Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 9 pp. 541-550, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.9.541
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

소방용 비상발전기의 현장부하시험을 위한 20 kW급 ESS 부하시험장치 모델링과 구현에 관한 연구

최승규[1,2], 이후동[1], 최성식[1], 페레이라 마리토[1], 노대석[1*]
[1]한국기술교육대학교 전기공학과, [2]건양대학교 재난안전소방학과

A Study on the Implementation and Modeling of 20kW Scale ESS Load Test Device for Emergency Generator

Seung-Kyou Choi[1,2], Hu-Dong Lee[1], Sung-Sik Choi[1], Marito Ferreira[1], Dae-Seok Rho[1*]
[1]Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education
[2]Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

요 약 소방용 비상발전기는 화재 시 인명과 재산을 보호하는 소방 시설에 전원을 공급하는 중요한 설비이다. 이러한 중요성에 따라 관련 법규에서는 의무적으로 비상발전기에 비상용 부하를 연결하여 시험하도록 규정하고 있다. 그러나 실 계통에서는 비상전원계통의 부하운전 시험을 위해 상용 전원을 차단하는 경우 저압기기의 파손, 병원과 같은 중요시설의 응급부하 정지 등 심각한 문제점이 발생할 수 있어, 무부하로 비상발전기를 형식적으로 시험하고 있는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 개선하기 위하여, 상용 전원의 차단 없이 비상발전기에 전기저장장치를 연계하여, 비상용부하의 동작특성과 동일하게 ESS가 충전동작을 수행함으로서 비상발전기의 성능 및 상태를 시험할 수 있는 방안을 제시한다. 또한, 배전계통 상용 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 비상발전기, 비상용부하, ESS 부하시험장치로 구성된 비상전원계통의 모델링을 제시하고, 20kW급 ESS 부하시험장치를 구현하여, 이를 바탕으로 다양한 시나리오에 따른 시뮬레이션과 시험을 수행하여 본 논문에서 제안한 ESS 부하시험 장치와 모델링의 유용성을 확인한다.

Abstract An emergency generator is key equipment for fire-fighting to supply power to fire-fighting facilities, which protect property and people in cases of fire accidents. A rated load test for emergency generators must be carried out by connecting an emergency load to the generator in accordance with related regulations. However, a no-load test has been performed for emergency generators in general since serious problems can occur when the main power is cut off, including the damage of customer devices and shut down of critical loads. Therefore, this paper proposes a load test method for an emergency generator using energy storage system (ESS) without the interruption of main power. The emergency power system was also modeled based on PSCAD/EMTDC software, and a 200-kW scale ESS load test device was implemented. The simulation and test results show that the load test method is useful and practical for an emergency power supply system.

Keywords : Emergency Power System, Emergency Generator, Emergency Load, Load Test Device, Energy Storage System, PSCAD/EMTDC

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20182410105070)와 2019년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 수행되었음.
*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr
Received July 30, 2019 Revised August 21, 2019
Accepted September 6, 2019 Published September 30, 2019

1. 서론

비상발전기는 정전 및 화재 시 비상용부하에 전원을 공급하여 인명과 재산을 보호하는 중요한 설비이다. 이에 소방관련법규에 의거하여 7층 이상이고 연면적 2,000㎡ 이상인 특정소방대상물은 비상발전기를 의무적으로 설치하고 년 2회의 부하시험을 실시하도록 엄격하게 규정하고 있다[1]. 비상발전기의 부하시험은 상용전원을 차단시켜 ATS(automatic transfer switch)를 비상발전기로 전환시키고 규정시간 동안 비상용부하의 운용에 따른 성능 및 상태를 확인하는 것이다[2]. 하지만, 비상발전기의 부하시험은 상용전원을 차단해야하기 때문에 일반부하에 전원공급이 중단되고 계통의 정전 및 복전에 따른 피해 발생 우려에 따라, 대부분의 현장에서는 무부하 상태로 비상발전기의 성능을 시험하고 있는 실정이다. 이는 실정법에 위반될 수 있으며, 특히, 화재 시와 같이 비상상태에서는 인명과 재산을 보호하는 소방시설의 신뢰성을 심각하게 손상시킬 수 있는 원인이 될 수 있어, 비상발전기의 부하시험 방안이 요구되어지고 있다[3].

따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 상용전원의 차단 없이 비상발전기의 성능 및 상태를 점검할 수 있는 부하시험 방안을 제안한다. 구체적으로, 비상발전기에 전기저장장치를 연계하여, 비상용부하의 동작특성과 동일하게 ESS가 충전동작을 수행함으로서 비상발전기의 성능 및 상태를 시험할 수 있는 방안을 제시한다. 또한, 배전계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 비상발전기, 비상용부하, ESS 부하시험장치로 구성된 비상전원계통의 모델링을 제시하고, 20kW급 ESS 부하시험장치를 구현하여, 이를 바탕으로 다양한 시나리오에 따른 시뮬레이션과 시험을 수행하여 본 논문에서 제안한 ESS 부하시험 장치와 모델링의 유용성을 확인한다.

