 등에 오·동작 및 기기 정지 등의 악영향을 미칠 우려가 있다. 열병합발전시스템의 발전기가 동기발전기(Synchronous Generator)의 경우에는, 계통 연계·분리 운전 시 동기를 맞추어 연계할 경우 순시전압변동은 아주 미소하다. 하지만 경제성 이유로 유도발전기(Induction Generator)를 사용할 경우, 배전계통 병렬운전시 정격전류의 5~6배의 무효 투입 전류가 흐르므로 순시전압 변동이 발생한다. 또한 이러한 열병합발전시스템의 운전 정지시에 계통에 급작스런 부하 변동으로 인한 순시전압변동이 예상된다. 따라서 이의 순시전

압 변동분 및 영향은 정확히 분석하여야 한다. 이와 같은 문제는 이의 단위 도입용량을 적절히 제어함으로써 어느 정도 대처가 가능하지만, 이는 열병합발전시스템의 보급 저해요인이 되므로 이를 적절히 대처할 수 있는 장비의 규정 및 가이드라인을 통해 규제를 완하할 필요가 있다.

**단락용량** 열병합발전시스템이 연계하여 운전하고 있을 경우, 계통의 사고시 열병합발전시스템의 사고전류에 의해 계통의 단락용량이 증가하게 된다. 이 때문에 기존의 차단기의 차단용량이 부족한 상황이 발생할 수 있어 계통 구성의 제검토, 발전기 리액턴스 검토, 한류리액터 및 고압휴즈의 채용등의 채용여부에 대한 분석·검토가 필요하다.

**보호협조** 배전계통에 있어서, 지락사고 및 단락사고가 발생하였을 경우, 사고 파급 확대를 방지하기 위해서 사고전류를 공급하고있는 전원을 신속하게 차단하도록 하고 있다. 이와 같은 목적으로 배전선에는 보호장치가 설치되어 사고를 정확히 검출하여 사고 구간 또는 사고 선로를 계통으로부터 분리하게 된다. 그러나, 열병합발전시스템이 기존의 보호시스템의 배전계통에 도입될 경우에는 이의 역조류에 의해 사고시 고장구간의 분리 및 선로재구성에 따른 차단기 및 개폐기 제어 알고리즘, 그리고 순시정전시 이의 기동정지, 개폐기의 기능, 차단용량 등에 악영향을 끼칠 우려가 있다. 또한 사고시 일시적으로 분리된 건전구간내에 열병합발전설비가 존재하여 사고구간을 활성화하는 경우가 발생하는데, 이 경우는 인체 및 전기설비에 위험을 초래하게 될 뿐만 아니라 사고의 신속한 복구에도 저해의 요인이 된다. 이외에도, 지락사고시 선로가 계통과 차단된 상태에서 열병합발전설비의 차단기가 늦게 동작하게되면 선로의 캐패시터와 부하가 열병합발전시스템의 전원과 작용하여 공진으로 인한 과전압을 발생한다는 점, 차단기(리크로저 또는 CB)와 휴즈의 보호협조체제하에서 순시사고시 사고전류가 증가로 인한 불필요한 휴즈의 용단으로 장시간 정전사태가 발생한다는 점, 리크로우저 또는 CB의 재폐로방식에 따른 열병합발전설비의 충격 또는 확실한 분리보장 등의 문제가 우려된다. 즉, 상기에 열거된 문제점들에 대해서는 충분한 사전 검토·분석을 통한 대책 마련이 필요하다.

**단독운전의 방지** 배전계통측의 전원이 상실된 경우 배전선로상의 부하와 열병합발전시스템의 출력이 평형상태를 유지하는 경우를 단독운전(Islanding or Isolation)상태라고 한다. 이러한 상태가 지속되는 가운데 배전계통측의 전원이 회복될 경우에는 양측 전원의 동기 문제가 발생하고 이로 인하여 단락 및 탈조 등의 사고가 일어날 가능성이 있을 뿐만 아니라, 선로작업을 위해 선로를 차단한 상태에서 작업원의 선로작업시 안전문제(Safety) 역시 심각하다. 따라서, 열병합발전시스템의 계통연계시 이러한 단독운전상태를 확실하게 방지할 수 있는 대책 마련이 필요하다. 즉, 열병합발전설비측에서 계통의 전원상실을 자동으로 검출하여 자동적으로 계통으로부터 분리하는 방법, 배전계통 사고시의 재폐로 동작

에 앞서 통신 연락에 의해서 열병합발전설비를 계통에서 분리하는 방법 등이 필요하다.

