Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 14, No.4, pp. 23~30 July 2000 [논문 : 14-4-4]

발전기 형태를 고려한 열병합발전시스템의 배전계통 연계운전시의 순시전압변동 해석

(Analysis on Momentary Voltage Dips with the Interconnection Operation of Utility-interactive Cogeneration Systems Considering Their Generator Type)

최준호* · 김재철**
(Joon-Ho Choi · Jae-Chul Kim)

요 약

열병합발전 시스템은 환경 친화적인 동시에 상대적으로 고 효율의 에너지 시스템으로서 분산 발전설비의 혁신 기술중 하나이다. 아울러 열병합발전 시스템은 열과 전기의 분산공급에 적절한 발전 시스템이다. 그러나, 열병합발전 시스템의 계통 연계는 전압 조정, 전압변동, 보호협조, 안전등의 제반 연계문제를 수반한다. 특히, 이러한 연계문제 중 열병합발전 시스템의 배전계통 연계·분리 운전은 배전계통의 전압조정 및 변동에 영향을 미칠 것이 예상된다. 최근 수용가 소유의 컴퓨터 및 민감한 전자소자의 사용 증가로 인하여 전력품질은 중요한 고려사항이 되고 있다. 따라서 열병합발전 시스템과 관련한 전압품질은 반드시 분석되어야만 한다. 왜냐하면 전압품질은 전력품질의 중요한 요소이기 때문이다. 본 논문에서는 열병합발전 시스템의 배전계통 연계 운전에 따른 순시전압변동에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석하였고, 또한 이의 억제 대책을 제시하였다. 아울러 순시전압변동 측면에서 본 피더 당 열병합발전시스템의 단위 도입 용량을 평가하였다. 본 논문의 결과는 열병합발전 시스템 또는 분산형 전원의 계통 연계 표준·가이드라인에 유용한 자료가 되리라 믿는다.

Abstract

Cogeneration systems are seen as a significant innovation for dispersed energy generation since they are both environmentally friendly and has comparatively high degrees of efficiency. It is especially suited for the decentralized provision of electricity and heat. However, it causes operational problems such as voltage regulation, voltage variation, protection and safety. Especially, it is expected that the interconnection/disconnection operation of cogeneration system has an effect on distribution voltage regulation and variation. Recently, with the increased use of customer-owned computers and other sensitive electronic equipment, electric power quality has become an important concerns. Therefore, the voltage quality problems with cogeneration system should be investigated because the voltage quality is an important part of electrical power quality. In this paper, the momentary voltage dips associated with the interconnection/disconnection operation of cogeneration system are analyzed, including restraint solutions at the customer level. In addition, the unit capacity of cogeneration systems per feeder are evaluated from the view point of momentary voltage variations. The results of this paper are useful analysis data for interconnection standards/guidelines of cogeneration systems and dispersed generation (DG).

* 정회원 : 숭실대학교 전기공학과 박사과정
** 정회원 · 숭실대학교 전기공학과 교수
접수일자 : 2000년 4월 15일

1. 서 론

최근 첨단산업의 발달로 컴퓨터 및 OA기기, 산업용 정밀 기기 등의 많은 보급으로 인해 수용가(Customer)는 신뢰성(Reliability) 및 품질(Quality)면에서 보다 나은 전력의 공급을 전력회사(Utility)측에 요구한다. 반면에 수용가는 전력의 신뢰성 및 경제성을 이유로 열병합발전 시스템 (COGN: Cogeneration Systems)등의 분산형 전원의 도입을 고려하는 시점에 있다. 하지만 이러한 열병합발전 시스템의 배전계통 연계는 계통 운영상의 변화 및 문제점을 내재하고 있다. 즉 전력조류의 양방향화로 인한 보호협조, 전압변동 및 조정, 단락용량 증가 등의 문제점을 가진다 [1-6]. 이러한 연계문제 중 열병합발전설비의 연계·분리 운전에 따른 배전계통의 순시 전압변동은 첨단 정보 기기 및 산업 정밀 기기 등에 오 동작 및 기기 정지 등의 악영향을 끼칠 우려가 있다.

