

소형열병합 발전설비 계통연계 상용운전에 관한 연구

박경원, 김왕태, 윤갑구  
(주)에이스기술단

A Study for Small Cogeneration System Intertie

K. W. Park, W. T. Kim, K. K. Yoon  
ACE Engineering, Inc.

**Abstract** - Generation by the privately owned generators, which are normally operated has occupied about 10% of total generation. Recently the small co-generation employed gas engine has been introduced and attracted public interest. For privately owned generator to be paralleled Utilities, a customer complies with Generator Parallel Operation Guideline set by Utilities and installs related protective relays. But the guideline is not specified to small co-generation, only provides parallel operation of privately owned generator. So applying this guideline, initial investment can be too high comparing to total co-generation cost. Besides there is no specified guide about ALTS, which arises asynchronous problem. In this paper we analyzed guideline and technical problem when small co-generation is paralleled. And additionally needed researching area to improve distribution of small co-generation is discussed.

표준 보호계전방식을 일괄 적용할 경우 계통구성상 설치 불가 또는 과도한 공사비로 경제성이 충분하지 못할 경우가 있다. 즉, 발전기 비용 대비 과도한 비용을 유발시켜 열병합발전기의 도입에 어려움을 야기시키기도 한다.

본 논문에서는 소형열병합 발전설비의 계통 연계시의 기술적 제한 문제, 계통연계 절차 및 계통연계규정을 살펴보고, 또한 열병합 설비의 경제적 보급 확대를 위해 추가적으로 요구되는 연구개발분야 등에 대해 고찰하여 열병합 발전의 보급 확대에 도움이 되고자 한다.

2. 본 론

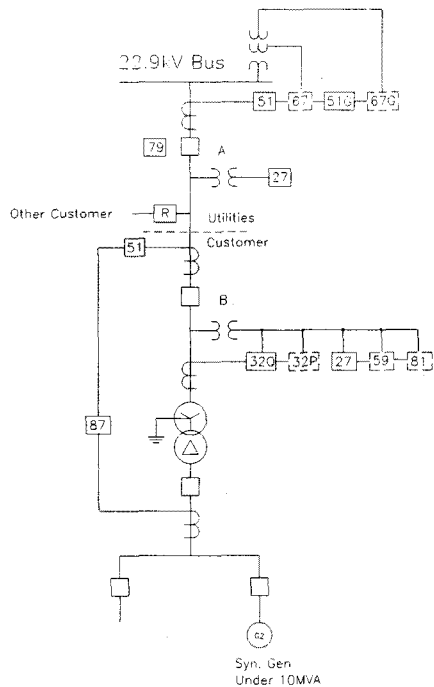
2.1 열병합 발전설비 계통연계시 보호방식과 절차

1. 서 론

전력수요가 급격히 증가함에도 불구하고, 수요를 만족시키기 위한 대규모 전력원은 입지적인 제약 및 환경적 제약으로 그 건설에 어려움을 겪고 있다. 또한 기존의 전력원은 소비자와 멀리 떨어진 곳에 위치하여 송전손실과 지역적 전력수급의 불균형 문제가 있어 열병합 발전과 같은 중, 소규모로 소비지에 설치가 가능한 전원 도입이 요구되고 있다. 열병합 발전설비는 전력회사의 입장에서 볼 때 민자 발전 유치의 효과가 있을 뿐 아니라, 최대 전력(Peak) 저감, 발전소 건설지연에 대한 보완 효과 등의 간접적 이익이 있고, 국가적인 측면에서 볼 때 에너지 절약과 효율에서 이익이 크다, 수용가의 입장에서는 비상발전기의 역할, 발전기 폐열을 회수하여 수용가 열부하 공급, 상시병렬운전에 따른 사용전력요금 절감 및 최대수요전력의 감소를 통한 기본요금 절감의 효과가 있어서 보급이 확대되고 있는 추세이다.