**역률유지** 배전계통에 있어서 역률유지는 선로의 전압변동, 전력 손실 및 유효전력의 공급한계 등의 측면에서 중요하다. 현재 국내의 경우, 수용가의 역률 유지 규정을 0.9(지상) ~ 1.0사이로 두고, 0.9이하의 전기요금의 추가, 0.9이상은 전기요금감액 등의 규정을 전기공급규정 제43조, 제44조에 두고 있다. 이러한 상황에서 열병합발전시스템이 배전계통에 도입되어 연계 운전될 경우, 이의 운전역률에 따라 배전계통의 역률에 영향을 미치게 된다. 먼저, 선로에 도입된 열병합발전시스템의 운전역률(발전기기준)1.0으로 운전하게 될 경우를 보면, 계통에 유효전력만을 공급해주기 때문에 전력손실은 적어진다. 지상운전의 경우에는 유효 및 무효전력을 모두 계통측에 공급하게되어 선로의 전압변동에 커다란 영향을 미치게 된다. 하지만, 선로에 흐르는 무효전력의 감소로 상위 배전용변전소의 배전선로에 공급해 주어야 할 무효전력 공급량은 감소하게되어 전압안정도측면에서는 유리하다. 지상운전의 경우에는 유효전력은 계통에 공급하고 무효전력은 계통측으로부터 공급받아야 하기 때문에 선로의 역률은 더욱 악화되고, 배전용변전소측에서 공급해야할 무효전력량은 증가하게 되어 무효전력보상설비의 증가와 전압안정도의 악화가 예상된다. 따라서, 배전계통에 도입되어 운전하는 열병합발전시스템의 운전역률을 어떻게 설정할 것인가는 배전계통에 도입되는 이의 규모에 따라 선로의 전압변동, 손실, 무효전력증가 등의 요소와 관련지어 결정해야할 대단히 중요한 요소이다. 또한, 이는 열병합발전시스템의 연계위치에 따라 상이하기 때문에 대용량의 열병합발전시스템에 대해서는 역률조정의 기능을 의무적으로 갖추도록 하는 방법, 소용량의 경우는 도입시에 사전검토하여 운전역률을 고정시키는 방법 등의 사전검토가 도입될 배전계통에 따라 수행되어야 한다.

**상불평형** 국내의 경우 배전계통은 22.9kV-공통중성선다중 접지방식을 채택하고 있어 상불평형이 생기게 되면 중성선에 불평형전류가 흐르게 되어 중성선의 전위가 상승하게 되고 이로인해 선로의 제어기기에 오동작의 영향을 일으킬 우려가 있다. 특히, 배전선로에 다수의 열병합발전설비가 단상으로 연계되는 경우 상불평형이 심화된다. 따라서, 배전계통에 열병합발전설비가 도입될 경우 이러한 상 불평형요소를 고려한 도입 선정·대책이 필요하다.

**주파수** 전지역에 걸쳐 배전계통에 도입되어 운전되고있는 다수의 열병합발전시스템이 어떤 원인으로 동시에 출력이 0으로 되는 경우는 전력계통 전체의 주파수가 흔들릴 가능성이 존재한다. 물론, 이러한 상황의 발생의 확률이 적지만, 이의 피해가 막대하므로 이런 분야에 대한 연구 분석도 요구된다.

**열병합발전시스템의 도입한계량** 기존 배전계통의 구성 및 운용체계가 열병합발전을 어느정도의 도입용량까지 수용 가능한가를 여러 측면에서 검토하여야 한다. 왜냐하면, 수용

한계를 벗어날 정도의 열병합발전시스템이 배전계통에 도입될 경우 기존 배전계통의 구성과 운용체계를 개선 내지는 변경시킬 필요가 있기 때문이다. 그 수용한계량의 결정에는 여러 가지의 요소들이 고려될 수 있는데, 예를 들면, 상시전압변동 및 조정, 순시전압변동, 전압안정도, 신뢰도, 전력품질 등을 들 수 있다. 따라서, 열병합발전시스템의 배전계통 도입한계량 결정은 앞에서 열거한 요소들을 종합적으로 고려하여 검토·분석 결정하여야 할 것이다.

