

PLC를 이용한 고속동작 부하차단 및 계통분리 시스템

유영식*, 오석봉**, 이강원***

*삼성중공업(주), **삼성전기(주), ***DAEHW Engineering Co. Ltd.

Fast Acting Load Shedding and Network Split System Using PLC

Young Sik Yu*, Seok Bong Oh**, Kang Wan Lee***

*SAMSUNG Heavy Industries Co., Ltd. **SAMSUNG Electro-Mechanics Philippines, Corp. ***DAEHW Engineering Co. Ltd.

Abstract - 자가디젤발전기를 운전하고 있는 산업체 전력계통에서 전력공급의 신뢰성을 높이기 위해 전력회사와의 연계선 분리에 따른 수급 불균형과 전력회사 계통 동요로 인한 계통 불안정 상태에 대처하기 위한 부하차단 및 계통분리 안정화 시스템을 고속동작이 보장되는 PLC로 구축하여 현장에 적용한 연구 사례이다.

이는 전력회사의 송배전 계통이 대부분 자연에 노출되어 있는 반면 잦은 태풍 및 폭우 등이 발생하는 지리적 여건에 따라 나타나는 것으로 판단된다. 특히 우기철의 경우 전력회사 계통 동요가 자주 발생하기 때문에 이와 같은 일련의 사태로 인하여 산업체 전력계통 정전이 자주 일어나고 있다.

1. 서 론

전력계통이 다소 취약한 외국에서 자가디젤발전기를 계통과 연계하여 운전하는 산업체 전력계통 운전 경험에 따르면 전력회사 계통 동요로 인하여 주파수와 전압이 안정운전 목표 값을 벗어나는 경우가 자주 발생하고 있으며, 이것 때문에 전력계통 불안정 상태가 진행되어 수요의 많은 부분을 담당하는 자가디젤발전기들이 운전되고 있음에도 불구하고 산업체 전력계통을 정전시켜 기업의 생산성을 저하시키는 사례들이 빈번하게 일어나고 있다. 본 논문은 이와 같이 비교적 취약한 조건하의 전력계통에서 전력공급의 신뢰성을 높이기 위해 PLC를 이용한 고속동작 부하차단 및 계통분리 시스템을 설계 및 제작하여 실제계통에 적용한 연구 사례를 제시한 것이다.

2.2 수급 불균형

3대의 디젤발전기가 연계되어있는 전력계통에서 전력회사 계통으로부터 분리되어 단독 전력계통이 될 때 발전기 운전조건에 따라 자가발전기가 담당하는 부하분담률, 과부하율이 각각 다르게 나타난다. 대상 전력계통에서 운전 가능한 자가발전기 운전상태에 따라 계통이 전력회사로부터 분리되었을 때 이들이 부담하게 되는 과부하율은 [표 1]과 같다.

[표 1]자가발전 부담 과부하율

발전기 운전조건	발전[MW]	수요[MW]	과부하[p.u.]
1대 운전	3.6	11.055	2.07
2대 운전	7.2	11.055	0.54
3대 운전	10.8	11.055	0.02

2. 본 론

2.1 전력계통 구성 및 운영 상태

부하차단 대상 전력계통은 전력회사와 34.5kV 가공배전선로를 통하여 연계되어 있고 4000kW, 4160V, 3상, 60Hz 디젤발전기 3대가 병렬로 운전되어 전력을 공급하고 있다. 전력계통의 운전 경험에 따르면 비교적 잦은 전력회사 계통 동요로 주파수와 전압이 운전 목표 값을 벗어나는 경우가 자주 발생하고 있으며 이로 인하여 강한 전력회사 전력계통에 종속적인 산업체 전력계통이 많은 부분의 전력공급을 담당하고 있음에도 불구하고 계통 불안정 상태 진행으로 정전이 빈번하게 일어나고 있는 실정이다.

