

## 선박용 발전기 동기화시의 과도현상 해석에 관한 연구

오세진† · 김종수\* · 김성환\*\* · 이성근\*\*\* · 조성갑\*\*\*\*

(원고접수일: 2007년 9월 10일, 심사완료일: 2007년 11월 12일)

### A Study on the Transient Phenomenon Analysis of Ship Generator Synchronization

Sae-Gin Oh† · Jong-Su Kim\* · Sung-Hwan Kim\*\* · Sung-Gun Lee\*\*\* · Sung-Kab Jo\*\*\*\*

**Abstract** : Connecting a synchronous generator to a power system is a dynamic process, requiring the coordinated operation of many components and systems. The goal is to connect the oncoming generator to the system smoothly, i.e., without causing any significant bumps, surges, or power swings, by closing the ACB when the oncoming generator matches the power system in voltage magnitude, phase angle, and frequency. If oncoming generator voltage is not matched to the power system voltage, reactive power will flow either into or out of the system at the instant of ACB closure. If this voltage difference is too great, the reactive power flow may result in high transient stresses that could damage the windings of the generator. Also, if oncoming generator frequency is not matched to the power system frequency, transient power will flow between generator and power system. If the frequency difference is too great, the transient power flow is reflected into the prime mover shaft, and this may result in excessive shaft or coupling stress. This paper tries to prove the necessity of correct synchronization for ship generators through a transient phenomenon analysis.

**Key words** : Synchronization(동기화), Reactive power(무효전력), Transient stress(과도응력), Transient power(과도전력)

### 1. 서 론

발전기 단독 운전시 발전기에 전기적인 단락 및 접지사고가 발생하면 순간적으로 높은 과도토크 및 과도전류가 흘러 발전기에 여러 가지 손상을 입힐

수 있다. 이러한 사실은 많은 연구와 문헌을 통해 잘 알려져 있지만 발전기 병렬운전시 동기화 실패로 인해 발생하는 과도토크 및 과도전류도 전기적인 단락이나 접지사고 못지않게 기기에 손상을 입힐 수 있음에도 불구하고 발전기 병렬운전의 동기

† 교신저자(한국해양대학교 운항훈련원), E-mail:osgengen@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-5094

\* 한국해양대학교 선박전자기계공학부

\*\* 한국해양대학교 선박전자기계공학부

\*\*\* 한국해양대학교 전기전자공학부

\*\*\*\* 대우조선해양 전장설계

화 과정에 관한 과도현상은 잘 알려져 있지 않고 이에 대한 연구나 문헌도 찾아보기 어렵다. 선박용 발전기 병렬운전에 관한 조선소 등에서 사용하는 수식 등이 있으나 이는 정상상태 해석에 사용되는 것이며 과도현상을 정확히 해석하기에는 무리가 있다.

정상상태 운전시 발전기에 발생하는 토크는 맥동하지 않는 단일 방향의 힘이나 발전기에 전기적인 단락 및 접지사고가 발생하면 크게 맥동하는 과도 토크가 발생하여 기기에 큰 손상을 입힐 수 있다. 이와 비슷하게 발전기 동기화 과정에서도 동기화 조건이 일치하지 않는 경우, 이로 인해 과도토크가 발생하며 일반적으로 알려진 전기적인 단락 및 접지 사고 시와 유사한 손상을 발전기에 입힐 수 있다. 동기화실패로 인한 발전기 손상 유형은 고정자 권선 변형, 고정자철심과 프레임 사이 간격변화, 브러시리스타입 회전정류자 손상, 축 비틀림, 프레임 파손, 축단기 손상과 축 단면에서의 크랙확대, 커플링 파손, 기어 손상 등이 있다.

본 연구에서는 선박용 발전기 동기화시의 과도현상을 정확히 분석할 수 있는 수학적 모델을 제시하고 이를 이용하여 발전기 동기화시 및 병렬운전 중에 발생할 수 있는 조건들에 관하여 컴퓨터 모의실험을 수행하여 발전기 동기화시 및 병렬운전중 정확한 동기상태 유지의 필요성을 고찰하고자 한다.

