

분산형 발전설비 병렬운전 에너지 품질평가

허광범[†] · 박정극 · 윤기갑 · 임상규 · 최인규

한국전력공사 전력연구원

(2010년 2월 18일 접수, 2010년 3월 28일 수정, 2010년 3월 28일 채택)

An Evaluation of Energy Quality for Distributed Powersystem

Kwang-beom Hur[†], Jung-keuk Park, Gi-gab Yoon, Sang-kyu Rhim and In-kyu Choi

Korea Electric Power Corporation, KEPRI

(Received 18 February 2010, Revised 28 March 2010, Accepted 28 March 2010)

요 약

새로운 발전설비의 건설부지 확보의 어려움을 극복하고 친환경적인 에너지시스템으로 분산형 초소형 가스터빈이 주목받고 있다. 분산형 초소형 가스터빈 발전시스템은 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째는 친환경성으로서 NOx < 9 ppm, 소음 < 65 dB, 둘째는 다양한 연료를 사용할 수 있으며 천연가스 뿐만 아니라, 디젤, 저발열량 신재생에너지원료, 등유이다. 셋째는 작은 면적대비 높은 출력을 얻을 수 있고 컴팩트한 건설이 가능하다. 1998년부터 미국에서 개발되어 캘리포니아 및 일본등에서 활발히 적용되고 있다. 기존의 대용량 발전시스템이 주로 바닷가 근처에 건설되었다면 본 시스템은 수요자 인근에 설치되어 열과 전기를 동시에 공급하고 있으며 다양한 적용처에 에너지를 공급한다. 최근들어 국내에서는 신재생에너지의 개발, 보급이 아주 중요한 이슈로 떠오르고 있는 가운데, 이러한 소형 분산전원의 적용성이 많이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 분산형 가스터빈의 최적 현장 적용을 위하여 필수적인 계통연계를 통한 병렬운전 모델링과 실증시험 및 평가과정을 분석하여 에너지 품질을 정립하고자 한다.

주요어 : 에너지, 병렬운전, 분산형 가스터빈, 제어시스템, 품질평가

Abstract — As environmental friendly energy system, distributed micro gasturbine is focused on new energy source for overcoming brand new construction area of power generation. This distributed micro gasturbine system has the powerful characteristics as follows; 1) environmental friendly features NOx < 9 ppm, noise < 65 db 2) various fuel flexibility which is used such as natural gas, diesel, low calory new & renewable fuel, kerosene. 3) high specific output power based on small area and is available for very easy and compact installation. There are many new installation sites in USA and Japan from 1998. On the other hand the existing large power system was constructed by the sea side, this compact power system is now installed by enduser in downtown area and supplying combined heat & power, has the various application on-site power generation. In recently, there is the very important issue for new & reliablbe energy development and spreading out. This paper represent as follows for important system characteristics; 1) grid connection modeling 2) system operation characteristics 3) on-site operation result and evaluation output of power quality analysis.

Key words : Energy, Gridconnection operation, Distributed gasturbine, Control system, Quality evaluation

1. 서 론

[†]To whom corresponding should be addressed.
103-16 Munji-dong Yusung-gu Daejeon 305-380
Korea Electric Power Corporation, KEPRI
E-mail : kbhur5798@hanmail.net

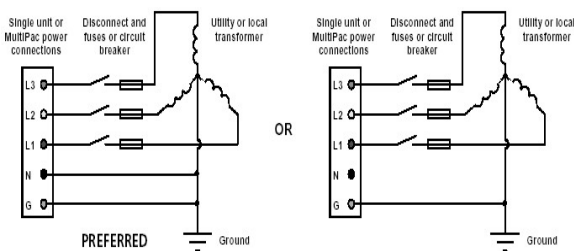
최근 환경문제와 국가적 차원의 유효에너지화에
대한 의식이 높아짐에 따라 소규모 분산형 열병합 발

전 설비와 소수력발전설비 등으로 대표되는 분산형전원이 급속히 보급되고 있으며, 또한 장차 전력계통에서의 중요한 요소의 하나로 기대되고 있다 [1,2]. 이들 분산형전원은 종래부터 전력회사가 주로 적용해온 대형 화력·원자력발전기와는 달리 비교적 소형이고 또한 풍력이나 수력 등 자연에너지를 이용한 전원이 많다는 특징이 있다. 그러나 분산형 전원을 계통에 연계하여 병렬운전을 할 경우에는 전력품질, 공급신뢰도 등의 면에서 종전에는 없었던 기술적 과제가 생기게 된다. 이들 발전시스템은 어떻게든 전력계통에 연계하여 운용해야 하기 때문에 전력계통 연계에 따른 문제점을 보완하고 기존 전력계통에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다 [3,4]. 이와 같은 기술적, 환경적인 요인을 분석, 평가하기 위한 분산형 발전시스템으로 마이크로 가스터빈(Micro Gas Turbine; MGT) 시스템을 들 수 있다. MGT는 다양한 수요처에 비교적 용이하게 설치될 수 있으며, 전력 및 냉난방 열을 생산하고, 안정적으로 공급하는 분산형 전원으로서 유리하다고 알려져 있다 [5]. 이와 함께 초소형 발전시스템의 기술 진보에 따른 경제성 확보, 전력소매시장의 규제 완화 및 환경문제 등으로 MGT의 전력시장 진입이 늘어날 것으로 예상된다. 본 논문에서는, 분산형 발전시스템의 기술개발 진행현황 분석으로부터 실제 수요자에게 적용되기 위한 중요한 연결기술인 병렬운전시 영향평가 및 실증 시험 데이터를 토대로 효율적인 에너지원으로서의 품질평가결과를 고찰하고자 한다.