단, 발전은 주파수 추종운전을 고려하여 적정 순동태비율을 확보할 수 있도록 최대 가능출력의 90%로 가정한 것이다.

주어진 전력계통에서 급격한 발전과 수요 사이에 불균형이 발생하는 상태는 계통분리에 의한 것과 전원탈락에 의한 것 2가지로 나누어 고찰할 수 있다.

- 계통분리 수급불균형 과부하

$$P_{d1} = \frac{P_L - P_{Go}}{P_{Go}} = \frac{P_d}{P_{Go}} [p.u.] \quad \text{-----(1)}$$

- 전원탈락 수급불균형 과부하

$$P_{d2} = \frac{P_{GX}}{P_{Go} - P_{GX}} = \frac{P_d}{P_{Go} - P_{GX}} [p.u.] \quad \text{-----(2)}$$

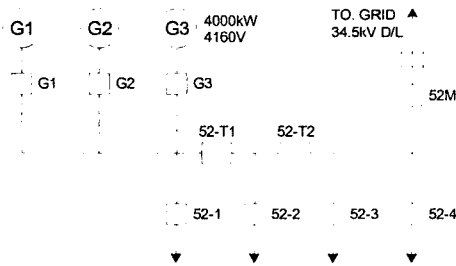
여기서

P_L : 단독계통 부하 [MW]

P_{Go} : 분리전 총발전 [MW]

P_{GX} : 탈락 발전 [MW]

일반적으로 전원탈락 또는 계통분리에 의한 과부하가 1.0[p.u.]이상인 경우 급격한 주파수저하(df/dt)로 매우 짧은 시간에 계통주파수가 전력계통 안정운전 한계 주파수인 57[Hz]에 도달하기 때문에 통상적인 저주파수계전기 에 의한 부하차단으로 계통을 안정화시키는 어렵다. 따라서 가능하면 고속으로 과부하율을 최소화하여 전력계통을 안정화 시키는 방안이 강구되어야 한다.



[그림 1] 전력계통 구성도

2.3 부하차단 및 계통분리 방안

전력계통에서 발전과 수요 간의 불균형 발생으로 계통 주파수가 저하되는 경우 전력계통을 안정시키도록 저주파수계전기에 의하여 부하를 차단하게 되는데 이때 저주파수계전기 정정값과 차단부하량을 적정상태로 결정하는 것이 매우 중요하다. 반면에 산업체 전력계통의 경우 생산공정에 따라 대부분 부하차단 우선순위와 부하차단량이 결정되기 때문에 최적 상태의 부하차단 단계와 차단부하량을 결정하는 유연성에 제약이 따르게 된다.

[표2] 부하차단 방안

순위	차단부하	차단누적	잔유부하	UFR(Hz)	TD(sec)
1	0.75	0.75	11.055	58.7	0.05
2	3.39	4.14	10.305	58.4	0.05
3	4.455	8.595	6.915	58.1	0.05
	2.46	11.055	2.46		

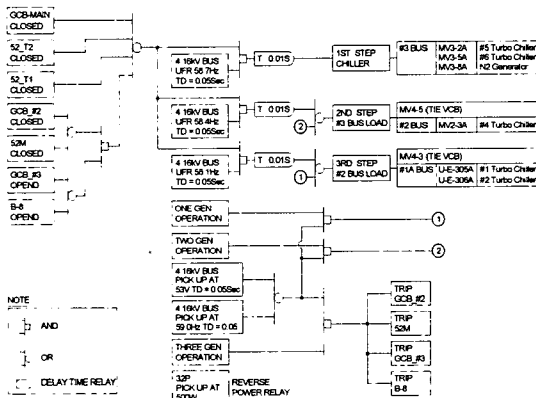
[표2]는 대상 전력계통의 수요를 11.055[MW]로 가정하여 생산 공정을 고려 부하차단 우선순위 및 부하차단 전력을 결정할 것이다. 부하차단은 모두 3단계로 구성하여 주파수 검출을 각각 58.7, 58.4 및 58.1[Hz]로 정하고 과도상태에서 저주파수계전기 오동작을 피할 수 있도록 저주파수계전기 시간지연은 0.05초(3사이클)로 정하였다.

