

系統條件 變更에 따른 故障時 負荷側의 瞬間電壓降下 影響分析

尹琦燮, 白承度, 丘成完, 李鐘守, 李洪紀
한국전력공사

Analysis of voltage sag effect at load side during fault according to change of power system condition

Gi-Seob Yoon, Seung-Do Baik, Sung-Wan Gu, Chong-Soo Lee, Hong-Gi Lee

Abstract - In this paper, we analyze about voltage sag effect at load side during fault according to change of power system condition, through the case studies, we find that there is no close connection between substation bus transfer and voltage sag during fault, however, we find that other feeder connecting with the faulted transmission is directly affected by fault type and magnitude, therefore, the main subject can be divided into the utility and customer side countermeasures, utilities concentrate their effort to prevent the faults and to modify the fault clearing practice in power system, however, the faults in power system can never be completely eliminated, therefore, customer side solutions usually involve the power conditioning equipment for sensitive loads also, we investigate that the several methods to reduce the number and severity of voltage sag and to dull the sensitivity of equipment for voltage sag have developed, moreover, about SEMI, the industry association for the semiconductor two voltage sag immunity standards.(SEMI F47, SEMI F42) The simulation is accomplished by PSS/E 26.

1. 서 론

전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰등에 의해 발생한 경우 고장점(Fault location)을 보호계전기(Protective Relay)가 동작하여 차단기(Circuit Breaker)로 고장 구간을 전력계통에서 분리하기까지의 시간(Fault duration time), 즉, 고장점을 중심으로 인근계통의 전압이 순간적으로 저하하는 현상을 말하며, IEEE Std 1159-1995에서는 0.5Cycle에서 1분 동안 전력계통에서 전압이 RMS값으로 0.1~0.9pu 이내로 감소하는 것이라고 정의하고 있다. 전력품질이 좋고 나쁨을 말할 때 주파수, 전압, 무정전등 광범위한 의미를 광범위한 의미를 포함하고 있으나, 전력계통이 복잡·다양해지고, 전력전자기술(power electronic technology)을 이용한 전력변환설비가 개발 및 도입됨에 따라 전력품질(Power Quality) 고조파(Harmonics), 순간전압강하(Voltage sag), 플리커(Flicker)등으로 세분화하여 전력품질 지수(Power Quality Index)규정하고 있는 추세이다. 3가지 항목 중에서 특히 문제시되고 수용가 수 전설비에 직접적으로 피해를 끼치는 순간전압강하에 대하여 실제통에 적용하여 검토·분석하였다. 순간전압강하를 전력계통측면에서 저감시키는 것은 현실적으로 경제적인 어려움이 따를 뿐만 아니라, 전력계통 안정도향상 측면에서도 많은 제약이 따른다. 즉, 현재로서는 저압측(수용가)에서 정전압 보상장치(UPS, DVR등)를 설치하는 것이 가장 효과적인 방법이며 최선책인 것이다. 본 논문에서는 계통조건 변경에 따른 부하측의 순간전압강하 영향을 분석하기 위해 PSS/E Program를 이용하였으며, 계통조건변경(변전소 모선분리 및 결합운

전)에 따른 동일조건 고장시 수용가측에 미치는 순간전압강하 영향분석 및 실제 전력계통 고장시 기록된 Data와 비교·분석하였다. 특히, 순간전압강하에 민감한 부하인 반도체 산업분야의 Voltage Sag기준(SEMI F42, F47)을 조사하였다.