## 2.2 경제적 측면에서의 문제점

열병합발전시스템의 계통연계에는 기술운용상의 문제점뿐만 아니라 경제적인 문제도 역시 해결해야 할 필요가 있다. 열병합발전시스템은 종합 에너지이용효율이 70~80%에 달하지만, 계통과 연계하지 않는 독립운전 형태를 취할 경우 열수요와 전력 수요의 시간적 차이, 열전비 차이에 의해 이론적 효율을 발휘할 수 없다. 그러나, 전력계통에 연계하여 운전할 경우 발전효율의 향상을 피할 수 있다. 이 경우 열병합발전시스템을 보유하고 있는 수용가의 입장에서 전력판매에 따른 이익이 발생하고, 전력회사측에서는 전력계통과 연계에 의한 복합적인 공급체계를 구성함으로써 시스템 운용상의 효과를 기대할 수 있다. 따라서, 열병합발전시스템을 보유한 수용가와 보유하지 않은 수용가와의 사이에 공정하고 합리적인 전기요금체계의 확립이 필요하다. 열병합발전시스템을 배전계통에 연계하여 계통측에 전력을 공급하게 되는 경우에 따라 대표적으로 다음의 3가지의 유형의 예를 들 수 있다.

**독립운전형** 이 경우는 전력계통과는 관계없이 수용가 단독으로만 운전하는 상태이므로 전기요금구조와는 무관하게 다고 볼 수 있다.

**역송불가 계통연계운전형** 전력계통과 연계되어 있으나 잉여전력을 계통으로 역송할 수 없는 경우이다. 그러나 계통으로부터의 전력공급은 가능하다. 이 경우, 열병합발전시스템을 소유한 수용가는 전력계통과 연계함으로써 전원의 이중화에 따른 주파수 안정화 및 신뢰도·전력품질의 향상을 기할 수 있다. 이때 계통연계에 따른 요금을 연계요금(Access Charge)이라고 한다, 이 요금은 열병합발전시스템의 보급을 촉진한다는 의미에서, 열병합발전시스템 소유주에게 혜택을 많이 주되, 일반 수용가의 전기요금이 상승하지 않도록 전력회사의 비용증가분을 기준으로하여 연계요금을 결정하는 것이 바람직하다. 한편, 이 경우에는 많은 산업용 및 업무용의 수용가는 전력을 전기사업자로부터 단순히 구입하는 과거의 방법에서 열병합발전시스템을 운전하여 자체 기저부하를 감당하고 이외의 전력은 전력회사로부터 구입하는 것이 일반적으로 경제성이 높다. 이렇게 되면, 전력계통 전체의 입장에서 기저부하의 수요를 잃게되어 열병합발전시스템이 없는 일반수용가의 고정비부담을 과중하게 부과시키는 결과가 발생할 수 있다. 이 때문에 단위 수용가당의 전기요금은 상

승하고, 이것은 다시 자가발전을 유인하게 되어 수용가의 계통이탈을 더욱 가속화한다. 이러한 현상에 대응할 수 있는 한 방법으로서, 계통이탈을 할 우려가 있는 수용가에게 인센티브를 적용하는 것이 고려될 수 있다. 실제로, 미국의 일부 전기사업자는 공통 비 배분률을 조정하여 경쟁적인 대전력수용가에 대해서는 부담을 상대적으로 경감하는 전기요금제도를 실시하고 있다. 그러나, 이와 같은 일종의 차별요금은 항상 수용가간의 공평성을 위협하게 되므로, 바람직한 형태의 개별요금설정의 이론적 기초를 명확히 할 필요가 있다.