자가발전기가 운전되고 있는 산업체 전력계통을 정전 상태로 진행시키는 전력회사 계통 동요를 검출하기 위한 로직 즉, 계통 주파수와 전압이 운전 목표값을 벗어나서 불안정 상태로 진행시킬 수 있는 계통 동요 검출은 다음과 같이 가정하였다.

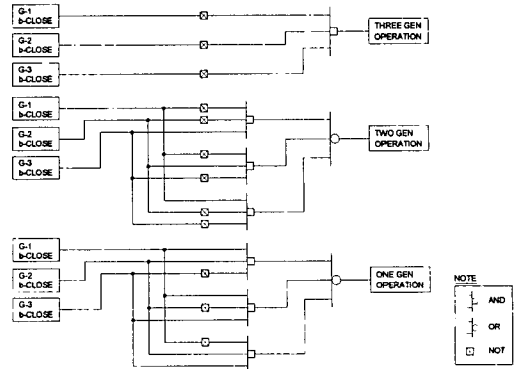
- 전압 85%이하 0.05초 지속
- 주파수 59.0Hz이하 0.05초 지속

대상 전력계통은 4000kW, 416kV, 3φ, 60Hz 디젤발전기 3대가 운전될 수 있으므로 이를 감안하여 자가발전기 운전 조건에 따라서 전력계통이 불안정할 경우 전력계통을 적정 지점에서 분리하므로써 운전 중인 디젤발전기들이 중요부하에 전력을 계속 공급할 수 있는 안정화로 전력공급의 신뢰성을 높일 수 있게 될 것이다.

[그림2]는 부하차단 및 계통분리 방안을 나타낸 것으로 그림의 상단 부분이 부하차단이고 하단이 전력계통 동요를 검출하는 로직이다. [그림3]은 자가디젤발전기 운전조건을 나타낸 것이다. 즉 발전기 3대, 2대 및 1대 운전 상태를 판단하는 로직이다.



[그림 2] 부하차단 및 계통분리 방안

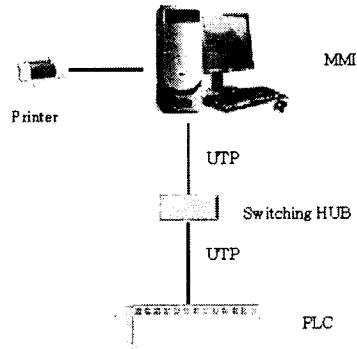


[그림 3] 자가디젤발전기 운전 조건

2.4 PLC를 이용한 부하차단 및 계통분리 시스템

산업체 전력계통은 시간이 지나면서 생산 공정 증설 또는 변경에 따라 그리고 발전기 증설과 같은 전원 변경으로 전력계통이 변하게 된다. 산업체 전력계통에 적용되는 부하차단 및 계통분리 시스템은 이와 같은 전력계통 변경에 따라 수정 또는 보완이 필요하다. 아울러 부하차단 및 계통분리 시스템은 전력계통에 발생한 불안정한 계통상태를 판단하여 신속하고 정확하게 동작하여 그 책무를 다하게 되는 것이다.

기존의 저주파수계전기, 핀보드(Pin board) 및 보조점점들을 이용한 부하차단시스템은 대상 전력계통 변경에 따라 요구되는 수정 보완이 용이하지 않고 동작의 신뢰성 등에도 취약한 단점이 있었다. 여기에 반하여 PLC를 이용한 부하차단시스템은 수정 및 보완의 우수한 유연성과 동작의 신뢰성은 물론 부하차단 및 계통분리 판단에서 실행까지 최단시간에 실시될 수 있으며, 다양하고 풍부한 MMI(Main machine interface) 기능 활용으로 정확한 동작상태 정보 등을 얻게 되어 진보된 성능개선이 가능하게 되었다. 특히 요즘의 저주파수계전기 등은 별도의 변환기(Transducer) 없이 계전기와 PLC간 통신선 설치만으로 고속의 정확한 주파수 및 전압 자료취득이 가능하다. [그림4]는 PLC를 이용한 부하차단 및 계통분리 시스템 개요도를 나타낸 것이다.