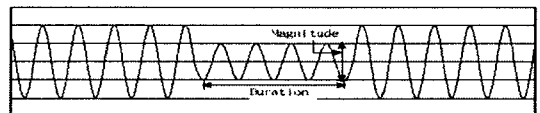
2. Voltage Sag

2.1 정의

배전계통(Distribution Line Network) 및 154kV 한전 직거래 수용가에서 전력품질 외란에 영향을 미치는 요소중 가장 일반적인 현상이 Voltage Sag이다. 민감한 전자 장치의 증가로 인하여 Voltage Sag와 같은 외란은 소비자에게 중대한 관심사중 하나일 뿐만 아니라 전력의 생산자도 손실 없이 양질의 전력을 공급하기 위해서 계통을 모니터링하고 이에 대한 대처방안이 중요시되고 있다. Voltage Sag는 주로 전동기의 기동시 정격 속도로 가속하는 동안, 전력계통에서 고장이 발생하여 고장을 제거하기 위하여 스위치가 작동할 때, 과도부하의 변화에 의해서 발생한다. Voltage Sag는 시스템의 고장상태와 관계가 있으나 그리 혼란 현상은 아니다. 우리나라와 같이 유효접지(직접접지) 및 다중접지방식을 적용하는 계통에서 단상 지락 고장시 고장상의 전류는 증가하나 전압은 순간적으로 고장점에 따라 순간전압강하로 나타난다. Voltage Sag의 발생은 크기와 지속시간에 관련하여 컴퓨터 장치나 다른 제어장치들이 중단될 수 있으며 데이터 손실도 초래한다. Voltage Sag의 크기는 전력계통상에서 고장위치와 수용가와 의 거리, 고장지속시간은 고장이 발생한 순간부터 제거될 때까지의 시간으로 결정된다. 기존의 Voltage Sag의 검출방법으로는 전압의 RMS방법에서 Voltage Sag는 주어진 시간의 범위 내에서 전압의 RMS값으로 정의되어진다. 전압의 RMS는 다음 식과 같이 한 주기를 Sampling한 값으로 계산되어진다.

$$V_i^{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N V_j^2}$$

여기서, N은 한 주기당 Sampling된 개수이고, V_j는 j 번째 Sample의 전압을 나타내고, V_i^{rms}는 i번째 sample에서 계산되어진 전압의 RMS를 나타낸다.



Category	Duration	Voltage Magnitude
Instantaneous	0.5 ~ 30 cycle	0.1 ~ 0.9 pu
Momentary	0.5 cycle ~ 3 sec	0.1 ~ 0.9 pu
Temporary	3 sec ~ 1 min	0.1 ~ 0.9 pu

2.2 발생원인

발생원인은 크게 낙뢰, 전력계통사고(기기소손, 지락, 산물등) 및 대형 Motor 기동시 발생한다.

가. 낙뢰(lightning)

전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰 등에 의해 고장이 발생한 경우 설비의 손상을 최소화하기 위하여 전압, 전류, 전력의 동요를 최소한으로 억제하여 전력계통의 안정도를 유지하기 위해 고속도로 송변전설비 보호계전기가 고장을 검출하여 차단기를 동작시켜 고장구간을 계통에서 분리할 필요가 있다. 고장제거시간은 보통 5cycle 내의 임.(보호계전기 동작시간(1.5cycle) + 보조계전기 동작시간(1cycle) + 차단기 동작시간(2cycle))

나. 전력계통 고장

전력계통에서 지락 및 단락사고가 발생하면 보호계전기와 차단기에 의해 고장점이 건전 전력계통에서 분리되어 고장이 제거되는 사이 순간전압강하(Voltage Sag) 및 순간정전(Interruption)이 발생한다. 아래 그림에서와 같이 송전선로에 고장이 발생하면 A,B차단기가 동작하여 고장점이 분리되는 사이 Voltage Sag가 발생된다.

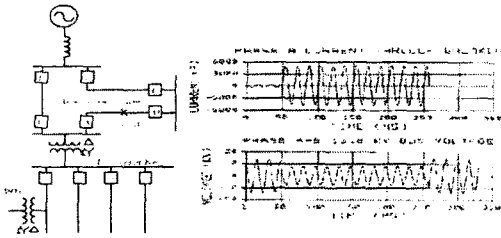


그림 2.2.1 고장시 계통도와 전압 및 전류변화

계통의 고장유형별 전압저하는 다음과 같이 나타난다.

