



# 건물 비상발전기의 전력자원향출

홍원표 <한밭대학교 설비공학과 교수>

## 1 서론

2011년 9월 15일 정전사고나 금년 여름 최대 전력수요는 지난 8월 19일 기록된 8,008만kW로 심각한 예비력 부족상황이 지속되어 전력수급의 위기 상황임을 심각하게 경고하였다. 전력수급 위기 상황에서 대용량 자가 발전기를 갖춘 건물로부터 의무적으로 발전기를 가동하게 하고 연료보조비를 지급하는 방안으로 피크타임에 전력수요자원을 최대한 활용하는 방안이 비용 효과적이고 전력수급의 안정화에 기여할 수 있는 중요한 대안으로 검토하기 시작하였다. 이에 건물의 비상용전원인 자가 발전기가 전력 부족 혹은 전력 피크시 유연하게 대처할 수 있는 최적의 대안으로 다시금 논의되고 있다. 전 세계적으로 경쟁적으로 전력시장이 출현함으로써 기존의 수요자원에 대한 새로운 평가가 이루어지고 있으며, 전력시장의 전력가격 안정 및 전력수급 안정을 위해 조정 가능한 수요자원(Demand Responsive Resource, Dispatchable Load)의 활용에 대한 중요성이 증가하고 있는 이유이기도 하다[1]. 대형 건물 등에 설치된 2012기준으로 비상용 자가 발전기는 6만 1000여 대, 발전 용량은 총 1900만kW로, 100만kW급 원전 19기가 생산할 수 있는 전력과 맞먹는다. 이에 건물에 의무설치 되는 비상/자가발전

설비는 귀중한 사회적인프라이다. 공동주택에 설치된 자가발전설비는 1000세대기준 1,000~1,200kW가 설치되어 있어 약 800만호를 감안하면 활용 가능한 용량은 약 6~8GW로 추정된다. 만약 전력 예비율이 10% 이하로 떨어지더라도 비상/자가 발전기 중 일부를 전력수요자원으로 활용하면 전력난 극복에 크게 기여할 것으로 판단된다. 그러나 비상발전기는 전력수급용으로 사용하기는 어려운 상황이다. 첫째는 태생적으로 비상용으로 설치되어 있어 노후화, 유지보수의 한계, 용량부족 등 피크시 전력수급용으로 사용하기에는 한계를 가지고 있다. 이의 대안으로 일본의 경우 비상 발전기의 활용이 아닌 상용 자가발전 설비의 보급 촉진으로 방향을 재설정하였다. 그리고 지난해 ‘자가 발전 설비 도입 촉진 사업’을 시작하고 예산 400억 엔(약 5,700억 원)을 투입했다. 또한 2013년도 예산안에 열병합발전 도입 지원 보조 항목으로 940억 엔 책정을 요구하고 있다. 자가/열병합 발전설비의 계통연계는 국가적 차원에서 볼 때 에너지 절약과 비용절감 및 민자발전 유치효과가 크다. 전력회사의 입장에서 볼 때는 최대 전력(Peak) 저감, 발전소 건설지연, 송배전 설비건설 회피, 송배전손실 경감 효과 등의 이익이 있다. 수용가의 입장에는 비상발전기의 역할, 발전기 폐열을 회수하여 열부하를 공급함으로써 에

너지 절약과 비용절감을 기할 수 있다. 자가용 발전기의 상시병렬운전에 따른 사용전력량요금 절감 및 최대수요전력의 감소를 통한 기본요금 절감의 효과가 기대된다[2]. 본 기술해설에서는 이에 건물, 특히 공동주택의 전력수요자원을 최대로 창출하기 위한 비상/자가발전시스템의 단독운전 및 계통연계운전 방안을 분석한 기초연구결과이다[2].

