

비상발전기용량 산정식 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of the Arithmetic for Emergency Generator Capacity

이 종 혁* · 김 진 오†
(Jong-Hyuk Lee · Jin-O Kim)

Abstract - This paper describes the improvement of the arithmetic for emergency generator capacity. This formula which calculates emergency generator is dependent on the Korean Design Standard of building electrical equipment issued by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and the technical data related to the generator. when applying the formula, the capacity of the generator is insufficient at the starting conditions of the load facility. In case of emergency, the generator is not operated normally. PG_2 of the formula (PG_1, PG_2, PG_3) applied in determining the capacity of the emergency generator is selected by calculating the capacity of the generator based on only biggest one motor among the load equipment and PG_3 may not be able to start the generator normally in case of emergency because there is an error such that the power factor is applied at the last start of the motor having the maximum capacity of the load. We analyze the problem of capacity calculation of emergency generators used for general purposes. As a consequence, the improved formulas have been presented for safety of electrical installation.

Key Words : Emergency generator capacity, PG_1, PG_2, PG_3

1. 서 론

비상발전기는 전력시설물에 전력을 공급하는 상용전원 공급설비의 이상이 발생하거나 소화 활동 등 비상상태 발생을 대비하여 전력설비에 전원을 공급할 목적으로 시설한다. 산업현장에서는 이러한 비상발전기의 용량을 산정함에 있어 일반적으로 국토교통부의 '국가건설기준 KDS 31 60 20'[1]을 적용하여 계산하고 있다. 이 설계기준에 의하면 비상발전기의 용량산정 시 적용하고 있는 공식(PG_1, PG_2, PG_3)를 각각 계산하여 그중 가장 큰 발전기 용량을 정하도록 하고 구체적인 수식까지 제시하고 있다. 그러나 비상발전기 용량을 산정하는 수식이 '국가건설기준 KDS 31 60 20'뿐 아니라 국내 각종 기관의 기술자료 등에서도 수식이 각각 다르며 잘못된 부분을 발견하게 되었다. 잘못된 수식을 적용하여 발전기의 용량이 부족한 경우 비상발전기의 운전이 정지되므로 비상시 인명과 재산의 막대한 피해를 초래하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 내재한 채 적용해 왔던 비상발전기 용량산정식을 검토 분석하여 안전성 확보에 적합한 비상발전기 용량산정식 개선 방안을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 소방 부하용 비상발전기용량 산정식의 현황(PG 방식)

발전기 용량계산은 PG 방식과 RG 방식으로 분류할 수 있는데 PG 방식은 부하에 사이리스터 부하가 포함되지 않은 경우에 적용한다. PG 방식 계산방법은 정상상태 부하운용에 필요한 용량(PG_1), 부하중 최대 기동 값을 갖는 전동기 기동시 순시 허용 전압강하 대비용량(PG_2) 및 발전기를 기동하여 부하에 사용 중 최대 기동 값을 갖는 전동기를 마지막으로 시동할 때 필요한 용량(PG_3)를 계산하여 가장 큰 값을 적용하며 계산 수식은 아래와 같다[1-2].

(1) PG_1 용량 (kVA) 계산

$$PG_1 = \frac{\sum P_L \times Df_L}{\eta_L \times \cos\theta_L} \text{ kVA} \quad (1)$$

$\sum P_L$: 부하의 출력 합계 (kW)

Df_L : 부하의 종합 수용률

η_L : 부하의 종합 효율 (불분명시 0.85 적용)

$\cos\theta_L$: 부하의 종합 역률 (불분명시 0.8 적용)

(2) PG_2 용량 (kVA) 계산

$$PG_2 = P_m \times \beta \times C \times x_d'' \times \frac{1 - \Delta V}{\Delta V} \quad (2)$$

† Corresponding Author : Professor, Electrical Engineering of Hanyang University, Korea.
E-mail : upslee@korea.com

* Electrical Engineering of Hanyang University, Korea.