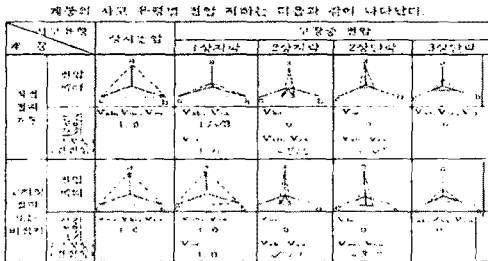


그림 2.2.2 고장유형별 전압저하

다. Motor Starting

전력설비의 대형화에 따라 전동기 용량도 대형화되어 기동시 발생하는 기동전류로 인하여 Voltage Sag 발생한다. 전동기는 정격전류의 150%에서 500%를 기동시 필요로 하며, 전기히터의 경우도 정격전류의 150%를 필요로 함.

라. 고장점과 Voltage sag 관계



그림 2.2.3 고장시 계통도

가. 고장점이 "c"인 경우

고객B에 비하여 A고객의 전압저하는 상대적으로 적다. 이는, A고객이 고장점보다는 전원측 근단에 위치하고 있기 때문이다.

나. 고장점이 "b"인 경우

고객B는 비전원단측으로 고장전류가 선로에 공급되지 않으므로 전압은 "0"이고 A고객은 "c"고장시보다 약간 더 강하는 것을 알 수 있다.

다. 고장점이 "a"인 경우

전원이 양전원단 이므로 100kV 전원측에서 고장시 타 전원측 275kV Bus는 건전하여 A고객, B고객측의 전압은 정상전압은 아니나 일정값 이상은 존재한다.

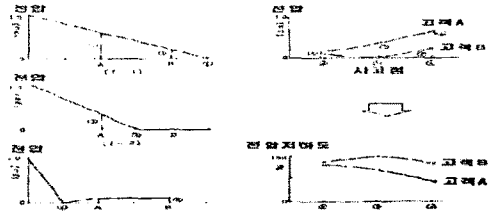


그림 2.2.4 고장점에 따른 전압저하 유형

2.3 Voltage Sag가 부하에 미치는 영향

가. 전자기기 전자접속기의 電壓變動에 의한 影響

1) 일반적인 설비

○ FA/OA기기(컴퓨터, 공장등 프로세스 제어등)

10~20% 이상의 전압저하가 0.003 ~ 0.02s 계속되면 메모리의 손실, 프로그램 오동작, 오제어, 송수신의 정지를 초래한다.

○ 전자개폐기(공장 전동기의 대부분)

50%이상의 전압저하가 0.005~0.02s 계속하면 전자개폐기가 동작하여 전동기 정지한다.

○ SCR 등을 사용하고 있는 가변속 전동기

20%이상의 전압저하가 0.005~0.02s 계속하면 전동기가 정지한다

○ 고압수은등(일반산업용 전동기)

20~30%이상의 전압저하가 0.05~1s 이상 계속되면 소등

2) 직류안정화장치(전자기기) 전압허용 변동범위

IC의 종류	정격전압과 허용변동범위	IC의 종류	정격전압과 허용변동범위
MOS 나이나믹 메모리(DRAM)	+5V ±10%	TTL Logic IC	+5V ±5%
MOS 스테터 메모리(SRAM)	+5V ±10%	ECL10K Logic IC	+5.2V ±5%
바이폴라(SRAM)	+5V ±10%	ECL100K Logic IC	+5.2V ±5%
마이크로 프로세서	+5V ±10%	CMOS Logic IC	+2.4/6V ±10%

3) 전자개폐기 전압허용 변동범위

전자개폐기의 종류	[%] 정격전류	시간(ms)	비고
보조선자접속기	교류조각	60~80	5~40
	직류조각	40~10	10~25
주압선자접속기	교류조각	65~85	5~50
	직류조각	40~10	15~150
고압선자접속기	교류조각	65~45	15~150
	직류조각	45~20	80~200

2.5 Semiconductor industry voltage sag standards

가. SEMI F47: 반도체생산설비는 고장지속시간 200ms 까지는 voltage sag 50%, 0.5초까지는 70%, 1초까지는 80%까지 voltage sag에 견디어야 한다.

나. 반도체생산설비에 대하여 추가적으로, SEMI F47은 1cycle 동안 sag 0%, 10초 동안은 80%, 그리고 지속적인 voltage sag는 90%까지 견디는 장비 사용을 권고

한다.

