

비상발전기 운영 실태 조사 및 전원 품질 특성에 관한 연구

한운기 <전기안전연구원 미래기술연구팀 팀장> · 임현성 <전기안전연구원 미래기술연구팀 주임연구원>

제1장 서 론

전력수요의 지속적인 증가와 공급 측면의 불확실성은 전력 수급의 불안을 증대시키고 있다. 신규발전소 부지확보 및 송전선로의 건설 반대 등으로 인한 공급 중심의 수급계획은 한계에 달하고 있는 현 시점에서, 국내에 대량으로 존재하는 비상용발전기의 전력 자원화는 수급 불균형을 단기간에 해소할 수 있는 방안이며, 막대한 정부 재정 투자의 분산에 따른 재정투자 유연성은 경제적이면서도 현실적인 정책적 대안이 될 수 있다[1-2]. 한국전기안전공사의 조사에 따르면, 국내의 비상 발전기는 2012년 8월 현재 총 용량이 21GW에 이르는 실정이다.

중앙급전발전소의 보완수단으로 비상발전기는 에너지 자립에 기여는 대규모 전력대란 발생 시 도시기반시설이 마비되지 않도록 정상적인 운영이 가능한 수단이 될 것이다. 에너지 자립을 확보하기 위한 방편으로 수소연료전지발전소, 소수력발전소를 활용 계획으로 되어 있으나 대용량 비상발전기를 갖춘 건물에 의무적으로 설치되어 있는 비상 발전기를 가동하여 전력 수급 위기에 대비하고 에너지 자립을 확보하는데 하나의 방안이 될 수 있다.

본 연구에서는 전국의 비상발전기 현황과 건물용도

별 비상발전기 50개소를 선정하고 비상발전기 관리 현황 및 수전설비 현황 등을 분석하였으며 현장실태 조사를 통해 비상발전기 활용 시 현장 문제점 등을 분석하였고, 비상발전기 가동에 따른 전력 품질을 분석하여 비상시 상용 부하에 공급할 수 있는 전원으로서의 활용 가치를 검증하였다.

제2장 자가발전 설비현황 실태조사

제1절 개요

자가발전은 크게 상용 자가발전과 비상용 자가발전으로 구분된다. 상용 자가발전은 전력회사로부터 전력공급을 받지 않거나 일부만을 공급받고 자체 발전설비로 평상시 및 비상시에 전원을 상시 공급하는 발전장치로 대부분 플랜트 설비를 운영하고 있는 곳에서 운영되고 있으며, 자체 제품 생산 과정에서 발생하는 폐열 및 부생가스 등을 이용하는 경우와 생산공정용 증기를 다량으로 사용하는 업체에서의 에너지의 이용도를 높이기 위해 자가발전기를 상시로 가동하는 경우가 많다. 국내 설치되어 있는 상용 자가발전기의 통계를 표 1에 나타내었다.

비상용 자가발전은 전력회사의 우발적인 전력계통 사고, 정전계획 및 고객의 수전설비 사고 등으로 인한

전력공급의 중단에 대비하여 설치되는 자가발전설비를 일컬으며, 현재 소방법에서 규정하고 있는 비상전원설비와 건축법에서 규정하고 있는 예비전원설비에 공급하기 위한 발전장치로 사용되고 있다. 전기설비 기술기준에서 “비상용 예비전원”이란 수용장소에 시설하는 것으로 상용전원이 정전되었을 때 비상용 예비전원이 상용전원 측의 수용장소에 시설하는 전로이외의 전로와 전기적으로 접속되지 아니하도록 시설로 규정하고 있다. 국내 설치되어 있는 비상용 자가발전기의 통계를 표 2에 나타내었다

표 1. 국내 상용 자가발전기 현황

용량	대수	용량	대수
75kw 미만	6,292	1,000~2,500kW	61
75~100kW	977	2,500~5,000kW	29
100~300kW	375	5,000~10,000kW	38
300~500kW	141	10,000~50,000kW	83
500~750kW	16	50,000kW 이상	24
750~1,000kW	30	합계	7,831