## 2. DR로서의 비상용발전시스템/자가발전시스템 운전현황

### 2.1 DR로서의 비상용/자가발전시스템

자가 발전기는 일반적으로 일반 전기사업자 및 특정 전기사업자와 달리 자사(또는 자가)에서 필요로 하는 전력의 일부 또는 전부를 자체적으로 생산, 공급하기 위한 발전기다. 용도별로, 전력공급회사로부터 전력공급을 받지 않거나 일부만 공급받고 자체 발전설비로 평상시 및 비상시에 전원을 상시 공급하는 상용 발전장치, 전력공급회사의 우발적인 전력계통 사고, 정전 계획 및 사용자의 수전설비 사고 등으로 전력공급 중단에 대비해 설치하는 비상용 발전설비로 나뉜다. 사업체, 대형건물, 공동주택 등에 주로 설치해 자가 사용을 목적으로 하는 소규모 열병합발전설비의 경우 대규모 지역냉난방에 쓰이는 열병합 발전에 비해 발전소 투자 부담을 줄이고 건물 단위에 최적화해 에너지 이용 효율을 최대화할 수 있는 게 장점이다. 대규모 중압집중식 발전소는 건설에만 여러 해 걸리고 비용 또한 수천억 원이 들어가지만, 자가 발전은 필요한 곳에 필요한 규모로 단기간에 설치 가능하다. 이처럼 소비지에 직접 설치한 자가 발전설비는 4~20분 만에 발전기 가동이 가능해 중앙 배전망의 단기간 안정화에 기여할 수 있으며 전력 부족시 추가 발전으로 전력 피크에 유연하며 효과적으로 대처한다. 외국에서는 최대 전력 사용 시간에 비상 발

전기를 활용하는 방안을 시행하고 있다. 미국오리건 주의 ‘포틀랜드전기’는 2000년부터 고객들이 보유한 비상 발전기를 원격 가동하는 프로그램을 시행해 4만 3,000kW급 전력을 조달하고 있다. 일본은 원전 사태 등으로 전력 수급에 비상이 걸리자 지난해부터 자가발전사업에 예산을 집행했다. 비상용 자가 발전기는 대부분 소용량 디젤엔진 발전기로 평상시에 거의 운전하지 않아 수요자원으로서의 활용 가능성이 크다. 발전 설비의 운전 시간 비상용은 비상시 단시간 운전을 전제로 설계·제조하며, 특히 원동기의 경우 기계적·열적 강도 제약으로 장시간 운전엔 한계가 있다. 소방법과 건축기준법에 따른 방재 부하 중 비상발전 설비가 감당할 수 있는 방재 부하가 필요로 하는 운전 시간은 20~120(병원 10시간)분이다. 흔히 방재용의 1회 연속 운전 시간은 2시간 정도로 하며, 연간 총 운전 시간은 약 500시간 이내로 한다. 한편 보안용은 연속 운전 시간을 72시간 등으로 하는 경우도 있다. 상용은 피크 차단용, 기저부하용 등 용도에 따라 운전 시간이 다르다. 대략적인 운전 시간은 피크 차단용이 연속 운전 시간 4~10시간/일, 연간 총 운전 시간 500~2000시간, 기저부하용이 연속 운전 시간 8~24시간/일, 연간 총 운전시간 2000~8000시간이다. 계통연계관점에서 비상용발전기와 소형 열병합발전기는 단독운전형식으로 건물내에 비상부하 및 피크억제운전을 하고 있기 때문에 공동주택의 비상/자가발전설비를 전력수요자원으로 활용하기 위한 새로운 전력계통연계 방안이 기술적, 제도적 및 정책적으로 강구되어야 한다.

표 1. 비상발전기 설비현황

	500kW미만	500kW~1000kW	1000kW이상	합계
용량 (MW)	10,097 (52.3%)	4,210 (21.8%)	5,018 (26.0%)	19,325 (100%)
대수	51,899 (84.1)	6,470 (10.5%)	3,306 (5.4%)	61,675 (100%)

