

최근 비상용 발전기의 용량 산정

글/이지수(한국전기공업협동조합 이사)

※ 차 례 ※

1. 머리말
2. 비상용 발전설비의 사용목적과 기능
3. 비상용 발전설비의 일반적 용량 산정법
4. 비상용 발전설비의 용량 산정에 있어 새로운 개념
5. 새로운 개념에 따른 발전기의 용량 산정에 관해서
6. RG와 RE 값의 조정
7. 자가 발전기의 고조파 전류 영향
8. 맺는말

1. 머리말

최근 건물이 대형화, 고층화 및 인텔리전트화로 발전되면서 건물기능의 효율화와 관리의 극대화를 위하여 각종 건물 부대설비의 고도화, 안정화 등을 추구하고 있으며 엘리베이터, 공조, 조명 및 정보처리설비 등이 안정화로 운영

되도록 전력공급 시스템의 구성에 주안점을 갖게 되고 있다.

따라서 전력계통의 사고로 인한 정전 또는 건물에서 화재 등 재해가 발생되었을 경우 건물의 최소기능을 유지할 수 있는 전원의 확보는 반드시 필요하며 이를 위한 비상 예비전원으로 자가 발전설비, 축전지 설비 등이 이용되고 있다.

외국에서는 자가 발전설비를 비상용 예비전원으로 선정할 시 부하특성에 따라 발전기와 원동기(디젤엔진, 가스터빈 등)의 출력을 선정하는데 있어 산출방법을 표준화로 운영하고 있는 실정이다.

본고에서는 일본에서 표준화로 사용하고 있는 비상용 자가 발전설비의 출력산출방법(일본 내연력 발전설비협회의 단체규격 NEGA-C-201)에 관해 기본적인 주요내용을 소개하고 개략적인 기술해설을 하고자 한다.

2. 비상용 발전설비의 사용목적과 기능

1) 상용전원의 정전대책용

상용전원이 계통사고로 인하여 정전이 발생하였을 시 각종 정보처리 시스템, 컴퓨터장치, 보안용설비, 공조용설비 및 조명과 동력용 전원으로 비상용 예비전원이 필요하다.

2) 화재발생시 방재 부하설비의 전력 공급용

화재가 발생되었을 시 각종 소화설비, 비상용

엘리베이터, 소화전 펌프 등의 가동을 위하여 비상용 예비전원이 필요하다.

종래 비상용 발전설비는 대개 건물의 방재부하설비를 대상으로 발전기 용량을 선정하였으나 건물이 대형화, 고층화 및 인텔리전트화의 추세로 건물기능 유지를 위한 필요 전력량을 가산한 비상 예비전력이 필요하게 되어 비상용 발전설비의 용량은 대형화로 선정되고 있으며 높은 운전 신뢰성을 요구하고 있다.

또한 기능면에 있어 상용과 비상용의 겸용으로 운전되는 경우가 증가되고 있으며 상용계통과 연계된 운전방식은 병렬운전, 단독운전 및 순시병렬운전으로 상용전원의 전력 Peak-Cut 및 에너지사용합리화를 도모하기 위한 Co-Generation System의 열병합식 발전방식 등이 채용된 비상용 예비전원의 기능을 갖고 있다.

한편 짧은 시간에 급전할 수 있는 공급신뢰를 위하여 자가 발전설비의 운영과 관리기술이 매우 중요시되고 있어 이 분야의 기술적 연구가 급진적으로 진행되고 있다.

3. 비상용 발전설비의 일반적 용량 산정법

비상용 발전기의 용량산출은 설치목적에서 정한 부하의 용량뿐만 아니라 부하군으로서의 시동특성, 시동순서 등을 충분히 검토하여 발전기의 용량을 산정해야 한다.

일반적으로 다음의 세가지 관점에서 계산하여 그 중 최대의 것을 선택하는 것이 통례이다.

1) 전부하 정상운전시의 소요입력에 의한 용량

부하가 전동기인 경우 시동시에 큰 시동전류로 인하여 시동용량이 크게 필요하므로 전동기의 출력을 부하의 상시 소요전력으로 집계하여 발전기의 용량으로 산정해서는 안된다.