표 2. 국내 비상용 자가발전기 현황

용량	대수	용량	대수
75kw 미만	5,132	1,000~2,500kW	3,236
75~100kW	2,175	2,500~5,000kW	236
100~300kW	35,738	5,000~10,000kW	8
300~500kW	9,764	10,000~50,000kW	4
500~750kW	4,743	50,000kW 이상	0
750~1,000kW	1,925	합계	62,961

국내 설치되어 있는 비상용 발전기는 총 용량은 62,961대로 총 용량은 약 19.3GW이다. 이 중 500kW 미만 비상용 발전기가 52,800대로 약 10GW를 차지하고 있으며 500kW이상 2,500kW미만 비상용 발전기는 9,904대, 약 4.2GW를 차지하며 2,500kW 이상 비상용 발전기는 248대, 약 5.1GW를 차지하고 있다.

상용 발전기는 부하 소비가 큰 제련소, 석유화학

단지에서 상시 운전되고 있는 반면에 비상용 발전기는 설비용량으로는 매우 큰 가용용량을 차지하고 있으나 비상시에만 운전하고 있어 실제 가동률이 매우 낮은 편이다.

제2절 비상용 발전기 실태조사

1. 실태조사 대상 및 범위

현재 비상발전기가 운영되고 있는 실태를 조사하기 위해서 본 연구에서는 서울특별시에 있는 비상발전기 50대를 선정하여 비상발전기 상태 및 수전설비, 피크 컷 참여 여부에 대한 설문조사를 실시하였다.

표 3. 실태조사 대상 및 용량

구분	아파트	주상복합	오피스텔	상가	사무실	병원	공장	호텔	관공서	기타	합계
개소 (개)	26	1	3	5	5	2	2	2	1	3	50
용량 (MW)	10.3	0.1	1.2	2	1	0.5	0.6	4.1	0.6	2.8	23.2

2. 실태조사 결과

가. 도시가스 공급 현황

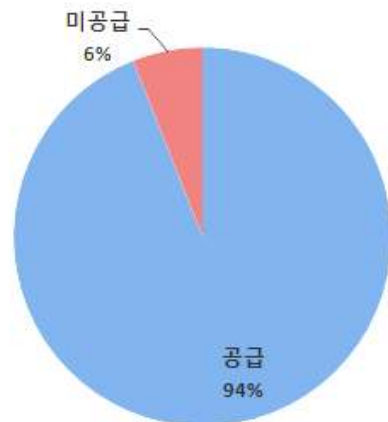


그림 1. 도시가스 공급 현황

특집 : 스마트그리드에 대한 기대

본 설문조사에서는 비상 발전기의 혼소시스템 개조 가능 여부를 판단하기 위하여 해당 건물에 도시가스가 공급되고 있는지 여부를 조사하였고, 그 결과 도시가스 공급이 94%(47개조), 미공급이 6%(3개조)로 대부분 건물에서 도시가스가 공급되고 있는 것으로 나타났다.

나. 용량별 비상발전기 설치 현황

용량별 비상 발전기 설치현황을 살펴보면 100kW 미만 4%(2개조), 100~300kW 42%(21개조), 300~500kW 32%(16개조), 500~1,000kW 8%(4개조), 1,000~2,000kW 10%(5개조), 2,000kW 이상 4%(2개조)를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