## 2.2 비상용발전시스템 운전 형태

그림 1은 평상시 운전대기 및 정전시 중요부하에 전력공급하는 비상발전기 운전형태의 사례를 보인 것이다. 평상시에는 상용전원으로부터 전력을 공급받다가 정전이 되면 절체스위치가 동작하여 비상발전기는 전산설비 등 중요한 상시운전설비와 소방펌프 등 비상시에만 운전되는 방재설비로 전력을 공급하게 된다. 그림 2의 경우는, 1,000kW의 부하 중 500kW 부하만이 비상발전기로 공급가능한 설비이다. 서론에서 기술한 바와 같이 비상발전기는 계통과 분리되어 중요한 부하에만 전력을 공급하도록 시설되어 있기 때문에 설비용량이 발전량 또는 수요감축량이 될 수가 없다. 그림 2의 사례를 예로 들면 설비용량 1,000kW 중 500kW만 부하분담이 가능하므로 전력수요관리 관점에서 가능한 자원은 설비용량의 50%에 지나지 않는다. 소용량의 비상발전기들은 대부분 소방펌프나 비상용 엘리베이터 등 상시에 운전되지 않는 방재설비에 연결되어 있어 발전기를 가동하더라도 계통의 전력수요 감축효과가 적다. 비상발전기 가동으로 감축가능한 전력수요를 산정하기 위하여 전국에 위치한 1,000kW 이상의 비상발전기 130개소를 대상으로 분담가능한 부하량을 측정함으로써 설비용량 대비 몇%의 수요감축이 가능한지를 조사한 결과 전국의 1,000kW 이상 비상발전기 중 업종별로 130개소를 측정하였으며 대상설비의 총 용량은 247MW였으며, 이 때 분담가능한 전력은 127MW로 측정되었다. 이는 설비용량 대비 51.4%에 해당하는 양이다. 이 결과를 토대로 1MW 이상 설비용량의 약 50%에 해당하는 부하를 수요감축자원으로 간주하였다[3].

그림 3은 경북 구미에 위치한 A병원에서 2대의 수전 변압기 중 한 대가 공급하는 약 300kW의 부하를 CTTS를 이용하여 한전 전원에서 디젤 비상발전기(2000kW)로 무정전 부하절체 시연 사례를 보인 것

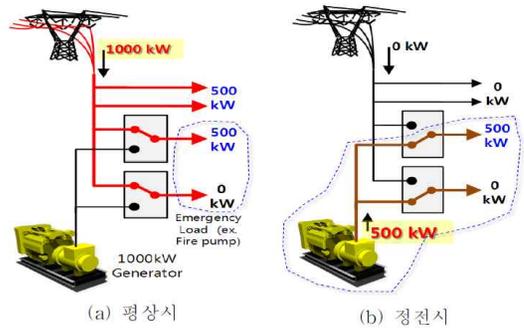


그림 1. 종래의 비상발전기 운전 패턴

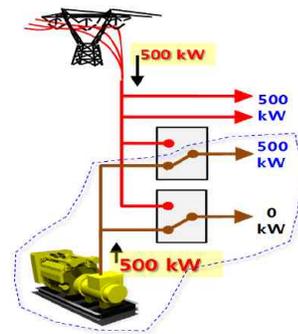
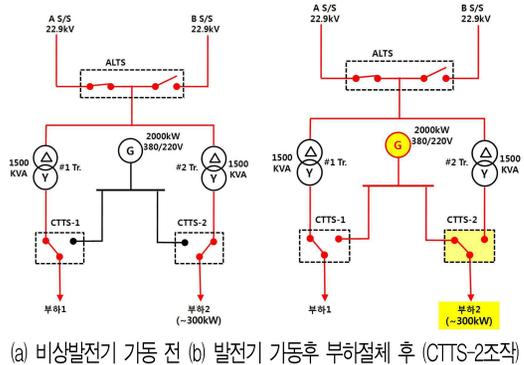


그림 2. 평상시 비상발전기 운전(피크로드 억제 운전)[2]



(a) 비상발전기 가동 전 (b) 발전기 가동후 부하절체 후 (CTTS-2조작)

그림 3. 무정전 부하절체 시연 사례(구미 A 병원)

이다. ALTS를 사용하여 2개의 상용전원을 무정전으로 절치하고 비상 발전기를 사용할 경우에는 CCTS

## 기술해설

2대를 조작하여 부하2의 중요부하에 비상전원을 공급하고 있는 시스템이다. CTTS 동작 조건은 위상차 <math>< 5^\circ</math>, 주파수차 <math>< 0.2 \text{ Hz}</math>, 전압차 <math>< 5\%</math> 만족하도록 하였다. 사용전원과 비상발전기 무정전 전원 절체시 양 전원 동기 유지시간 <math>< 0.1</math>초로 유지한다.