2. 분산형 발전시스템 특성

2-1. 분산형 발전시스템의 비교분석

본 논문에서 다루는 분산형 가스터빈의 경우에 열에너지와 전기를 동시에 생산할 수 있다. 또한 다양



The neutral-to-ground bar must be removed from all single or MultiPac grid connected microturbines

Fig. 1. System diagram grid connection for micro gas turbine [5].

한 연료를 사용할 수 있는 가스엔진이나 디젤엔진에서 전기 생산뿐만 아니라 열을 동시에 생산하는 열병합발전기술도 있다. 이러한 모델중에는 스팀엔진, 가스엔진, 분산형 마이크로 가스터빈, 저온 및 고온형 연료전지이나 가스터빈과 병합된 고온형 연료전지가 사용되기도 한다.

또한 천연 가스를 연소하여 스팀을 생산하여 엔진을 구동할 수 있다. 예를 들면 유기랭킨사이클(ORC: Organic Rankine Cycle), 첵사이클(Cheng Cycle), 스팀터빈, 스팀 피스톤엔진 또는 스팀 스크류엔진등이 있다. 게다가 분산 발전의 유망기술로 가스스팀발전이 있다 [6,7].

Fig. 1에서는 분산형 마이크로 가스터빈 발전시스템의 병렬운전을 위한 계통연계 단선도를 보여 주고 있다. 배전선로에 직결하기위한 시스템 구성을 의미한다.

Fig. 2에서는 발전시스템의 출력크기 및 종류에 따라 에너지 효율을 보여주고 있으며 천연가스 뿐만 아니라 다양한 종류의 연료를 공급하여 열이나 전기를 생산할 수 있는 전력발생기들을 보여주고 있다. 전력은 공공전력선에 열을 장거리 열공급선에 공급하게 된다.

열병합발전기술(CHP, Combined Heat and Power generation)은 바이오가스 플랜트에서 보편적으로 사용되고 있다. 열병합발전은 전기생산외에도 발전기의 종류에 따라 많은 양의 열을 회수하고 있다. 유럽에 설치 및 가동되고 있는 바이오가스연료의 열병합발전기는 약 50%가 4행정엔진(four-stroke engine)이고, 나머지 50%는 오일점화용 디젤엔진(ignition oil diesel engine)을 사용하고 있다. 가스터빈의 기술개발은 에

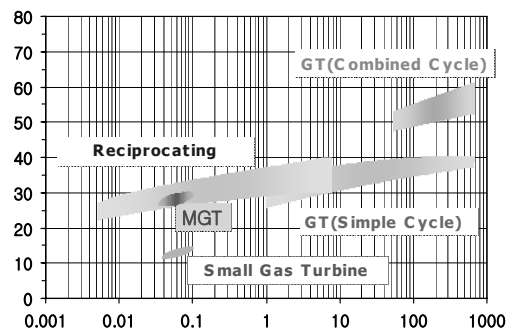


Fig. 2. Graph for energy efficiency depend upon power system size & type [10].

(Y-axis; energy efficiency%, X-axis; power output MW)

너지 기계산업의 발달에 힘입어 아주 괄목한 만한 급 성장을 거두고 있다 [8,9].

최근 설치 및 가동되는 열병합 발전시스템에 대하여 전기효율과 열효율의 합계인 전체효율은 70 - 80% 이고, 전기효율은 25 - 32%수준으로 아직까지 대용량 발전기에 비하여 다소 낮은 수준이며, 열병합발전기의 구성은 다음과 같다.

- 구동체 와 전기발생기로 구성된 전기발생시스템
- 폐열이용 열병합 시스템
- 연소용 공기공급 및 내부 방사열제거 공조시스템
- 소음방지 패키지

전 세계적으로 분산형 발전시스템의 설치가 증가함에 따라 최근에 전력발생기의 성능이 향상되었으며, 대표적인 전력발생기로서 분산형 마이크로 가스 터빈에 대한 주요 특성을 분석하고, 효율적인 병렬운전 기술에 대하여 알아보려고 한다.

분산형 가스터빈 발전시스템의 주요 구성 기기는 가스 연소기, 리큐퍼레이터, 압축기, 가스터빈 등으로 Fig. 3처럼 나타낼 수 있다.