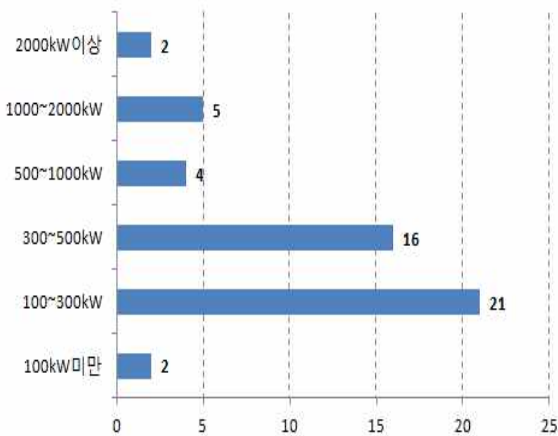


그림 2 용량별 비상발전기 설치 현황(개조)

용량별 비상 발전기 설치현황을 살펴보면 100kW 미만 0.7%(167kW), 100~300kW 16.9%(3,957kW), 300~500kW 25.1%(5,870kW), 500~1,000kW 10.6%(2,482kW), 1,000~2,000kW 24.8%(5,810kW), 2,000kW 이상 21.9%(5,130kW)를 차지하고 있는 것으로 나타나, 보유 대수는 적으나 설비용량은 크게 차지하고 있는 것으로 나타났다.

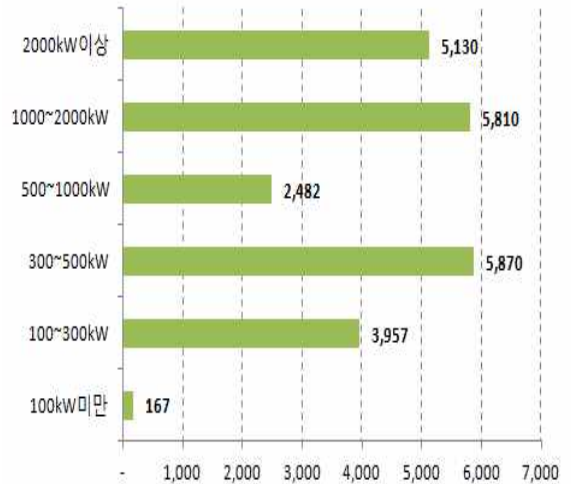


그림 3 용량별 비상발전기 설치 현황(용량)

다. 비상발전기 절체장치 현황

비상용 발전기의 절체 장치 현황을 살펴보면 그림 4와 같이 대부분의 비상발전기는 ATS(자동 절체 스위치, Automatic Transfer Switch) 88%(44개조)가 설치되어 있으며 차단기가 없이 비상발전기가 연결된 수용가도 일부(12%, 6개조) 존재하는 것으로 나타났다.

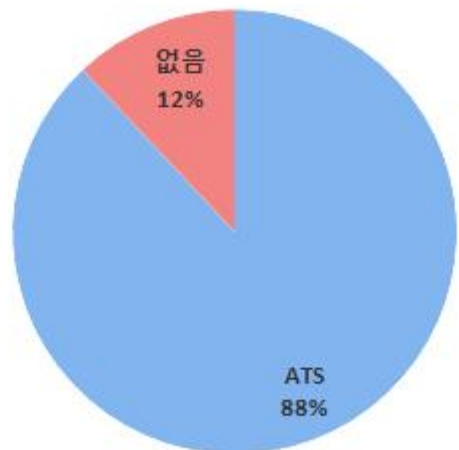


그림 4 비상 발전기 절체 장치 현황

라. 비상발전기 엔진 종류 현황

비상발전기 엔진 종류를 조사한 결과 모든 수용가에서 디젤 발전기를 사용하고 있는 것으로 나타났다.