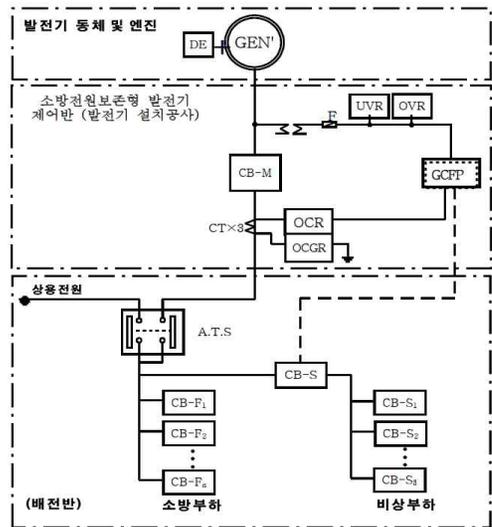
### 2.3 비상발전설비의 기준 적용 방법

비상발전설비의 기준 적용방법은 기존의 기준이 아닌 스포링클러설비의 화재안전기준(NFSC-103) 제3조제30호, 제31호, 제12조제3항 및 제13조제5항을 준용해야 한다[3]. 자가발전설비의 용도별 기종 구분 및 특징(NFSC-103, 제12조제3항제8호)은 정격출력용량 확보를 위해 부하용도별로 아래와 같이 구분 할 수 있다. 즉 안전성 제공 기종관점인 기본적인 법적 조건 충족은 아래의 3종류로 구분하여 적용하여야한다.

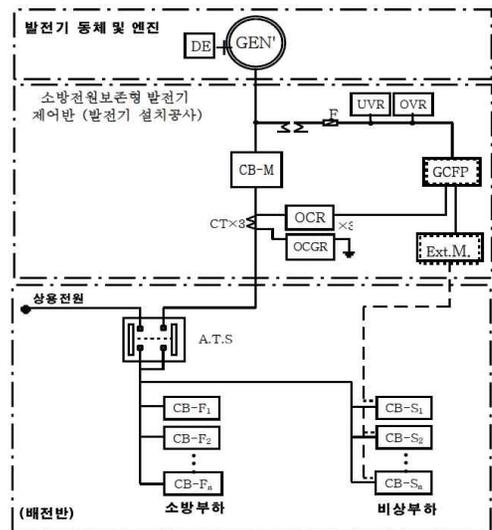
- ① 소방전용 발전기 - 비상발전기 별도 설치, 고비용
- ② 소방부하 겸용 발전기 - 합산용량 발전기, 고품량, 고비용
- ③ 소방전원보존형 발전기 - 저비용(합산용량 대비 약 30~40%비용절감)

따라서 안전성 및 경제성 동시 제공 기종(법적 조건 및 경제성 조건 충족)으로 일반적으로 소방전원보존형 발전기(저용량, 저비용)을 권장하고 있다.

그림 4는 소방전원보존형 발전기 전원 단선 결선도를 나타낸 것이다. 또한 그림 4에 사용된 기호는 표 2와 같다. 소방전원보존형 발전기는 일괄제어방식이나 순차제어방식 중에 임의의 선택해야 한다. 그림 4(a)와 같이 화재 시 과부하에 도달될 경우에 한해서 비상부하를 비상부하용 주차단기를 이용하여 GCFP에서 일괄 제어하는 방식이다. 그림 4(b)는 순차제어방식으로 화재 시 과부하에 도달될 경우에 순수 비상부하를 CGFP가 Ext.M.에게 순차적으로 제어하는 것으로, 화재시의 비상부하 이용률을 높이고자 할



(a) 순차제어방식, 별치식



(b) 일괄제어방식, 별치식

그림 4. 소방전원보존형 발전기 전원단선결선도

경우에 적용한다. 소방전원보존형 발전기는 순차제어 방식에서 제어장치 하나에 Ext.M. 1대로 8단계 이내로 설치한다. 8단계를 초과하면 Ext.M. 2대로 16단계 이내로 용량이 큰 비상용차단기부터 지정한 번호순대로 순차 결선한다[4].