## 2. 발전기 동기화의 수학적 모델

차단기가 투입되어 전력시스템 부하에 이미 전력을 공급하고 있는 발전기를 마스터(Master), 병렬 투입하는 발전기를 슬레이브(Slave)라고 정의한다. 운전중인 두 대의 발전기 회전자축 각변위 오차

를  $\theta_{df}$  라고하면 Fig.1과 같은 마스터, 슬레이브 모델을 얻을 수 있다.  $\theta_{df}$ 는 두 발전기 유기전압의 위상각차이와 마스터 부하각의 합이 된다.

마스터 회전자의 위치를 기준으로 두 발전기의 전압방정식을 세우면, 마스터의 경우 Park's equation을 이용하여 전압방정식 식(1)을 얻을 수 있고, 슬레이브는 마스터와  $\theta_{df}$  각변위 차이가 있으므로 임의의 회전자좌축에 대한 방정식을 사용하여 전압방정식을 얻을 수 있다. 또한, 마스터 회전자축에 대한 부하단의 전압방정식은 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_{qd0s}^r &= -r_s i_{qd0s}^r + \omega_r \lambda_{dqs}^r + p \lambda_{qd0s}^r \\ v_{qdr}^r &= r_r' i_{qdr}^r + p \lambda_{qdr}^r \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} (f_{qd0s})^T &= [f_{qs} \quad f_{ds} \quad f_{0s}] \\ (\lambda_{dqs})^T &= [\lambda_{ds} \quad -\lambda_{qs} \quad 0] \\ (f'_{qdr})^T &= [f'_{kq1} \quad f'_{kq2} \quad f'_{fd} \quad f'_{kd}] \end{aligned} \quad (2)$$

단, 위식에서  $f$ 는 전압, 전류 및 쇄교자속을 나타내고 첨자 "s"와 "r"은 각각 고정자와 회전자에 관계된 변수들임을 나타낸다. "·"는 변수 값이 고정자축으로 환산되었음을 의미하며 첨자 "kq1", "kq2"는 고정자권선에 나란한 방향의 제동권선, "kd"는 계자권선과 같은 방향의 제동권선을 나타낸다. "fd"는 계자권선을 나타내며  $\omega$ 는 좌표축의 각속도이다.

$$\begin{aligned} v_{qi}^r &= r_i i_{qi}^r + \omega_r L_i i_{di}^r + L_i \frac{di_{di}^r}{dt} \\ v_{di}^r &= r_i i_{di}^r - \omega_r L_i i_{qi}^r + L_i \frac{di_{di}^r}{dt} \\ v_{0i}^r &= r_i i_{0i}^r + L_i \frac{di_{0i}^r}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

단,  $f_{qi}^r$ ,  $f_{di}^r$ ,  $f_{0i}^r$ 은 각각 부하의 d-q 축 전압 및 전류를 나타낸다.

발전기 두 대를 사용하여 전력을 공급하는 시스템을 가정하면 전력시스템은 다음 그림과 같이 표현할 수 있다.

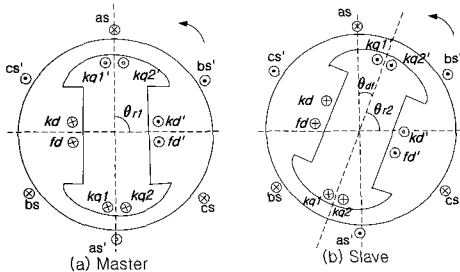


Fig. 1 Model of master & slave generator

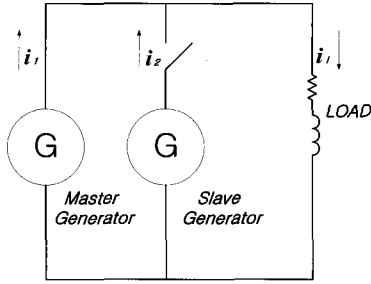


Fig. 2 Model of power system

그림에서 마스터가 단독으로 전력시스템에 전력을 공급하고 있으며 시스템의 전력부족으로 슬레이브를 전력시스템에 투입하는 경우, 병렬투입 후의 부하전류  $i_L$ 은 두 발전기 출력전류의 합과 같아진다.

$$i_L = i_1 + i_2 \tag{4}$$

또한, 식(4)의 미분식인 식(5)도 성립한다.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} \tag{5}$$

