

자가용발전설비의 용량산정법

이 지 수 <한국전기공업협동조합 이사>

1. 머리말

최근 건물이 대형화 고층화 및 인텔리전트화로 발전되면서 건물기능의 효율화와 관리의 극대화를 위하여 각종 건물의 부대설비를 고도화 안정화 등을 추구하고 있으며 엘리베이터, 공조, 조명 및 정보처리설비 등이 안정화로 운영되도록 전력공급시스템의 구성에 주안점을 갖게 되었다.

따라서 전력계통의 사고로 인한 정전 또는 건물에서 화재 등 재해가 발생되었을 경우 건물의 최소기능을 유지할 수 있는 전원의 확보는 반드시 필요하며 이를 위하여 비상예비전원으로 자가용발전설비 충전지 설비 등이 이용되고 있다.

일반적으로 자가용발전설비는 비교적 큰 전력을 얻을 수가 있고 유지 관리가 용이한 이유로 예비전원 확보에 있어 자가용발전설비의 이용이 확대되고 있는 실정이다.

한편 자가용발전설비의 용량산정에 있어 자가용발전설비는 기계계(원동기)와 전기계(발전기, 여자기 등)의 이질적인 복합설비로 부하 특성에 대응하여 발전기출력과 원동기출력이 상호간에 부합되도록 산정되어야 하는 특징이 있다.

본고에서는 부하 특성에 대응하도록 자가용발전설비의 용량산정에 대하여 새로운 개념을 도입한 계산식에 관하여 기본적인 내용을 소개하고자 한다.

2. 자가용발전설비의 사용 목적과 기능

1) 상용전원의 정전대처용

상용전원이 계통사고로 인하여 정전이 발생하였을 시 각종정보처리시스템, 컴퓨터장치, 보안용 설비, 공조용 설비 및 조명과 동력용 전원으로 비상용 예비전원이 필요하다.

2) 화재발생시 방재부하설비의 전력 공급용

화재가 발생되었을시 각종 소화설비, 비상용 엘리베이터, 소화전 펌프 등의 가동을 위하여 비상용 예비전원이 필요하다.

종래 자가용 발전설비는 대개 건물의 방재부하설비를 대상으로 발전기 용량을 산정하였으나 건물이 대형화, 고층화 및 인텔리전트화의 추세로 건물기능을 유지하기 위한 필요 전력량을 가산한 예비전력이 필요하게 되어 자가용 발전설비의 용량은 대형화로 선정되고 있으며 높은 운전 신뢰성도 요구하고 있다.

또한 기능면에 있어 상용과 비상용의 겸용으로 운전되는 경우가 증가되고 있으며 상용계통과 연계된 운전방식은 병렬운전 단독운전 및 순시병렬운전으로 상용전원의 전력 Peak-Cut 및 에너지 사용 합리화를 도모하기 위한 Co-Generation System의 열병합식 발전방식 등이 채용된 상용예비전원의 기능을 갖

고 있다.

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

3. 자가용 발전설비의 용량산출법

종래에는 자가용 발전설비는 비상용예비전원으로 방재부하 설비의 전력공급이 주체인 경우 다음 방식으로 발전기의 용량을 산정하고 있다.

1) 발전기의 용량

발전기의 용량결정에는 그 설치목적에서 정한 부하의 용량뿐만 아니라 그 부하군으로서의 시동 특성, 시동순서 등을 충분히 검토 할 필요가 있다. 보통발전기의 용량은 다음의 세가지점에서 계산하여 그 중 최대의 것을 만족하는 용량을 선정하는 것이 좋다.

가. 전부하 정상운전시의 소요입력에 의한 용량

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

지금 부하가 A.B.C...N(kW)가 있다면

출력 : $P_A P_B P_C \dots P_N$ (kW)

효율 : $\eta_A \eta_B \eta_C \dots \eta_N$ (%)

역률 : $F_A F_B F_C \dots F_N$ (%)

