

供給信頼度を考慮した配電系統の電壓管理

장정태 홍순학  
한전 기술연구원 배전 연구실

김전중 심국진  
충남 대학교

Voltage Control in Distribution System using Reliability Indices

Jang, Jeong Tae, Hong, Sun Hak.  
KEPCO Reserch center

Kim, Kern Joong, Sim, Kuk Jin.  
Chung Nam National University.

ABSTRACT

The voltage of distribution systems is controlled according to the proper rate of voltage drop and the loss constraints etc.. In modern distribution system it is necessary to supply energy according to the priority of reliabilities of the system. This paper proposes an efficient algorithm of the management of distribution systems considering the system reliabilities and gives a more accurate and economic control of the voltage of distribution systems.

1. 서론

배전계통의 신뢰도에 대한 관리는 얼마전까지 별로 대상이 되지 아니하였는데 이는 배전계통은 발,송변전 계통에 비해 사고 발생시 미치는 정전영역이 지극히 작은 극지적인 까닭으로 관리의 중요성 내지 필요성이 절실하지 않았기 때문이었다.

그러나 점점 전력수용가의 강조되는 질 좋은 전력요구에 대처하고 필요에 따라 공급계약도 고려해야 하는 전력공급자로서는 이제 공급 신뢰도와 실정에 맞는 공급우선 순위제(Service Rank)를 고려하여 배전계통을 관리하므로써 보다 경제적으로 운용 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 공급신뢰도를 고려한 배전계통의 전압관리 해석을 하였다.

2. 배전계통의 공급신뢰도

전력공급 신뢰도란 전력수용가에게 질 좋은 전력을 계속적으로 공급하는 확률로서 나타내는 지수이다.

질 좋은 전력이란 정 주파수, 허용범위 이내의 전압유지, 무정전의 조건을 말한다. 또, 수용가의 만족도는 대체로 공급지장시간과 발생빈도가 척도가 된다. 그러므로 공급신뢰도를 표현하는 방법으로는 공급지장시간과 공급지장발생빈도로 나타내

는 것이 대표적이다. 이밖에도 정전의 크기를 나타내는 연간 정전수용가수, 정전kw등이있다.

배전계통에서 공급지장을 가져오는 원인을 살펴보면 표1과 같고 공급신뢰도의 평가는 표2와 같다.

표1:배전선로 사고의 원인별 현황('89)

원인별 구분	외류접속	계좌불량	지연영파	일반인과실	.....	계
사고건수	356	190	171	153	.....	1545
점유율	23.0	12.3	11.1	9.9	.....	100

표2:공급지장 전력의 설비별 소요시간('89)

설비별 구분	전원측	배전측	소계	점유율
사고	19	31	50	16.2
작업	37	221	258	83.8
계	56	252	308	100

3. 수지상 선로의 신뢰도

수지상 선로는 각종 설비들이 직렬로 연결된 방사상 형태로 전력을 공급받는 것으로 다음과 같이 나타낸다.

○ 평균 고장율(Fav)은 Fi

○ 평균 공급지장시간(Tav)은 ∑ Fihi

○ 연간 평균공급 지장시간(Tyav)은  $\frac{Tav}{Fav} = \frac{\sum Fihi}{\sum Fi}$

여기서  $\left\{ \begin{array}{l} Fi: \text{구간 고장율} \\ hi: \text{구간 공급지장시간} \\ i=1, \dots, n \\ n: \text{구간 구분수} \end{array} \right.$

위의 세 지수는 각 부하지점의 수용가수나 평균부하 용량에 제약이 없으므로 다시 아래와 같이 보완된 지수를 고려한다.

○ 계통 평균정지빈도 (System Average Interruption Frequency Index : SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\text{공급 정지된 수용가 총 호수}}{\text{총 수용가 호수}} = \frac{\sum F_i C_i}{\sum C_i}$$

(C<sub>i</sub>: 부하지점 i의 수용가 수)

○ 수용가 평균정지빈도 (Customer Average Interruption Frequency Index : CAIFI)

$$CAIFI = \frac{\text{공급 정지된 수용가 호수}}{\text{영향을 받은 수용가 호수}} = \frac{\sum F_i C_i}{\sum C_N}$$

이 지수는 배전계통의 연도별 신뢰도 평가시 유용하며 영향을 받은 수용가는 여러번 정지를 당했어도 한번으로 처리한다.