지금 부하가 A, B, C ... N [kW]가 있다면,

출력 : $P_A P_B P_C \dots P_N$ [kW]

효율 : $\eta_A \eta_B \eta_C \dots \eta_N$ [%]

부하율 : $L_A L_B L_C \dots L_N$ [%]

발전기가 담당하는 유효분 출력을 P_1 이라고 하면,

$$P_1 = \frac{P_A L_A}{\eta_A} + \frac{P_B L_B}{\eta_B} + \frac{P_C L_C}{\eta_C} + \dots + \frac{P_N L_N}{\eta_N} \text{ [kW]}$$

발전기의 무효분 출력을 Q_1 이라고 하면,

$$Q_1 = \left(\frac{P_A L_A}{\eta_A F_A} \times \sqrt{1 - F_A^2} \right) + \left(\frac{P_B L_B}{\eta_B F_B} \times \sqrt{1 - F_B^2} \right) + \left(\frac{P_C L_C}{\eta_C F_C} \times \sqrt{1 - F_C^2} \right) + \dots + \left(\frac{P_N L_N}{\eta_N F_N} \times \sqrt{1 - F_N^2} \right) \text{ [kVA]}$$

따라서 정상운전에 필요한 발전기의 용량을 S_1 이라고 하면,

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} \text{ [kVA]} \dots\dots\dots \text{①}$$

2) 전동기 시동시에 필요한 발전기의 용량

Se [kVA]의 유효분 출력을 Pe [kW], 무효분 출력을 Qe [kVA]에 전동기의 시동용량을 Sm [kVA], 역률 Fm [%]이라고 하면 시동시에 필요한 발전기의 유효분 출력을 P_2 라고 하면,

$$P_2 = Pe + Sm Fm \text{ [kW]}$$

시동시에 필요한 무효분 출력 Q_2 는

$$Q_2 = Qe + Sm \times \sqrt{1 - Fm^2} \text{ [kVA]}$$

따라서 발전기 용량을 S_2 라고 하면,

$$S_2 = \frac{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}}{15} \text{ [kVA]} \dots\dots\dots \text{②}$$

단, 시동순시[kVA]를 전동기의 정격용량에 대하여 50% 과부하 이내로 억제한다.

3) 전동기 시동시의 전압강하를 고려한 발전기의 용량

전동기 시동시 시동전류가 크고 역률이 낮아 지므로 발전기의 출력단에는 전압강하가 발생된

다.

전압강하를 ΔE 라고 하면 다음식으로 계산된다.

$$\Delta E = \frac{X_d}{X_d + \frac{P[\text{kVA}]}{Q_L[\text{kVA}]}}$$

여기서 ΔE : 전압강하[PU]

Q_L : 시동시 돌입용량[kVA]

P : 발전기용량[kVA]

X_d : 발전기의 직축과도 리액턴스 (20~30%)

발전기의 출력측 전압강하는 직축과도 리액턴스가 일정하다고 보면 발전기 용량과 시동부하 용량의 비로 결정된다.

따라서 전압강하 ΔE 에 대응하기 위한 발전기의 용량을 S_s [kVA]라고 하면,

$$S_s = \frac{(1 - \Delta E)}{\Delta E} \cdot X_d \cdot Q_L \text{ [kVA]} \dots\dots\dots ③$$

4. 비상용 발전기의 용량 산정에 있어 새로운 개념

- 1) 일본에서는 KS C 4205(유도전동기의 기동계급)와 동일한 내용의 JIS C 4204는 현실과 적합치 않다는 이유로 폐지하고 신타조사로 이 규격을 대신할 수 있는 전동기 시동시에 필요한 값을 따로 정하여 사용하고 있다.
- 2) 최근 전력전자기술의 진전으로 무정전 전원장치, 인버터 등의 위상변환설비가 증가하고 있으며 전동기의 구동이 인버터장치 등으로 행함으로써 계통에 고조파 발생으로 인한 영향에 대응할 수 있는 발전기 용량 산정이 대두되고 있다.
- 3) 화재 등의 재해가 발생하였을 시 짧은 시간내에 기동하기 위한 방재설비, 즉 비상용 엘리베이터, 소화펌프 등의 출력환산계수를 적용한 발전기의 용량 산정이 고려되

고 있다.