열병합발전 시스템의 발전기가 동기 발전기 (Synchronous Generator) 의 경우에는, 배전계통 계통 연계/분리 운전 시 동기를 맞추어 연계할 경우의 순시 전압변동은 아주 미소할 것으로 예상된다. 하지만 경제성 이유로 유도발전기 (Induction Generator)를 사용할 경우, 배전계통 연계운전 시 정격전류의 4~5배의 무효 투입전류가 흐르므로 순시 전압변동의 크기가 클 것으로 예상된다. 따라서 열병합발전 시스템을 배전계통과 안정적으로 연계 운전하기 위해서는 반드시 이러한 문제점에 대한 연구가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 열병합발전설비의 배전계통 연계/분리 운전시 발생할 수 있는 순시전압변동에 관하여 분석하고자 한다. 이를 위해 열병합발전 시스템의 발전기 종류(동기기, 유도기) 및 배전계통의 등가모델을 확립하였고, 이를 억제할 수 있는 방안 중 하나인 한류 리액터 설치 방안을 제시하였다. 이는 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC (Power System CAD/Electro Magnetic Transient DC) [15]를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 아울러 순시 전압변동 측면에서 본 피더 당 열병합발전시스템의 단위 도입량을 평가하였다.

2. 전압 품질(Voltage Quality)

공학적으로 전력(Power)은 공급되는 전기적 에너지 즉 전압과 전류의 곱으로서 정의된다. 그러므로 이러한 전력의 정량적 의미를 질적 의미로서 품질을 정의한다는 것은 상당히 어렵다. 또한 일반적으로 전력 시스템은 특정 부하에서 요구하는 전류를 제어할 수는 없으며 오직 전압을 제어한다. 따라서 전력품질(Power Quality)분야에서 기준들은 전압의 유지형태에 중점을 두고 있다. 특히 이중 전압변동에 관련된 용어는 많은 연구자 및 학술단체간의 모호한 정의 및 많은 해석적 차이가 있었다. IEC (International Electrotechnical Commission)의 경우는 단시간(Short-duration)전압변동에 관련된 용어에 대한 규격을 제시하였고 ANSI (American National Standard Institute)에서는 장시간(Long-duration)전압변동에 관한 규격을 제시하였다. 이러한 규격은 현재까지 일반적으로 인정받고 사용되어지고 있으며 R. C .Dugan 등[7]은 이를 재정립하였다.

2.1 순시전압변동

일반적으로 통용되는 순시전압변동에 대한 특징 및 종류는 열거하면 다음과 같다.

순간전압강하(Sag, Dips)

0.5 [cycle]에서 1분 사이의 지속시간 동안에 공급전압의 실효치가 0.1[p.u.]에서 0.9[p.u.]사이의 값으로 감소하는 것을 지칭한다. 일반적으로 시스템사고에 의해 발생하며 시스템 내에서 영구 정전시 재폐로의 경우 광범위한 영역에 순간전압강하를 일으킨다.

순간전압상승(Swell)

0.5 [cycle]에서 1분 사이의 지속시간 동안에 공급전압의 실효치가 1.1[p.u.]에서 1.8[p.u.]사이의 값으로 상승하는 것을 지칭한다. 일반적으로 순간 전압강하의 반대의 의미로 사용되며 지락사고시의 건전상 선로, 대용량 부하의 절체시와 대용량 캐패시터 뱅크의 투입 등에 의해 발생한다.

순간정전(Interruption)

0.5 [cycle]에서 1분 사이의 지속시간 동안에 공급전압의 실효치가 0[p.u.]에서 0.1[p.u.]사이의 값으로 지속되는 현상을 지칭한다.

2.2 CBEMA 곡선

CBEMA 곡선은 컴퓨터 설비제조 연합(Computer Business Equipment Manufactures Association)에 의해 제안된 것으로 초기에 컴퓨터의 전압 외란에 대한 기기의 영향을 표현한 곡선으로서 이후 전압변

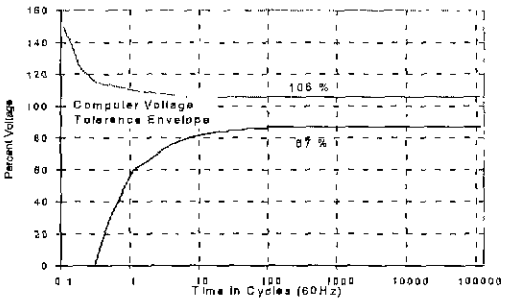


그림 1. 전형적인 CBEMA 곡선
Fig. 1. Typical CBEMA Curve

동에 대한 전력품질을 표현하는데 가장 많이 사용되고 있다 [7]. 그림 1은 전형적인 CBEMA 곡선을 나타낸다. 즉, 하나의 예로서 컴퓨터가 동작을 정지하는 순시전압변동은 10 cycle 이상에서 공칭전압의 106 [%]이상, 87 [%]이하이다.