다. 아래 도표 2.5.1에서 SEMI F47은 반도체 생산설비가 Black box안에서 운전되길 권고한다. 그리고, white box는 설비의 운전을 허용치 않는 범위이다.

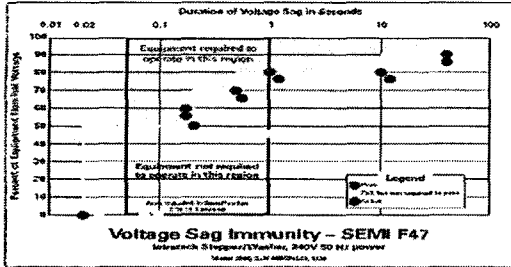


도표 2.5.1 Voltage Sag Immunity

라. 도표 2.5.2는 CBEMA(Computer and Business Equipment Manufacturer's Association : 공장지속간과 voltage sag 관계를 표시) curve와 반도체 회사 고장시 data값과의 관계를 도시 한 것으로 대부분 CBEMA curve sag immunity밖에 존재함을 볼 수 있다. 아래서 표시하는 흑점들은 전세계 반도체회사에서 고장시 데이터를 수집 표시한 것이다.

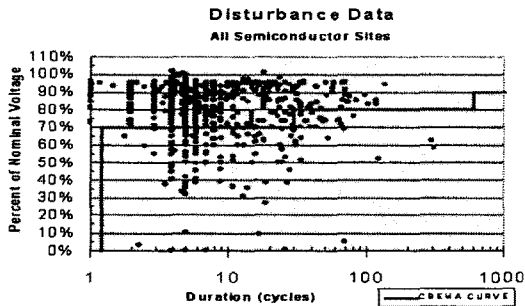


도표2.5.2 All semiconductor disturbance data

2.2 실제통 고장시 Voltage Sag Simulation

이 논문에서 모의한 것은 2001. 7. 27 이천변전소에서 공급 중이던 K고객선로 지락 고장시 같은 모선에 연결되어 있는 H고객의 순간전압강하로 제조공정에 차질을 일으켜 그 동안 타 계통 및 인근선로 고장시 기록된 순간전압강하자료를 근거로 동일현상 모의는 물론 고장시 계통 조건을 변경함에 따라 나타나는 순간전압강하 현상을 모의하여 보았다. 모의조건은 PSS/E 26 Program을 이용하여 변전소 모선결합 및 분리 운전시 1선지락 고장을 선택적으로 발생시켜 계통변경과 순간전압강하와의 상관성을 검토 및 분석하였다.

가. 용인S/S Bus고장(단모선 운전중) 가정시 H고객측에서 전압강하가 34.14%에 이르고, 이천S/S #2Bus고장 가정시(모선분리 운전중) H사 전압강하 79.7% 모선결합 운전시 H사 전압강하가 80.23%됨, 또한 덕소S/S #1 Bus (24.69%), #2Bus고장 가정시 2.11%로 계산됨.

나. 고장선로와 직접 관련된 모선의 전압강하는 비교적 높게 나타났으며, 모선결합 운전시가 분리운전시보다 약간 높게 나타났다. 이는 임피던스차에 의해 고장시 공급 전류가 다르기 때문에 조건별 전압강하가 약간 다름.