**역송가 계통연계운전형** 이 방식은 수용가가 전력회사로부터 전력을 구입할 수도 있고, 잉여전력이 있을 경우 역으로 판매가 가능한 운전형식이다. 경우에 따라서는 발전된 전력을 전량 전력회사에 판매하고 수용가는 전력회사로부터 과거와 같이 전력을 구입하는 경우도 많다. 국내의 경우 후자의 방식이 일반적이며, 열병합발전 및 자가발전에 대한 잉여전력의 구입가격을 1984년 1월 1일부터 시행하여, 1995년 하계부터는 산업체 열병합발전시스템의 경우는 장려의 차원에서 회피비용에 근거를 두지 않고 산업(을) 고압A의 전기요금에 연동하여 적용하고 있으며(전량공급형의 경우는 전력량요금 이외에 기본요금을 추가 지급하고 있음), 산업용자가 발전의 경우는 한전에서 정한 구입전력요금에 적용하는 시간대별 전력량요금 단가를 적용하고 있다. 그러나, 소형의 열병합발전시스템의 경우는 전력공급패턴에 따라 용량공급의 보장성이 있는 것과 보장성이 없는 전력으로 구분할 수 있다. 이러한 유형의 구입전력에 대해서는 회피비용(Avoid Cost)을 요금산정의 기준으로 하여 요금제도를 개선하며, 특히 보장성 있는 설비용량제공에 대한 회피설비비용의 지불과 동시에 공급시간대별로 차등을 두는 전력량요금(Time of Use)을 지불함으로써 전력사업자에 대한 공급자원의 안정적 확보에 기여하고, 아울러 공급자의 효율적인 생산에 대한 인센티브의 요인을 제공하여 공급자와 구입자간의 합리적인 전력거래와 전력의 가치를 반영할 수 있도록 구입전력요금제도를 마련·개선할 필요가 있다. 한편, 장래 전력공급에 관한 규제가 완화되어 지역간 전력 도소매탁송(Whole-sale/Retail Wheeling)이 자율화된다면, 잉여전력의 판매는 현재와 같이 전기사업자만에 의한 구입거래뿐만 아니라 수용가의 공급자 선택여유가 생기게 되어, 열병합발전시스템 소유자가 설비규모 및 운용의 계획이 용이해진다.

## 3. 국내의 열병합발전 관련의 분산형전원 계통연계규정

미국, 일본, 유럽에서는 태양광발전 등 재생가능에너지의 보급촉진을 목적으로서, 보조금제도 등의 경제적 제도의 정비와 더불어 계통연계규정의 정비를 꾀하고 있다. 공통된 특징으로는, 대상전원을 신 에너지전원에 국한시키는 나라는 없고, 소수력 및 열병합 등 분산형전원 전체를 대상전원으로 하고 있다. 오히려, 신 에너지전원에 대해, 경험이 풍부한 기



표 1. 외국의 열병합발전시스템/분산전원 계통연계 관련가이드라인 주요 정비현황

구분	대상전원	보수관리상의 요건	전력품질관리상의 요건	필요한보호계전기	단독운전방지에 관한대책
영국	주로 열병합	옥외개폐기 설치	상시전압변동:94~106%, 고조파:별도가이드라인 G5/3으로 규정	과전압,부족전압,과주파수, 부족주파수	가이드라인에 방지를 규정, 주파수 변화율 계전기를 권장함
독일 (RWE)	태양광, 풍력, 소형열병합, 수력	옥외개폐기 설치, 릴레이제정값 제정	상시전압변동:94~106%, 고조파, 플리커에 대한 규정이 있음, 역률: 지상80%~진상90%	과전압,부족전압,과주파수,부족주파수,인버터연계의 경우 양방향 주파수 계전기는 불필요	소수력의 경험 때문에 문제는 없다.
스위스 (EWZ)	열병합, 신에너지		상시전압변동: 94~106%, 고조파: 3%이하	과전압,부족전압,과주파수,부족주파수,과전류	중요한 연구개발 과제로 인식
이탈리아	제한없음	옥외개폐기 설치	상시전압변동: 94~106%, 역률: 지상90%~진상90%	과전압,부족전압,과주파수,부족주파수,과전류,지락과전압 계전기	중요한 과제로 하고 있으나 연구에 착수한 단계
미국 (NEPS)	열병합, 신에너지는 시험단계로 개발협의 대응	태양광수용가 표시, 옥외개폐기 설치	상시전압변동: 94~106%, 고조파:5%이하, 역률: 지상95%~진상95%	과전압,부족전압,과주파수,부족주파수,인버터연계의 경우 내장의 가능성도 가능	경험이 없고 중요 과제로 고려되지 않는다.
미국 (PG&E)	특별히 제한없음.신에너지는 개별협의 대응	옥외개폐기 설치, 10KW이상은 절연변압기 사용	상시전압변동: 94~106% (순시전압변동120%) 고조파,전압계급,단락전류에 대한 규정 있음. 역률: 지상80%~진상90%	과전압,부족전압,과주파수,부족주파수 계전기	off-peak 전력의 1/2이하의 용량에 연계를 제한
일본	열병합, 신에너지	옥외개폐기 설치, 릴레이 제정값 규정	상시전압변동: 94~106% 고조파: 5% 이하, 역률: 지상85%~100%	과전압,부족전압,과주파수,부족주파수,인버터연계의 경우 내장의 가능성도 가능	역조류유무에 따라 고립운전검출 기능부, 옥외개폐기,RPR,역충전검출기능