3. 시스템 모델

열병합발전설비의 배전계통 연계·분리 운전시 발생할 수 있는 순시전압변동에 관하여 분석하기 위해서 배전계통의 모델, 발전기 형태에 따른 열병합발전 시스템의 모델링이 선행되어야 한다. 전자기 과도해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC상에서 배전계통과 열병합발전 시스템은 다음과 같이 모델링 하였다.

3.1 배전계통 모델

배전계통 모델은 전형적인 22.9[kV] 배전계통을 모델링 하였다. 본 논문에서는 22.9[kV] 배전계통 모델의 파라미터들을 등가화 하여 변전소, 가공선로, 계통변압기 및 부하 등으로 구성하였으며 이는 그림 2와 표1과 같다.

3.2 열병합발전 시스템의 모델

열병합발전 시스템의 모델은 열적 모델 및 전기적 모델로 나뉘어서 모델링이 가능하다. 그러나, 열병합발전 시스템의 순시 전압변동만을 해석한다면 열적 모델링은 생략 가능하다. 본 논문에서는 열병합발전 시스템의 모델을 전기적 모델링을 중심으로 발전기의 형태 (동기기, 유도기)에 따라 구분하여 모델링 하였다.

일반적으로 소형의 발전기의 경우 그 파라미터는 대형의 발전기와는 상이하다. 일반적으로 발전기의

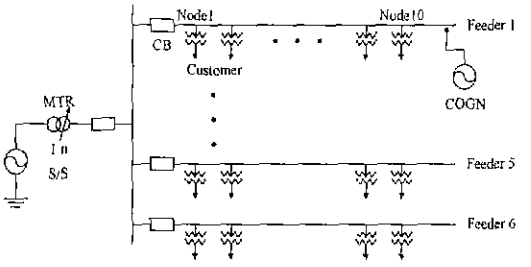


그림 2. 배전계통 모델
Fig. 2. Power Distribution Systems Model

표 1. 배전계통 모델 파라미터
Table 1. Parameters of Power Distribution Systems Model

전 원 측	영상분 임피던스 (Z_{s0}) [%]	0.257+j1.336
	정상, 역상분 임피던스 (Z_{s1} ,Z_{s2}) [%]	0.072+j0.757
배전용 변전소 주변압기	정 격 용 량 [MVA]	45/60
	임피던스(Z_t) [%]	j11
배전선로 ACSR 160mm^2	영상분 임피던스 (Z_{t0}) [%/km]	11.99+j29.26
	정상, 역상분 임피던스 (Z_{t1} ,Z_{t2}) [%/km]	3.47+j7.46
	선 로 길 이 [km]	10
피 더	수	6개

파라미터는 제조회사에서 제공한다. 그러나 소형 발전기의 경우는 제조회사에서 과도해석 및 동특성 해석 시뮬레이션을 위한 충분한 데이터를 제공하지 못하는 경우가 많다. 이러한 연구 중 [8]에서는 소형 분산형 전원의 단독 운전 및 과도해석을 위한 발전기, 여자기, 조속기 등의 데이터를 해석 및 제시하였다. 본 논문에서는 [8]에서 제공한 데이터를 기반으로 열병합발전 시스템을 다음과 같이 모델링 하였다.

3.2.1 동기발전기의 경우

1) 동기발전기 모델

동기발전기(1MW, $\cos\theta$=0.8)의 자세한 파라미터는 다음과 같다.

X_d : 2.38, X'_d : 0.264, X''_d : 0.201

X_q : 1.10, X''_q : 0.376, T'_{do}(sec) : 2.47,

T''_{do}(sec) : 0.0018, T''_{qo}(sec) : 0.01

S_G (1.0) : 0.1, S_G (1.2) : 0.57

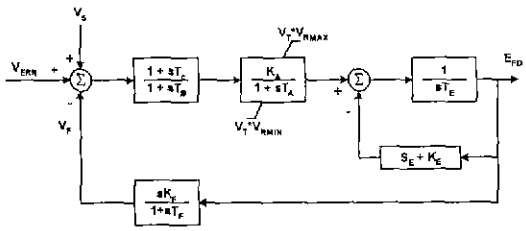


그림 3. 여자기 블록 다이어그램(IEEE DC2)
Fig. 3. Block Diagram of Exciter Model (IEEE DC2)

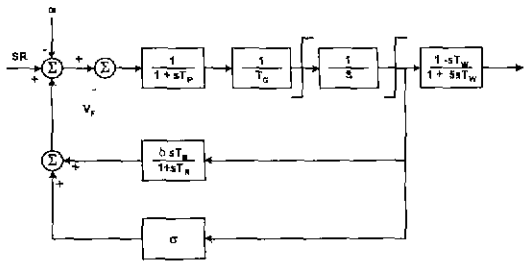


그림 4. 조속기/터빈 블록 다이어그램(IEEE Type2)
Fig. 4. Block Diagram of Governor/Turbine (IEEE Type2)

2) 여자기 모델

여자기 모델은 동기발전기를 사용하는 열병합발전 시스템에 적용된다. 그림 3은 동기발전기를 사용하는 열병합발전 시스템의 여자기 (IEEE DC2 Type Excitation System)의 블록 다이아그램을 나타내었으며 [9] 자세한 파라미터는 다음과 같다.