2. 소방용 비상발전기의 현장부하시험 문제점 및 운용방안

서울연구원의 조사에 따르면, 2014년 말 기준으로 국내 비상발전기의 전체용량은 약 25,096MW (78,476대)로 대부분 소방용과 겸용으로 사용되고 있다[4]. 이러한 비상발전기는 정전 및 화재 시 비상용부하에 전원을 공급하여 인명과 재산을 보호하는 중요한 설비이다. 이에, 국내 전기관계법규인 “비상발전기의 선정 및 설치에 관한 기술지침”에 의거하여, 주 1회 무부하 상태에서 30분 이상의 운전을 실시하여야 하며, 소방관련법규에서는 소방 부하운전 점검을 년 2회 실시하도록 규정하고 있다[5]. 하지만, 비상발전기의 부하시험은 상용전원을 차단해야하기 때문에 일반부하에 전원공급이 중단되고 계통의 정전 및 복전에 따른 저압기기 파손, 응급의료장비를 사용하는 병원의 응급부하 정지 등 심각한 문제가 발생할 가능성이 있어, 대부분의 현장에서는 육안점검으로, 누수·누유와 같은 기계적 결함만을 확인하고, 무부하 상태로 비상발전기의 성능을 시험하고 있는 실정이다.

또한, 2011년 9월 15일 순환정전 발생 당시 비상발전기의 60%가 작동이 되지 않았으며, 전기기술인협회의 실태 조사보고서에 따르면, 비상발전기의 성능 및 상태 점검 시 부하운전을 실시하고 있는 곳은 7%에 불과한 것으로 보고되고 있다[6,7]. 이는 실정법에 저촉될 수 있으며, 화재 시와 같은 비상상태에서 인명과 재산을 보호하는 소방시설의 신뢰성을 심각하게 손상시키는 원인이 될 수 있어, 비상발전기의 부하시험 방안이 요구되어지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 상용전원의 차단 없이 비상발전기의 성능 및 상태를 점검할 수 있는 부하시험 방안을 Fig. 1과 같이 제안한다. 구체적으로, 비상발전기에 전기저장장치를 연계하여, 비상용부하의 동작특성과 동일하게 ESS가 충전동작을 수행함으로서 비상발전기의 성능 및 상태를 시험할 수 있는 방안이다.

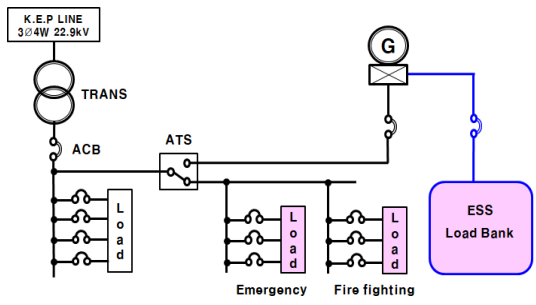


Fig. 1. Concept for load test method of emergency generator using ESS

3. PSCAD/EMTDC에 의한 ESS 부하시험장치의 모델링

3.1 비상발전기의 모델링

비상용부하에 전원을 공급하는 비상발전기는 대부분

디젤발전기이며, PSCAD/EMTDC를 이용하여 여자기와 조속기로 구성된 디젤발전기를 모델링하면 Fig. 2와 같다[8,9]. 여기서, Fig. 2의 A부분은 여자기로서 디젤발전기에서 발생하는 무효전력을 제어하고 출력전압을 정전압으로 제어하는 역할을 수행한다. 한편, Fig. 2의 B부분은 조속기로서 비상전원계통의 수요전력량만큼 제어하는 유효전력 제어부와 디젤발전기의 회전속도를 일정한 값으로 유지하는 속도제어부로 구성된다.

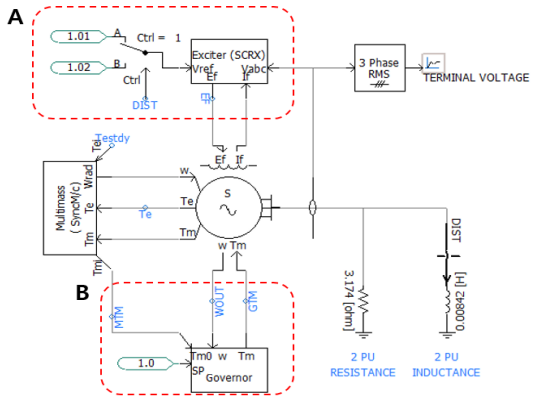
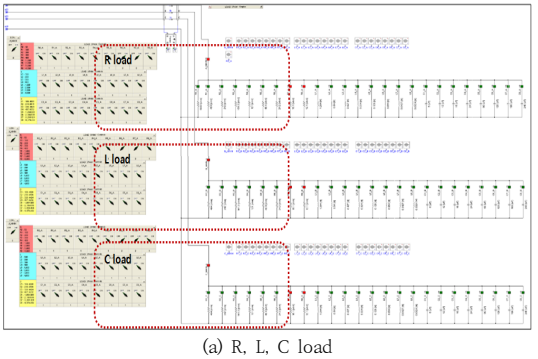