표 2. 사용된 기호

기호	설명
GCP	발전기제어장치 (컨트롤러)
GCFP	소방전원보존형 발전기 제어장치(Generator Controller for Fire-fighting Power)
CB-M	주전원차단기
CB-S	비상부하용 주 차단기
Ext.M.	소방전원보존형 발전기 제어장치 확장모듈 (순차제어방식-신호분배장치)
ATS	자동절환스위치
CB-F1~n	소방부하용차단기
CB-S1~n	비상부하용차단기(MCCB, Trip 장치 내장형 - 순차제어방식 적용)

### 3. 자가/비상발전기 수요관리 확대를 위한 계통연계 방안

비상발전기의 운전은 현재 구내 비상부하를 위한 독립운전방식이며 계통에 연계하여 운전하지 않고 있다. 그러나 비상발전기를 수요관리차원에서 확대 활용하기 위하여 창의적인 기술적, 제도적 정책적 접근 방법이 요구된다. 현재 운용중인 비상발전기를 활용한 수요관리 방법에는 표 3과 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

표 3. 비상발전기 운전 및 부하절체 방식

운전방식	부하절체방식	대표적인 부하절체기기
독립형	개방형	자동절체스위치(ATS : Automatic Transfer Switch), ALTS
	폐쇄형	폐쇄형자동절체스위치(CTTS : Closed Transition Transfer Switch)
병렬운전	폐쇄형	동기화 설비(Paralleling Switchgear)

(1) 개방형 ATS구비시, 일시정전이 되어도 문제없는 냉방부하 등 간헐 운전부하를 연결하여 피크억제에 활용하는 방법. 이 방법은 상용전원에서 비상전원으로

로 절체시 일정시간 정전이 불가피한 방식으로 (연료비 상승으로 현재는 경제성이 낮음) 기존에 제일 많이 사용되는 방식이지만 앞으로 분산전원 도입으로 인한 전력환경 변화에서는 바람직한 방안이 아니다.

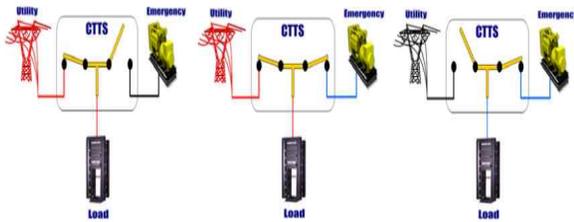
(2) 폐쇄형자동절체스위치(CTTS)를 구비하여 고 객부하를 발전기로 무정전 절체하는 방법

비상발전기 수요관리활용의 큰 저해요인 중 하나는 전원간 절체시 발생하는 일시정전 문제이다. 이를 해결하기 위한 방법으로는 발전기를 계통에 연계하는 방안과 절체스위치를 무정전방식으로 교체하는 방법이 있다. 발전기를 계통연계하는 방법은 상용계통과 전기적 분리를 명시한 전기사업법 위배, 분산전원 계통연계기준의 적용 등 여러 가지 문제가 있고 무엇보다 병렬운전에 따른 고객의 경제적, 기술적요인에 의한 강한 거부감이 문제가 된다. 따라서 기존 절체스위치를 무정전방식으로 교체하는 것이 보다 현실적이고 간단한 방법이라고 할 수 있다. 부하절체가 무정전으로 되므로 고객의 전기사용에는 불편함을 느끼지 못한다. 이 방식은 일반건물에 설치된 절체스위치(Automatic Transfer Switch)를 무정 전 방식으로 무상 교체해주는 대신 한전이 요청할 때 연간 10시간 내외 한도 내에서 비상발전기로 수요가 부하 일부를 무정전절체하여 수전전력을 낮추는 수요관리 프로그램(이하 비상발전기 프로그램)을 제안하였다. 단, 발전기 가동에 따른 연료비(약 500원/kWh)는 지원되는 조건이다. 이는 수요전력 저감을 위하여 확대가 예상되며 무정전 절체스위치(CTTS)를 교체 및 신설해야한다. 그림 5는 무정전 절체스위치 동작순서를 나타낸 것이다.