T_E : 0.2, K_E : 1.0, K_A : 500, T_F (Sec) : 0.49
$E_{FD\ max}$ (pu) : 5.4, $E_{FD\ min}$ (pu) : 0
S_E (max) : 0.66, S_E (0.75max) : 0.25
$V_{R\ max}$ (pu) : 9.0, $V_{R\ min}$ (pu) : 0
K_F (Sec) : 0.1, T_A (Sec) : 0.02, T_B (Sec) : 0
T_C (Sec) : 0.02

3) 조속기 · 터빈 모델

그림 4는 열병합발전 시스템의 조속기 · 터빈 모델 (IEEE Type2 Hydro Governor and Turbine)의 블록 다이어그램을 나타내었으며 [10,11] 파라미터는 다음과 같다.

T_P ($_{sec}$) : 0.05, T_G ($_{sec}$) : 4.3, σ : 0.05
T_r ($_{sec}$) : 0.75, δ : 0.24, T_W ($_{sec}$) : 0.15

조속기의 운전에는 등시 운전 (Isochronous Operation), 드룹 운전(Droop Operation), 정 출력 운전(Constant Power Operation)등이 있다. 이중 열병합발전시스템을 배전계통에 연계 운전할 경우 이의 경제성 및 안정성을 위해서 정 출력 운전(Droop = ∞, σ = 0)을 하는 것이 적정하다.

3.2.2 유도발전기의 경우

자려식(Self Excited) 농형 유도발전기(1MW, cos θ=0.9)의 자세한 입력 파라미터는 다음과 같다.

X_S : 0.098, r_s : 0.010, X_r : 0.120, r_r : 0.012,
r_m : 35, X_m : 2.48, H : 0.176

일반적으로 관성계수 H는 식(1)과 같은 수식으로부터 얻어진다 [16].

$$H = 5.48 \times 10^{-9} \frac{J(RPM)^2}{MVA\ \ rating} \ (\text{sec}) \quad (1)$$

여기에서, J : 관성 모멘트 (Moment of Inertia), RPM: 유도발전기 정격 회전속도, MVA rating: 유도발전기 정격용량

4. 배전계통 동기운전조건

4.1 동기발전기의 경우

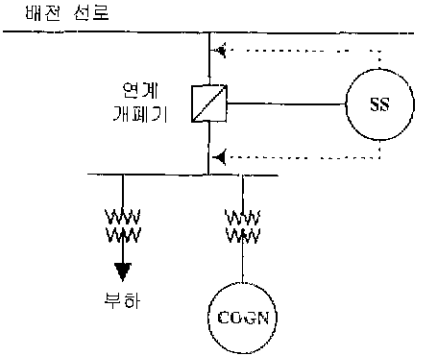
동기발전기의 배전계통 연계운전시에는 동기발전기와 배전계통과의 사이에 동기투입 조건들이(주파수차, 전압크기, 위상차) 만족될 때 연계운전이 이루어져야 한다. 만약 동기투입이 이루어지지 않는다면 소형 열병합발전 시스템 자체뿐 아니라 실비용량에 따라 전압변동, 주파수변동 등의 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 동기발전기의 배전계통 연계운전시에는 동기투입장치에 의해 반드시 동기투입이 이루어져야 한다. 그림5는 동기투입장치 실치의 일 예를 나타내며 표2는 연계운전시 동기투입조건을 나타낸다.[12]

4.2 유도발전기의 경우

유도발전기의 배전계통 연계운전시에는 동기화가 필요하지 않다. 자려식 유도발전기를 발전기로 하는 열병합발전시스템의 경우는 여자는 계통으로부터 공급받으므로 별도의 여자기 시스템이 필요 없다. 즉,

표 2. 동기투입절차
Table 2. Synchronizing scheme

동기투입절차	전압차	±5[%] 이내
	주파수차	0.2[Hz] 이내
	위상차	±5° 이내



SS: SynchroScope
COGN: Cogeneration (Synchronous Generator)

그림 5. 동기검출기 설치 예
Fig. 5. Illustration of SynchroScope Installation

배전계통 연계운전 전에는 단자전압이 존재하지 않는다 [13]. 따라서, 유도발전기를 배전계통에 연계운전시에는 원동기(Prime Mover)에 의해 회전속도를 동기속도 근방까지 가속 후 연계 운전하는 것이 바람직하다.