○ 계통 평균정지시간빈도 (System Average Interruption Duration Index : SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\text{수용가 총 정전시간}}{\text{총 수용가 호수}} = \frac{\sum U_i C_i}{\sum C_i}$$

(U<sub>i</sub>: 연간 정전시간)

○ 평균 서비스 이용도 (Average Service Availability Index : ASAI)

$$ASAI = \frac{\text{수용가에 공급한 시간}}{\text{수용가에 공급할 시간}} = \frac{\sum C_i \times 8760 - \sum U_i C_i}{\sum C_i \times 8760}$$

이것은 곧 공급의 계속성 (Continuity of Service)을 평가하는 지표로 좁은 의미에서의 신뢰도이기도 하다.

4. 환상선로의 신뢰도

환상(loop)계통을 해석하기 위해서는 상태공간도(State Space Diagram)를 구성하여 천이율을 적용한다.

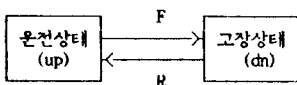
가. 1회선 loop

아래와 같은 상태공간도에서 계통이 운전상태에 존재할 확률을 P<sub>0</sub>, 고장상태에 존재할 확률을 P<sub>1</sub>, 고장율을 F, 복구율을 R로 나타내면,

$$P_0 = \frac{R}{F+R} \quad P_1 = \frac{F}{F+R}$$

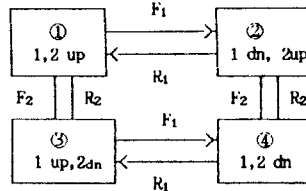
$$F = \frac{\text{고장 횟수}}{\text{운전상태의 총 소요시간}}$$

$$R = \frac{\text{회복 횟수}}{\text{고장상태의 총 소요시간}}$$



나. 2회선 loop

만일 계통이 2회선 loop로 구성된 경우라면 그 계통의 상태는 4가지가 되어 이를 표시하면 다음과 같다.



각 요소가 직렬연결이든 병렬연결이든 동일하며 직렬시는 상태 ①이 운전상태, 나머지는 고장상태가 된다. 또 병렬계통인 경우는 상태 ①, ②, ③이 운전상태, ④가 고장상태가 된다.

이들의 존재관계를 확률로 나타내면,

○ 직렬계통 P<sub>up</sub> = P<sub>1</sub>

$$P_{down} = P_2 + P_3 + P_4$$

○ 병렬계통 P<sub>up</sub> = P<sub>1</sub> + P<sub>2</sub> + P<sub>3</sub>

$$P_{down} = P_4$$

천이확률행렬(Transition Probability Matrix)을 사용하여 표기하면,

$$P = [P_{ij}]$$

(P<sub>ij</sub>)는 상태 i에서 상태 j로 천이할 확률

따라서

$$P = \begin{bmatrix} 1-F_1-R_2 & F_1 & F_2 & 0 \\ R_1 & 1-F_2-R_1 & 0 & F_2 \\ R_2 & 0 & 1-F_1-R_2 & F_1 \\ 0 & R_2 & R_1 & 1-R_1-R_2 \end{bmatrix}$$

천이행렬의 등식성질을 이용하여

$$[P_1 P_2 P_3 P_4] P = [P_1 P_2 P_3 P_4]$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$$

따라서 이를 해석하여 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>를 얻을 수 있다.

5. 최적 신뢰도

전력계통을 전원부와 배전부로 대별하여 전원측의 가용도(Availability)를 A<sub>n</sub>, 배전측을 A<sub>i</sub>, 수용가의 경우를 A<sub>ci</sub>라 하면,

$$A_{ci} = 1 - \{ (1 - A_n) + (1 - A_i) - (1 - A_n)(1 - A_i) \}$$

$$= A_n + A_i - 1 + (1 - A_n)(1 - A_i)$$

일반적으로

$$A_n = 1 - d_1$$

$$A_i = 1 - d_2$$

$$(d_1, d_2 < 1)$$

따라서

$$A_{ci} = A_n + A_i - 1$$

또 선로의 kw당 투자비  $C_t$ 는 전원속과 배전속의 kw당 투자비의 합이므로

$$C_t = C_a + \sum (C_{d1} + C_{r1})$$

$C_a$  : 전원속 kw당 투자비  
 $C_{d1}$  : i지역 배전선로 kw당 투자비  
 $C_{r1}$  : i지역 배전선로의 신뢰도 향상 kw당 투자비  
 $i : 1, \dots, n$  : 구간 구분수