(3) 병렬운전설비를 구비하여 서서히 발전기 출력을 올려가면서 수전전력을 감소시키는 방법 : 계통과 동기운전하는 방식으로 가장 융통성이 높은 방식이나 가장 비용이 많이 들고 기술적으로도 가장 어려운 방식이다. 발전기 용량은 해당 건물의 피크전력보다 클 수도 있고 더 작을 수도 있다. 발전기 용량이 건물 피

## 기술해설

크전력보다 큰 경우 남은 전력은 계통으로 공급될 수도 있다. 반대로 발전기 용량이 피크전력보다 작으면 상용전원이 나머지 부하들에 전력을 공급하게 된다. 고객의 요구에 맞추어 설비를 개조해야한다. 부하절체가 무정전으로 되므로 고객의 전기사용에 불편함이 없다. 이는 안정적인 전력공급을 위한 제어 및 관리기술이 요구된다. 이 방식은 신재생에너지와 도입에 따라 관련운전기술의 정착으로 확대 적용방안을 적극적으로 검토해야한다. 그림 6은 병렬운전설비 추가 단선계통도를 나타낸 것이다[5-6].



(a) 발전기 가동 (b) 순간 동기운전 (c) 상용전원 분리

그림 5. 무정전 절체스위치(CTTS) 동작순서

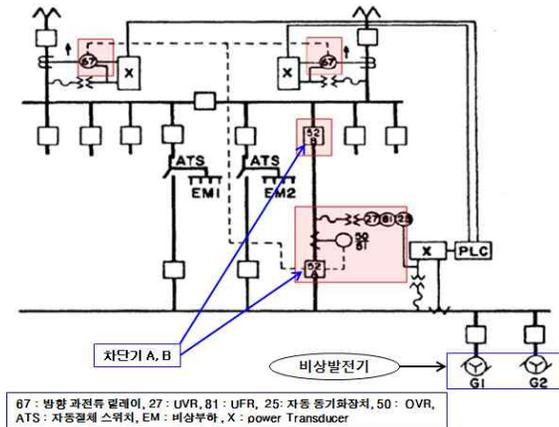


그림 6. 비상발전기 병렬운전설비 추가

기존방식과 무정전방식은 설비교체의 용이성 등에서 장점이 있고 수요감축량으로 활용하기 위한 비상설비의 용량의 60%내로 제한을 받지만 병렬운전방식은

설비용량을 모두 활용할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 운전방식을 최종 선택하기 위해서는 발전시스템 종류 용량, 변전실의 규모, 수용가의 참여의지 등 다양한 기술적 제도적인 측면을 고려하여 결정해야 한다.

그러나 자가/비상발전기 수요관리확대를 위한 방안으로 독립운전과 계통연계운전을 유연하게 할 수 있는 기술적 대안이 개발되어야 한다. 본 연구에서 제안한 3~4가지 대안은 표 4와 같다. (1)비상/자가발전기의 용량별 및 특성별 운전방식이다. (2)는 ESS로의 비상발전기 대체방안이다. 이는 현재 보안과 비상발전기로 대응할 수 없는 비상부하에 현재 적용하고 있으나 전기차 등 배터리기술의 혁신적인 진보와 코스트 저감이 크게 이루어지고 있어 매우 효과적인 대안이라 보인다. 그림 7은 자립운전이 있는 경우 인버터 계통연계운전 방식을 나타낸 것이다.

표 4. 비상 자가발전설비 계통연계 방안

대안분류	구성 내용
(1) 비상/자가발전기 단독	계통연계형인버터: 중소용량
	ESS 대체 : 50kW이하설비
	CTTS 보상 활용 : 대용량
(2) ESS 활용	비상/자가발전기 대체 모델(대용량·경제성을 검토 후)
(3) 복합에너지시스템 구축	GEES+ PV 모델+ ESS (option)
	Microturbine+PV 모델 +ESS (or SC)(option)
	FC+PV+SC+ESS(option)