최근에 보급되고 있는 가스엔진 열병합시스템은 천연 가스에 불꽃점화기로 점화하는 방식을 사용한다. 이 불꽃 점화 엔진(Spark-ignition engine)은 4MW 이하의 경우 터빈발전기 보다 효율이 좋지만, 단독운전시 주파수 변동폭이 심하다는 단점이 있다. 이러한 문제는 전력회사와 병렬운전을 통해 해결될 수 있다. 즉, 전력의 안정공급, 질적향상 및 경제성 유지를 위해, 또한 불의의 사고로 상용수전계통 또는 열병합발전기가 트립되어 정지될 경우 수용가에 필요한 전력을 신뢰도 높게 공급하기 위해 전력회사와의 연계가 필수 불가결하다고 할 수 있다. 반면, 열병합 발전설비가 계통에 병입될 경우 단락용량의 증가 문제, 보호협조의 문제, 상시전압 변동 및 조정 문제가 있다.[1][2]

계통에 파급되는 문제에 대비하기 위해 전력회사는 가이드라인을 규정하고 있으나, 소형열병합 발전설비의 경우 계통연계시 현행 전기사업자의 가이드라인에 규정된

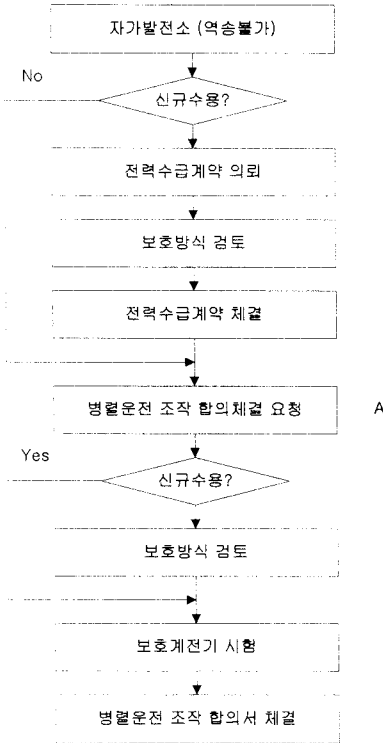


[그림 2.1] 연계선로 표준 보호계전방식

열병합 발전기를 설치한 수용가가 병렬운전을 하고자 할 경우, 연계선로 보호방식이 결정되어야 하고 발전기 병렬운전조작합의가 체결되어야 한다. 보호계전방식은 병렬운전 요청을 의뢰한 후 전력회사의 계통보호 담당 부서와 협의하여 결정하는데, 전력회사의 연계선로 표준 보호계전방식 중에서 가장 근사(近似)한 보호방식을 택

하되 필요한 보호장치를 추가할 수 있다. 일반적으로 열병합 발전설비에서 채택되고 있는 발전기의 규모와 발전 방식을 감안하면 표준 보호계전방식은 [그림 2.1]과 같다.

병렬운전 조합협의 체결은 신규수용의 경우, 전력수요계약을 작성할 때 발전설비 단선도, DC Sequence 도, 보호계전기 설명서등의 자료를 첨부하여 병렬운전 조합 협의의 체결 및 보호방식 검토 요청을 하던다. [그림 2.2]



[그림 2.2] 연계선로 계통보호 업무 절차

## 2.2 기술적 제반 문제

### 2.2.1 유효접지권 문제

소형열병합발전기를 수용하고자하는 수용가는 대부분 22.9kV로 수전을 받고 있으며 국내 22.9kV계통은 유효접지계통의 일종인 중성점 다중접지계통을 채택하고 있다. 전력회사의 연계선로 표준보호계전방식은 1선지락시 단독운전에 따른 전전상의 전위상승억제등을 목적으로 발전기가 연계된 수전변압기를 직접접지하도록 하고 있으나[그림 2.1] 대부분의 22.9kV수용가는 수전변압기를  $\Delta$ - $\Delta$  또는  $\Delta$ -Y로 결선하여 사용하고 있어 기존 수용가가 소형열병합발전설비를 도입하고자 할 경우 전력회사의 표준보호계전방식과 상이하여 병렬운전계약을 체결하기 곤란하다.

이 경우 주변압기를 Y-Y- $\Delta$ 로 교체하거나 신설하여 상기조건을 만족할 수 있다. 그러나 기설수용가일 경우 주변압기 교체에 따른 정전문제 및 변전실 공간확보등이 필요하며 열병합발전기의 설치비용이 과다하게 상승하는 문제가 있다. 또 다른 방법으로는 단독운전시 유효접지권으로 만족할 수 있는 적절한 용량의 직접접지용 접지변압기 (Y- $\Delta$ , 또는 ZIG-ZAG)의 설치를 고려할 수 있다. 특히 기설 수용가일 경우 주변압기용량의 일부용량

으로 설치하여 설치비용을 절감 할 수 있다.