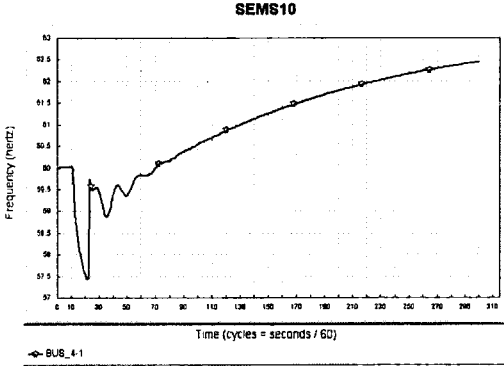


[그림 4] PLC를 이용한 부하차단 및 계통분리 시스템

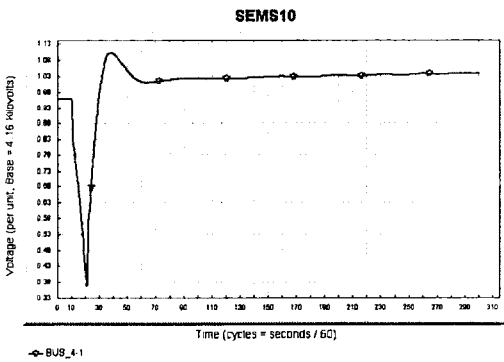
2.5 부하차단 및 계통분리 시스템 동특성 모의

대상 전력계통이 강인한 전력회사 계통으로부터 분리되는 경우는 2가지로 분류할 수 있다. 첫째, 전력회사와의 연계선로 또는 인접 전력계통의 전기적 고장으로 보호계전기 등에 의하여 계통이 분리되어 대상 전력계통이 단독계통이 되는 경우와 둘째, 전력회사의 계통 동요를 검출하여 계통분리 시스템에 의하여 전력계통을 분리 단독 계통이 되는 경우이다.

전력계통 안정화 대책인 부하차단 및 계통분리 시스템 동작 형태는 자가발전기 운전 대수에 따라 다르게 된다. 여기서는 상대적으로 취약한 발전기 1대 운전 경우를 예시한다. [그림 5]와 [그림 6]은 발전기 1대가 운전되고 있는 상태에서 전기적 사고로 전력회사 전력계통으로부터 분리되어 이에 대응하는 부하차단이 실시되는 상태의 4.16kV 주파수와 전압을 안정도해석(Transient Stability Analysis) 프로그램으로 모의한 결과이다.