분산형 발전 시스템으로서의 마이크로 가스터빈의 기계적인 운전특성은 아래와 같이 분석되었다. 엔진은 시동(start-up)시에 적정 회전수(25,000 rpm)까지는 외부(혹은 배터리) 전원으로 운전되고 이후 연료가 공급되어 가속운전에 들어가서, 회전수 45,000 rpm 근처에서 idle 상태를 유지한다. 여기서부터 부하가 주어지면 회전수를 높여가며 부하에 맞는 출력을 제공한다. 정상적인 Shut-down 시에는 무부하 상태에 이른 뒤 배터리를 충전하고 이어서 엔진 내부 냉각을 위하여 일정기간 동안 공기흡입을 지속한 뒤 작동을 멈춘다. 가스터빈을 Start up한 경우라도, 몇 가지 조

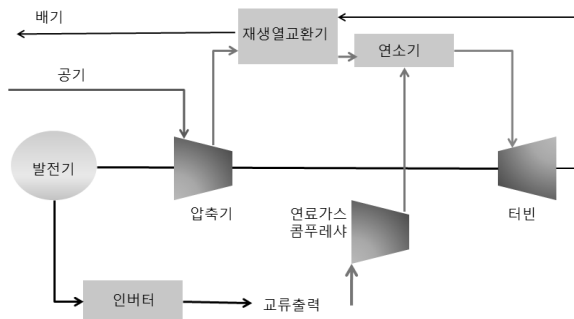


Fig. 3. Process diagram of Micro Gas Turbine [5,6].

건을 만족하지 않으면 가스터빈은 자체적으로 Shut down하도록 설계되어 있으며 이것은 안전 및 불필요한 터빈의 운전을 방지하기 위한 방법으로 사용되어진다. 고속 Generator에서 발생된 Power는 Digital Power Controller(DPC) 내에서 교류에서 직류로 변환되고, 직류전원을 사용하여 가스터빈 자체적으로 필요한 모든 전력을 충당한다. 또한 이 전력은 Stand Alone 상태에서 가스터빈이 작동될 경우 내부에 있는 Startup Battery를 충전하는데 사용된다. 외부로의 최종 출력 전기는 다시 저주파의 교류로 변환되어 나간다 [11,12].

2-2. 병렬운전변수 분석[10]

2-2-1. 전압변동 요인분석

신·재생에너지는 기본적으로 크게 두 가지로 구분된다. 자연의 에너지를 바탕으로 태양에 현재의 배전계통은 수지형상(방사상)으로 되어 있다. 배전계통에 분산전원시스템이 연계되는 경우를 상정해 보면 배전계통에서의 전압관리는 변전소로부터 수용가로의 한방향의 조류만을 고려하여 설계·운용되고 있다. 그러나 분산전원시스템을 계통에 연계하는 경우에는 역조류가 발생하여 전류의 방향이 통상 생각하고 있는 것과 반대로 되어 이에 따라 배전선로에서 전압강하의 방향도 역으로 되어 인입점에서의 전압이 상승하여 적정치의 전압범위를 벗어날 수 있다. 적정치를 벗어난 전압변동은 수용가 기기의 오동작이나 파손을 일으킬 가능성이 있으며 동기발전기를 이용하여 연계하는 경우에는 부제동현상등 난조를 일으킬 가능성이 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 각각 역조류와 전압변동과의 관계를 나타내는 벡터도에서 볼 수 있다.

2-2-2. 보호협조 영향분석

선로에 사고가 발생하면 사고전류 대부분이 전력계통 측으로부터 유입되고 분산전원 측에는 미소한 전류가 흐르게 된다. 따라서 변전소 배전선로의 인출 차단기나 많은 사고전류가 통과되는 리크로저(R/C)가 신속하게 동작하지만, 분산전원 측의 차단기는 사고전류가 크지 않아 동작이 지연될 수 있다. 이런 경우 사고자체는 순간사고 일지라도 분산전원으로부터 사고점에 전압이 인가되어 전류가 계속하여 흐르므로 사고가 지연 소멸되지 않아 배전선로의 재폐로를 실패하게 된다. 이 문제는 분산전원이 자여자식 전원인 경우에 발생하게 되며 배전선로가 차단되었을 때 전압을 유지할 수 없는 타여자식 전원인 경우에는 문제