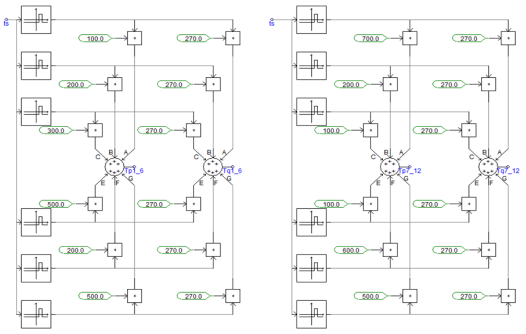
Fig. 2. Modeling of diesel generator

3.2 비상용부하의 모델링

비상용부하는 화재 또는 정전시에 인명 및 재산을 보호하기 위한 소방설비부하와 일반설비부하로 구성된다. 이러한 비상용부하는 R, L, C부하와 유도전동기 부하를 조합하여 다양한 조건을 모의할 수 있도록 모델링하면 Fig. 3과 같다. 여기서, Fig. 3(a)와 같이 저항성 부하(R)는 상당 100W 에서 10kW 범위로 조절이 가능하고, 유도성 부하(L)와 용량성 부하(C)는 상당 100Var 에서 10kVar 범위로 조절이 가능하도록 구성한다. 또한, Fig. 3(b)는 부하 제어기이며, 실 비상용부하의 특성과 동일하게 동작시퀀스에 따라 부하가 투입된다.



(a) R, L, C load



(b) Load controller

Fig. 3. Modeling of emergency load

한편, 소방펌프는 일반적으로 유도전동기를 사용하고 있으며, 이는 기동 시에 전류가 급격하게 증가하고 역률이 감소하는 기동특성을 가지고 있음으로 Eq. (1)과 Eq. (2)로 나타낼 수 있다. 여기서, Eq. (1)은 소방설비 부하의 기동 시 피상전력(S_{ST-MAX})을 나타내며, 정격부하 시 피상전력(S_c)과 기동계수(β, C)의 곱으로 산정된다. 또한, Eq. (2)는 소방설비 부하의 기동 시 무효전력(Q_{ST-MAX})을 나타내며, Eq. (1)의 피상전력(S_{ST-MAX})에 평균역률($P.F_{ST-AV}$)을 곱하여 산출한다.

$$S_{ST-MAX} = S_c \times \beta \times C \tag{1}$$

여기서, S_{ST-MAX}: 소방설비부하의 기동 시 피상전력[kVA], S_c: 소방설비부하의 정격부하 시 피상전력 시 전력[kVA], β: 소방전동기용량 1 kW 당의 기동 kVA(7.2), C: 기동계수(△-Υ 기동: 0.667, 직입기동: 1.0)

$$Q_{ST-MAX} = S_{ST-MAX} \times P.F_{ST-AV} \tag{2}$$

여기서, Q_{ST-MAX} : 소방설비부하의 기동 시 무효전력[kVar], $P.F_{ST-AV}$: 소방설비부하의 기동 시 평균역률(0.4)

상기의 기동 용량을 구하는 Eq. (1)과 Eq. (2)를 바탕으로, 유도전동기 부하를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링하면 Fig. 4과 같이 나타낼 수 있다.

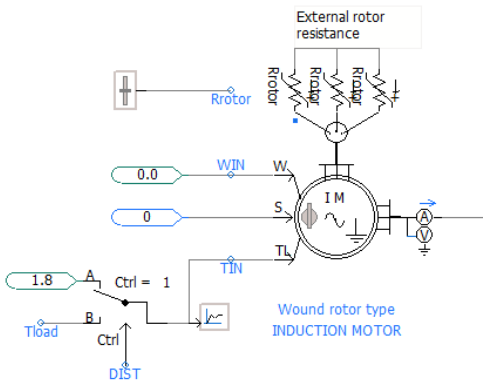


Fig. 4. Modeling of induction motor

3.3 ESS 부하시험장치의 모델링

비상발전기의 현장부하시험을 수행하기 위한 ESS 부하시험장치는 비상용부하의 기동특성을 고려하여 ESS의 유효전력 및 무효전력을 적절하게 제어할 수 있어야 한다. 즉, 목표로 하는 ESS의 유효전력과 무효전력의 출력값을 얻기 위해서는 ESS의 출력을 결정하는 d-q축의 기준전류(I_{ref-d}, I_{ref-q})를 산정하고, ESS의 기준링크전압과 목표전력에 의한 DC 링크전압을 서로 비교하여 전압차를 구한다. 이 전압차를 PI제어에 의하여 전류로 변환하면, d-q축의 기준전류를 Eq. (3)과 Eq. (4)를 이용하여 구할 수 있다[10-12].

$$I_{ref-d} = (Kp + \frac{Ki}{s})(V^{*}_{DC-d} + V_{DC-d}) \quad (3)$$

$$I_{ref-q} = (Kp + \frac{Ki}{s})(V^{*}_{DC-q} + V_{DC-q}) \quad (4)$$

상기 d-q축의 기준전류를 구하는 관계식 Eq. (3)과 Eq. (4)를 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여 ESS 부하시험장치를 모델링하면 Fig. 5와 같다.

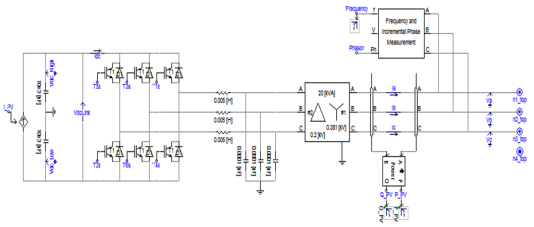


Fig. 5. Modeling of ESS load test device

3.4 전체 계통 모델링

상기의 내용을 바탕으로 PSCAD/EMTDC를 이용하여, 비상발전기, 비상용부하 그리고 ESS 부하시험장치 등으로 구성된 전체 비상전원계통을 모델링하면 Fig. 6과 같다. 여기서, Fig. 6의 A부분은 비상발전기, B부분은 ESS 부하시험장치, C부분은 ATS, D부분은 비상용부하 그리고 E부분은 상용전원 및 일반부하를 나타낸 것이다.