- 4) 단상부하의 경우 불평형부하의 선전류 증가계수($S_f = 1 + 0.6 \frac{\Delta P}{K}$)로 하여 발전기의 용량 산정을 어느 정도의 불평형부하에는 대응할 수 있도록 명확히 규정하고 있다(ΔP : 단상불평형분출력[kW], K : 해당부하 설비의 합계[kW]).

5. 새로운 개념에 따른 발전기의 용량 산정

1) 발전기의 출력 산정

일본내연력발전설비협회의 단체규격에는 발전기의 출력을 다음 식으로 산출하도록 규정되어 있다.

$$G = RG \cdot K \dots\dots\dots ④$$

여기서 G : 발전기의 출력[kVA]

RG : 발전기의 출력계수[kVA/kW]

K : 부하출력의 합계[kW]

① 부하출력의 합계 : K

부하출력은 비상용 전원을 필요로 하는 기기의 정격출력(발전기가 담당할 부하)의 총합계를 의미한다.

$$\text{따라서 } K = \sum_{i=1}^n m_i$$

여기서 m_i : 개개부하기기의 출력[kW]

n : 부하설비의 개수

비상용 엘리베이터 등 정격출력이 일반 유도전동기와 같이 [kW]로 표시되는 부하 및 무정전 전원장치 등과 같이 [kVA]로 표시되는 부하로 구분하여 효율, 역률 및 부하의 특성에 따른 환산치 등을 가산하여 K 의 값을 정하도록 하고 있다.

② 발전기의 출력 : RG

다음 4가지의 계수를 구하여 최대의 값을

갖는 것을 선정하도록 하고 있다.

a) 정상부하 출력계수 : RG_1

발전기측에 있어 정상시 부하전류에 따라 결정되는 계수이다.

$$RG_1 = \frac{1}{\eta_i} \cdot D \cdot Sf \cdot \frac{1}{\cos \theta_g}$$

여기서 η_i : 부하의 종합효율

D : 부하의 수요율

Sf : 불평형 부하에 의한 선전류 증가계수

$\cos \theta_g$: 발전기의 정격역률

b) 허용 전압강하 출력계수 : RG_2

전동기 등이 시동시에 발생하는 발전기측의 전압강하 허용량에 따른 정수

$$RG_2 = \frac{1 - \Delta E}{\Delta E} \cdot X_d \cdot \frac{K_s}{Z_m} \cdot \frac{M_i}{K}$$

여기서 ΔE : 발전기측의 허용 전압강하 [PU]

X_d : 발전기 내부 직축과도 리액턴스 [PU]

K_s : 부하시동방식에 따른 계수

Z_m : 부하시동시 임피던스 [PU]

M_i : 시동시 전압강하가 최대로 되는 부하기기의 출력 [kW]

K : 부하의 출력계수

c) 단시간 과전류내력 출력계수 : RG_3

발전기측에 있어 과도현상시 부하전류의 최대치에 의하여 정해지는 계수

$$RG_3 = \frac{1}{KG_i} \left\{ \frac{1}{\eta_b \cos \theta_b} \left(1 - \frac{M_i}{K} \right) + \frac{K_s}{Z_m} \cdot \frac{M_i}{K} \right\}$$

여기서 KG_i : 발전기의 단시간 과전류내력 [PU]

d : 부하의 수요율

η_b : 부하의 효율

$\cos \theta_b$: 부하의 역률

M_i : 단시간 과전류내력을 최대로 하는 부하기기의 출력 [kW]

d) 허용 역상전류 출력계수 : GR_1

부하에서 발생하는 역상전류 고조파전류분의 관계 등으로 정하는 계수

$$GR_1 = \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{KG_1} \cdot \sqrt{\Sigma \left(\frac{R_i h_i}{\eta_{vi} \cos \theta_i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{\eta \phi \cos \theta \phi} \right)^2} \times \sqrt{(1 - 3\mu + 3\mu^2)}$$

여기서 KG_1 : 발전기의 허용 역상전류에 의한 계수 [PU]

R_i : 고조파 발생부하의 정격 출력 [kW]

h_i : 해당부하의 효율

$\cos \theta_i$: 해당부하의 역률

$\eta \phi$: 각 단상부하의 효율

$\cos \theta \phi$: 각 단상부하의 역률

μ : 단상부하의 불평형 계수

η_{vi} : 해당부하의 효율

이상으로 RG의 관계식을 나타냈으며 한국 전기공업협동조합의 단체규격 KEMC-1111(디젤엔진 구동용상용 동기발전기)에 준거하면 과도 리액턴스는 발전기의 과도특성에서 부하투입시 순시전압강하에 대하여 발전기가 선정된 후 결정되며, 다극발전기의 경우 X_d 는 25% 범위내에서 채용되고 있고 과도 전압변동률은 최대전압강하 15% 이내, 복귀시간 0.6초 이내로 규정되어 있다.