가 되지 않는다. 선로의 자동재폐로시 무전압시간은 22.9 kV 경우 3상단락시 약 0.2 [sec], 1선 지락 시 약 0.4 [sec]이상의 재폐로 무전압시간이 필요하다. 현재 우리나라 22.9 [kV] 특고압 배전선의 경우는 재폐로시간 0.5 [sec]의 고속 재폐로 1회를 먼저 실시하고 재차 다시 차단되었을 때에는 15 [sec]의 저속재폐로를 1회 더 시행하여 총 2회의 재폐로를 시도할 수 있다. 여기서 분산전원 측의 차단이 늦어지는 그만큼 실제로 선로가 무전압되는 시간이 줄어 1선 지락사고시의 저속재폐로시에는 시간여유가 많아 문제되지 않지만 고속 재폐로시는 여유시간이 0.1 [sec]밖에 되지 않아 인출차단기와 분산전원의 분리가 거의 동시에 이루어질 때에만 재폐로의 성공을 기대할 수 있다. 선로도중에 설치되는 리크로저(R/C)는 재폐로 시간을 최저 2 [sec]에서 저속은 그 이상 임의의 값을 선택하여 재폐로를 4회까지 할 수 있다. 즉, 2 [sec]의 경우 약 1.6 [sec]의 여유시간이 있어 시간 내에 분산전원이 차단된다면 재폐로 성공을 기대할 수 있지만, 여유 시간 내에 분산전원이 차단분리 되는지 여부에 따라 재폐로 성공이 결정되므로 이에 대한 불확실성이 증가되는 문제점이 있다. 이에 대한 대책으로 전송차단방식을 채용한다. 이 방식은 변전소 인출차단기, 리크로저(R/C)가 차단 또는 개방될 때 신호를 전송하여 분산전원도 동시에 차단 분리될 수 있도록 하는 방안으로서 가장 바람직한 방안중의 하나이다. 그러나 이 방법은 신호 전송용 채널과 부속장치 시설 및 유지, 보수를 위한 비용이 추가로 필요하게

되며, 또한 차단기 또는 R/C를 여러 개 거친 지점에 연계된 분산전원인 경우에는 시설투자도 증가하게 되고 시스템이 복잡해지는 등 현실적인 어려움이 있고 신뢰도도 저하되어 적용이 곤란해 질 수 있다.

2-2-3. 비동기 투입

차단기 및 리크로저의 재폐로시 분산전원이 발전중에 있으면 그의 전압이 전력계통 측의 전압과 동기가 맞아야 한다. 그렇지 않으면 재투입순간 큰 전압강하 또는 주파수 변동을 일으키고 심한 경우 탈조현상이 나타나며 기계적으로는 전원장치의 회전축에 큰 비틀림 충격이 발생되어 물리적인 손상이 발생되고 수명 감축의 원인이 된다. 이론적으로는 동기발전기의 경우 양전압의 크기가 ± 10% 이상 또는 양전압의 위상각차가 + 5° 이상이면 발전기의 기계적인 축이나 커플링에 무리를 초래할 가능성이 있는 것으로 되어 있다. 그러나 실제로는 발전기용량이 큰 경우에 그의 영향이 크지만 소용량의 경우는 용량이 큰 기기에 비하여 회전축의 규격이 상대적으로 여유가 있게 제작되므로 나타나는 충격이 경미하여 특별한 고려가 없어도 문제가 없으며 통상적으로 수십 kW 이하의 발전기에 대하여는 이러한 영향이 문제로 되지는 않는다. 이러한 문제에 대한 대책으로 원칙적으로 분산전원 발전기의 기계적 강도의 여유도와 소유자의 선택에 달려 있다. 즉 발전기 회전축의 강도가 약하여 비동기 투입시 문제가 예상되는 경우는 개폐기류에는 동기검정장치를 설치하여 동기가 맞는 상태에서만 투입을 허용하거나, 전송차단방식을 채용하여 자동재폐로를 실시하는 차단기 또는 R/C와 분산전원을 동시에 차단하여야 한다. 일반적으로 단위용량 1,000 [kW]이상인 경우 비동기투입 방지장치를 설치하고 1,000 [kW]미만의 경우 비동기투입을 허용하되 분산전원 발전기의 기계적 조건에 의하여 문제가 예상되는 경우는 정밀한 분석을 통하여 대책을 결정하는 것이 바람직하다.

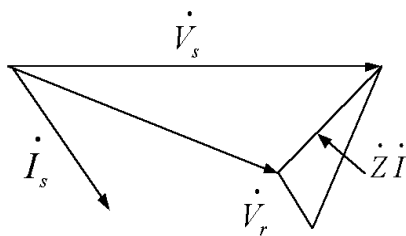


Fig. 4. Vector diagram without reverse currents.

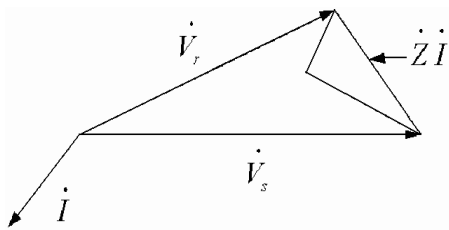


Fig. 5. Vector diagram with reverse currents.

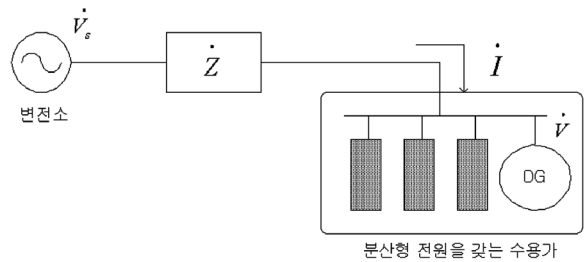


Fig. 6. Reverse currents & voltage turbulence.