이상의 조건을 종합하여 발전기 병렬운전시의 전압 방정식을 식(6)과 같이 세울 수 있다.

$$V = Ri + \omega_p Li + Z \frac{di}{dt} \tag{6}$$

여기서  $V$ 는 전압,  $R$ 은 저항,  $i$ 는 전류,  $L$ 과  $Z$ 는 인덕턴스 행렬이 된다.

$$V^T = \begin{bmatrix} v_{q1}^r - v_{q2}^r & v_{d1}^r - v_{d2}^r & v_{0s1}^r - v_{0s2}^r & v_{qs1}^r - v_{qs2}^r \\ v_{ds1}^r - v_{ds2}^r & v_{qs1}^r - v_{qs2}^r & 0 & 0 & 0 & v_{kq11} & v_{kq21} & v_{fd} \\ v_{kd} & v_{kq12} & v_{kq22} & v_{fd2} & v_{kd2} \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$i^T = \begin{bmatrix} i_{qs1} & i_{ds1} & i_{0s1} & i_{kq11} & i_{kd1} & i_{fd1} & i_{kd1} & i_{qs2} & i_{ds2} & i_{0s2} \\ i_{kq12} & i_{kq22} & i_{fd2} & i_{kd2} & i_{qt} & i_{dt} & i_{0t} \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$R = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \dots & R_{1,17} \\ R_{2,1} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{17,1} & \dots & \dots & R_{17,17} \end{bmatrix} \tag{9}$$

단,

$$\begin{aligned} R_{1,1} &= -r_{s1}, R_{1,8} = r_{s2}, R_{2,1} = -r_{s1}, R_{2,9} = r_{s2} \\ R_{3,3} &= -r_{s1}, R_{3,10} = r_{s2}, R_{4,1} = -r_{s1}, R_{4,15} = -r_l \\ R_{5,2} &= -r_{s1}, R_{5,16} = r_{s2}, R_{6,3} = -r_{s1}, R_{6,17} = r_{s2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{10,4} &= r_{kq11}, R_{11,5} = r_{kq21}, R_{12,6} = r_{fd1}, R_{13,7} = r_{kd1} \\ R_{11,11} &= r_{kq12}, R_{12,12} = r_{kq22}, R_{13,13} = r_{fd2}, R_{14,14} = r_{kd2} \end{aligned}$$

$$L = \begin{bmatrix} L_{1,1} & L_{1,2} & \dots & L_{1,17} \\ L_{2,1} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{17,1} & \dots & \dots & L_{17,17} \end{bmatrix} \tag{10}$$

단,

$$\begin{aligned} L_{1,2} &= -L_{is1} - L_{md1}, L_{1,6} = L_{md1}, L_{1,7} = L_{md1} \\ L_{1,8} &= -\frac{3}{2} L_{B2} \sin 2\theta_{df}, L_{1,9} = L_{is2} + \frac{3}{2} (L_{A2} + L_{B2} \cos 2\theta_{df}) \\ L_{1,11} &= -L_{mq2} \sin \theta_{df}, L_{1,12} = L_{mq2} \sin \theta_{df}, L_{1,13} = -L_{md2} \cos \theta_{df} \\ L_{1,14} &= -L_{md2} \cos \theta_{df}, L_{2,1} = L_{is1} + L_{mq1}, L_{2,4} = -L_{mq1} \\ L_{2,5} &= -L_{mq1}, L_{2,8} = -L_{is2} - \frac{3}{2} (L_{A2} + L_{B2} \cos 2\theta_{df}) \\ L_{2,9} &= \frac{3}{2} L_{B2} \sin 2\theta_{df}, L_{2,11} = L_{mq2} \cos \theta_{df}, L_{2,12} = L_{mq2} \cos \theta_{df} \\ L_{2,13} &= -L_{md2} \sin \theta_{df}, L_{2,14} = -L_{md2} \sin \theta_{df} \\ L_{4,2} &= -L_{is1} - L_{md1}, L_{4,6} = L_{md1}, L_{4,7} = L_{md1}, L_{4,13} = -L_l \\ L_{5,1} &= L_{is1} + L_{mq1}, L_{5,4} = -L_{mq1}, L_{5,5} = -L_{mq1}, L_{5,12} = L_l \end{aligned}$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{1,1} & Z_{1,2} & \dots & Z_{1,17} \\ Z_{2,1} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{17,1} & \dots & \dots & Z_{17,17} \end{bmatrix} \tag{11}$$