5. 사례 연구

5.1 동기발전기의 경우

동기발전기의 열병합발전시스템은 3절의 모델을 사용하였고, 이의 배전계통 연계 위치는 피더 1의 5 [km]에 연계하는 것으로 가정하였다. 열병합발전시스템은 1초에 배전계통에 4절의 동기운전 절차에 따라 연계운전을 하고, 2초에 분리운전 하는 것으로 가정한다. 피더의 부하는 10 [MVA], 역율 0.9로 가정하였다. 이때 변전소 주 변압기 2차 측 전압은 부하조건을 고려하여 22.9 [kV]로 선정하였다. 구내부하는 0 [%], 90 [%]의 두 가지의 조건으로 시뮬레이션 하였다. 그림 6, 7은 각각 1[MW]의 동기발전기가 배전계통 5 [km]에 구내부하 0 [%], 90 [%]로 연계 운전할 때의 유/무효전력 및 연계점 전압을 나타내고 있다. 동기발전기의 경우 배전계통 연계운전시 동기투입조건에 맞게 연계운전이 이루어졌을 경우, 순시전압변동은 그림6, 7에서 알 수 있듯이 0.7~1.5 [%] 이내의 전압상승이, 분리운전시의 순시전압변동은 0.7~1.5 [%] 미만의 전압강하가 발생함을 알 수 있다. 이의 이유는 동기발전기의 경우 정격운전이 지상운전으로서 계통에 무효전력을 공급하기 때문이다. 따라서, 동기발전기의 경우 동기투입조건에 맞는 연계운전을 할 경우 배전계통 순시전압변동에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.

5.2 유도발전기의 경우

유도발전기의 열병합발전시스템의 배전계통 연계위치는 피더 1의 5 [km], 10 [km]의 두 가지 조건으로 가정하였다. 나머지 부하조건, 계통 조건은 동기발전기의 경우와 동일하게 가정하여 시뮬레이션 하였다. 유도 발전기의 경우 계통 연계운전 전에는 발전을 할 수 없으므로 구내부하는 없는 것으로 가정하였다. 그림 8, 9는 각각 1 [MW]의 유도발전기가 배전계통 피더의 5 [km], 10 [km]에 연계/분리 운전할 때의 유/무효 전력 및 연계점 전압을 나타내고 있다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 1[MW] 유도발전기를 배전계통에 연계운전시 연계 위치에 따라 2.5~4 [%]의 전압강하가 발생함을 알 수 있으며 분리운전시에는 1 [%] 미만의 매우 작은 전압상승이 발생함을 알 수 있다. 이는 연계운전시 유도발전기의 여자를 위한 무효전력이 순시적으로 정격전류의 4배정도 이상 필요하기 때문이다. 아울러 연계운전시의 전압강하를 보면 연계위치가 길수록(선로의 임피던스가 클수록) 전압강하의 크기가 큼을 알 수 있다.

따라서, 유도발전기의 경우 동기발전기와는 달리 배전계통 연계운전시 상당히 큰 순시전압강하가 발생함을 알 수 있다.

5.3 순시전압강하 억제책

일반적으로 배전계통에서 순시전압변동의 허용범위는 공칭전압(Nominal Voltage)의 ±10 [%]이다 [14]. 그러나, 순시전압변동의 허용범위는 22.9 [kV] 선로의 경우 피더의 전압강하 및 간선의 전압강하 등을 고려한다면 5[%] 이내의 전압강하로 유지하는 것이 타당하다. 따라서, 유도발전기를 사용하는 열병합발전 시스템의 경우에는 순시전압강하를 억제할 수 있는 설비를 설치하여야 한다. 이러한 방안중 하