한편 과전류내력은 정격전압에 가까운 값으로 유지한 상태에서 정격전류의 1.5배 전류를 15초간 흘려서 시험하도록 규정되어 있다.

특히 고조파전류 및 삼상 불평형부하에 의한 역상전류는 발전기의 고정자권선, 고정자철심, 제동권선 등에 손실과 전압파형 왜곡을 일으키므로 제조자와 협의가 필요함을 강조하고 있다.

2) 원동기의 용량 선정

원동기의 용량은 다음 식으로 선정한다.

$$E = 1.36RE \cdot K \dots\dots\dots ⑤$$

여기서 E : 원동기의 용량[PS]
 RE : 원동기의 출력계수[kW/kVA]
 K : 부하출력의 합계[kW]

① 부하출력의 합계 : K

발전기의 용량계산과 동일한 방법으로 한다.

② 원동기의 출력계수 RE는 다음 3가지중 계산에 의거 최대값을 선정한다.

a) 정상부하 출력계수 : RE₁

정상시 부하에 따라 정하는 계수를 말하며 다음 식으로 계산된다.

$$RE_1 = \frac{1}{\eta_L} \cdot D \cdot \frac{1}{\eta_g}$$

여기서 η_L : 부하중합효율
 D : 부하의 수용률
 η_g : 발전기의 효율

b) 허용 회전수변동 출력계수 : RE₂

과도적으로 발생하는 부하급변에 대하여 회전수변동의 허용값에 따라 정하는 계수로 다음 식으로 계산된다.

$$RE_2 = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{fv}{\eta_g} \left\{ (\epsilon - x) \frac{d}{\eta_b} \left(1 - \frac{M_i}{K} \right) + \frac{K_s}{Z_m} \cos\theta_s \cdot \frac{M_i}{K} \right\}$$

여기서 ϵ : 원동기의 무부하시 투입허용량[PU]
 fv : 순시주파수 저하, 전압강하에 의한 투입부하 감소계수
 η_g : 발전기의 과부하시 효율
 x : 원동기의 가상전 부하시 투입허용량[PU]
 d : 부하의 수요율

η_b : 부하의 효율

M_i : 부하 투입시의 회전수변동이 최대로 되는 부하기기의 출력[kW]

$\cos\theta_s$: 부하 시동시의 역률

c) 허용 최대출력계수 : RE₃

과도현상에서 발생하는 최대값에 따라 정하는 계수로 다음 식으로 계산된다.

$$RE_3 = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\eta_g} \left\{ \frac{d}{\eta_b} \left(1 - \frac{M_i}{K} \right) + \frac{K_s}{Z_m} \cos\theta_s \cdot \frac{M_i}{K} \right\}$$

여기서 γ : 원동기의 단시간 최대출력 [PU]

M_i : 부하 투입시에 원동기 출력을 최대로 하는 부하기기의 출력(kW)

3) 발전기의 출력과 원동기의 출력정합

자가 발전설비는 동기발전기와 원동기(디젤엔진 또는 가스터빈 등)로 결합되므로 전하에서 계산한 출력이 정합이 되고 있는지를 확인하기 위하여 정합률을 계산하도록 되어 있다.

정합률을 MR라고 하면,

$$0.7 \leq MR \leq 1.0$$

범위에 있도록 적절한 조합을 하도록 하고 있다.

따라서 MR의 계산은 다음 식으로 하며,

$$MR = \frac{\left(\frac{G \cdot \cos\theta}{0.736\eta_g} \right)}{E}$$

이 식에서 발전기의 효율 η_g 가 0.9인 경우

$$MR = \frac{1.2G}{E} \text{가 된다.}$$

여기서 MR : 정합률

G : 발전기의 출력[kVA]

$\cos\theta$: 발전기의 정격역률[0.8]

η_g : 발전기의 효율

E : 원동기의 출력[PS]

6. RG와 RE값의 조정

1) 발전기 출력계수 RG의 결정

$RG = \max(RG_1, RG_2, RG_3, RG_4)$ 의 관계에서 실용상 요구되는 RG값은 $1.47D \leq RG \leq 2.2$ 의 범위에 있도록 RG값을 조정하는 것이다(D: 부하의 수요율).