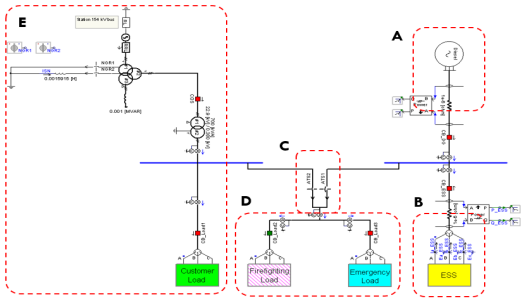


Fig. 6. Modeling of entire emergency power system

4. 20kW급 ESS 부하시험장치의 구현

4.1 비상발전기

비상발전기는 정전 및 화재 시 ATS의 회로절체를 통하여 비상용부하에 전원을 공급하는 역할을 수행한다. 본 논문에서는 20kW급 ESS 부하시험장치에 의한 비상발전기의 성능특성을 확인하기 위하여 20kW급 디젤발전기로 시험장치를 구성한다. 여기서, 디젤발전기의 용량은 20kW이고, 공급전원은 3상4선식, 380/220V이며, 상세사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of 20kW-scaled diesel generator

items	contents	items	contents
rated output	25kW/20kVA	power factor	0.8(lagging)
continuous rated output	20kW/25kVA	efficiency	85.23%
voltage	380/220V	exciter type	brushless self-excited
winding	3phase 4wire	type	rotating field
winding connection	star connection with neutral	IP code	IP 20
frequency	60Hz	bearing	#6308zz ball bearing
voltage deviation	less than 30%(Transient) less than 2.5% (normal)	cooling system	fan cooling
rated RPM	1800	insulation	H Class
number of polarity	4 pole	weight	215 kg

4.2 비상용부하

비상용부하는 Fig. 7과 같이 R, L부하, 유도전동기부하, 계측제어장치 및 발전기전원부로 구성된다. 여기서, R, L부하는 유·무효전력을 모의할 수 있도록 정임피던스 부하(constants Z) 특성을 이용하여 저항성, 유도성 부하로 구성된다. 구체적으로, 저항성부하의 최대 용량은 상당 7kW로서 400W 단위로 조정이 가능하고, 유도성 부하의 최대 용량은 상당 5kVar로서 400Var 단위로 가변할 수 있도록 MC를 이용하여 구현한다. 한편, 유도전동기 부하에는 감속기를 부착하여, 소방펌프의 기동특성을 모의 할 수 있도록 하였으며, 정격용량은 3.7kW이다.

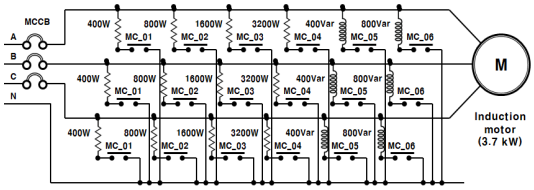


Fig. 7. Configuration of emergency load

4.3 ESS 부하시험장치

ESS 부하시험장치는 상용전원의 차단 없이 비상발전기의 성능을 확인하는 역할을 수행하며, Fig. 8과 같이 PCS와 배터리로 구성된다. 여기서, Fig. 8의 A부분은 비상발전기를 시험하기 위한 연결단자부이며, B부분은 DC와 AC를 변환하는 PCS의 전력변환부이다. 또한, C부분은 DSP(digital signal processor) 제어부로 비상용부하의 기동특성을 고려하여 유효전력 및 무효전력을 제어하며, D부분은 비상발전기의 부하시험에 의해 생산된 전력을 저장하는 배터리부를 나타낸 것이다.

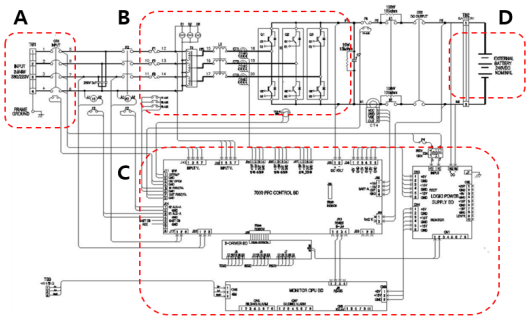


Fig. 8. Configuration of ESS load test device

한편, 본 논문에서 구현한 20kW급 ESS 부하시험장치의 PCS는 IGBT 소자를 이용한 PWM방식을 적용하며, 배터리부는 리튬이온전지와 BMS(battery management system)로 구성된다. PCS 및 배터리의 상세 사양은 각각 Table 2와 Table 3과 같다.

Table 2. Specification of PCS

items	contents
rated capacity	20kW
control	high frequency switching microprocessor PWM control
semiconductor device	IGBT
phases	3phase 4wire
rated voltage	380/220V

Table 3. Specification of Li-ion battery

items	contents
type	Li-ion battery
rated voltage	216V
charging voltage(Max)	237V
cut-off voltage(Min)	197V
nominal capacity	8.64kWh
configuration	14P60S

4.4 전체 계통 구성

상기의 구성요소들을 바탕으로, 비상발전기, 비상용부하 그리고 ESS 부하시험장치로 구성된 전체 비상전원계통을 나타내면 Fig. 9와 같다. 이 그림에서와 같이, 비상발전기의 성능시험을 위한 회로는 비상발전기에 ESS 부하시험장치와 비상용부하를 병렬로 연결하여, 다양한 조건으로 시험을 수행할 수 있도록 구성한다.