단,

$$\begin{aligned} Z_{1,1} &= -L_{is1} - L_{mq1}, Z_{1,4} = L_{mq1}, Z_{1,5} = L_{mq1} \\ Z_{1,8} &= L_{is2} + \frac{3}{2} (L_{A2} + L_{B2} \cos 2\theta_{df}), Z_{1,9} = -\frac{3}{2} L_{B2} \sin 2\theta_{df} \\ Z_{1,11} &= -L_{mq2} \cos \theta_{df}, Z_{1,12} = -L_{mq2} \cos \theta_{df}, Z_{1,13} = L_{md2} \sin \theta_{df} \\ Z_{1,14} &= L_{md2} \sin \theta_{df}, Z_{2,14} = -L_{md2} \cos \theta_{df} \\ Z_{2,2} &= -L_{is1} - L_{md1}, Z_{2,6} = L_{md1}, Z_{2,7} = L_{md1} \\ Z_{2,8} &= -\frac{3}{2} L_{B2} \sin 2\theta_{df}, Z_{2,9} = L_{is2} + \frac{3}{2} (L_{A2} + L_{B2} \cos 2\theta_{df}) \\ Z_{2,11} &= -L_{mq2} \sin \theta_{df}, Z_{2,12} = -L_{mq2} \sin \theta_{df}, Z_{2,13} = -L_{md2} \cos \theta_{df} \\ Z_{3,3} &= -L_{is1}, Z_{3,10} = L_{is2}, Z_{4,1} = L_{is1} + L_{mq1}, Z_{4,4} = L_{mq1} \\ Z_{4,5} &= -L_{mq1}, Z_{4,15} = -L_l, Z_{5,2} = -L_{is1} - L_{md1}, Z_{5,6} = L_{md1} \\ Z_{5,7} &= -L_{md1}, Z_{5,16} = -L_l, Z_{6,3} = L_{is1}, Z_{6,17} = -L_l \\ Z_{7,1} &= 1, Z_{7,8} = 1, Z_{7,15} = -1, Z_{8,2} = 1, Z_{8,9} = 1, Z_{8,16} = -1 \\ Z_{9,3} &= 1, Z_{9,10} = 1, Z_{9,16} = -1 \\ Z_{10,1} &= -L_{mq1}, Z_{10,4} = L_{lkq11} + L_{mq1}, Z_{10,5} = L_{mq1} \\ Z_{11,1} &= -L_{mq1}, Z_{11,4} = L_{lmq1}, Z_{11,5} = L_{lkq21} + L_{mq1} \\ Z_{12,2} &= -L_{md1}, Z_{12,6} = L_{lfd1} + L_{md1}, Z_{12,7} = L_{md1} \\ Z_{13,2} &= -L_{md1}, Z_{13,6} = L_{lmd1}, Z_{13,7} = L_{lkd1} + L_{md1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{14,8} &= -L_{mq2} \cos \Theta_{df}, & Z_{14,9} &= -L_{md2} \sin \Theta_{df} \\
 Z_{14,11} &= L_{lkq12} + L_{mq2}, & Z_{14,12} &= L_{mq2}, & Z_{15,8} &= -L_{mq2} \cos \Theta_{df} \\
 Z_{15,9} &= -L_{md2} \sin \Theta_{df}, & Z_{15,11} &= L_{mq2}, & Z_{15,12} &= L_{lkq22} + L_{mq2} \\
 Z_{16,8} &= L_{md2} \sin \Theta_{df}, & Z_{16,9} &= -L_{md2} \cos \Theta_{df} \\
 Z_{16,13} &= L_{lfd2} + L_{md2}, & Z_{16,14} &= L_{md2} \\
 Z_{17,8} &= L_{md2} \sin \Theta_{df}, & Z_{17,9} &= -L_{md2} \cos \Theta_{df} \\
 Z_{17,13} &= L_{md2}, & Z_{17,14} &= L_{lkq22} + L_{md2}
 \end{aligned}$$