Received : September 13, 2018; Accepted : October 17, 2018

여기서

- P_m : 최대 기동 전류를 갖는 전동기 출력(kW)
- β : 전동기 기동 계수
- C : 기동 방식에 따른 계수
- x_d'' : 발전기 정수
- ΔV : 발전기 허용 전압 강하율(승강기 경우 20%, 기타 25%)

(3) PG_3 용량(kVA) 계산

$$PG_3 = \left\{ \frac{\Sigma P_L - P_m}{\eta_L} + (P_m \times \beta \times C \times Pf_m) \right\} \times \frac{1}{\cos\theta_L} \quad (3)$$

여기서 Pf_m : 최대 기동 전류를 갖는 전동기 기동시 역률
(불분명시 0.4 적용)

그 외 표기는 식 (1), (2)에서와 같다.

한국산업안전공단의 “비상발전기의 선정 및 설치에 관한 기술 지침”[3]과 LH공사의 “주택분야 전기·정보통신 설계지침”[4] 등 대부분의 공공기관에서 PG 방식의 발전기 용량계산은 상기 수식과 같은 방식으로 산정하고 있으며, 서울특별시 SH공사의 “전기·정보통신 설계 기준”[5]은 RG 방식과 PG 방식을 적용하고 있다.

2.2 비상발전기용량 산정식의 문제점

2.2.1 발전기의 출력과 부하설비 입력간의 관계

종래 산정식에서는 비상발전기가 공급하여야하는 부하설비의 입력 용량 kVA와 동일하게 비상발전기의 출력용량도 kVA로 표시하고 있다.

발전기의 출력 용량 kW는 부하설비 용량 이상의 출력을 공급하여야 안정된 운전을 할 수 있으므로 발전기의 역률이 고려된 경우 ($kW/\cos\theta_G$)에 비상발전기의 출력용량을 kVA로 표시 하여야 한다 [6-7].

즉, 비상발전기가 공급하여야 하는 부하설비의 입력 용량 1,000 kVA에 전력을 공급하기 위한 비상발전기의 출력용량은 1,000 kW이고 지상역률 0.8을 적용하면 1,250 kVA로 계산하여야 한다.

그러나 부하설비의 입력 용량 1,000 kVA×발전기 역률(0.8)로 계산하여 발전기의 용량을 800 kW로 계산하여 적용하고 있으므로 비상발전기의 용량이 부족하게 되는 문제점이 발생한다.

또한 발전기의 출력 용량과 부하설비의 용량이 똑같을 수 없으므로 등호(=)의 표현은 적합하지 않다. 부하 설비 용량보다는 최소한 같거나 크게 산출 되어야 하므로 반드시 부등호(\geq) 표현이 타당하다.

2.2.2 PG_2 계산 시 기저부하설비 적용 누락에 의한 발전기 용량 부족

“ PG_2 는 부하 중 최대의 값을 갖는 전동기 또는 전동기군이

마지막으로 기동할 때의 허용 전압강하를 고려한다.”고 되어 있다[1].

그러나 수식 (2)를 보면 마지막 기동 전동기군만 고려되었고 그의 부하는 수식에서 누락되었음을 알 수 있다. 그림 1에서 $H_1 \sim H_n$ 은 전열부하이고 $M_1 \sim M_n$ 은 전동기와 같은 기동 시 역률이 존재하는 부하라고 하면, 전체부하(ΣP_L)는 $\Sigma P_L = \Sigma H_n + \Sigma M_n$ 과 같이 표현된다. 마지막 기동 전동기 또는 전동기군 M_n 을 최대전동기군 P_m 이라 하면, 전 부하에 대한 전압강하를 제대로 반영하기 위해서 부하 중 최대의 값을 갖는 전동기 또는 전동기군(P_m)을 제외한 부하($\Sigma P_L - P_m$)에 대한 용량 P_B 를 식 (4)과 같이 계산하여 현재의 PG_2 공식에 가산하여야 한다.

$$P_B = \frac{\Sigma P_L - P_m}{\eta_L \times \cos\theta_L} \quad (4)$$

기존의 PG_2 공식은 그림 1의 M_n 전동기가 최대 용량의 전동기(P_m)라고 한다면 한 대의 전동기만을 공급하는 비상발전기의 경우는 현재의 수식이 적합하다고 볼 수 있다.