정전에 의한 총 공급정지비용은 그 해당지역의 공급정지 비용의 총 합계이므로 총 공급정지비용  $S_T$ 는

$$S_T = \sum k_i (1 - A_{e1})$$

( $k_i$  : i지역의 정전 비율상수)

따라서 경제적 최적 신뢰도는  $C_t \cdot S_T$ 가 최소가 될때이므로

$$\frac{\partial C_t}{\partial A_i} + \frac{\partial S_T}{\partial A_i} = 0 \quad (i=1, \dots, n)$$

또  $A_i$  즉 i지역의 신뢰도를 향상 시킬때  $C_a$  및  $C_{d1}$ 는 변화하지 않으므로

$$\frac{\partial C_t}{\partial A_i} = \frac{\partial C_{r1}}{\partial A_i} \quad \text{or} \quad \frac{\partial S_T}{\partial A_i} = -k_i$$

즉  $\frac{\partial C_{r1}}{\partial A_i} = k_i$

그러므로 경제적인 최적신뢰도는 중본신뢰도 향상비용이 정전 비용과 같게 될때이다. 그러나 배전계통의 정전비용은 각 지역마다 다르므로 각 지역의 최적신뢰도도 서로 상이하다. 따라서 이에 대한 속약처리등의 방법으로 근사해를 구하는 실정이다.

### 6. 공급우선 순위제

앞에서 고압한바와 같이 전력수용가의 부하중요도와 적정투자규모를 위해 전력공급자는 공급우선순위제를 고려하는 것이 바람직 하다.

이것은 전력사용자의 고신뢰도 요구에도 대응할 수 있는신뢰도를 미리 확보하는데도 필요하고 투자규모에 대한 효과의 극대화 측면에서도 필요하며 또한 경제성을 도모하는 것이된다. 그러므로 공급지역의 공익성내지 중요성을 감안하여 아래 사항에 따른 구분으로 차등하여 공급할 수 있는 우선순위제를 설정한다.

- 공급 부하 지역의 중요도
- 공급 부하 수전설비의 중요도
- 사고 복구시 소요시간
- 사고 복구 비용
- 공급지장 전력비용
- 공급설비의 제약조건
- 기타 특수조건등

### 7. 전산처리

이미 저자에 의해 발표된 논문의 내용에 상술한 공급신뢰도를 적용하여 배전계통의 전압관리 방안을 연구하였으며, 이때의 전산처리는 다음과 같다.

가. 입력 데이터

- o Main data: 변전소 인출 최대전류, 선로명, 작성일, 작성자
- o Sectional data: 구간 No., 방향, 공급방식, 공장, 전선 규격, 본산부하율, 변압기 용량, 고압 수용가 용량, 선로연결관계, 고장율, 공급지장시간

INPUT DATA

Index	LINE NAME	DATE	NAME
350	22.9KV-Y GANG JUNG D/L	1990.11.17	JUN JUN HAE

No	Phase	Distance[Km]	Line_STU	P.Tr[KVA]	High[KV]	From_B	To_Bus	Load_F	Fav	Hour
1	3P	1.52	UC160	1000	200	0	1	1	0.1	0.5
2	1P	2.46	UC58	610		1	2	1	0.2	0.6
3	1P	1.36	UC32	250		2	0	2	0.3	0.5
4	1P	0.85	UC58	150		2	0	3	0.3	0.6
5	1P	1.92	UC58	480		2	0	4	0.1	0.5
6	3P	2.52	UC160	1500	250	1	3	5	0.2	0.6
7	3P	1.62	UC95	900	200	3	4	6	0.1	0.3
8	1P	0.85	UC58	240		4	0	7	0.2	0.3
9	3P	1.45	UC95	800		4	0	8	0.1	0.5
10	3P	2.22	UC160	850	400	3	5	9	0.1	0.5
11	3P	1.89	UC160	830		5	6	1	0.1	0.6
12	1P	0.92	UC95	190		6	0	2	0.2	0.5
13	3P	1.12	UC95	780	200	6	7	3	0.2	0.4
14	1P	0.95	UC58	180		7	0	4	0.3	0.6
15	3P	3.21	UC95	650	100	7	0	5	0.3	0.3
16	3P	2.34	UC95	210		5	8	6	0.1	0.5
17	1P	1.06	UC58	265		8	0	7	0.2	0.8
18	3P	2.93	UC95	495	450	7	9	8	0.1	0.5
19	3P	3.21	UC95	220	100	9	0	9	0.1	0.7
20	1P	2.28	UC58	470		9	10	1	0.1	0.8
21	1P	0.47	UC58	150		10	0	1	0.2	0.4
22	1P	1.11	UC32	100		10	0	3	0.5	0.5