부하율 : $L_A L_B L_C \dots L_N$ (%)라고 하면

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 무효분출력을 Q_1 이라고 하면

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

따라서 정상운전에 필요한 발전기의 용량을 S_1 이라고 하면

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

나. 전동기 시동시에 필요한 발전기의 용량

S_e (kVA)의 용량으로 운전중에 있는 부하에 전동기를 병렬로 투입하는 경우 운전중의 부하 S_e (kVA)의 유효분출력을 P_e (kW), 무효출력을 Q_e (kVA)에 전동기의 시동용량을 S_m (kVA) 역률 F_m (%)이라고 하고 시동시에 필요한 발전기의 유효분출력을 P_2 라고 하면

$$P_2 = P_e + S_m F_m \text{ (kW)}$$

시동시에 필요한 무효분출력 Q_2 는

$$Q_2 = Q_e + S_m \times \sqrt{1-F_m^2} \text{ (kVA)}$$

따라서 발전기 용량을 S_2 라고 하면

$$S_2 = \frac{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}}{1.5} \text{ (kVA)} \dots \dots \dots (2)$$

단, 시동순서 (kVA)를 전동기의 정격용량에 대하여 50(%)과부하 이내로 억제

다. 전동기 시동시의 전압강하

전동기는 시동시에 시동전류가 크고 시동역률이 낮아지므로 발전기단자에 큰 전압강하를 일으키고 있다.

$$\Delta E = \frac{x' d}{x' d + \frac{P \text{ (kVA)}}{Q_L \text{ (kVA)}}}$$

ΔE : 전압강하 (P, U), Q_L : 시동시돌입용량 (kVA), P: 발전기용량 (kVA), $x' d$: 발전기직축과도리액턴스 (P.U. 보통 20~30(%)로 리액턴스가 일정하다고 하면 전압강하는 발전기용량의 시동부하용량에 대한 비로 결정된다.

그림 1은 교류발전기의 돌입부하에 의한 최대 전압 강하를 나타낸 것이다. 발전기가 어떤 부하의 시동에 있어 큰 순시전압강하가 발생되면 시동중의 전동기 Torque가 저하되어 시동시간이 길어지거나 시

동불능이 될 수 있으며, 이미 운전중인 다른 부하에 나쁜 영향을 주어 계통장해를 일으키게 된다.

따라서 전압강하 ΔE에 대응하기 위한 발전기 용량 S₃(kVA)는

$$S_3 = \frac{(1 - \Delta E)}{\Delta E} \cdot \chi' \cdot d \cdot Q_L [kVA] \dots \dots \dots (3)$$

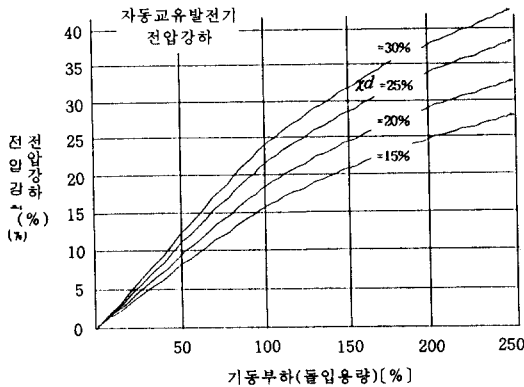


그림 1. 최대전압강하

2) 원동기의 기관출력

발전기의 용량이 산정되면 소요엔진출력은 일반적으로 다음식으로 계산하여 산정하고 있다.

$$\text{엔진출력(PS)} \geq \frac{\text{발전기용량[kVA]} \times \text{역률}}{\text{발전기효율} \times 0.736}$$

- 발전기효율, 10~100(kVA) : 0.85~0.9
- 100~500(kVA) : 0.9~0.95
- 1000(kVA) 이상 : 0.95이상

4. 자가용 발전설비의 용량산정에 있어 새로운 개념

1) 일본에서는 KSC-4205(유도전동기의 기동계급)와 동일한 내용의 JIS-C-4204는 현실과 적합치 않다는 이유로 폐지하고 실태조사로 이 규격을 대신할 수 있는 전동기 시동시에 필요한 값을 따로 정하여 사용하고 있다.

2) 최근 전력전자기술의 진전으로 무정전전원장치 인버터등의 위상변환설비가 증가하고 있으며 전동기의 구동이 인버터장치 등으로 행하므로써 계통에 고조파 발생으로 인한 영향에 대응할 수 있는 발전기 용량 산정이 대두되고 있다.

3) 화재 등의 재해가 발생하였을시 짧은시간내에 기동하기 위한 방재설비 즉 비상용 엘리베이터 소화전 펌프 등의 출력환산계수를 적용한 발전기의 용량 산정이 고려되고 있다.