그러나 그림 1과 같이 여러 종류의 부하에 전원을 공급하는 비상발전기의 경우는 식 (4)의 관련된 용량이 부족하게 되어 나머지 전동기군을 포함한 모든 부하를 전혀 고려하지 않은 수식이 되어 비상발전기의 용량이 부족하게 되는 문제점이 발생한다.

그림 1의 기저부하(P_B)를 입력으로 환산한 용량은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 비상 부하 전체 중 시동 전류가 가장 큰 전동기 1대의 용량만을 고려한 기존 공식을 적용한다면 식 (4)에 관련된 용량이 누락되어 매우 부족한 발전기 용량 이 산출되므로 무의미한 식이 되고 만다.

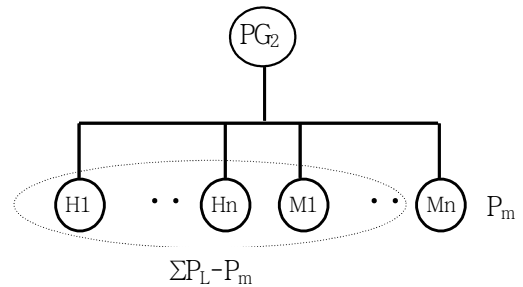


그림 1 비상부하 구성 예

Fig. 1 Example of Emergency Load Configuration

2.2.3 PG_3 계산 시 최대기동 전류를 갖는 전동기의 기동 시 역률 적용에 의한 발전기 용량 부족

“ PG_3 는 발전기를 시동하여 부하에 사용 중 최대 기동 전류를 갖는 전동기를 마지막으로 기동할 때 필요한 용량”으로 부하 설비 중 용량이 큰 전동기의 기동 특성을 다음에 기술하도록 한다.

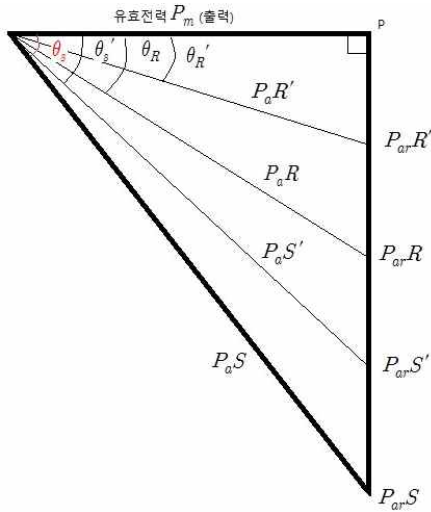


그림 2 벡터도
Fig. 2 Vector diagram

- $\cos\theta_s$: 직입기동 시 역률
- $\cos\theta_s'$: 보상기동 시 역률
- $\cos\theta_R$: 운전 시 역률
- $\cos\theta_R'$: 개선 운전 시 역률
- $P_a S$: 전동기의 직입기동 시 입력전력 ($V \times I$)
- $P_a S'$: 전동기의 기동보상기 적용 시 입력전력
- $P_a R$: 운전상태의 입력전력
- $P_a R'$: 운전상태의 입력전력(역률개선)
- $P_{ar} S$: Start(직입기동)무효전력
- $P_{ar} S'$: Start(기동보상기 채택)무효전력
- $P_{ar} R$: Running(운전)무효전력
- $P_{ar} R'$: Running(역률개선 운전)무효전력

그림 2는 전동기의 기동특성을 설명한 벡터도이다. 전압과 전류와의 곱 VI를 겉보기 전력 또는 피상 전력이라 하고 기호는 Pa로 표현하며 식 (5)과 같다.

$$P_a = VI \text{ VA} : [\text{전압의 실효값} \times \text{전류의 실효값}] \quad (5)$$

부하에서 실제로 소비되는 전력을 유효전력이라 하고 일반적으로 P라고 표현 하며 전압과 전류와 역률을 고려한 값으로서 식 (6)와 같다.