만약 RG값이 이 범위에 있지 않는 경우에는 아주 특수한 경우이므로 부하기기의 제조사, 발전기의 제조사 및 시스템 설계자간에 협의가 필요하게 된다.

그림 1은 RG값을 조정하는 순서를 나타낸 것이다.

2) 원동기 출력계수 RE의 결정

$RE = \max(RE_1, RE_2, RE_3)$ 에서 RE값은 실용상 $1.3D \leq RE \leq 2.2$ 범위에 있도록 조정하되 가능한 1.3에 가깝도록 하는 것이 좋다.

이는 원동기가 정상운전에 현저히 경부하가

되지 않게 하기 위함이며, 승강기의 경우 회생전력이 발생하는 시스템인 경우에는 회생전력을 흡수할 수 있도록 규정하고 있다.

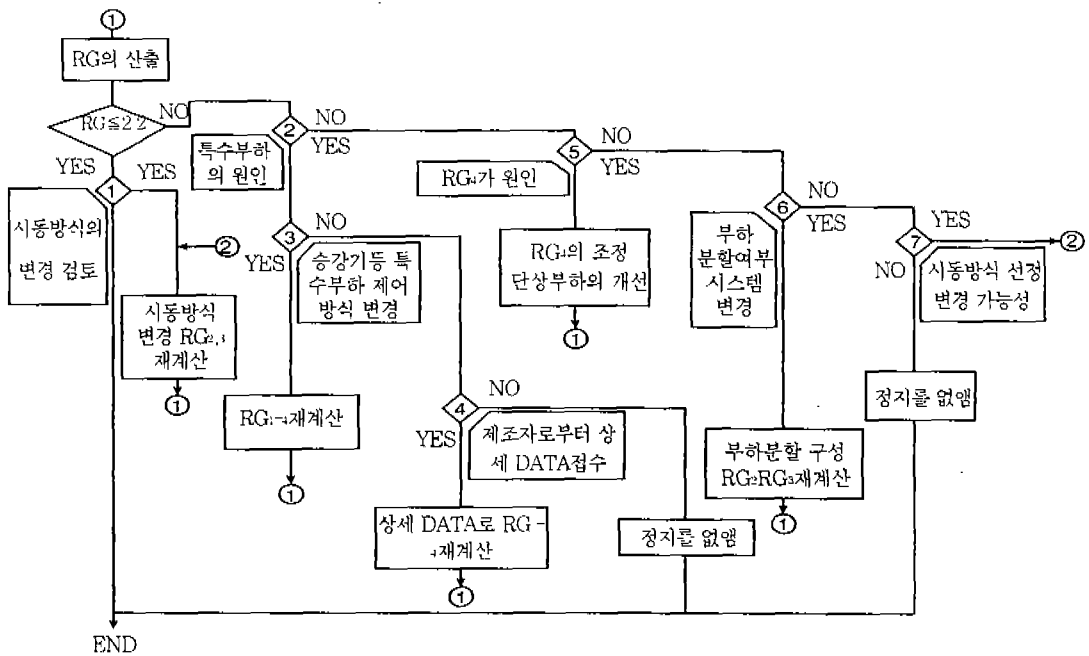
그림 2는 RE값을 조정하는 순서를 나타낸 것이다.

7. 자가 발전기의 고조파전류 영향

최근 건물의 설비에 있어 공조, 조명, 엘리베이터 등의 운영이 전력변환시스템으로 구성되어 스위칭 전력용 반도체가 사용되고 있다.

이들 전기설비는 고조파전류를 발생함으로써 전류파형의 왜곡으로 전원변압기의 소음 및 온도상승, 배선용차단기(MCCB)의 오동작, 직렬콘덴서, 역률개선용콘덴서, 형광등 등의 과전류현상, 온도상승 등의 나쁜 영향을 초래하고 있다.

한편 전원공급용의 발전기에 있어 부하측에서 유입되는 고조파전류분은 전원회로의 임피던스



〈그림 1〉 RG값의 조정순서도