2-2-4. 단독운전

단독운전이란 발전설비가 연계하고 있는 전력계통이 사고 등에 의해서 계통전원과 절분된 상태에서 연계하고 있는 발전설비의 운전만으로 발전을 계속하여 국소적으로 선로부하에 전력을 공급하고 있는 상태를 나타낸다. 단독운전이 리크로저 S/E에 미치는 영향으로 일반적으로 R/C를 통하여 흐르는 전류가 R/C의 최소동작전류보다 크면 일정한 동작시간 특성에 의하여 회로를 차단하고 주어진 일정시간 후에는 선로를 다시 재 가압한다. 차단동작 시 동작시간 특성은 고장의 종류, R/C 설치위치, 순시 및 지연차단에 따라 다른 특성이 적용된다. 그리고 재폐로 시간은 순시~45 [sec]중 임의로 선택 사용할 수 있으며 현재 적용되는 기준은 순시 차단시 2 [sec], 지연차단시 15 [sec]를 적용하고 있다. 순시차단은 일시적인 사고일 경우 재폐로 성공을 기대하여 적용되고, 지연차단은 전, 후위 R/C 또는 다른 보호장치와 동작협조를 이루고 사고가 퓨즈 이후에서 발생된 경우 앞의 순시차단-순시재폐로 과정에서 자동제거되지 않았을 때(영구 사고를 의미함)에 퓨즈에 의하여 사고구간이 차단되도록 하여 영구정전 범위를 최소화하기 위함이다. R/C는 전원 측으로부터 선로가 가압된 후에야 동작전원이 공급되어 작동되게 한다.

2-2-5. 고조파

일반적으로 고조파(Harmonics)란 기본주파수(50 Hz

또는 60 Hz)의 정수차배(整數次倍)의 주파수를 갖는 정현파 전압 또는 전류를 말한다. 전력계통에 나타나는 전류나 전압의 일그러진 파형은 기본파와 복수의 고조파가 합성된 것으로 볼 수 있다. 일그러짐의 원인은 기본적으로 전력기기의 비선형특성(자속의 포화 특성 등에 의한 것이다. 분산형전원 중에는 직류/교류변환기를 사용한 것도 많은데 이 변환기는 고조파의 발생원이 될 가능성이 있다. 기본주파수의 정수차배가 되지 않는 주파수성분을 갖는 전압 또는 전류를 비정수차고조파(Interharmonics)라 한다. 비정수차고조파의 원인은 주파수변환기, 사이클로 컨버터, 유도기, 아크로 등이다. 전력계통에 주는 비정수차 고조파의 영향에 대해서는 아직 충분하게 해명되어 있다고 할 수 없다.

3. 분산형 가스터빈 병렬운전 제어특성 및 병렬운전 품질평가

국내에서 최초로 개발 준공된 60 kW급 마이크로 가스터빈의 전기 및 제어 블록도를 Fig. 8에 간략히 나타내고 있다. 최초 기동시에 터빈 속도를 검출한 후 속도제어기를 통하여 무부하 속도(45,000 rpm)를 유지한다. 이후 스위치(SW1)를 조작하여 발전기가 전력계통에 연결되면 출력 설정치가 증가하고 출력제어기의 출력이 속도설정치로 작용하여 속도를 상승시킨다. 이에 따라 연료밸브 개도가 증가하여 터빈발전

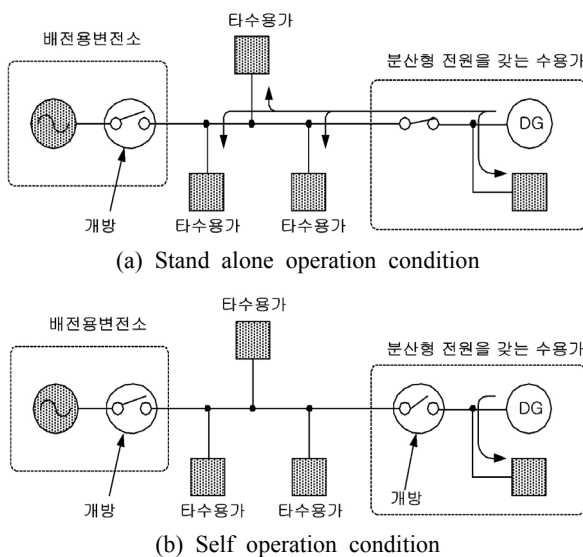


Fig. 7. Comparison analysis between stand alone operation and self operation.