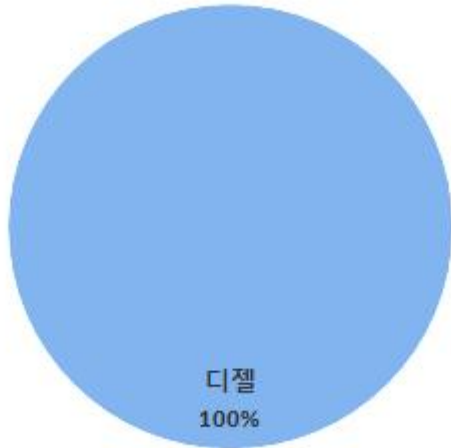


그림 5. 비상발전기 엔진 종류 현황

마. 비상발전기 비상부하 분담 현황

용량별 비상용 발전기 부하분담 현황을 살펴보면 표 4와 같이 대부분의 비상발전기의 용량에서 비상부하 분담률이 50% 미만으로 나타나 비상용 발전기의 상용 부하 운용에 대한 가용 능력을 가지고 있는 것으로 판단된다.

표 4. 용량별 비상용 발전기 비상부하 분담 현황

용량	부하분담				합계
	0~30%	30~50%	50~80%	80~100%	
100kW미만	69	98	-	-	167
100~300kW	1,874	1,110	659	314	3,957
300~500kW	3,060	1,500	960	350	5,870
500~1000kW	545	1,337	-	600	2,482
1000~2000kW	3,310	2,500	-	-	5,810
2000kW이상	5,130	-	-	-	5,130
합계	13,988	6,545	1,619	1,264	23,416

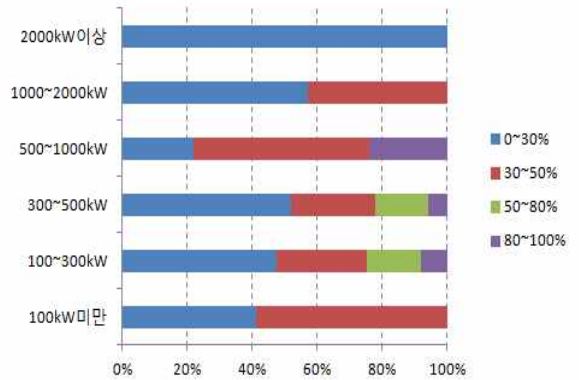


그림 6. 용량별 비상발전기 비상부하 분담 현황

3. 비상발전기 현장실태조사

본 연구에서는 비상발전기 관리 상태 및 수전설비 현황을 파악하고 피크컷 참여시 발생할 수 있는 현장 문제점 등을 파악하기 위하여 피크컷 참여 의사가 있는 수용가를 직접 방문하여 현장실태조사를 수행하였다. 방문 수용가의 비상발전기 및 수전설비 제원은 다음과 같다.

일반사항	상호	○○아파트 2단지
	건물용도	아파트
	도시가스공급 여부	공급
비상발전기현황	용량(kW)	600
	사용전압(V)	380
	절체장치	ATS
	발전기종류	디젤발전기
	설치년도(년)	2000
	발전기 대수(대)	1
	연료탱크 크기(L)	700
수용가 특성	1차 전압(kV)	22.9
	2차 전압(V)	380
	계약용량(KVA)	2700

수용가의 비상발전기 현장을 방문하여 비상발전기 관리 상태 및 수전설비 결선도 등을 확인하였다. 또한

특집 : 스마트그리드에 대한 기대

비상발전기를 활용한 피크컷 활용에 대한 수용가의 의견 및 현장 문제점을 파악하였으며 수용가가 제시한 의견은 다음과 같다.

- 미활용되고 있는 비상발전기를 활용하는 취지에 공감
- 본 시설은 아파트이므로 비상발전기 가동에 따른 매연 및 소음이 발생하게 되어 민원 발생의 여지가 있음
- 아파트 입주민들의 동의를 얻어야 비상발전기 활용이 가능
- 개조비 및 유류비에 대한 지원이 필요

제3장 비상발전기 계통 연계 실험

제1절 개요

한전-비상용 발전기 간 병렬운전 모의실험을 위하여 본 연구에서는 전기안전연구원에서 보유하고 있는 비상용 발전기를 대상으로 병렬운전을 위한 비상용 발전기 개조 및 CTTS 스위치를 설치하였다. 전기안전연구원에서 보유하고 있는 비상용 발전기의 제원은 다음 표 5와 같다.