$$P = VI \cos\theta \text{ kW} \quad (6)$$

PG_3 에서는 이 기동특성을 고려하여 부하설비에 공급하여야 하는 피상 전력 $P_a S'$ 또는 $P_a S$ 가 발전기의 유효 출력이어야 한다. 그런데 식 (7)과 같이 기동계수에 $\cos\theta_s$ 를 곱하게 되면 부하출력 P_m 값과 같아지게 되어 발전기의 용량이 부족하게 된다.

$$P = P_m \times \beta \times C \times \cos\theta_s \text{ kW} \quad (7)$$

유도전동기의 기동은 정상 운전시보다 역률이 낮으므로 무효 전력이 급격히 소비되는 상태로 비상발전기의 무효전력도 급격하게 필요하게 되고, 이에 따라 발전기의 단자 전압도 저하하게 된다[8].

전동기의 토크와 전압의 관계는 식 (8)과 같은 관계가 있으므로 발전기 단자전압이 감소하면 전동기의 토크가 급격히 감소하게 된다[9].

이 때 전동기의 기동 토크가 부하 토크 보다 낮게 되면 전동기는 기동 실패하게 된다.

$$T \propto V^2 \quad (8)$$

T : 전동기 토크(Torque)

V : 전동기 단자 전압

그림 (3)은 농형유도전동기의 기동 시 역률[10]을 나타내며 전동기 용량에 따른 역률을 표 1로 환산하여 기저용량을 제외한 최대 전동기 기동 시에 필요한 발전기의 출력 용량을 역률을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 아래 표 1에서 비교하여 보았다.

(3.7 kW는 직입기동, 7.5~30 kW는 Y-Δ 기동, 37 kW 이상은 리액터 기동)

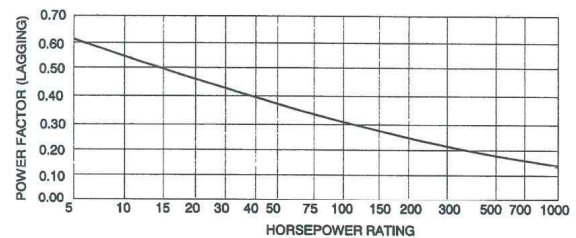


그림 3 일반적인 농형유도전동기의 기동 시 역률

Fig. 3 Approximate starting power factor of typical squirrel cage induction motors

표 1에서 최대용량 전동기 기동 시 부하에 공급하여야 할 발전기 출력을 전동기 용량 370 kW의 기동 시 역률 0.19이므로

$\beta=7.2$ $C=0.65$ 적용하여 계산하면,

① 기동시 역률 적용한 경우

$$P=370 \times 7.2 \times 0.65 \times 0.19 = 329 \text{ kW}$$

② 기동시 역률 적용하지 않은 경우

$$P=370 \times 7.2 \times 0.65 = 1,732 \text{ kW}$$

상기 계산 예 ②에서와 같이 370 kW 전동기 1대의 기동특성만을 고려한 발전기 용량은 1,732 kW이고 기동특성과 기동시 역률을 적용한 발전기 용량은 계산 예 ①과 같이 발전기 용량 329 kW로서 전동기 용량 370 kW보다 적게 되는 모순이 발생한다.

표 1 전동기 기동 특성을 고려한 전동기 역률 적용에 따른 발전기 출력용량 비교

Table 1 Comparison of generator output capacity with motor power factor application

전동기 용량 (kW)	기동시 역률	$\beta \times C$	발전기 출력 용량(kW)	
			전동기 역률적용	전동기 역률 미적용
3.7	0.62	7.2×1	16.5	26.7
7.5	0.55	7.2×0.67	19.9	36.2
11.0	0.50	7.2×0.67	26.5	53
15.0	0.47	7.2×0.67	34.0	72.3
22.0	0.43	7.2×0.67	45.36	106
30.0	0.40	7.2×0.67	57.8	144.6
37.0	0.38	7.2×0.65	65.9	173.2
55.0	0.34	7.2×0.65	87.5	257.4
75.0	0.31	7.2×0.65	108.8	351
110.0	0.28	7.2×0.65	114.1	514.8
150.0	0.26	7.2×0.65	192.5	702
220.0	0.22	7.2×0.65	226.5	1,030
370.0	0.19	7.2×0.65	329	1,732
525.0	0.17	7.2×0.65	417.7	2,457
750.0	0.15	7.2×0.65	542.2	3,615