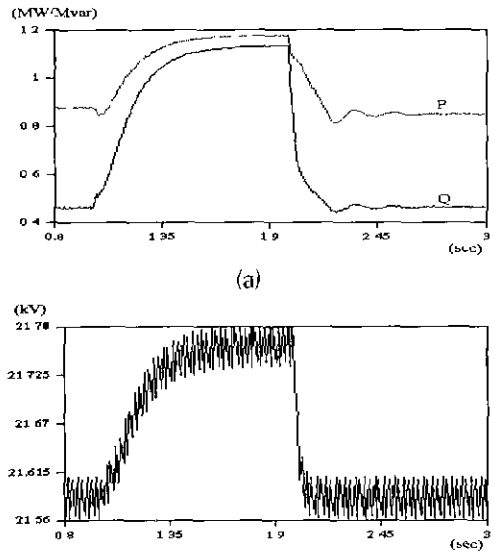


그림 6. 동기발전기 연계/분리 운전시(90% 구내부하) : (a) 유/무효 전력, (b) 연계점 전압

Fig. 6. Interconnection/Disconnection Operation of Syn. Gen. with 90% Internal Load: (a) Real/Reactive Power, (b) Voltage of Interconnection Point

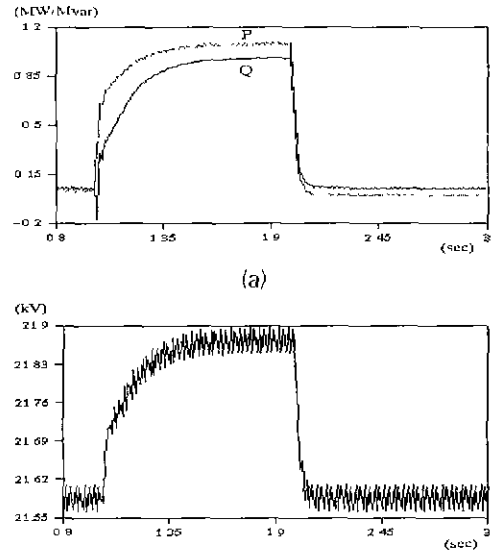


그림 7. 동기발전기 연계/분리 운전시 (0% 구내부하) : (a) 유/무효 전력, (b) 연계점 전압

Fig. 7. Interconnection/Disconnection Operation of Syn. Gen with 0% Internal Load: (a) Real/Reactive Power, (b) Voltage of Interconnection Point

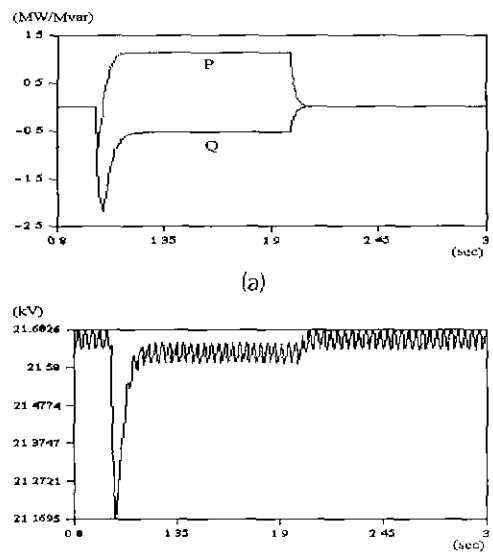


그림 8. 유도발전기 연계/분리 운전시(연계점: 5 km) : (a) 유/무효 전력, (b) 연계점 전압

Fig. 8. Interconnection/Disconnection Operation of Ind. Gen. (Interconnection Point: 5 km) : (a) Real/Reactive Power, (b) Voltage of Interconnection Point

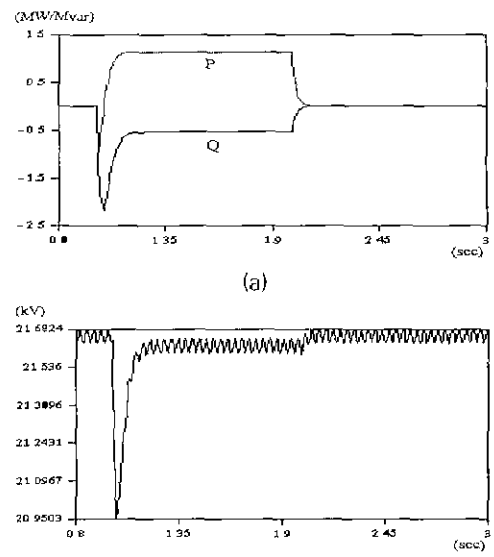


그림 9. 유도발전기 연계/분리 운전시(연계점: 10 km) : (a) 유/무효 전력, (b) 연계점 전압

Fig. 9. Interconnection/Disconnection Operation of Ind. Gen. (Interconnection Point: 10 km) : (a) Real/Reactive Power, (b) Voltage of Interconnection Point

나인 한류리액터 설치는 연계 임피던스를 증가시킴으로써 연계운전 순시시의 무효투입전류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 순시전압강하를 억제할 수 있다 [12, 17-18].