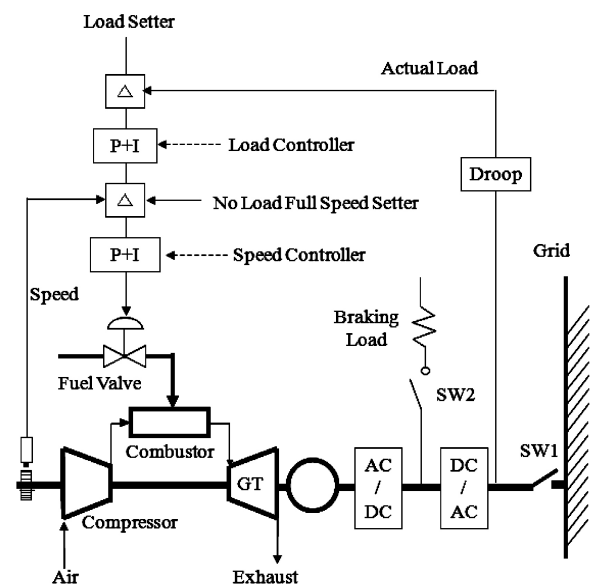


Fig. 8. Control Diagram of speed and electricity.

기의 속도 증가에 따라 비례적으로 발전기 출력이 증가한다. Fig. 9에 MGT의 속도와 발전기 출력의 실측 운전 데이터를 나타내었다. AC/DC 변환기는 고주파수인 발전기 전력을 직류로 변환하며 DC/AC 변환기는 직류 전력을 계통에 연결할 수 있도록 상용주파수의 교류로 변환한다 [13].

정격출력 운전 중에 스위치가 개방되는 등 전기적인 고장으로 부하가 상실되는 경우에는 기계에너지 과잉으로 과속도로 되어 회전체가 위험에 처하게 된다. 따라서, 이러한 상황이 검출되면 스위치(SW2)를 투입하여 제동부하를 통하여 잉여에너지를 방출하여 과속도를 제한한다. Fig. 8은 MGT 속도와 발전기 출력의 관계를 실측하여 그래프로 나타낸 운전 데이터이다. 무부하 속도인 45,000 rpm에서 속도가 증가할수록 98,000 rpm 터빈속도와 발전기 출력은 비례 관

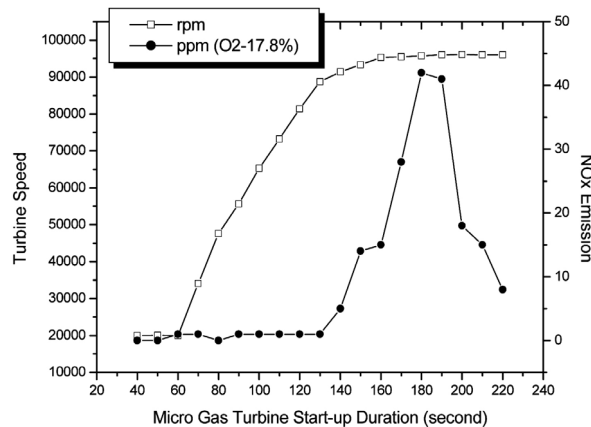


Fig. 9. Analysis of NOx emission characteristics(ppm) for C60 MGT(Ambient temp.: 33.1°C, Humidity: 48%).

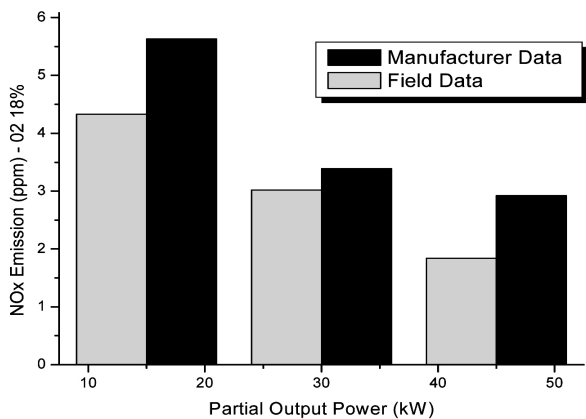


Fig. 10. Analysis of NOx emission characteristics due to part load for MGT output(Ambient temp.: 33.1°C, Humidity: 48%).

계임을 알 수 있다.

MGT 기동시에 동일한 시간 축에 MGT 속도, 배기온도, 발전기 출력, 연료밸브 개도, 및 최종 출력을 나타낸 운전 파형이다. 전술한 바와 같이 MGT 속도와 발전기 출력, 연료밸브 개도는 비례관계이며 일반 가스터빈과 같이 일정 출력 이상에서는 배기 온도가 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다 [14,15].

Fig. 10은 C60 부분부하별 NOx 의 배출 특성분석을 나타내며 제작사측이 제시한 데이터와 비교분석한 결과이다. 제작사에서 제시한 운전조건은 아래와 같다.

- 대기온도 : 18.3°C,
- 상대습도 : 37%
- 대기압 : 14.3 psi Ambient Pressure
- 15% O₂

분산형 가스터빈의 계통연계 운전시 전력품질 감시를 위하여 Fig. 10과 같은 운전감시 시스템을 운영 중에 있으며, 운전 중 실시간 전력품질 데이터를 취득 분석 할 수 있다. 미국에서도 실제 적용을 위한 계통연계 시험 및 절차가 개발되었다 [16,17].