표. 2 비상발전기 용량계산 실태 조사

Table 2 Survey on emergency generator capacity calculation

설치장소	비상부하 설비 합 (kW)	최대전동기 용량 (kW)	비상부하 입력용량 (PG ₃) (kVA)	발전기 선정용량 (kW)
00복합시설	702	75	1,068	925
00문화센터	1,150	75	1,026	1,000
00병원	296	75	478	400
00터미널	1,366	45	1,896	1,000*2
00연수원	541	55	797	750
00산업센터	237	75	330	300
00상업시설	1,065	110	1,231	1,270
00사옥	242	22	361	300
00오피스텔	293	110	532	450
00배구단	167	45	237	200
00주민센터	360	97	605	500
00허브	275	75	447	400
00병원신관	2,656	150	3,679	3,000
대전00지구	607	75	876	750
00아파트	1,590	75	2,190	1,750

이와 같이 대용량의 전동기 기동 시 역률을 고려하여 발전기의 용량을 산정하게 되면 최대용량의 전동기를 맨 마지막 기동할 경우 발전기의 용량 부족으로 전동기의 기동 실패가 일어나게 되고 비상발전기로서의 역할을 할 수 없게 된다.

표 2는 국내 전기설계 사무소에서 작성된 비상발전기의 용량 계산서를 검토 분석한 내용으로서 PG₂는 적용된 사례가 없으며

로 PG₃ kVA로 적용한 15곳을 표본 조사한 내용이다.

상기 표 2에서 비상발전기 출력에 필요한 용량계산서를 살펴보면 (PG₃) 최대전동기의 기동 시 역률은 전동기 용량에 상관없이 0.4를 적용하였으며, 발전기의 역률은 0.8을 적용하여 계산하였다.

모든 계산서가 계산된 총 부하입력 kVA를 발전기 출력 kW로 표시하여야 하지만 발전기 출력 kVA로 적용하였으며, 이 출력 값 kVA×발전기 역률(0.8)을 발전기 출력 kW로 산정하므로 비상발전기의 용량이 부족하게 된다.

최대 전동기의 용량이 소용량인 경우에는 발전기용량 차이가 적어 문제점이 없지만 전동기가 대용량으로 갈수록 기동 시 역률이 낮으므로 발전기의 용량계산 값이 적어지게 되므로 심각한 문제점이 발생한다.

2.3 비상발전기용량 산정식의 연구결과 식

2.3.1 개선된 비상발전기용량 산정식 도출

정상상태 부하운용에 필요한 비상발전기의 용량(PG₁)은 식 (9)과 같이 계산하고 발전기 출력의 단위는 kW로 하며, 발전기 역률을 고려한 경우에는 식 (10)과 같이 계산하여 발전기 용량을 kVA로 나타낸다[6-7].

$$PG_1 \geq \frac{\Sigma P_L \times Df_L}{\eta_L \times \cos\theta_L} \text{ kW} \quad (9)$$

$$PG'_1 \geq \frac{\Sigma P_L \times Df_L}{\eta_L \times \cos\theta_L} \times \frac{1}{\cos\theta_G} \text{ kVA} \quad (10)$$

부하 중 최대의 값을 갖는 전동기 또는 전동기군이 마지막으로 시동할 때의 허용 전압강하를 고려한 비상발전기의 용량(PG₂)는 현행계산 식 (2)에 전동기 기동전 기저부하용량인 식 (4)를 가산하여 식 (11)와 같이 계산하고 발전기 출력의 단위는 kW로 하며, 발전기 역률을 고려한 경우에는 식 (12)과 같이 계산하여 발전기 용량을 kVA로 나타낸다.