이를 확인하기 위해서 2[MW]의 유도발전기를 한류 리액터를 사용하여 연계운전시 전압변동을 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션 하였다. 그림 10은 열병합발전 시스템이 피더의 10[km]에 연계운전 할 때의 연계점전압을 나타내고 있다.

시뮬레이션 결과에서 보면, 한류리액터를 설치한 경우와 그렇지 않은 경우의 열병합발전 시스템 연계운전시 전압강하는 각각 7 [%], 2 [%] 정도이다.

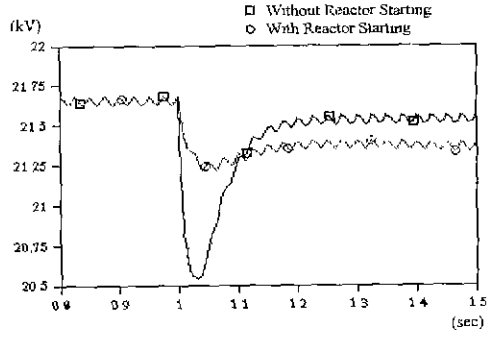


그림 10. 한류리액터 설치에 따른 유도발전기 연계운전시 전압 강하 (연계점: 10 km)
Fig. 10. Voltage Dips as the Interconnection Operation of Ind. Gen. with/without Current Limits Reactor (Interconnection Point: 10 km)

5.4 열병합발전 시스템의 피더당 단위 도입량

위의 시뮬레이션 결과에서 보면, 열병합발전 시스템의 발전기가 동기기의 경우는 이의 배전계통 연계/분리 운전시 순시전압변동은 적으므로 순시전압변동 측면에서 볼 때 배전계통 운용 및 제어에 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 하지만 이의 발전기가 유도기의 경우는 배전계통 연계운전시 연계점 전압 및 피더에 상당히 큰 순시전압강하가 발생함을 알 수 있었다. 따라서, 순시전압변동 측면에서 볼 때 배전계통의 적정 운용 및 제어를 위해서는 유도발전기의 열병합발전 시스템의 피더 당 단위 도입 용량을 적절히 제한하는 것이 필요하다. 이를 평가하기 위해서는 유도발전기의 열병합발전 시스템의 배전계통 연계 용량 및 위치에 따른 순시 전압강하율을 정확히 분석하여야한다. 그림 11에서는 유도발전기의 열병합발전 시스템의 배전계통 연계 용량 및 연계위치에 따른 순시 전압강하율을 나타내었다 [17-18].

순시전압변동 측면에서 본 유도발전기의 열병합발전 시스템의 단위 도입 용량은 다음의 식(2)와 같이 간략하게 표현될 수 있다.

$$CO_{MW} \cong V_{dips}^{\max} - \Delta V_{CO} \geq 0 \qquad (2)$$

여기에서, COMW : 순시 전압변동 측면에서 본 열병합발전 시스템의 피더당 단위 도입 용량, $V_{dips}^{\max}$: 최대 허용 순시 전압강하율, ΔVCO : 열병합발전 시스템의 연계운전에 따른 순시 전압강하율

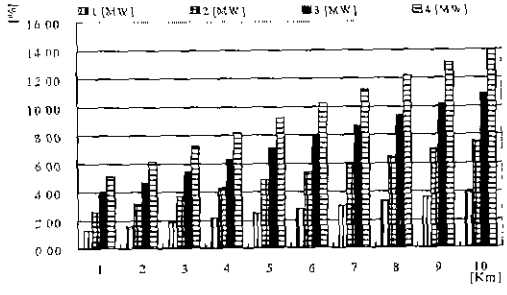


그림 11. 연계용량 및 위치에 따른 순시 전압강하율
Fig. 11. Voltage Dips as the Interconnection Capacity and Location

최대 허용 순시 전압강하율 ($V_{dips}^{\max}$)을 5 [%]로 가정하고 유도발전기의 열병합발전 시스템의 단위 도입량을 평가하면, 연계위치가 5 [km], 10 [km]일 때 각각 2 [MW], 1[MW]미만으로 이의 용량을 제한하는 것이 적정할 것으로 보인다. 이러한 연계 용량의 제한은 배전계통의 구성 및 조건에 따라 다소 차이가 날수 있다. 따라서, 연계용량의 제한은 각 배전용 변전소의 배전계통 구성 및 조건을 고려하여 적용하여야 한다.