표 5. 비상용 발전기 제원

발전기 모델명	PGI-42	전압(V)	220/380
설치년도	1995	엔진종류	디젤발전기
발전용량(kW)	150	냉각방식	공냉식
주파수(Hz)	60	제조사	대우중공업

한전-비상용 발전기간 병렬운전을 위하여 기존의 ATS는 무정전 절체가 불가능하기 때문에 무정전 절체가 가능한 CTTS로 교체 설치하였다.

본 연구에서는 기존 설치되어 있는 ATS를 제거하지 않고 CTTS를 추가적으로 설치하여 비상용 부하에 연결하였다.

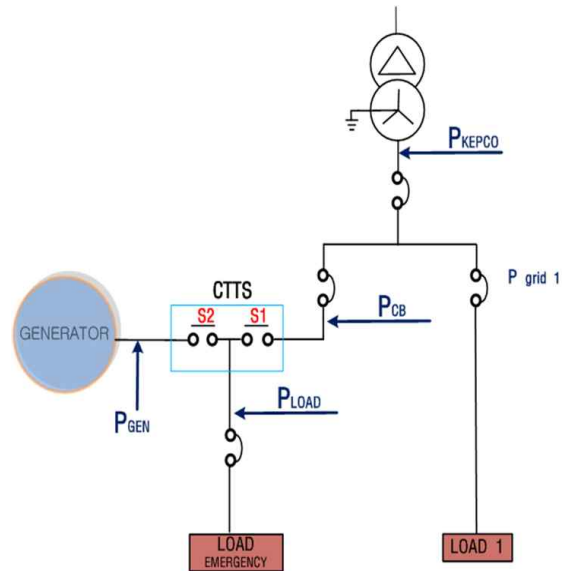


그림 7. CTTS 설치 단선도

제2절 CTTS 교체에 따른 비상 발전기 계통 연계 실험

CTTS 교체에 따른 비상용 발전기 계통 연계실험을 위하여 본 연구에서는 Dewe-5000 장비를 이용하여 MOF 한전측, 변압기 2차측, 발전기, 부하의 전력 품질을 측정하였다.



그림 8. MOF, 변압기, 발전기, 부하 상태 감시 화면

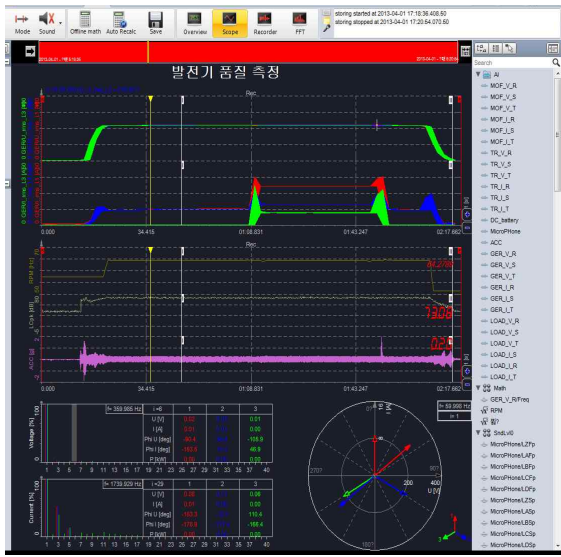


그림 9. 발전기 품질 측정 화면

표 6. 측정데이터

MOF 한전측, 변압기 2차측, 발전기, 부하	
항목	단위
전압(R,S,T)	V
전류(R,S,T)	A
유효전력	kW
주파수	Hz
역률	-
전압 THD	%

비상용 발전기의 기동 특성 및 한전 간 병렬 운전, 부하 운전 특성을 살펴보기 위하여 상용부하(전동) 및 비상부하가 연결된 상태에서 비상용 발전기를 기동 시킨 후 CTTS 조작을 통하여 비상용 발전기와 한전의 동기가 이루어진 경우 비상용 발전기로 상용부하를 무정전으로 부하 분담을 시키고 이에 따른 비상용 발전기 기동 특성, 한전과의 병렬운전 시 부하 측 전력 품질, 비상용 발전기와 부하 연결 시 부하 측 전력 품질을 분석하였다.