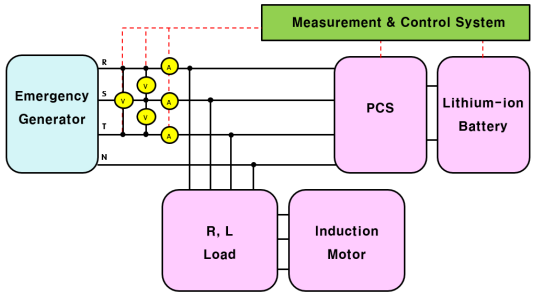


Fig. 9. Configuration of entire emergency power system

5. 시뮬레이션 및 시험 결과 분석

5.1 시뮬레이션 및 시험 조건

본 논문에서 제안한 비상발전기의 현장부하시험용 20kW급 ESS 부하시험장치의 성능을 확인하기 위하여, 정전시와 화재시에 동작하는 비상용부하의 운용특성과 20kW급 ESS 부하시험장치의 운용특성을 비교분석한다. 먼저, 정전시와 화재시에 동작되는 비상용부하의 운용특성을 확인하기 위하여, 2017년도에 준공된 지하 2층, 지상 7층 규모의 소방대상물을 선정하였다. 소방대상물의 수전전압 및 용량은 22.9kV, 700kVA이고, 비상발전기 용량은 400kW(500kVA)이며, 비상용 부하의 정격용량은 Table 4와 같이 280.38kW이다. 여기서, 비상용부하는 소방설비부하 130.20kW와 일반설비부하 150.18kW로 구성되며, 각 설비별 수용률을 적용하면 정전시 소방설비부하와 일반설비부하의 합계는 185.18kW이고, 화재시에는 280.38kW로 산정된다.

Table 4. Capacity of actual emergency power system

emergency load	type of load	capacity of load (kW)	demand Factor (%)	acceptance load (kW)	
				blackout	fire
fire fighting load	pumping load 1	65.82	100		65.82
	pumping load 2	3.70	100		3.70
	fan 1	9.00	100		9.00
	fan 2	9.00	100		9.00
	fan 3	3.84	100		3.84
	fan 4	3.84	100		3.84
	elevator	20.00	100	20.00	20.00
	emergency lamp	5.00	100	5.00	5.00
	load for fire fighting	10.00	100	10.00	10.00
subtotal		130.20		35.00	130.20
normal customer load	pumping load 1	11.52	100	11.52	11.52
	pumping load 2	9.00	100	9.00	9.00
	pumping load 3	2.70	100	2.70	2.70
	pumping load 4	2.70	100	2.70	2.70
	pumping load 5	5.54	100	5.54	5.54
	refrigerator	10.20	100	10.20	10.20
	heat exchanger	11.52	100	11.52	11.52
	cooling load	65.00	100	65.00	65.00
	circulation pumping load	32.00	100	32.00	32.00
subtotal		150.18		86.97	86.97
total		280.38		185.18	280.38

한편, 실계통의 비상용부하(400kW)의 운용특성과 본 논문에서 제안한 20kW급 ESS 부하시험장치의 운용특성을 비교하기 위해, Table 4의 실계통 비상용부하의 용량을 1/20로 축소하여 나타내면 Table 5와 같다. 여기서, 정전시 비상용부하의 용량은 185.2kW에서 9.3kW, 화재시에는 280.4kW에서 14kW로 산정된다. 또한, 정전 및 화재시의 비상용부하의 용량은 유도성(L)과 저항성(R) 부하로 구분하고, 정격부하 및 기동 시 역률은 0.8과 0.4를 적용한다.

Table 5. Down-scaled capacity of the emergency power system by load characteristics

case	type of load	capacity of rated load				capacity of starting load			
		PF	kW	kVar	kVA	PF	kW	kVar	kVA
fire	pumping load	0.8	3.3	2.5	4.1	0.4	8.0	18.2	19.9
	L	0.8	10.0	7.5	12.5		-	-	
	R	1.0	0.8	0	0.8		-	-	
	total		14.0	10.0	17.3		8.0	18.2	19.9
black out	L	0.8	8.5	6.4	10.6		-	-	
	R	1.0	0.8	0	0.8		-	-	
	total		9.3	6.4	11.4		-	-	

또한, 정전 및 화재시 실계통 비상용부하의 운용특성을 고려하여 비상용부하의 동작조건을 시간대별로 나타내면 Table 6과 같다. 즉, 정전시에는 3초 이후에 모든 L 및 R부하가 동작하고, 화재시에는 3초 이후에 모든 L 및 R부하가 동작하며, 5초 이후에는 소방펌프가 기동하도록 상정한다.