4) 단상부하의 경우 불평형부하의 선전류 증가계수($S_f = 1 + 0.6 \frac{\Delta P}{K}$)로 하여 발전기의 용량산정을 어느 정도의 불평형부하에도 대응할 수 있도록 하고 있다.(ΔP : 단상불평형분출력(kW), K : 해당부하설비의 합계(kW))

5. 새로운 개념에 의한 자가용 발전설비의 용량산정

1) 발전기의 출력산정

일본내연력발전설비협회의 단체규격에는 발전기의 출력은 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)

가. 부하출력의 합계 : K

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

$$K = \sum_{i=1}^n m_i$$

- 따라서, m_i : 개개부하기기의 출력
- n : 부하설비의 개수

비상용엘리베이터등 정격출력이 일반유도전동기와 같이 [kW]로 표시되는 부하 및 무정전전원 장치 등과 같이 [kVA]로 표시되는 부하로 구분하여 효율, 역률 및 부하의 특성에 따른 환산치 등을 가산하여 K의 값을 정하도록 하고 있다.

나. 발전기의 출력 : RG

다음 4가지의 계수를 구하여 최대의 값을 갖는 것을 선정하도록 하고 있다.

a) 정상부하출력계수 : RG_1

발전기측에 있어 정상시 부하전류에 따라 결정되는 계수이다.

$$RG_1 = \frac{1}{\eta_L} \cdot D \cdot S_f \cdot \frac{1}{\cos\theta_g} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 η_L : 부하의 종합효율
 D : 부하의 수요율
 S_f : 불평형 부하에 의한 선전류 증가계수
 $\cos\theta_g$: 발전기의 정격역률

b) 허용전압강하출력계수 : RG_2

전동기등이 시동시에 발생하는 발전기측의 전압강하 허용량에 따른 정수

$$RG_2 = \frac{1-\Delta E}{\Delta E} \cdot \chi' \cdot d \cdot \frac{K_s}{Z_m} \cdot \frac{M_2}{K} \dots\dots\dots(6)$$

ΔE : 발전기측의 허용전압강하(PU)
 $\chi' \cdot d$: 발전기내부 직축과도 리액턴스
 K_s : 부하시동방식에 따른 계수
 Z_m : 부하시동시 임피던스(PU)
 M_2 : 시동시 전압강하가 최대로 되는 부하기기의 출력(kW)
 K : 부하의 출력계수

c) 단시간 과전류계수 : RG_3

발전기측에 있어 과도현상시 부하전류에 최대치에 의하여 정하여 지는 계수

$$RG_3 = \frac{1}{KG_3} \left\{ \frac{d}{\eta_b \cos\theta_b} \left(1 - \frac{M_3}{K}\right) + \frac{K_s}{Z_m} \cdot \frac{M_3}{K} \right\} \dots\dots(7)$$

KG_3 : 발전기의 단시간 과전류 내력 (PU)
 d : 부하의 수요율
 η_b : 부하의 효율
 $\cos\theta_b$: 부하의 역률
 M_3 : 단시간 과전류 내력을 최대로 하는 부하기기의 출력(kW)

d) 허용역상전류출력계수 : RG_4

부하에서 발생하는 역상전류 고조파전류분의 관계등으로 정하는 계수

$$RG_4 = \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{KG_4}$$

$$\sqrt{\sum \left(\frac{R_i h_i}{\eta_{vi} \cos\theta_i} \right)^2 \left(\frac{\Delta P}{\eta^* \cos\theta^*} \right)^2 (1 - 3\mu + 3\mu^2)} \dots\dots(8)$$

KG_4 : 발전기의 허용역상전류에 의한 계수(PU)
 R_i : 고조파발생부하의 정격출력(kW)
 h_i : 해당부하의 고조파 발생률
 η_{vi} : 해당부하의 효율
 η^* : 각단상부하의 역률
 $\cos\theta_i$: 해당부하의 역률
 μ : 단상부하의 불평형 계수
 $\cos\theta^*$: 각단상부하의 역률

이상으로 RG 의 관계식을 나타냈으며 한국전기공업협동조합의 단체규격 KEMC-C-1111(디젤엔진구동 육상용동기발전기)에 준거하여 과도리액턴스는 발전기의 과도특성에서 부하투입시 순시전압강하에 대하여 발전기가 선정된 후 결정되며 다극발전기의 경우 $\chi' \cdot d$ 는 25[%] 범위내에서 채용되고 있고 과도 전압 변동률은 최대 전압강하 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 삼상불평형부하에 의한 역상전류는 발전기의 고정자권선, 고정자철심, 제동권선 등에 손실과 전압파형왜곡을 일으키므로 발전기를 발주시 제조자와 협의가 필요하다.