3-1. 주파수[16,18]

주파수 정격운전범위는 60 ± 0.2 Hz이며 실제운전은 60 ± 0.1 Hz으로 운전하고 있다. 발전기 기동시, 출력을 절반으로 낮출 경우 및 MGT를 정지시킬 경우 모두 주파수의 큰 변화가 없게 나타났다. 측정시간 동안의 주파수 범위는 최저 59.94 Hz 최고 60.07

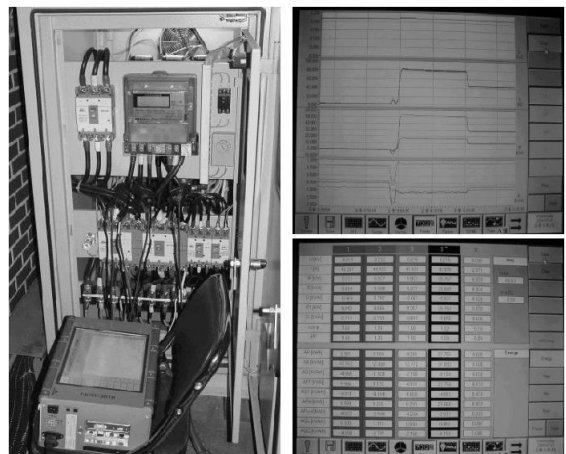


Fig. 11. Photo of data acquisition for power quality.

Hz로 주파수 범위를 벗어나지 않고 있어 상태는 매우 양호하다.

3-2. 플리커(Flicker)[10,16]

IEC 61000-3-3, 7, 11에서 규정하고 있는 저전압 계통의 플리커 계수의 한계치는 단시간플리커($Pst = 10$ 분) 1 이하, 장시간플리커($Plt = 2$ 시간) 0.65 이하로 하고 있다. 기동 당시 Pst 는 최대 0.57을 지시하였고 퇴근시간인 18시 전후에 0.58을 지시하였으며 출력강하 및 정지 시에는 영향을 거의 미치지 않았다. 즉, 저압계통에 연결된 MGT의 Pst 는 양호한 값을 나타내었다. 또한, 장기플리커 Plt 는 초기 기동시 0.34의 값을 나타내었고 그 이후 0.33의 값을 나타내어 MGT운전에 대한 변화가 거의 없어 양호하다.

3-3. 전력변동 및 전압 고조파의 영향[10,19]

국내의 전압고조파(THDv)기준은 66 kV 이하에서 최대 3%를 한계로 하고 있다. Fig. 12 에서 전력 사용량은 다양한 시설이 작동하는 낮시간에 최대 50 kW까지 발생하였고 저녁시간 이후부터 10시까지 약 4 kW의 전력을 소비하다가 새벽시간대에 20 kW를 소비하였다. 그에 따른 전압 THD는 최저 0.8%에서 최대 2.2%이며, 시설이 작동할 때 전압 THD가 약간씩 높게 나타났다. 여기서 전압 THD는 기준치 3% 이내의 양호한 값을 얻었다.

3-4. 계통연계 병렬운전 기술기준[10,20]

분산형전원의 전기방식은 연계하고자 하는 계통의 전기방식과 동일하게 함을 원칙으로 한다. 분산형전원의 연계용량에 따른 연계계통의 전기방식은 다음

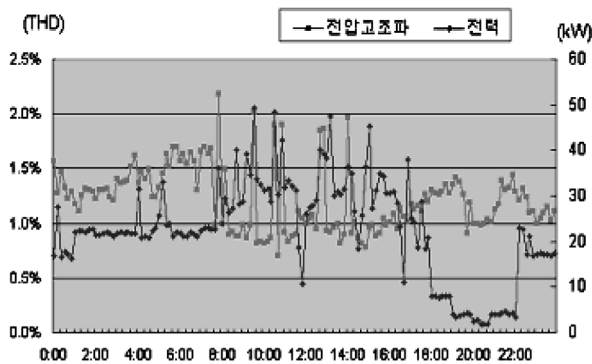


Fig. 12. Power characteristics of gasturbine output and voltage Total Harmonic Distortion.

Table 1.에 의한다.

연계용량이 10,000 kW 초과 20,000 kW 미만인 경우에는 접속설비를 대용량 배전방식에 의한 전용선로로 함을 원칙으로 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 친환경적인 분산형 발전시스템의 최적적용을 위한 병렬운전 영향분석, 특성 및 에너지 품질에 대한 연구개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수요지 인근에 설치되어 전기와 열을 공급하는 에너지원으로 분산형 가스터빈의 활발한 보급이 예상되고 있는바 손쉬운 기동 정지 특성을 갖고 있으며 기동에서 전부하 도달까지 약 3분이 소요됨을 알 수 있다.
2. 친환경적인 에너지원이 절실히 필요한 가운데, 특히, 질소산화물의 배출이 도시와 같은 인구조밀 지역에 중요한 변수인데 측정결과 $NOx < 9$ ppm의 양호한 결과를 얻었다.
3. 최적적용을 위한 계통연계 병렬운전의 주요 영향 분석 인자로 전압변동, 보호협조, 주파수, 플리커, 고조 파동의 특성을 분석하였다.
4. 분산형 가스터빈의 경우 병렬운전시 주파수, 플리커, 전력변동 및 고조파의 영향이 기준범위 이내에 양호한 데이터를 얻었으며, 이를 토대로 계통연계 병렬운전 기준을 마련하였다.
5. 계통에 병렬운전되면 발전기 출력이 증가하여도 터빈속도는 계통 주파수에 구속되는 일반적인 발전용 가스터빈과는 달리 분산형 가스터빈의 속도와 발전기 출력의 관계는 비례하고 있다.