### 2.2.2 전력회사측 변전소 저전압계전기 설치문제

[그림 2.1]의 A에서처럼 전력회사측에 PT 및 27계 전기를 설치하여 재폐로 및 비동기 투입을 방지하고 있으나, 특수한 경우 전력회사의 배전선 인출측에 PT의 설치가 불가능 한 경우가 있다. 이러한 경우 열병합발전기가 병입되기 위해서는 PT설치가 가능한 다른 D/L로 이설해야 하며, 공사비 과다로 인한 막대한 초기비용을 유발하기도 한다.

비용을 절감하고, 비동기투입을 방지하기 위해 열병합 발전설비가 설치된 연계선로의 재폐로에 대한 재고찰이 있어야겠다. 뿐만아니라 고장등의 원인에 의해 계통과 열병합 발전기가 분리될 때 이를 감지하여 수용가 측에서 발전기를 분리시킬 계전기의 적용이 필요하다.

### 2.2.3 ALTS에 따른 비동기 투입우려

병원, 호텔, 백화점 등 중요설비의 수용가들 중 일부는 상시공급설비로부터 공급되는 전력의 중단시 대체전력을 확보하기위하여 예비전력을 공급받을 수 있도록 자동부하절환개폐기(ALTS, AutoLoad Transfer Switch)등을 사용하여 전원을 절체하는 경우가 있다. ALTS는 내부 TIMER에 의해 전원 정전시 자동으로 상시전원에서 예비전원으로 절체되며 또한 상시전원의 복전시 TIMER에 의해 상시전원으로 절체되도록 동작한다. 따라서 전력회사의 연계선로 재폐로운전에 따른 비동기투입문제 뿐만아니라 공급선로절체시 ALTS에 의한 계통과 열병합 발전기 사이에 비동기 투입문제가 발생할 수 있다.

이에 대한 대책으로는 발전기의 Decoupling계전기와 ALTS의 Timer간에 적절한 시한협조를 통해 가능하나 Timer 및 ALTS의 동작시한의 고신뢰도가 요구된다. 아울러 상시 전원복전에 따른 절체는 ALTS와 발전기의 상호 투입방지하는 로직의 적용이 가능 하나 ALTS 조작회로의 개선이 필요하다. 이 경우 순간 정전에 대한 수용가 정전시간이 길어진다.

또한 상시공급선로 및 예비선로의 구분이 없이 수전을 받을수 있도록 협약을 하면 상시전원 복전시 ALTS에 의한 선로절체를 안해도 됨으로 비동기투입을 방지할수 있다. 계통의 순간 정전 발생이나 이에 따른 ALTS의 선로절체시에 수용가측은 최대수요전력상승의 문제가 발생한다.

### 2.2.4 역방향 유효/무효전력 계전기문제

현재 소형열병합발전을 하는 수용가는 대부분 역송불허조건으로 병렬운전을 하여 역방향 유효전력계전기(32P)를 설치하고 있다. 그러나 수용가의 일시적인 부하변동에 따른 역조류에 의해 정전될 우려가 있으므로 수전전력을 상시감시하며 발전출력을 제어하여야 한다. 아울러 역조류에 의한 정전피해를 줄이기 위해 역송불허조건에서도 32P계전기의 생략을 검토할 필요가 있다.

또한 연계선로 사고에 따른 발전기 기여 고장전력검출을 위해 역방향 무효전력계전기(32Q)를 적용하고 있으나 이 계전기는 현재 국내에서 생산되지 않고 있으며 전 세계적으로도 연계선로보호방식에서 요구하는 고 감도의 계전기의 생산은 줄어들고 있는 추세이다. 따라서 32Q 계전기의 국산화 등의 연구개발이 요망되며, 연계선로의 지락보호에 대한 다른 방식의 적용을 통해 32Q의 생략에 관해서도 검토할 필요가 있다.

### 2.2.5 PT설치 위치 문제

전력회사에서 추천하는 DC Sequence는 32Q와 27계 전기가 AND 조건으로 되어있어 32Q오동작에 대비하고 있고, 또한 32Q의 부동작에 대비하여 27계전기가 t 초후 단독동작하도록 하고 있다. 하지만 [그림 2.1]의 B에서처럼 PT가 수전 차단기의 2차측에 위치하고 있어

계통 정전시 수전 차단기의 복귀를 위해 별도의 로직을 적용해야 하는 단점이 있다.