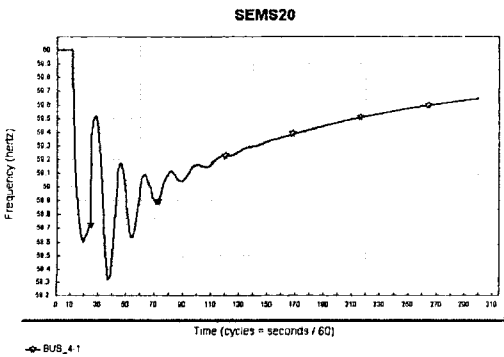


[그림 5] 발전기 1대 운전 부하차단 4.16kV모선 주파수

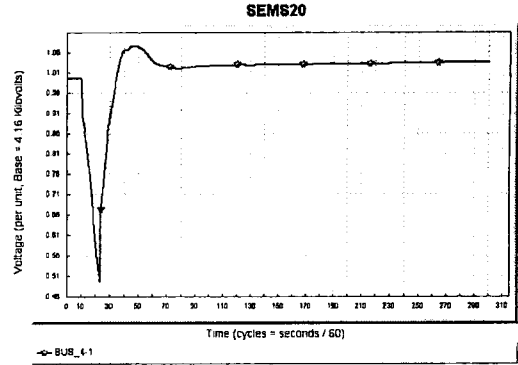


[그림 6] 발전기 1대 운전 부하차단 4.16kV모선 전압

[그림 7]과 [그림 8]은 앞에서와 같이 발전기 1대가 운전되고 있는 상태에서 전력회사의 계통 동요를 모의하여 여기에 대응하는 계통분리가 일어난 상황에서 자가발전기가 전력을 공급하는 전력계통의 전기적 중심이 되는 4.16kV모선 주파수와 전압을 안정도 해석프로그램으로 모의한 결과이다.



[그림 7] 발전기 1대 운전 계통분리 4.16kV모선 주파수



[그림 8] 발전기 1대 운전 계통분리 4.16kV모선 전압

동특성 모의 결과는 모두 안정화 되는 것으로 나타났다. 대상 전력계통이 단독 계통이 되는 경우 유효전력이 부족하여 주파수가 하락하게 되고 무효전력 부족으로 인하여 전압이 급격히 저하되고 있다. 그러나 안정화 대책인 부하차단 또는 계통분리가 고속으로 이루어져 주파수와 전압이 안정 상태로 복귀된다. 이는 부하차단 및 계통분리 후 자가발전기에 의한 과부하율이 비교적 작기 때문인 것으로 판단되며 내연기관이 갖게 되는 동특성 취약성을 감안하여 사전에 과부하율이 최소가 되도록 설 계 및 구성하였기 때문에 전력계통이 안정화 된 것으로 판단된다.

3. 결 론

자가발전기를 강인한 전력계통에 연계하여 운영하는 산업체에서 적정 부하차단 및 계통분리 시스템을 설치하여 운영하게 되면 전기 사고시 정전을 최소화하여 전력공급의 신뢰성을 향상시켜 기업의 생산성을 증대시킬 수 있다. PLC를 이용한 부하차단 및 계통분리 시스템은 이의 고속 동작으로 전력계통 과도상태에서 신속한 안정화가 달성될 수 있으며, 산업체 전력계통 변경에 따라 요구되는 수정 및 보완의 유연성이 매우 양호하다. 아울러 뇌격 또는 전기적 잡음이 있을 것으로 예상되는 취약한 주위 환경에는 동작의 신뢰성이 보장되는 장점이 있게 된다. 물론 이와 같은 장점은 PLC를 동작시키는 전원의 안정화가 확보된 상태에서 가능한 것이다. 현재 실제 계통에 설치되어 운전되고 있는 안정화 시스템은 앞에서 언급된 것과 같이 MMI기능 활용으로 다양하고 풍부한 동작 및 전력계통 운전 상태 정보를 취득하고 있어 앞으로 더욱 개선된 시스템으로의 수정 및 보완 등이 가능할 것이다. 오늘날 산업체, 빌딩 및 선박 등에서 동력으로 다수의 디젤발전기가 이용되고 있으며, 높은 전원공급 신뢰도가 요구되고 있다. PLC를 이용한 고속동작 부하차단 및 계통분리 시스템은 이와 같은 환경에서 전력공급의 신뢰성을 높일도록 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이강완, 김형태, 임주일, "정유공장 전력계통 동특성을 고려한 부하차단 시제연구", 대한전기학회, 2000년도 대한전기학회 학계학술대회 논문집, PP.61-65, 2000, 7
- [2] 강용철, 최승환, 이강완, "과도한 과부하율을 고려한 부하차단 방안 연구", 전력계통보호제어연구회, 2003년 전력계통 보호제어연구회 학술 및 기술발표회 논문집, pp. 66-77, 2003, 2
- [3] "CYMSTAB for Windows User's Guide and Reference Manual", CYME International T & D Inc., August 2004