존의 소수력 등에 적용되고 있던 기술조건을 개정 또는 추가한 형태의 규정을 적용하고 있는 실정이다.

### 3.1 기술적 제도

- 1) 연계기술조건의 제정기관 또는 적용범위는, 유럽과 일본에서는 거의가 국가레벨인 것에 대해서 미국은 전력회사레벨로 되어 있다. 또, 국가레벨, 사회레벨에 관계없이 법적인 명확한 강제력이 불명하지만, 기술조건을 준수하고 있지 않은 경우 어떤 말썽이 생겼을 때 재판상의 강력한 증거로 하는 곳도 있다(영국).
- 2) 전압변동, 고조파 등 전력품질에 대해서는, 해당규정 또는 다른 가이드라인을 적용하는 등 각국 모두 연계기술조건을 명확히 하고 있다. 그러나, 전압변동이 규정치를 벗어날 경우의 명확한 대책방법을 명시하고 있는 규정은 거의 없고, 일부 연계 가능한 최대용량을 검토하고 있는 정도에 지나지 않는다(독일). 전압변동은 현재의 시점에서 커다란 문제점으로는 생각지 않고 있다는 것을 엿볼 수 있다. 또, 고조파 및 플리커 등에 대해 상세한 규정을 정해 놓은 곳도 있다.
- 3) 설치를 의무화하고 있는 연계보호장치의 종류는, 독일의 일부에서 타여식인버터를 이용하고 있기 때문에 주파수관련 계전기를 불필요로 하고 있는 곳도 있지만, 대부분의 나라와 전력회사에서는 과전압, 부족전압, 과주파수 및 부족주파수의 각 계전기의 설치를 요구하고 있다.
- 4) 고립운전에 대해서는, 관계기술자의 대부분은 숙지하고 있지만, 발생확률이 적다는 이유로 현시점에서는 문제

시되고 있는 곳은 적다. 그러나 고립운전방지에 대해 추천계전기를 명기한 경우(일본, 영국), 고립운전이 발생할 가능성이 있는 곳에는 전송차단장치를 의무적으로 설치하도록 한 경우(미국, 칸사스PC), off-peak전력의 1/2이하밖에 분산형전원의 계통연계를 인정하지 않은 경우(미국, PG&E) 등의 대책을 명시하고 있는 곳도 있다. 또, 스위스, 이탈리아, 스페인 및 미국(일부전력회사)과 같이 중요한 문제로 인식하여 금후의 개발과제로 고려하고 있는 곳도 많다.

- 5) 소형의 태양광발전의 경우의 계통연계보호장치의 신뢰성에 대해서, 지금까지 문제를 제기한 일은 없고, 2중화의 예도 없고, 계통과의 연계점에 개폐스위치를 설치하여 고립운전상태로 된 경우라도 작업자의 안전이 확보될 수 있도록 한 곳이 많다(독일제외).
- 6) 절연변압기의 여부에 관해서, 특히 상용주파수의 변압기를 의무적으로 설치하도록 하는 곳이 적다. 단, 절연변압기를 설치하지 않은 경우, 교류측에서 직류분의 유출을 검출해서 인버터의 운전을 정지시키는 방법은 독일에서는 검토하고 있다.
- 7) 국내의 경우, 1986년 한전의 "타사발전기병렬운전연계선로 보호업무지침"을 제정하여 동기기나 유도기로 구성되는 자가용발전설비(열병합 등)에 대해 적용하고 있다. 신지침은 그 보급실적이 없는 관계로 아직 종합적으로 제시되어 있지 않은 상황이다. 특히, 고립운전에 대한 보호협조지침도 제정되어 있지 않으며, 보호협조이외에 고조파, 운전역률, 단락용량, 도입용량의 한계