나. 출력

Voltage drop Calculation Sheet

22.9KV-Y GNG LUNG D/L

1990.11.17  
JUN JIN HAE

No.	SECT_ID(A)	IMPEDANCE	SECT_VOLT(D)	SUM_VOLT(D)	VOLT_DROP(%)	LOAD_F	tau	TAV
1	350.00	0.6556	229.443	229.443	1.769	1	0.06	0.50
2	41.72	1.6202	135.188	346.628	2.841	1	0.17	0.57
3	7.00	1.3800	9.660	347.288	2.918	0.5	0.32	0.53
4	4.20	0.5553	2.332	366.960	2.859	0.5	0.35	0.56
5	13.44	1.2543	22.468	387.117	3.021	0.667	0.22	0.55
6	274.68	1.0668	199.120	428.563	3.356	0.667	0.17	0.57
7	54.32	0.8864	23.531	452.094	3.546	0.5	0.20	0.50
8	6.72	0.5553	3.732	455.826	3.577	0.5	0.26	0.43
9	16.80	0.7755	4.398	456.432	3.582	0.333	0.25	0.50
10	171.36	0.9574	54.635	483.198	3.809	0.333	0.22	0.55
11	67.48	0.8151	55.005	538.203	4.251	1	0.28	0.56
12	5.32	0.4600	2.448	540.652	4.271	0.5	0.38	0.54
13	38.92	0.5990	11.656	549.859	4.347	0.5	0.30	0.43
14	5.04	0.6206	4.173	554.032	4.381	0.667	0.48	0.48
15	21.00	1.7167	24.046	573.903	4.545	0.667	0.39	0.39
16	68.88	1.2514	43.100	526.298	4.153	0.5	0.27	0.54
17	7.42	0.7056	5.235	531.533	4.196	0.5	0.43	0.61
18	55.58	1.5670	28.002	555.300	4.392	0.333	0.32	0.53
19	8.96	1.7167	5.122	560.422	4.434	0.333	0.39	0.56
20	20.16	1.4895	60.056	615.356	4.890	1	0.40	0.57
21	4.20	0.6357	5.323	620.679	4.934	1	0.48	0.53
22	2.80	1.1100	3.797	619.153	4.921	0.5	0.50	0.42

다. 결과 고찰

공급신뢰도를 고려하면 전압관리는 더욱 세심한 배려가 필요하다. 그러므로 공급우선순위제를 감안한 전력공급자의 경제성 고려기준으로 관리 하여야한다.

8. 결 론

배전계통의 전압관리를 효과적으로 하기위해서는 우선 실속에 가까운 조류상태 파악이 필요하며 이를 토대로 전력공급자의 경제적 투자 관리 측면에서는 공급신뢰도 및 공급우선순위제의 적용이 요구된다.

특히 배전계통은 각 구간마다 정전비용, 공급신뢰도등이 다브므로 더욱 복잡하다. 그러나 증가하는 전력수용가의 신뢰도에 부응하고 최소한 확보해야 할 평균적 공급신뢰도를 유지하기 위해서 공급신뢰도를 고려한 전압관리가 요구된다. 본 논문에서 고찰한바와 같이 공급신뢰도를 적용할 경우 그 관리방법도 많아진다. 따라서 앞으로는 전력공급자의 경제적 고려 및 평균 신뢰도 확보에 의한 전압관리가 좀더 고려 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 백 용 현, 이 광 우, "배전공학", 형설 출판사, 1988.
- (2) 송 길 영, "송배전공학", 동일 출판사, 1989.
- (3) 日原良造, "近代 配電工學", 전기서원.
- (4) 한전 배전처, "배전실무 교육 교재".
- (5) Jiann - Liang Chen, Yuan - Yih Hsu, "An Expert System for Load Allocation in Distribution Expansion Planning", IEEE Trans. on PWRD., Vol. 4, No. 3, 7, 1989.
- (6) 구주전력, "배전설비 계획 기준".
- (7) 한전 기술 연구원, "배전계통의 현대화", 1986.