종 별	수용가(H사 구내) 전압(P.U)				기타
	P.U	배율	154kV기준	전압저하 (%)	
Fault Point					
분양S/S Bus	0.9058	154	139.4932	9.42	결합운전
용인S/S Bus	0.6586	154	101.4244	34.14	단모선
이천S/S #1 Bus	1.0148	154	156.2792	1.48△	분리운전
이천S/S #2 Bus	0.2023	154	31.1542	79.77	분리운전
이천S/S Bus	0.1977	154	30.4458	80.23	결합운전
덕소S/S #1 Bus	0.7531	154	115.9774	24.69	분리운전
덕소S/S #2 Bus	0.9789	154	150.7506	2.11	분리운전
덕소S/S Bus	0.7436	154	114.5144	25.64	결합운전
동서울 154kV Bus	0.8670	154	133.518	13.3	결합운전
삼성S/S #1 Bus	0.9079	154	139.8166	9.21	분리운전
삼성S/S #2 Bus	0.9662	154	148.7948	3.38	분리운전
삼성S/S Bus	0.8691	154	133.8414	13.09	결합운전
수서S/S #1 Bus	0.9412	154	144.9448	5.88	분리운전
수서S/S #2 Bus	0.9730	154	149.842	2.70	분리운전
수서S/S Bus	0.8936	154	137.6144	10.64	결합운전
미금 154kV Bus	0.7467	154	114.9918	25.33	결합운전
신성남 154kV Bus	0.8602	154	132.4708	13.98	결합운전
신제원 154kV Bus	0.9544	154	146.9776	4.56	결합운전
영 서 154kV Bus	0.9112	154	140.3248	8.88	결합운전
중 부 154kV Bus	0.9204	154	141.7416	7.96	결합운전
신양제 154kV Bus	0.9635	154	148.379	3.65	결합운전
신양제S/S #1 Bus	0.9658	154	148.7332	3.42	분리운전
신양제S/S #2 Bus	0.9684	154	149.1336	3.16	분리운전

2.6.1 계통 고장시 H사 영향 Simulation 관련자료
아래 도표는 2001년 1~7월 사이 실제고장 data를 기준으로 하여 PSS/E Simulation결과를 나타내었으며, 그 결과 고장시 F/R(Fault Recorder) 및 Digital Relay 저장 data와 모의결과는 거의 일치하였다.

종 별	H사 전압(P.U)				고장일시
	P.U	배율	154kV 기준	전압저하	
Fault Point					
분양S/S 용분#2T/L	0.8128	154	125.1712	18.72	1.7. 10:19
66%지점(B-C#지락)	0.8087	154	124.5398	19.13	
이천S/S 이덕#2T/L	0.2859	154	44.0286	71.41	1.8. 10:28
2%지점(B#지락)					
미금S/S #3Sh.R 지점(A#지락)	0.7470	154	115.038	25.3	1.15. 08:27
동서울S/S 모선	0.5781	154	89.0274	42.19	5.23. 14:58
크레인점측 고장시					
이천S/S 이덕#1T/L	0.8350	154	128.59	16.5	7.15. 03:51
80%지점(C#지락)					
신용인S/S 신용인T/L	0.7382	154	113.6828	26.18	7.20. 16:29
50%지점(A#지락)					
팔당취수장 구내고장	0.9881	154	152.1674	1.19	7.23. 10:26
분양S/S 용분#1T/L	0.7750	154	119.35	22.5	7.24. 00:47
90%지점(A#지락)					

2.6.2 모선 및 송전선로 실제고장시의 H사 Voltage Sag

3. 결 론

전원측 고장시 저압측 Voltage sag영향을 최소화한 의 한 방법으로 1)순간전압강하 민감 부하단 인건에 발전소 건설, 2)빈번한 순간전압 발생선로 모선 및 변전소 분리운전 및 3)전력계통과 연결된 경계점에 전류제한코일 설치 등이 있으며 이 조건 중 2)항을 검토한 결과 고장관련 변전소 모선분리 운전시 Voltage sag는 어느 정도 경감되나 전력공급 안정도면에서 불안정하므로 적용하기 곤란함. 또한, 고장시 공급변전소 모선결합운전 조건하에서 인근 변전소 모선결합 및 분리에 따른 영향을 분석한 결과 voltage sag와 큰 관련성은 없었다. 현시점에서 이 voltage sag를 전력계통측면에서 저감하기는 경제적으로 매우 어려우며, 전원측에서 개선하는 것은 결코 적절한 방법이 아님. 즉, 저압측에서 개선하는 것이 현재로서는 효과적이고 유일한 방법(UPS & DVR)이라고 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEEE : Power Quality 관련 논문
- [2] KUNDEK : power system stability and control
- [3] ABB : protective relaying theory and applications