위의 미분방정식 계수행렬  $R$ ,  $L$  및  $Z$  각 원소중 명시하지 않은 모든 원소들의 값은 0이며, 첨자 "1"은 마스터, "2"는 슬레이브에 관계된 변수들이다. 발전기의 발생토크는 식(12)를 이용하여 구할 수 있고 발생토크에 의한 속도변화는 식(13)이 된다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{ds}^r i_{qs}^r - \lambda_{qs}^r i_{ds}^r) \quad (12)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} \frac{P}{2} (T_i - T_e) \quad (13)$$

여기서  $\omega_r$ 은 회전자의 각속도,  $T_i$ 는 기계적 입력토크를 나타낸다.

### 3. 과도현상 모의실험 및 검토

선박용 발전기 동기화 과도상태를 해석하기 위해 컴퓨터 모의실험을 행하였으며, 모의실험에 사용된 선박용 발전기의 용량은 600 [KVA]이다. 발전기의 파라미터는 Table 1과 같으며 모의실험에서 얻

Table 1 Parameters of ship generator

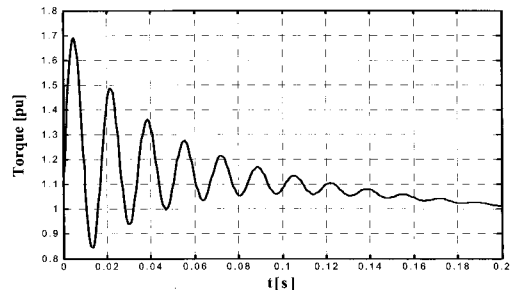
구분	선박용 발전기
정격 용량 [KVA]	600
선간 전압 [V]	450
역률	0.8
극수 (P)	10
속도 [rpm]	720
고정자권선 저항 [ $\Omega$ ]	0.00576
고정자권선 누설 리액턴스 [ $\Omega$ ]	0.03087
회축 리액턴스 [ $\Omega$ ]	0.7252
직축 리액턴스 [ $\Omega$ ]	0.8658
※ 회축 1차 제동권선 저항 [ $\Omega$ ]	0.04181
※ 회축 1차 제동권선 누설 리액턴스 [ $\Omega$ ]	0.05673
※ 계자 권선 저항 [ $\Omega$ ]	0.002621
※ 계자 권선 누설 리액턴스 [ $\Omega$ ]	0.05906
관성 모멘트 [ $kg m^2$ ]	371

※ 표는 고정자측으로 변환한 값이다.

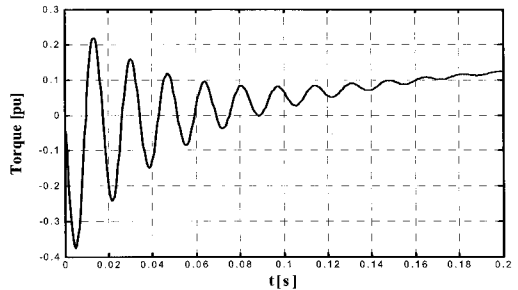
은 데이터는 pu 단위를 사용하여 도시하였다.

#### 3.1 동기화시 전압차가 발생한 경우

두 대의 발전기를 사용하는 선박용 전력시스템에서 정격부하로 운전중인 마스터에 슬레이브를 동기화시 두 발전기 사이에 주파수 및 위상은 일치하고 전압차만 발생한 경우를 모의실험 하였다. 발전기 규정에 의하면 정격 운전중 5[%] 전압 범위 내에서는 발전기가 연속적인 운전이 가능해야 하므로 마스터 및 슬레이브 전압차가 5[%]인 경우를 우선 모의실험 하였고 그 결과를 Fig.3에 도시하였다. 슬레이브보다 마스터에 높은 과도토크가 발생함을 알 수 있고, 그 크기는 순간적으로 정격의 1.7배에 달했다. Fig.4는 발전기간 전압차가 15[%] 발생한 경우를 보여주는데, 역시 슬레이브보다 마스터에 높은 과도토크가 발생하며 순간적으로 정격의 3.5 배에 달하는 토크가 발생하였다. 실제 발전기 동기화시 및 병렬운전중 AVR 고장, 전압변동을 상이 등의 이유로 전압차가 큰 상태에서 발전기 병렬운전이 이루어지면 큰 과도토크로 인해 발전기 고장자 등에 손상이 발생할 수 있다.