$$PG_2 \geq \left(\frac{\Sigma P_L - P_m}{\eta_L \times \cos\theta_L} + P_m \times \beta \times C \times x_d'' \times \frac{1 - \Delta V}{\Delta V} \right) \text{ kW} \quad (11)$$

$$PG'_2 \geq \frac{PG_2 (kW)}{\cos\theta_G} \text{ kVA} \quad (12)$$

발전기를 기동하여 부하에 사용 중 최대 기동 전류를 갖는 전동기를 마지막으로 기동할 때 필요한 용량(PG₃)은 현행계산 식 (3)에서 최대 기동 전류를 갖는 전동기 기동시 역률(Pf_m)을 삭제한 식 (13)과 같이 계산하고 발전기 출력의 단위는 kW로 하며, 발전기 역률을 고려한 경우에는 식 (14)와 같이 계산하여 발전기 용량을 kVA로 나타낸다.

$$PG_3 \geq \frac{\Sigma P_L - P_m}{\eta_L \times \cos\theta_L} + P_m \times \beta \times C \text{ kW} \quad (13)$$

$$PG'_3 \geq \frac{PG_3(kW)}{\cos\theta_G} \text{ kVA} \quad (14)$$

여기서 각종 정수와 상수에 대한 설명은 '국가건설기준 KDS 31 60 20' [[1]과 동일하므로 본 논문에서는 생략한다.

2.3.2 비상발전기용량계산 사례 비교

표 2에서 조사한 00문화 센터를 예를 들어 비상부하설비의 합 1,150 kW, 최대 전동기 용량 75 kW, 부하의 종합 효율 0.9, 역률 0.9일 때 아래 조건에 적합하게 전력을 공급하는 발전기 용량을 현행 PG계수법을 적용한 것과 개선된 계산식을 적용하여 발전기 용량을 비교 검토하기로 한다.

(단, 리액터 기동방식(TAP 65 %)으로

기동계수($\beta \times C$): 7.2×0.65

전동기 기동 시 역률: 0.31,

발전기 정수 $x''_d = 0.25$

ΔV : 발전기 허용전압 강하율 20 % 발전기 역률: 0.8 적용한다.)

PG_2 를 적용한 비상발전기 용량에 있어서 현행 계산식 (2)를 적용하면 다음과 같다.

$$PG_2 = 351 \text{ kVA}$$

개선된 계산식 (11)과 (12)를 적용할 경우 다음과 같다.

$$PG_2 \geq 1,678 \text{ kW}$$

$$PG'_2 \geq 1,678/0.8 = 2,098 \text{ kVA}$$

PG_3 를 적용한 비상발전기 용량에 있어서, 현행 계산식 (3)을 적용하면 다음과 같다.

$$PG_3 = 1,449 \text{ kVA}$$

개선된 계산식 (13)과 (14)를 적용할 경우 다음과 같다.

$$PG_3 \geq 1,678 \text{ kW}$$

$$PG'_3 \geq 1,678/0.8 = 2,098 \text{ kVA}$$

상기 계산 예에서와 같이 현행 PG_2 를 적용하여 계산한 발전기의 용량은 최대 전동기 부하를 제외한 기저 부하의 용량을 고려하지 않고 최대전동기용량의 전동기 기동시의 전압강하만을 고려하여 계산하므로 적용 예를 찾아볼 수 없는 계산식이 되었다.

현행 PG_3 를 적용하여 계산한 발전기의 용량은 최대용량 전동기를 기동 시 전동기 입력에 필요한 용량에 역률을 곱하게 되어 발전기용량이 줄어들게 된다.

또한 개선된 계산식으로 PG_2 를 계산할 때 발전기 정수 $x''_d = 0.25$ 와 발전기 허용 전압 강하율(ΔV)을 20 %로 적용하면 PG_2 와 PG_3 는 같게 됨을 알 수 있으며, 동일한 조건으로 발전기 허

용 전압 강하율을 20% 미만으로 적용하게 되면 $PG_2 > PG_3$ 가 되어 PG_2 에 의하여 계산된 발전기 용량을 선정하여야 한다.