Table 6. Operation conditions of emergency load

case	time (sec)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fire	pumping load					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	L			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	R			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Black out	L			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	R			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

5.2 PSCAD/EMTDC에 의한 ESS 부하시험장치의 성능특성 분석

(1) 정전 시 비상발전기의 부하시험 특성

본 논문에서 제안한 PSCAD/EMTDC 모델링을 이용하여, 정전 시 비상발전기의 부하시험 특성을 나타내면 Fig. 10, Fig. 11과 같다. 여기서, Fig. 10은 R과 L로 구

성된 비상용부하의 동작에 따른 비상발전기의 유·무효전력 출력특성을 나타내며, 비상용부하의 동작에 따라 3초 후에 비상발전기는 9.3kW의 유효전력과 6.4kVar의 무효전력을 공급한다. 한편, Fig. 11은 리튬배터리와 PCS로 구성된 ESS 부하시험장치의 충전동작에 의한 비상발전기의 유·무효전력 출력특성을 나타내며, ESS의 스위칭 동작으로 비상발전기의 출력이 약간 흔들리지만 비상용부하에 의한 출력특성과 동일함을 알 수 있다.

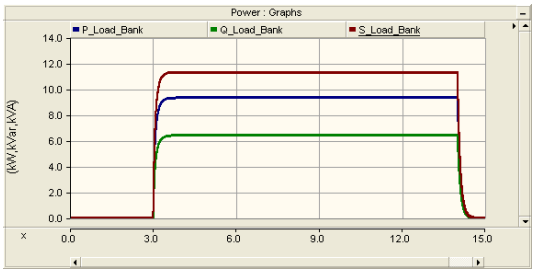


Fig. 10. Output characteristics of generator for emergency load in blackout condition

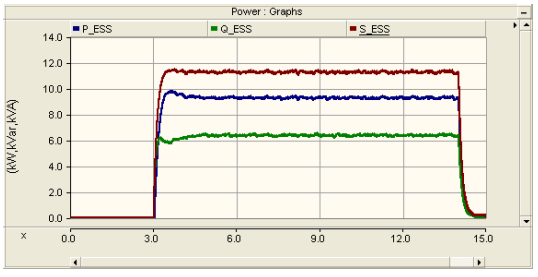


Fig. 11. Output characteristics of generator for ESS load test device in blackout condition

(2) 화재 시 비상발전기의 부하시험 특성

화재 시 비상발전기의 부하시험 특성을 나타내면 Fig. 12, Fig. 13과 같다. 여기서, Fig. 12는 비상용부하의 동작에 따른 비상발전기의 유·무효전력 출력특성을 나타내며, 비상용부하의 동작에 따라 3초 후에 비상발전기는 10.8kW의 유효전력과 7.5kVar의 무효전력을 출력하고, 5초 후에 소방펌프가 기동하여 18.8kW의 유효전력과 25.7kVar의 무효전력을 공급한다. 또한, 8초 후에 소방펌프가 정격으로 동작하여 비상발전기는 14.0kW의 유효전력과 10.0kVar의 무효전력을 공급한다. 한편, Fig. 13은 ESS 부하시험장치의 충전동작에 의한 비상발전기의 유·무효전력 출력특성을 나타내며, 비상용부하에 의한 비상발전기의 출력과 동일한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 즉, 제안한 ESS 부하시험장치를 이용하면, 상용전원을 차단하지 않고 실계통의 비상용부하를 사용하는 것과 동일하게 비상발전기의 성능을 확인할 수 있어 제안한 ESS 부하시험장치의 유용함을 알 수 있다.

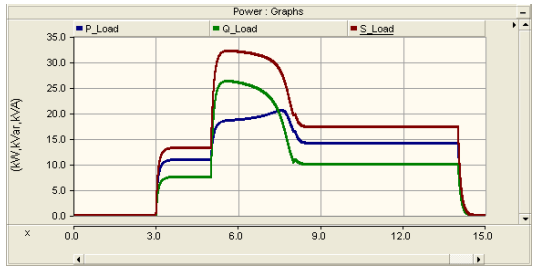


Fig. 12. Output characteristics of generator for emergency load in fire condition

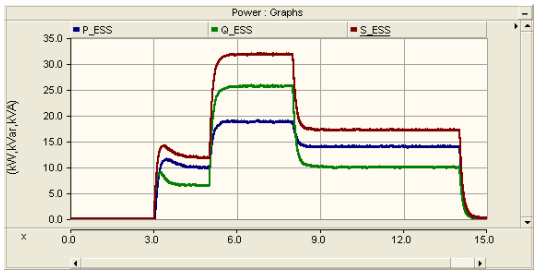


Fig. 13. Output characteristics of generator for ESS load test device in fire condition

5.2 ESS 부하시험장치에 의한 성능특성 분석

(1) 정전 시 비상발전기의 부하시험 특성

본 논문에서 구현한 20kW급 ESS 부하시험장치를 이용하여, 정전 시 비상발전기의 부하시험특성을 나타내면 Fig. 14, Fig. 15와 같다. 여기서, Fig. 14는 비상용부하의 동작에 따른 비상발전기의 출력을 나타내며, 비상용부하의 동작에 따라 3초 후에 비상발전기는 9.3kW의 유효전력과 6.3kVar의 무효전력을 공급한다. 한편, Fig. 15는 20kW급 ESS 부하시험장치의 충전동작에 의한 비상발전기의 출력특성을 나타내며, 3초 후에 비상발전기는 9.4kW의 유효전력과 6.1kVar의 무효전력을 공급한다. 즉, ESS의 스위칭 동작으로 비상발전기의 출력이 약간 변동하지만, 실계통 비상용부하에 의한 출력특성과 거의 동일함을 알 수 있다.