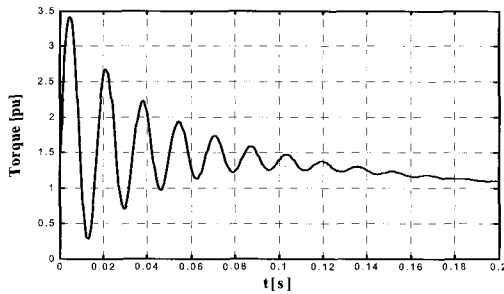


(a) Master generator

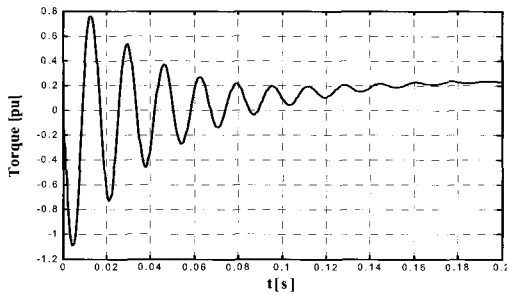


(b) Slave generator

Fig. 3 In case of voltage difference(5[%])

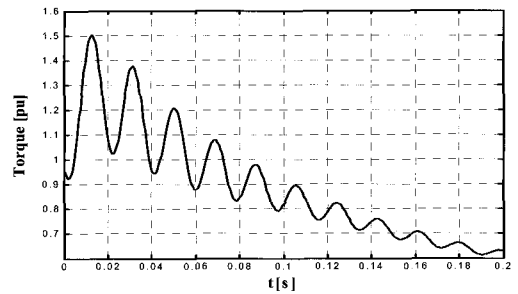


(a) Master generator

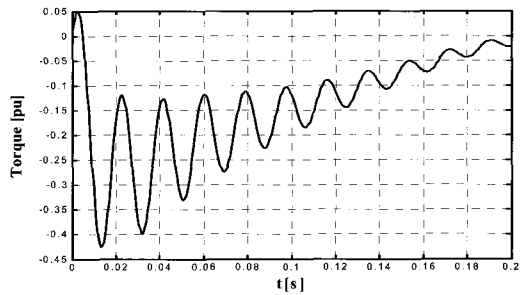


(b) Slave generator

Fig. 4 In case of voltage difference(15[%])



(a) Master generator

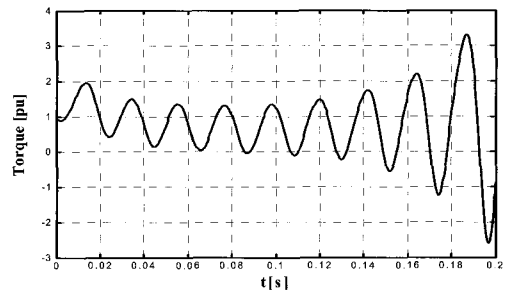


(b) Slave generator

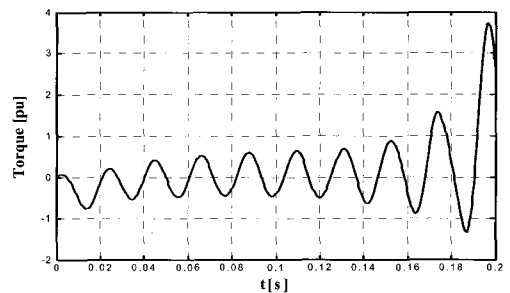
Fig. 5 In case of frequency difference(3[%])