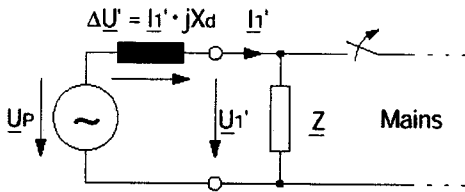
적 지원 및 관련 기술기준의 구체화, 현실화가 필요하다.

[참 고 문 헌]

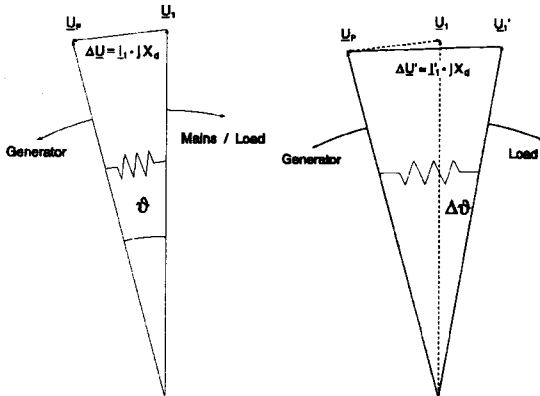
2.3 새로운 기술이 적용된 계전기의 도입

어떤 원인에 의해 순전정전 또는 정전이 발생했을 경우 발전기는 주 계통과 고속으로 분리되어 수용가의 중요부하까지 정전이 파급되는 것을 막아야 하고, 추후 계통이 복구되었을 때 비동기 투입되는 것을 방지해야 한다. 근래에는 새로운 기술이 도입되어 계통에 정전이 발생하였을 경우 수용가의 부하 균형지점을 신속하게 분리하는 계전기가 개발되어 적용되고 있다. 이러한 계전기는 계통이 분리될 때 나타나는 특징인 주파수의 변화(dF/dt)가 급격할 때 동작하는 방식 혹은 위상각의 변화에 동작하도록 하는 방식을 적용하고 있다. [그림 2.3]

[1] 윤갑구, "전력계통연계와 보호방식", 공업단지 열병합발전 도입에 의한 에너지이용 효율화, pp27-58, 1991  
 [2] 김재철, 최준호, 김웅상, 김재언, "열병합발전시스템의 배전계통 도입전망 및 운용대책", 전기화학지, Vol. 48, No. 3, pp 16-23, 1999  
 [3] UN, "Guidbook on COGENERATION AS A MEANS OF POLLUTION CONTROL AND ENERGY EFFICIENCY IN ASIA",  
 [4] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침", 1996  
 [5] 한국전기연구소, "소형열병합 발전 계통 연계방안 연구에 관한 최종보고서", 1998  
 [6] IEEE Guide for Protective Relaying of Utility-Consumer Interconnections  
 [7] SEG MRN3 Manual



[그림 2.3.a] 계통과 병렬 운전발전기의 등가회로



[그림 2.3.b] 계통의 고장 전후의 전압 Vector도

[그림 2.3.a]처럼 발전기와 계통이 병렬운전 시 발전기 유효기전력과 부하는 어떤 상차각  $\theta$  근처에서 운전하지만, 계통에 고장이 발생한 경우 상차각이  $\Delta\theta$ 만큼 변할 것이다[그림 2.3.b]. 따라서 계전기의  $\Delta\theta$ 를 정해두면 계통에 고장이 발생했을 경우 신속하게 발전기를 계통으로부터 분리할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 소형 열병합 발전설비가 계통에 연계될 때 발생할 수 있는 제반 기술적 문제에 대해 살펴보았다. 소형 열병합 발전설비의 경제적 안정적인 계통연계를 위해 현재의 가이드라인의 수정 및 추가에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다. 뿐만아니라 에너지절감을 위한 열병합발전설비의 보급을 높이기 위하여 외자로 도입되는 열병합발전설비 및 계통연계를 위한 보호설비의 국산화가 시급하다. 자가발전용가스요금의 차등화, 자가발전기의 순간정지 최대수요전력상승에 따른 기본요금 증가를 보상 해주는 방안 등의 태택을 통해 열병합발전수용가를 적극 유도하는 것이 바람직하다. 그러기 위한 제도