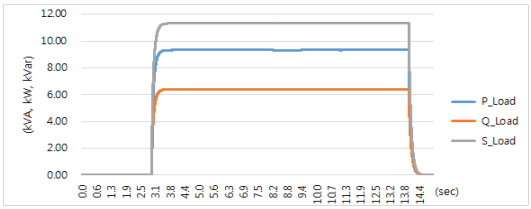


Fig. 14. Output characteristics of generator for emergency load in blackout condition

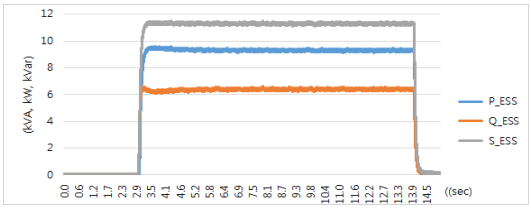


Fig. 15. Output characteristics of generator for ESS load test device in blackout condition

(2) 화재 시 비상발전기의 부하시험 특성

화재 시 비상발전기의 부하시험 특성을 나타내면 Fig. 16, Fig. 17과 같다. 여기서, Fig. 16은 비상용부하의 동작에 따른 비상발전기의 출력을 나타내며, 비상용부하의 동작에 따라 3초 후에 비상발전기는 10.6kW의 유효전력과 7.4kVar의 무효전력을 공급하고, 5초 후에 소방펌프가 기동하여 18.9kW의 유효전력과 25.6kVar의 무효전력을 공급한다. 또한, 8초 후에 소방펌프가 정격으로 동작하여 비상발전기는 14.2kW의 유효전력과 10.2kVar의 무효전력을 공급한다. 한편, Fig. 17은 20kW급 ESS 부하시험장치의 충전동작에 의한 비상발전기의 유·무효전력 출력특성을 나타내며, 실계통 비상용부하에 의한 비상발전기의 출력과 동일한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 제안한 ESS 부하시험장치의 특성이 실계통 비상용부하의 특성이 거의 동일하여 본 논문에서 제안한 시험장치의 유용함을 확인 할 수 있다.

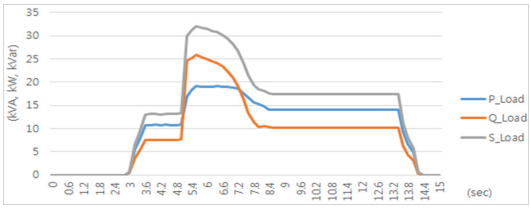


Fig. 16. Output characteristics of generator for emergency load in fire condition

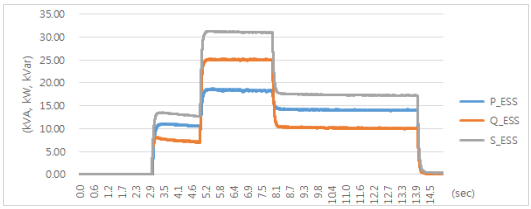


Fig. 17. Output characteristics of generator for ESS load test device in fire condition

5.3 종합분석

PSCAD/EMTDC 모델링을 이용한 시뮬레이션결과와 20kW급 ESS 부하시험장치에 의한 시험결과를 비교하여 나타내면 Table 7, Table 8과 같다. 여기서, Table 7은 정전시의 특성을 나타내고, Table 8은 화재시의 특성을 나타낸 것이다. 이 표에서와 같이, 정전 및 화재시 비상발전기의 부하시험에 대한 시뮬레이션 결과와 시험결과가 거의 동일함을 알 수 있다. 따라서, 제안한 ESS 부하시험장치를 이용하면, 상용전원을 차단하지 않고 실제 비상용부하를 사용하는 것과 동일하게 비상발전기의 성능을 확인할 수 있음으로 제안한 ESS 부하시험장치의 유용함을 알 수 있다.

Table 7. Load test characteristics of emergency generator in blackout

items	type of load	capacity of load		
		kW	kVar	kVA
PSCAD/ EMTDC	emergency load	9.5	6.4	11.4
	ESS	9.4	6.2	11.3
ESS load test device	emergency load	9.3	6.3	11.5
	ESS	9.4	6.1	11.4

Table 8. Load test characteristics of emergency generator in fire

items	type of load	operation state of pumping load	capacity of load		
			kW	kVar	kVA
PSCAD/ EMTDC	emergency load	stop	10.8	7.5	13.3
		starting-up	18.8	25.7	33.2
		steady-state	14.0	10.0	17.3
	ESS	stop	10.2	7.3	13.1
		starting-up	18.6	25.5	33.1
		steady-state	14.2	10.1	17.2
ESS load test device	emergency load	stop	10.6	7.4	13.2
		starting-up	18.9	25.6	33.1
		steady-state	14.2	10.2	17.1
	ESS	stop	10.7	7.3	17.2
		starting-up	18.8	25.4	33.3
		steady-state	14.3	10.1	17.2

6. 결론

소방대상물의 상용전원 정전에 따른 저압기기 파손, 병원 등의 응급부하 정지 등의 심각한 문제점 발생 우려에 따라 무부하 운전시험에 그치고 있는 실정을 개선하고자 소방부하의 전원용량과 특성에 부합하는 충전방식의 ESS를 부하장치로 이용하여 소방부하의 사용시간 및 출력용량을 확인할 수 있는 비상발전기의 부하운전시험 방안을 제시하였다. 본 논문의 유용성을 확인하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용한 비상전원계통을 모델링하고, 20kW급 ESS 부하시험장치를 구현하였다. 본 논문의 주요내용과 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) PSCAD/EMTDC 모델링을 이용한 시뮬레이션결과와 20kW급 ESS 부하시험장치에 의한 시험결과를 비교하면, 정전 및 화재시 비상발전기의 부하시험 특성이 거의 일치함을 알 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 ESS 부하시험장치는 상용전원을 차단하지 않고 실제 비상용부하를 사용하는 것과 동일하게 비상발전기의 성능을 확인할 수 있었다.