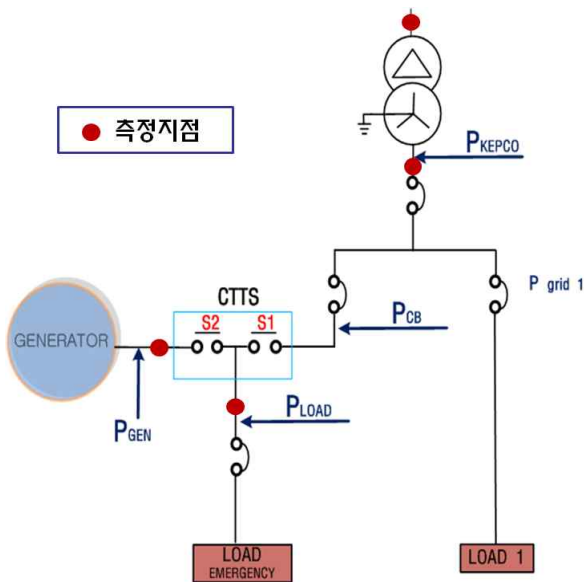


그림 10. 측정 지점

표 7. 시뮬레이션 순서

구분	CTTS 스위치	
	한전	비상용 발전기
초기 상태	ON	OFF
병렬 운전시	ON	ON
비상용 발전기 단독 운전	OFF	ON

그림 10과 같이 CTTS 교체에 따른 비상용 발전기 연계 실험을 위하여 한전 측, 변압기 2차측, 비상용 발전기, 부하 단에 전력 품질 분석을 위한 전압, 전류 등을 측정하였다. 각 측정 지점 별 측정데이터는 다음 표 6과 같다.

가. 전압 THD

측정지점별 전압 THD를 살펴보면 다음 표 14와 같이 MOF, 변압기 2차측, 비상용 발전기, 부하 측 모두 전압 THD가 IEEE Std. 519 기준인 5%보다 낮은 수치가 나타났다. 따라서 비상용 발전기 단독으로 부하 연동 운전 시 고조파 성분이 크지 않은 것으로 도출되었다.

표 8. 측정지점별 전압 THD

측정 지점	전압 THD (%)		
	최소 THD	최대 THD	평균 THD
MOF 측	2.22	2.26	2.24
변압기 2차측	1.54	1.63	1.58
비상용 발전기 측	4.43	4.53	4.47
부하 측	4.43	4.54	4.47

나. 역률

측정지점별 역률을 살펴보면 표 9와 같이 비상용 발전기와 부하 측에서 역률이 다소 낮게 측정되었다. 이는 부하의 용량이 약 7.4kW로 비상발전기 용량 150kW에 비해 낮은 편이며 대개 형광등 및 비상등 전원 부하이므로 유효전력에 비해 상대적으로 무효전력 성분이 크기 때문에 역률이 낮은 것으로 판단된다.

표 9. 측정지점별 역률

측정 지점	역률		
	최소 역률	최대 역률	평균 역률
MOF 측	0.92	0.93	0.92
변압기 2차측	-	-	-
비상용 발전기 측	0.56	0.58	0.57
부하 측	0.78	0.79	0.79

다. 주파수

측정지점별 주파수를 살펴보면 표 10과 같이 비상용 발전기 측, 부하 측 모두 평균 60.01Hz로 동일한 주파수가 나타나 비상용 발전기가 단독으로 부하를 분담하더라도 전력 품질 측면에서 우수한 특성을 보이는 것으로 도출되었다.