3. 결 론

본 연구에서는 종래 비상발전기 용량 산정식(PG방식)을 검토 분석하여 문제점 도출 및 개선된 용량 산정식을 제시하였다. PG_2 계산 시 기저부하용량 미적용 및 PG_3 계산 시 최대용량 전동기 기동 역률 적용으로 발전기 용량 부족에 대한 문제점을 분석하고 이에 대해 개선된 용량 산정식을 도출하였다. 이에 따라 비상발전기의 용량은 비상부하의 종류에 따른 기동특성과 허용 전압강하를 고려하여 산정되어야 한다. 즉 계통사고에 기인된 정전 시 비상부하설비에 안정된 전력을 공급해야 하므로 비상발전기의 용량산정은 신중하게 검토되어야 한다.

현재 국내 설계사 자료, 국가건설기준, 전기설비 관련 전문 기술서적 등에 비상발전기 용량산정식의 오류 공식이 수정되지 않고 있어 고가의 비상발전기 설비가 재 교체되는 사례가 빈번하다. 또한 이러한 문제점을 인지하면서도 국토교통부의 국가건설기준을 준용하여 설계 시 비상발전기의 용량을 계산하고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 바와 같이 개선된 연구 식으로 국가건설기준을 조속히 개정하여야 함은 물론 교육과정에서부터 현장 실무에 이르기까지 광범위하게 적용되어 비상시에 안정된 비상전력이 차질 없이 공급될 수 있기를 기대한다.

References

- [1] Ministry of land, Infrastructure and Transport, "Korean Design Standard 31 60 20", pp.13-17, 2016.
- [2] H. G. Choi, Y. J Song, and S. W Park, and et al., "Design of the latest power facilities", *BM Sung an Dang*, 1st Ed, pp. 210-212, 2011.
- [3] Korea Occupational Safety & Health Agency, "Guidelines for the selection and installation of emergency generators", pp. 6-8, 2004.
- [4] Korea Land & Housing Corporation, "Guidelines for the design of housing and electricity and information and communication", pp.95-98, 2010.
- [5] Seoul Housing & Communities Corporation, "Electricity and information communication design standard", pp. 54-59, 2016.
- [6] J. H. Lee., "A Study on Calculation Method for Fire Load (PG) of Calculating generator capacity of building electrical design standard", *Electric Engineers Magazine*, Vol. 406, pp. 44-47, 2016.06
- [7] D. H. Kwon, "A study on improvement method of generator capacity calculation method considering engine output for generator", *M.Sc. Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science Graduate*

School of Hanyang University, pp. 33-37, 2017.

- [8] S. J. Lee, "Study on Emergency Generator Capacity Selection considering Large Motor Starting", M.Sc. Thesis, Department of Electrical Engineering Graduate School of Soongsil University, pp. 22-43, 2016.
- [9] "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis", *The Institute of Electrical and Electronics*, Inc IEEE Std 339, 1997.
- [10] IEEE Standards Board, "IEEE Design Guide for Electric Power Service Systems for Generating Stations", *IEEE Std 666-1991*, pp. 231, 1991.
- [11] J. H. Lee, D. W. Seo, and J. O. Kim, "A Study on Emergency Generator Capacity Calculation (PG)", *49th KIEE Conference on Power System*, pp. 291-292, 2018. 7.
- [12] J. T. Kim.. and W. Rhee, "Some Considerations on the Capacity Estimation of Emergency Electric Generator in Apartment Complex", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, pp. 68-77, 1996.8.
- [13] S. J. Lee, M. Y. Choi, S. Y. Kim, and Y. T. Kim, and et al., "Study on Emergency Generator Capacity Selection (PG3) in the Chemical Plant", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, pp. 55-60, 2015.12.



김진오 (Jin-O Kim)

He received the B.S. and M.S. degrees in electrical engineering from Seoul National University, Seoul, Korea, respectively, and the Ph.D. degree from Texas A&M University, College Station, TX, USA.

Currently, he is a Professor with the Department of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea. His research interests are power system monitoring, protection and power quality problems involved with renewable energy sources.

저자 소개



이종혁 (Jong-Hyuk Lee)

He received the B.S. degree in electrical engineering from Seoul National University of Science And Technology, and M.S. degree in electrical engineering from Hanyang University. He is studying for

Ph.D course in Hanyang University, Korea.