3.2 동기화시 주파수차가 발생한 경우

정격으로 운전중인 마스터에 슬레이브를 동기화 시 두 발전기 사이에 전압 및 위상은 일치하고 주파수차만 발생한 경우를 모의실험 하였다. 발전기는 정격부하 운전시 주파수 차이가 3[%] 범위내에 머물러 있어야 하기 때문에 이 경우에는 마스터가 슬레이브보다 3[%] 주파수가 높은 경우를 우선 모의실험 하였고 Fig. 5는 그 결과를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 역시 슬레이브보다 마스터에 높은 과도토크가 발생하며 그 크기는 순간적으로 정격의 1.5배에 달했다. Fig. 6은 주파수차가 5[%]인 경우를 나타내는데, 마스터와 슬레이브에 높은 과도토크가 발생하며 시간이 지남에 따라 그 크기가 점점 커짐을 알 수 있다. 실제 발전기 병렬운전 중에 원동기 자체 문제로 발전기 사이에 주파수차가 발생할 수 있고 그 크기가 과대해지면 큰 과도토크가 발생하여 발전기에 큰 문제를 일으킬 수 있다.



(a) Master generator

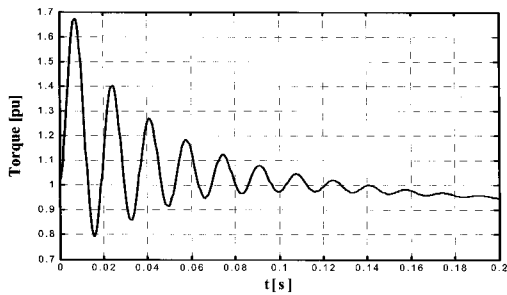


(b) Slave generator

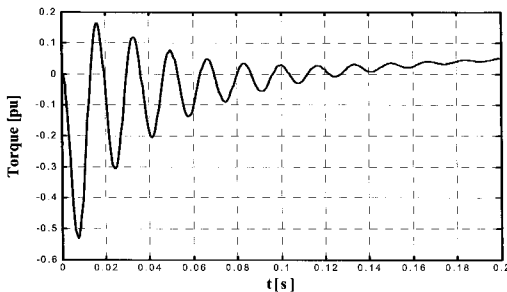
Fig. 6 In case of frequency difference(5[%])

3.3 동기화시 위상차가 발생한 경우

정격 운전중인 마스터에 슬레이브를 병렬투입시 전압 및 주파수는 동일하고 두 발전기 사이에 위상차만 발생한 경우를 모의실험 하였다. 자동 동기투입 장치가 설치되어 있는 발전기는 위상차가 10° 이내에서 발전기 병렬운전이 이루어지기 때문에 이 모의실험에서는 위상차이가 10° 발생한 경우를 먼저 모의실험 하였고 Fig.7에 결과를 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 슬레이브보다 마스터에 높은 과도토크가 발생하며, 그 크기는 약 정격의 1.7배에 달했다. 요즘은 선박에서도 자동 동기투입 장치를 많이 사용하기 때문에 병렬운전시 발전기 사이의 위상차이는 크지 않지만 수동으로 병렬운전하는 선박에서는 발전기 병렬운전시 위상차이가 크게 발생할 수 있어 아주 세심한 주의가 필요하다.



(a) Master generator

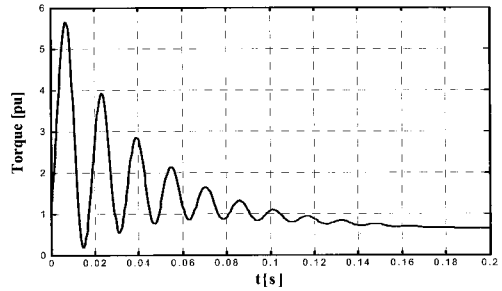


(b) Slave generator

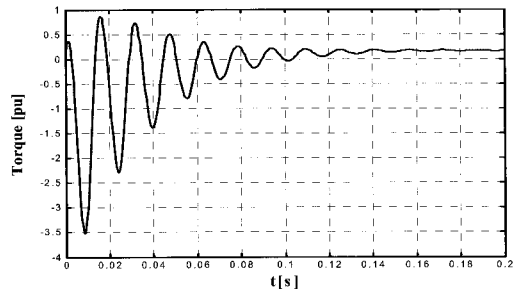
Fig. 7 In case of phase angle difference(10°)

Fig. 8은 마스터와 슬레이브 사이에 위상차가 60° 발생하였을 경우의 결과를 도시한다. 이 경우에는 순간적으로 마스터에 거의 정격의 6배에 가까

운 과도토크가 발생하며, 슬레이브에도 정격의 3.5 배에 달하는 과도토크가 발생한다. 동기화시 이외에 발전기 병렬운전 도중 원동기 조속기 및 원동기 자체의 불량으로 원동기가 정지할 경우 등도 발전기 사이의 위상차가 커지는 현상이 발생할 수 있고 큰 과도토크로 인해 발전기 원동기의 축, 커플링 등에 심각한 손상을 입힐 수 있다.