표 10. 측정지점별 주파수

측정 지점	주파수(Hz)		
	최소 주파수	최대 주파수	평균 주파수
MOF 측	60.01	60.03	60.01
변압기 2차측	-	-	-
비상용 발전기 측	59.84	60.17	60.01
부하 측	59.84	60.17	60.01

제4장 결 론

본 연구에서는 전력수급 위기에 따른 비상발전기 활용을 위하여 비상발전기 현황을 조사하고 전력 피크 대응을 위한 시스템 구축안 및 비상발전기 경제성을 분석하였다.

비상발전기 실태조사를 위해 건물 용도별로 50개소, 23MW의 비상발전기를 대상으로 설문조사를 실시하였으며 설문조사 내용으로 도시가스 공급 여부, 비상발전기 활용 여부, 설비 현황 등을 조사한 결과 조사 대상의 대부분은 도시가스가 공급되어 향후 혼소 시스템 적용이 용이할 것으로 사료되며 절체 장치의 경우 대부분 ATS(Automatic Transfer Switch)로 설계되어 있어 부하 전환 시 정전이 수반되기 때문에 이에 대한 보완이 필요한 실정이다. 마지막으로 실제 현장실태조사를 통한 비상발전기를 보유한 수용가의 의견을 정리한 결과 개조 대상에 대한 구체성 및 개조비, 유류비 지원이 필요하며, 개조공사에 따른 경제적인 이득 고려 등에 대한 의견이 제시되어 향후 비상발전기 활성화를 위한 규정 및 제도 개선이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 비상발전기 가동시 실제 부하에 미치는 영향을 분석하기 위하여 전기안전연구원에서 보유하고 있는 비상 발전기 개조 및 CTTS 스위치를 설치하였다. CTTS 교체에 따른 비상 발전기 계통 연계 실험을 수행하여 MOF 한전측, 변압기 2차측, 발전기, 부하의 전력 품질을 측정하였다.

측정지점별 전압THD를 살펴본 결과 MOF, 변압기 2차측, 발전기, 부하 측 모두 전압 THD가 IEEE Std. 519기준인 5%보다 낮은 수치가 나타났다. 역률의 경우 비상발전기와 부하 측의 역률이 57~79로 측정되어 한전 역률 92에 비해 낮은 수치가 도출되었다. 이는 실험에 사용된 부하의 용량 7.4kW로 비상발전기의 용량 150kW에 비해 현저히 낮은 편이었으며 형광등 및 펌프 등의 유도성 부하로 인한 무효전력 성

분이 크기 때문에 역률이 낮아지는 것으로 나타났다.

주파수의 경우 비상 발전기 측, 부하 측 모두 평균 60.01Hz의 동일 주파수가 나타나는 것으로 나타나 비상발전기로 인한 주파수 왜곡 현상은 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 결과에 의하면 비상발전기 가동에 따른 부하에 미치는 전력 품질이 양호한 것으로 나타나 전력 수급 위기 시 비상 발전기가 새로운 전원으로서의 활용 가치가 충분한 것으로 도출되었다.

참고문헌

- [1] 한국전력공사 전력경제처, 비상용 자기발전기 운영실태 조사 및 활용방안연구, 1997.
- [2] 지식경제부, 자기발전기의 수요관리자원 활용 확대방안 연구, 2012.

◇ 저 자 소개 ◇



한운기(韓雲基)

1973년 6월 20일생. 1997년 목포대학교 전기공학과 졸업. 2001년 성균관대학교 전기공학과 졸업(석사). 2010년 숭실대학교 전기공학과 졸업(박사). 1998년~현재 전기안전연구원 미래기술연구팀 팀장.



임현성(林炫成)

1981년 2월 18일생. 2006년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2008년 인천대학교 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 전기안전연구원 미래기술연구팀

주임 연구원.