이는 발전기에 정류기부하(CVCF, Battery충전기, Thyristor레오나드 제어기 등) 또는 삼상불평형부하(단상부하 등)를 접속하면 발전기의 전기자권선, 고정자철심, 제동권선 등에 와전류현상이 발생되어 손실의 증대, 온도상승, 전압파형 왜곡현상 등 발전기에 나쁜 영향을 발생시킴으로 적용발전기와 부하설비의 정합성이 이루어져야 할 필요가 있다.

2) 원동기의 용량 선정

원동기의 용량은 다음 식으로 산정한다.

$$E = 1.36RE \cdot K \dots\dots\dots(9)$$

여기서 E : 원동기의 용량[PS]

RE : 원동기의 출력계수(kW/kVA)

K : 부하출력의 합계(kW)

$$RE_3 = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\eta_g} \left\{ \frac{d}{\eta_b} \left(1 - \frac{M_3}{K} \right) + \frac{K_s}{Z_m} \cos \theta_s \cdot \frac{M_3}{k} \right\} \dots (12)$$

가. 부하출력의 합계 : K

발전기의 용량계산과 동일한 방법으로 한다.

여기서 Y : 원동기의 단시간 최대출력(PU)

M₃ : 부하투입시에 원동기 출력을 최대한으로 하는 부하기기의 출력[kW]

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

a) 정상부하출력계수 : RE₁

정상시 부하에 따라 정하는 계수를 말하며 다음식으로 계산된다.

$$RE_1 = \frac{1}{\eta_L} \cdot D \cdot \frac{1}{\eta_g} \dots (10)$$

- η_L : 부하중합효율
- D : 부하의 수요율
- η_g : 발전기의 효율

b) 허용회전수 변동 출력 계수 : RE₂

과도적으로 발생하는 부하급변에 대하여 회전수변동의 허용값에 따라 정하는 계수로 다음식으로 계산된다.

$$RE_2 = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{f_v}{\eta_g} \left\{ \left(\epsilon - \chi \right) \frac{d}{\eta_b} \left(1 - \frac{M_2}{K} \right) + \frac{K_s}{Z_m} \cos \theta_s \cdot \frac{M_2}{K} \right\} \dots (11)$$

- ε : 원동기의 무부하시 투입 허용량
- f_v : 순시주파수저하, 전압강화에 의한 투입 부하 감소 계수
- η_g : 발전기의 과부하시 효율
- χ : 원동기의 가상전부하시 투입 허용량(PU)
- d : 부하의 수요율
- η_b : 부하의 효율
- M₂ : 부하투입시의 회전수 변동이 최대로 되는 부하기기의 출력[kW]
- cos θ_s : 부하시동시의 역률

c) 허용최대출력계수 : RE₃

과도현상에서 발생하는 최대값에 따라 정하는 계수로 다음식으로 계산된다.

3) 발전기기의 출력과 원동기의 출력 정압

자가용발전설비는 동기발전기와 원동기(디젤엔진 또는 가스터빈 등)로 결합되므로 전항에서 계산한 출력이 정압이 되고 있는지를 확인하기 위하여 정합률을 계산하여야 한다.

정합률을 MR이라고 하면

$$0.7 \leq MR \leq 1.0 \dots (13)$$

의 범위에 있도록 적절한 조합을 하여야 한다.

따라서 MR의 계산은 다음식으로 하며

$$MR = \frac{\left(\frac{G \cdot \cos \theta}{0.736\eta} \right)}{E} \dots (14)$$

이식에서 발전기의 효율 η가 0.9인 경우

$$MR = \frac{1.2G}{E} \text{가 된다.}$$

- MR : 정합률
- G : 발전기의 출력[kVA]
- cos θ : 발전기의 정격역률 [0.8]
- η_g : 발전기의 효율
- E : 원동기의 출력[PS]

6.RG와 RE값의 조정

1) 발전기 출력계수 RG의 결정

RG = max(RG₁, RG₂, RG₃, RG₄)의 관계에서 실용상 요구되는 RG값은 1.47D ≤ RG ≤ 2.2 범위에 있도록 RG값을 조정하는 것이다.(D : 부하의 수요율) 만약 RG값이 이 범위에 있지 않은 경우에는 아주 특수한 경우이므로 부하기기의 제조사 발전기의 제조사 및 시스템 설계자간에 협의가 필요하게 된다. 그림 2는 RG값을 조정하는 수순을 나타낸 것이다.