6. 결 론

본 논문에서는 열병합발전 시스템의 배전계통 연계/분리운전시 발생하는 순시전압변동에 관하여 전자

기 과도해석 프로그램인 PSCAD/ EMTDC를 사용하여 해석하였다. 과도해석을 위해서 열병합발전시스템의 모델을 발전기 형태별(동기기, 유도기)로 동적 모델을 확립하였다. 순시전압변동 시뮬레이션 결과를 요약하면 다음과 같다: (1) 동기발전기의 경우, 배전계통 연계/분리운전시 순시전압의 변동이 ±1 [%] 미만으로 아주 작음을 알 수 있었다. (2) 유도발전기의 경우, 배전계통 연계운전시 연계점 전압 및 피더에 상당히 큰 순시전압강하가 발생함을 알 수 있었다. 이러한 순시전압강하는 최근에 널리 사용되는 컴퓨터 및 정밀기기 등에 상당한 충격을 준다. 따라서, 열병합발전시스템 소유자는 이러한 순시전압강하를 억제할 수 있는 대책을 마련할 필요가 있다. 이와 관련된 방안중 하나인 한류리액터 설치방안은 시뮬레이션결과 순시전압변동을 억제할 수 있음을 알 수 있었다. 아울러 본 논문에서는 순시 전압변동 측면에서 본 피더 당 열병합발전시스템의 단위 도입 용량을 평가하였다. 결과에서 보면 유도발전기를 사용한 열병합발전 시스템이 배전계통에 연계될 경우에는 순시 전압강하율이 연계 계통의 최대 허용 순시 전압강하율을 벗어나지 않는 범위 이내로 단위 용량을 제한하는 것이 적정하며, 그 이상의 용량에서는 한류리액터 설치 등의 순시전압강하 억제 방안을 강구하여 배전계통에 연계하여야 한다. 본 논문의 결과는 열병합발전 시스템 또는 분산형 전원의 계통 연계 표준/가이드라인에 유용한 자료가 되리라 믿는다.

참 고 문 헌

[1] H. Kirkham and John Klein, "Dispersed Storage and Generation Impacts on Energy Management Systems", IEEE Trans. PAS, Vol. 102, No. 2, February 1984

[2] H. Kirkham and R. Das, "Effects of Voltage Control in Utility Interactive Dispersed Storage and Generation Systems", IEEE Trans. PAS, Vol 103, No. 8, August 1984

[3] R. C. Dugan, S. A. Thomas. and D. T. Rizy, "Integrating Dispersed Storage and Generation (DSG) with An Automated Distribution System", IEEE Trans PAS, Vol. 103, No. 6, June 1984

[4] 최준호, 김재철, "분산형전원이 연계된 배전계통의 주변압기의 새로운 전압조정에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, 47권, 12호, 1998년 12월

[5] 최준호, 김재철, "전압 조정측면에서 본 소형 열병합발전 배전계통 도입량 평가", 대한전기학회 논문집, 48A권, 9호, 1999년 9월

[6] 김재철, 최준호, 김응상, 김제인, "열병합발전시스템의 배전계통 도입진망 및 운용대책", 대한전기학회 학회지, 48권, 3호, 1999년 3월

[7] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan. and H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 1996

[8] William B. Gish, "Small Induction Generator and Synchronous Generator Constants for DSG Isolation Studies", IEEE Trans. PAS, Vol. 105, 1986

[9] IEEE Committee Report, "Excitation System Models for Power System Stability Studies", IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No. 2, February 1981

[10] D. C. Ramey and J. W. Skooglund, "Detailed Hydro-governor Representation for System Stability Studies", IEEE Trans. PAS, Vol 89, No. 1, January 1970

[11] IEEE Committee Report, "Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies", IEEE Trans. PAS, Vol. 92, Nov./Dec 1973

[12] 日本電氣技術基準調査委員會, 分散型電源系統連系技術指針, JEAC 9701, 1993.

[13] John R. Parsons, Jr., "Cogeneration Application of Induction Generators", IEEE Trans. IA, Vol. 20, No. 3, May/June 1984

[14] ANSI/IEEE Std 141-1986, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.

[15] Manitoba HVDC Research Centre, PSCAD/EMTDC power system simulation software manual, 1994.

[16] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc, pp. 128-134, 1993

[17] 김재철, 최준호, 김두봉, 소형 열병합발전설비 전압관리방안 연구, 숭실대학교 생산기술연구소, 1998

[18] 최준호 외, "소형 일빙합빌전설비가 연계된 배전계통의 순시전압변동", 대한전기학회 하계학술대회, PSP 52, Vol. C, 1998년 7월

◇ 저자소개 ◇

최 준 호 (崔峻豪)

1970년 7월 30일생. 1996년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1998년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

김 재 철 (金在哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학과 교수