여기에는 재생에너지전원으로 0.5%의 전력을 공급하도록(수력제외)하고 있으며, 연방정부와 주와 자치단체에 의한 보조제도가 실시되도록 하는 내용이 포함되어 있다. 연방정부와 자치단체의 경우, 보조율은 case by case로 되어 있고, 취리히전력청의 경우는 3,000스위스 프랑/kW로 되어 있다. 전력구입의무에 대해서는 1991년부터 실시되어오고 있는 연방에너지법에 의해 규정되어 있고, 구입가격은 회피회가로 되어있지만, 취리히 전력청의 경우는 판매가격과 동일하게 설정하고 있다.

- 5) 일본 : 1980년 석유대체에너지의 개발 및 도입촉진에 관한 법률(대체에너지법)이 제정되어 기술개발 및 보급에 대한 지원이 실시되기 시작하였으며, 그 이후, 신에너지의 도입을 위한 신 에너지도입강령이 1994년12월에 발표되었다. 여기에서 중점도입의 신 에너지전원으로서 태양광발전, 폐기물발전, 열 병합, 연료전지 등이 언급되었다. 이중, 태양광발전의 보급을 위한 태양광 모니터링사업의 경우, 설치비용의 약 50%가 지원되고 있고, Field Test사업의 경우 연료전지발전 및 풍력 발전에 대해 각각 설치비용의 1/3, 1/2이 지원되고 있다. 전력구입단가에 대해서는 1994년2월 태양광, 풍력, 연료전지, 폐기물, 열 병합 등의 발전설비를 대상으로 10개 전력회사의 잉여전력 구입단가가 완비되었다. 태양광 및 풍력의 경우는 가정용전력요금, 그 이외의 발전설비의 경우는 회피비용에 근거를 둔 요금이 적용된다.
- 6) 국내 : 국내의 경우, 집단 및 산업체의 열병합발전, 소수력 등에 대해 금융지원 및 세제혜택이 석유사업법, 에너지이용합리화법 및 조세감면 규제법에 규정되어 있으나, 배전계통에 연계되는 소규모의 민수용 열병합 발전에 대해서는 아직 제도적인 지원책이 충분히 확립되어 있지 않다. 참고로 산업용열병합발전, 소수력 등의 전력요금은 회피비용을 상회하므로 상당한 수준의 인센티브를 주고 있다고 볼 수 있다. 그러나 민수용의 열병합발전시스템의 경우 아직까지 경제성을 확보하기 힘들다고 볼 수 있다. 따라서, 민수용 열병합발전시스템의 경제성을 확보하기 위해서 비상용 발전기의 대체, 특례가스요금제도의 적용, 세금 감면 등의 지원정책이 활성화 되어야 한다.

#### 4. 열병합발전시스템이 분산형전원의 형태로 다수 도입된 차세대 배전계통

장래, 전력회사가 다수의 열병합발전시스템을 분산형전원의 형태로 배전계통에 도입하여 고품질·고신뢰의 전력을 수용가에게 제공하기 위해서는 고기능 실현이 가능한 차세대 배전계통 운용체제의 구축이 불가피하게 된다. 여기에는 기존배전계통에 대해 설계, 구조 및 설비 변경, 그리고, 더욱 복잡한 제어/보호 기능들이 요구될 것이며, 이러한 고기능 실현이 가능한 운영체제들 중의 하나로서 현재 연구개발중인 차세대 배전자동화시스템을 생각할 수 있다.

열병합발전시스템이 다수 도입된 차세대 배전계통의 원활한 운용을 위해서 차세대 배전자동화시스템에서 수행되어야 할 기능들로서는 다음과 같은 것들이 고려될 수 있으며 이의 구체적인 실현형태는 그림3과 같이 수용가의 다양한 요구에 부응하는 형태일 것이다.