2) 원동기출력계수 RE의 결정

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

이는 원동기가 정상운전시에 현저히 경부하가 되지 않게 하기 위함이며, 승강기의 경우 회생전력이 발생하는 시스템인 경우에는 회생전력을 흡수할 수

있도록 원동기의 출력계수를 산정하여야 한다.

그림 3은 RE값을 조정하는 수순을 나타낸 것이다.

7. 자기용 발전설비의 용량산정시 고조파 전류 영향

최근 건물의 설비에 있어 공조, 조명, 엘리베이터

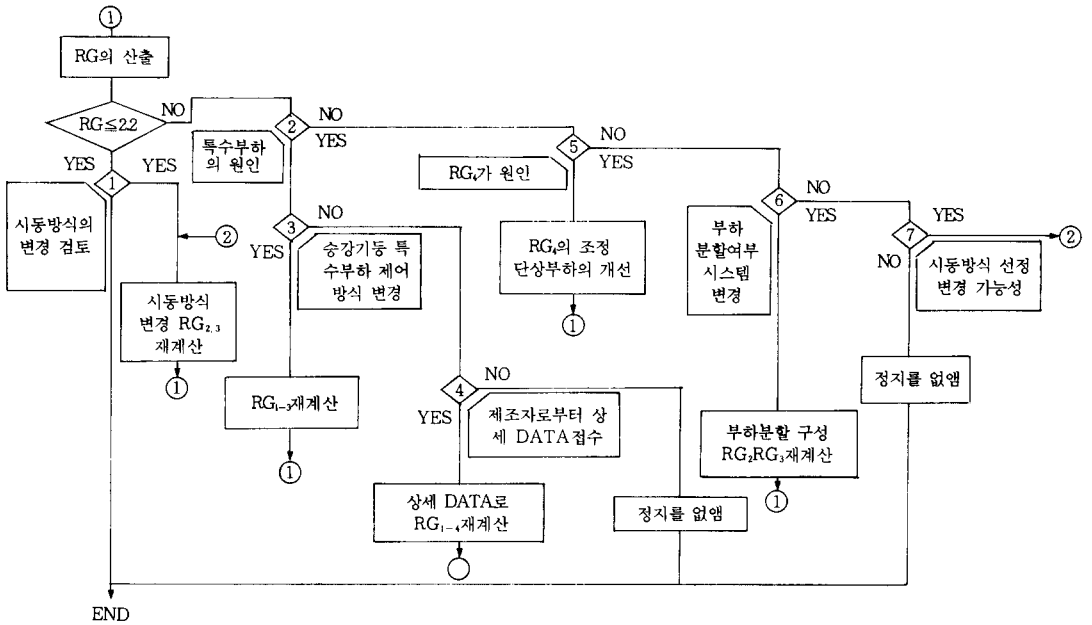


그림 2. RG값의 조정수순도

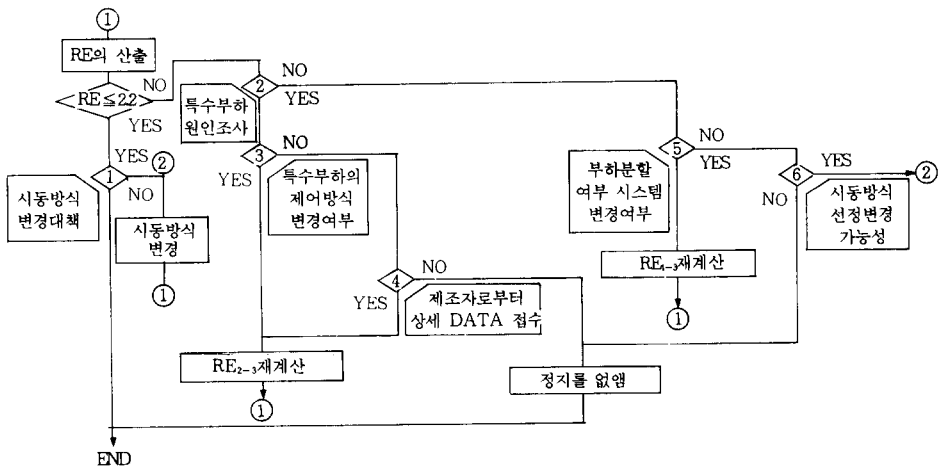


그림 3. RE값의 조정수순도

등의 운영에 전력변환시스템으로 구성되어 스위칭 전력용반도체가 사용되고 있다.

이들 전기설비는 고조파전류를 발생하므로서 전류 파형의 왜곡으로 전원변압기의 소음 및 온도상승, 배선용차단기(MCCB)의 오동작, 직렬콘덴서, 역률 개선용 콘덴서, 형광등 등의 과전류현상 온도상승 등의 나쁜 영향을 초래하고 있다.

한편 전원공급용의 발전기에 있어 부하측에서 유입되는 고조파전류분의 전원회로의 임피던스분에 상당한 전류로 나누어져서 역상전류와 동등한 작용을 하게 된다.

이와 같은 원인으로 발전기의 전기자권선, 고정자 철심, 제동권선 등에 와전류현상을 일으켜 손실이 증대되고 발전기의 온도상승, 출력전압파형의 왜곡 등의 나쁜 영향을 발생시키고 있다.

한국전기공업협동조합의 단체규격 (KEMC-1111)에는 동기발전기의 역상전류내량을 15(%)까지 허용되어 있지만 발전기의 출력용량 산정시 반드시 부하측 고조파전류의 유입량을 검토하여 적용발전기의 역상전류내량을 검토할 필요가 있다.

고조파발생부하가 큰 경우에는 이론적으로 검토하여 발전기 출력산정시 적절한 대책을 강구하여 설계, 제조시 반영하여야 한다.

① 정류부하군의 합성에서 등가정류상수의 확대를 도모하여 고조파전류를 감소

② 특정차수의 고조파분을 대상으로 필터를 설치

③ Active Filter설치

④ 적용발전기용량 보다 용량을 증대시켜 발전기를 채용