표 5. 계통연계에 따른 보호계전방식

사고발생 개소	사고형태	보호계전기	
		역조류 없음	역조류 있음
자가발전설비	인버터의 제어계통 이상 등에 의한 전압상승	OVR	
	인버터의 의 제어계통 이상 등에 의한 전압 저하	UVR	
전력계통	연계된 계통의 단락	UVR	
	계통사고 및 작업정전 등에 의한 단독 운전상태	역충전검출 기능	단독운전검출기능

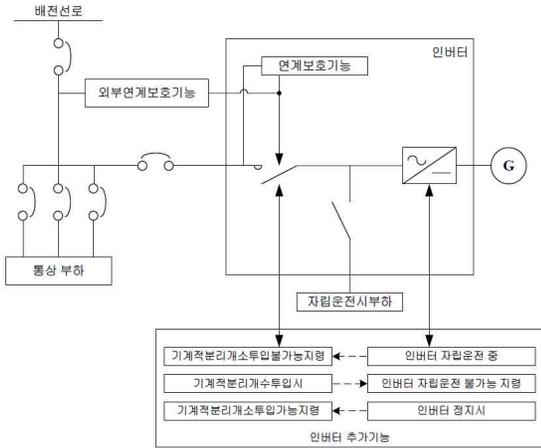


그림 7. 자립운전이 있는 경우 인버터계통연계

이 비상발전기의 전력수요반응자원으로 활용하기 위하여 제도적 정책적 대책이 요구되지만 기술적관점에서 분산화된 에이전트기반 IoE(Internet of Energy-resources)게이트웨이의 개발이 시급하다. 이 IoE는 공동주택단지 내에서 수요자원 관리를 담당하는 End user sever와 모든 정보와 데이터를 공유하며 로컬에서는 비상발전기의 제어시스템과의 공동주택 EMS와의 막힘없는 정보교환과 최대전력을 발굴하기 위한 통합 협조제어알고리즘의 개발과 새로운 분산에너지 관리시스템의 개발이 시급히 요청된다.

#### 4. 결론 및 추후연구

전력수급 문제를 해결하기 위하여 전력생산 증대의 전력자원 효율성 저하를 보완하고 대수용가 위주의 고비용 수요관리를 벗어나 저비용 수요자원 확보를 위한 공동주택 자원통합기반의 통합형 수요자원화기술이 시급한 실정이다. 본 기술조사에서는 비상발전기의 독립/계통연계방식에 대한 방법을 다루었다. 특히 분산전원의 도입이 보편화되는 추세에 따라 복합운전/제어방식, 인버터 계통연계방법, 및 ESS의 비상전원의 활용에 대한 통합적인 연구개발이 이루어져

야 한다. 또한 이를 위하여 자가발전설비 기반 공동주택의 최대 전력수요자원을 도출하기 위한 전기설비적, 통합협조제어 및 통합수용관리관점에서 다각적인 기술개발이 이루어져야 한다.

#### 참고문헌

- [1] 원종률, “전력계통 조정가능수요자원(Dispatchable Load)의 전력시장 연계 및 보상방안”, 산업자원부보고서, 2004. 9. 30.
- [2] Won-pyo Hong, “ Utility-Interactive Operation for Utilizing Demand Response Resources of Customer Owned Generator in Apartment Buildings”, The Proceedings of 2013 KIEE Autumn pp. 128-130. 2013.11.20.
- [3] 한국전력공사 경영연구소, “자가발전기의 수요관리자원 활용 확대방안 연구”, 2012.1.
- [4] (사)한국소방기술사회, “ 자가발전설비의 기준 적용방법”, 2013. 11. 21.
- [5] J.M. Daley, “ Utilizing Emergency and Standby Power for Peak Shaving”, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 1A-18, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY 1982.
- [6] D. Herman, “Converting Existing Backup Generators into Dispatchable System Resources”, EPRI Final Report (TR-114186), February 2000.

#### ◇ 저 자 소 개 ◇



홍원표(洪元杓)

1956년 5월 15일생. 1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학교 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전전력연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수.

현재 한밭대학교 설비공학과 교수. 본 학회 부회장 및 편수위원장.

주요 연구분야 : 필드버스제어네트워크 적용. Smart green building 및 에너지시스템 및 BEMS 관련기술임.

Tel : 042-821-1179

E-mail : wphong@hanbat.ac.kr