(2) 소방 부하용량 및 특성에 부합하는 소방용 비상발전기의 부하시험용 ESS를 개발하여 보급한다면, 실무현장에서 부하운전시험으로 비상발전기의 기동불량 및 정지 등을 미리 확인하고 조치할 수 있어, 소방용 비상전원의 신뢰성 향상에 크게 기여할 수 있을 것이다.

(3) 향후 부하시험용 ESS를 이동식으로 개발하여 보급한다면 비상발전기 시험 시 ESS에 충전된 전력을 방전하여 전력을 판매하거나, 소방시설을 연 2회 점검하여야 할 소방시설관리업체 등에 판매 또는 임대하는 등의 상호 보완적인 상생기반의 비즈니스 모델을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] National Fire Agency, “Act on Fire Prevention and Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-fighting Systems”, Article 25: In-House Inspection, etc. on Fire-Fighting Systems, etc.

[2] Korea Electrical Safety Corporation, “Inspection Guidelines for Emergency Power Generation Facilities”, KESG-Ⅳ-M-7-2012, 2012.

[3] National Fire Agency, “National Fire Safety Code NFSC 102”, Article 8: sources of electricity.

[4] The Seoul Institute, “A Study on the Utilization of Emergency Generators as a Backup Power System”, 2014-PR-11, 2014.

[5] Korea Occupational Safety & Health Agency, “Technical Guidelines for Decision and Installation of Emergency Power Source”, KOSHA GUIED E-84-2011, 2011.

[6] Korea Electric Engineers Association, “An Investigation on the Operational Status and Perception of Emergency Power Generators for Effective Response to Power Supply Crisis”, 2013.

[7] Ministry of Trade, Industry & Energy, “The ESS will be a way to utilize emergency power source”, Press Resources, 2016.

[8] Jong-Yong Wang, Byung-Ki Kim, Jea-Bum Park, Byung-Mok Kim, Eung-Sang Kim, Dae-Seok Rho, “A Study on the Modeling and Operation Algorithm of Independent Power System for Carbon Free”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65, No. 5, pp. 760~768, 2016.
DOI: http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.5.760

[9] Hong-Yeol Choi, Sung-Sik Choi, Min-Kwan Kang, Dae-Seok Rho, “Optimal Voltage Control Algorithm of Small Hydro Generators for Voltage Stabilization in Distribution system with large scaled PV systems”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67, No. 7, pp. 824~832, 2018.
DOI: http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.7.824

[10] Min-Kwan Kang, Sung-Sik Choi, Jae-Beom Park, Yang-Hyeon Nam, Eung-Sang Kim, Dae-Seok Rho, “A Study on the Modeling Method of Performance Evaluation System for MW Scaled Energy Storage System Using the PSCAD/EMTDC”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 66, No. 6, pp. 885 891, 2017.
DOI: http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.6.885

[11] Yang-Hyun Nam, Sung-Sik Choi, Min-Kwan Kang, Hu-Dong Lee, Ji-Hyun Park, Dae-Seok Rho, “A Study on the Large-scale Adoption Method of Distribution System Interconnected with PV System by Energy Storage System”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67, No. 8, pp. 1031~1039, 2018.
DOI: http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.8.1031

[12] Sung-Sik Choi, Min-Kwan Kang, Hu-Dong Lee, Yang-Hyun Nam, Ji-Hyun Park, Dae-Seok Rho, “A Study on an Evaluation Modeling of Power System Performance for Frequency Regulation ESS Based on the PSCAD/EMTDC”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67, No. 8, pp. 1024~1030, 2018.
DOI: http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.8.1024

최 승 규(Seung-Kyou Choi) [정회원]

- 1998년 2월 : 강원대학교 회계학과 (경영학사)
- 2014년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학박사수료)
- 1998년 2월 ~ 2019년 2월 : 소방시설 관련업 대표이사 외
- 2019년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 재난안전소방학과 교수

〈관심분야〉
소방전기/기계 계통, 전기저장장치, 화재/소방안전

이 후 동(Hu-Dong Lee) [정회원]

- 2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

〈관심분야〉
배전계통 운용, 신재생에너지, 마이크로그리드, 보호협조

최 성 식(Sung-Sik Choi) [정회원]

- 2010년 5월 : 한국기술교육대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학중

〈관심분야〉
배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질 해석

페레이라 마리토(Marito Ferreira) [정회원]

- 2013년 2월 : 동티모르 국립대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

〈관심분야〉
전력품질 해석, 분산전원, 전기저장장치

노 대 석(Dae-Seok Rho) [정회원]

- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

〈관심분야〉
전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석