8. 맺는 말

자가발전설비는 상용전원의 공급신뢰성 향상을 도모하기 위한 Back-Up 전원으로 높은 공급신뢰도를

요구하고 있으므로 부하의 제특성으로 발전설비의 기능저하와 효율저감에 문제가 초래되지 않도록 설비 계획시 충분한 검토가 강구되어야 할 것이다.

한편, 부하의 제 특성에 적합되도록 발전기의 용량이 산출되어 자가용발전설비의 운용 극대화를 도모할 수 있도록 이 분야의 연구가 요청되며 연구결과가 반드시 표준화가 되어 발전설비계획에 있어 최적의 지침이 될 수 있어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] (사)일본내연력발전설비협회편 : 자가발전설비의 출력산출방법해설서.
- [2] K. O. MORIDA : Standby Power Generation Installation for Intelligent Buildings.
- [3] 한국공업규격 : KSC-4205.
- [4] 한국전기공업협동조합 : 단체규격 KEMC-1111.
- [5] 李枝秀 : 고조파 발생부하에 대한 동기 발전기 운전 고찰 (석사학위논문).
- [6] 李枝秀 : 자가발전설비의 운전, 조명, 전기 설비학회지 1995. Vol.9.No.3.
- [7] 李枝秀 : 비상용 자가발전설비의 관리와 소음, 진동 대책 전기공업정보 제21권7호.
- [8] K.O.SUZUKI : Calculation System of out put of Non-utility Generation Unit Serving an Emergency Source for Fire Service Facilities.

◆ 著 者 紹 介 ◆



이 지 수(李枝秀)

1944년 4월 13일생. 1967년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸. 1986년 한양대 산업대학원 전기공학과 졸(석사). 1988년 기술사 취득(전기기기 분야). 1978년 환관산기 근무(기술부장, 이사). 1986년 동양에레베이터(주) 근무(기술이사, 상무이사. 현재 한국전기공업협동조합 기술, 진흥담당 이사. 동양공업전문대 전기과 겸임교수. 한국전력기술인협회 강사.