##### 감시제어 기능:

- 열병합발전시스템/분산전원의 감시제어 기능
- 열병합발전시스템/분산전원의 운용제어 기능
- 배전 전압/무효전력제어 기능

##### 전력조류제어 및 품질관리:

- 열병합발전시스템/분산전원의 유/무효전력제어 기능
- 열병합발전시스템/분산전원의 전압제어 기능
- 전력품질 제어 기능

##### 정상, 사고 비상상태시 운전제어:

- 부하 평준화 제어 기능
- 보안
- 안전
- 자동 사고 복구 기능

##### 사고 및 오동작 검출:

- 계통과 열병합발전시스템/분산전원간 보호협조를 위한 연락 체계

##### 특수기능:

- 단독운전 제어 기능
- 무정전 전원장치 대체 기능
- 능동 필터 기능
- 계통 불평형 보상 기능

한편, 이의 제어체계로서는 중앙집중제어방식과 분산제어 방식이 고려될 수 있으나, 지역적으로 분산배치되어 있는 열병합발전시스템은 지역 분산제어센터에서 우선적으로 제어하고, 중앙제어센터에서는 이러한 분산제어센터를 통합·제어하는 지능형 분산제어방식(Intelligent Distributed Control)이 적절할 것으로 보인다.

#### 5. 결 언

본 보고에서는 배전계통에 열병합발전시스템이 다수 도입될 경우에 대하여 이에 따른 기술·사회·경제적측면의 영향, 국내의 열병합발전 관련 분산형전원의 계통연계규정, 및 차세대 배전자동화 시스템에서 요구되는 사항들을 검토하여 보았다. 특히, 이의 보급 활성화를 위해 산적해 있는 과제를 산·학·연 공동의 체제하에 정부의 지속적이고도 아낌없는 지원이 필요하다고 생각한다. 특히 전력산업구조개편 및 전력시장의 자유경쟁체제로의 전환 등의 분위기 하에서 국가적 차원에서 에너지 이용효율을 극대화하기 위한

## 열병합발전시스템의 배전계통 도입전망 및 운용대책

열병합발전관련 전력계통 운용기술개발 및 이를 통합화하는 차세대 배전자동화 시스템의 구성·실현에 대한 연구가 더욱 필요한 시기라 할 수 있다. 앞으로 이 분야에 대한 연구개발과 사업들이 활발히 진행되리라 예상되며 본 내용이 미력하나마 이 분야에 관련하시는 분들께 조그만 도움이 되길 기대한다.

### 참고문헌

[1] 김재철: "보급촉진 시급한 소형열병합발전시스템", 에너지관리지, 통권269호, 1998년 10월

- [2] 방효선, 오시덕, 김재언: "국가에너지절약을 위한 소형열병합발전시스템의 기술개발 및 실용화보급전략", 전기학회지 제47권7호, 1998년 7월
- [3] 김호용, 김재언, 김응상, 이승재: "분산형전원의 배전계통 도입전망과 대책", 전기학회지 제45권10호, 1996년 10월
- [4] 산업자원부: "소형열병합 발전 계통연계 방안 연구", 최종보고서, 1998년 10월
- [5] 日本電氣學會, 分散形電原 系統連系技術指針, JEAG 9701 - 1993
- [6] PG & E Interconnection Handbook

## 저자 소개



### 김재철(金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1988년~현재 숭실대학교 공대 전기공학과 교수. 전력설비 진단 및 전문가 시스템, 전력 품질 및 신뢰도, 배전 계통 최적화, 열병합 발전 및 분산형 전원 계통연계 문제 해석 등 연구분야에 종사.



### 김응상(金應相)

1962년 6월 21일생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991년 한국전기연구소 입소. 전지전력저장시스템, 분산형전원 계통연계기술 등 연구분야에 종사. 현재, 한국전기연구소 배전연구팀장



### 최준호(崔峻豪)

1970년 7월 30일생. 1996년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 열병합 발전 및 분산형 전원 계통연계 문제 해석, 초고압 직류송전, 차세대 배전자동화, 인공지능 전력계통 적용분야 등 연구분야에 종사.



### 김재인(金在彦)

1959년 7월 17일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 한국전기연구소 입소. 1996년 일본 교토대 전기공학과 졸업(공학). 배전계통운용, MW급 전지전력저장시스템 설계 및 운용, 분산형전원 계통연계 해석 및 운용, 복합에너지시스템, 자율분산배전계통, Custom Power Devices 등의 연구분야에 종사. 1995년도 일본 일본전기학회 전력·에너지부문대회 우수논문발표대상 수상. 현재, 충북대학교 전기전자공학부 교수.