Table 1. Standards of grid connection operation due to system output [21].

분산형전원의 연계용량	연계계통의 전기방식
100 kW 미만	교류 단상 220 V 또는 교류 삼상 380 V 중 기술적으로 타당하다고 한전이 정한 한가지 전기방식
100 kW 이상 20,000 kW 미만	교류 삼상 22,900 V

참고문헌

1. K. Takao, H. Naoto and K. Toshinobu, 2001, "Micro Power Revolution", Vol. 2, pp. 107-115.
2. F. Jurado, A. Cano and J. Carpio, 2004, "Biomass based micro-turbine plant and distribution network stability", Energy Conversion and Management, Vol. 15, No. 4, pp. 2713-2727.
3. P. A. Pilavachi, 2002, "Mini- and Micro-gasfor Combined Heat and Power," Applied Thermal Engineering, No. 22, pp. 201-207.
4. K. B. Hur, S. K. Rhim and J. K. Park, 2005, "Performance Evaluation of Distributed Micro Gas Turbine(MGT) Co-generation Technology with Grid-connection", Proceeding of the ACGT, Seoul, Korea.
5. Capstone Turbine Co., 2006, "Authorized Service Provider(ASP) Micro Gas Turbine Manual", LA, USA.
6. J. G. Lee, 2010, "Report of Hydro sulfide remove processes", Report for KEPCO. pp. 24-27.
7. D. Dueblein and A. Steinhauser, 2008, "Biogas from waste and Renewable Resources", Wiley-VCH.
8. G. G. Yoon, K. B. Hur, S. K. Rhim, S. J. Kim and H. R. Cho, 2006, "The power quality analysis of interconnection with the dispersed Micro Gas Turbine", Proceeding of Electrical Engineering, & Technology, Yonpyeong, Korea.
9. K. B. Hur, S. K. Rhim and J. K. Park, 2006, "Performance Test of MGT Combined Heat & Power System", Proceeding of the Fourth National Congress on Fluids Engineering, Kyungju, Korea.
10. K. B. Hur, S. G. Rhim, J. K. Park and G. G. Yoon, 2006, "Development of distributed micro gas turbine technology with connection," Korea Electric Power Research, TR, pp. 203-208.
11. 김동섭, 황성훈, 2004, 마이크로 가스터빈의 탈설계 운전 성능특성,"유체기계저널, 제7권, 제3호, pp. 39-47.
12. 김동섭, 이종준, 2004, 마이크로 가스터빈 발전 시스템의 운전 성능분석," 유체기계저널, 제8권, 제5호, pp. 13~21.
13. K. B. Hur, J. K. Park, S. K. Rhim and I. K. Choi, 2009. "Development of Bio Micro Gas Turbine Co-generation Technology", Proceeding of Energy Engineering, Busan, Korea.
14. K. B. Hur and J. H. Kim, 2006. 9, "Study on the Performance Characteristics of MGT Co-generation System", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Vol. 16 NO.9, pp. 964-970.
15. K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park and J. H. Kim, 2007, "System Development of Micro Gas Turbine co-generation", Key Engineering Materials, Vols. 345- 346, pp.1003-1006.
16. K. B. Hur and J. H. Kim, 2007. 5, "Evaluation of Operation Reliability for Micro Gas Turbine(MGT) Power Generation System", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Vol. 17, NO.5, pp. 448-455.
17. K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park and J. H. Kim, 2008. 3, "Test Evaluation of Pretreatment System Material for Bio-gas Micro Gas Turbine Power Generation", The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 4, No. 1, pp. 37-43.
18. K. B. Hur, S. K. Rhim and J. K. Park, 2009.11.5, "Integrated design of bio micro gas turbine co-generation system", Computational Design in Engineering 2009, Seoul, pp. 466-469.
19. K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park and J. H. Kim, 2008.8, "Development of Performance Simulation Models for MGT", Journal of Fluid Machinery, Vol. 11, No. 4, pp. 52-62.
20. K. B. Hur, S. K. Rhim and J. K. Park, 2009.8.25, "Mechanical characteristics evaluation of bio micro turbine power systems", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, JLPP2144, pp. 1003-1009.
21. KEPCO, 2009, "신재생에너지 계통연계기술기준", Technology standards of KEPCO grid-connection.