(a) Master generator



(b) Slave generator

Fig. 8 In case of phase angle difference(60°)

4. 결 론

본 논문에서는 선박용 발전기 동기화시의 수학적 모델을 제시하고 모델로부터 동기화 전압방정식을 유도하였다. 그리고 이 전압방정식을 사용하여 발전기 동기화시 및 병렬운전 중에 발생할 수 있는 과도현상을 모의실험 하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선박용 발전기 마스터와 슬레이브 동기화시 양 발전기간 전압차이 5[%] 이하, 주파수차 3[%] 미만 및 위상차 10° 이내의 정상적인 병렬운전 상태에서는 발전기에 큰 무리가 없는 동기화가

가능하다.

- 2) 자동 동기투입 장치를 설치한 발전기의 병렬 운전에서는 신뢰성이 높고 무리 없는 동기화가 가능하지만 동기화 후 병렬 운전 도중에 가버너, 원동기 이상 등으로 원동기가 갑자기 정지할 경우 발전기 사이에 큰 주파수차이 및 위상차이가 동시에 발생할 수 있고, 이로 인하여 발전기에 손상이 발생할 수 있다.
- 3) 수동으로 동기화를 행하는 선박에서는 운전자의 잘못된 동기투입으로 발전기에 순간적으로 과도한 토크를 발생시킬 수 있다. 육상발전소와 비교할 때 선박에서는 발전기 동기화시 용량이 큰 모터의 갑작스런 기동 등으로 전압 위상각 차이가 발생할 수 있고 또한 동기투입이 비교적 빈번하기 때문에 운전자의 실수로 인한 부적절한 동기화가 발생할 확률도 높다. 부적절한 동기화는 발전기 권선의 변형, 원동기 축 손상 등의 심각한 사고를 유발할 수 있다.

참고문헌

- [1] Paul C. Krause, "Analysis of Electric Machinery", McGraw-Hill, 1987
- [2] Hadi Saadat, "Power System Analysis", McGraw-Hill, 1999
- [3] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice Hall, 1998
- [4] Vincent Del Toro, "Electric Power Systems", Prentice Hall, 1992
- [5] Bhag S. Guru Huseyin R. Hisiroulu, "Electric Machinery and Transformers", Harcourt Brace & Company, 1995
- [6] A. Walton, "A Systematic Analytical Method for the Determination of Parameters of Synchronous Machines from the Results of Frequency Response Tests", Journal of Electrical Engineering-Australia, Vol. 20 No.1, 2000, pp.35-42.
- [7] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "ELECTRIC

MACHINERY", McGraw-Hill, 1991

- [8] Paresh C. Sen저 장도현, 차귀수, 신대철, 홍선기 공역, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", John Wiley & Sons, 1997

저 자 소 개



오세진(吳世眞)

1972년 5월생, 1996년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 2001년, 2003년 동대학원 졸업(석사, 박사) 현재 한국해양대학교 운항훈련원 교수



김중수(金宗洙)

1970년 6월생, 1994년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1998, 2002년 동대학원 졸업(석사, 박사) 현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수



김성환(金成煥)

1954년 11월생, 1979년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1990년 부덕대학교 대학원 졸업(석사), 1998년 부산대학교 대학원 졸업(박사), 현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수



이성근(李成根)

1959년 1월생, 1983년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1990년 동 대학원 졸업(석사), 1998년 동 대학원 졸업(박사), 1992년 3월 - 1998년 9월 대덕대학 제어계측과 교수, 1998년 9월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수



조성갑(趙誠鉞)

1978년 1월생, 2001년 한국해양대학 해양경찰학과 졸업, 2001. 3월 - 2004. 7월 SK해운 근무, 2004. 7월 - 현재 대우조선해양 전장설계 근무