

새로운 선로사고분배계수 알고리즘을 이용한 과부하 해소대책

朴圭弘^{*} · 鄭在吉^{**} · 姜東求^{**} · 金廷河^{**}

* 大林專門大 · ** 中央大學校

An Overload Alleviation Countermeasure using New Line Outage Distribution Factor

Kyu-Hong Park^{*} · Jai-Kil Chung^{**} · Dong-Gu Kang^{**} · Jung-Ha Kim^{**}

* Dae-Lim Jr. College · ** Chung-Ang University

ABSTRACT

This paper presents a new algorithm for the countermeasure to alleviate the line overloads in a power system. This method utilizes network sensitivity factors which are established from DC load flow solutions. The line outage distribution factors(LODF) are formulated using changes in network power generations to simulate the outaged line from the network. The proposed algorithm has been validated in tests on a 6-bus test system.

1. 序論

電力系統에서 線路脱落 事故가 발생하면 다른 線路들의 電力潮流가 变하여 過負荷가 複수 있다.

線路脱落 想定事故時 過負荷 解消對策으로는 여러 방법이 제시되고 있다. 그중 선로 절환에 의한 과부하 해소 방법은 線路開放시 電力潮流變化에 대 한 過負荷線路의 電力潮流變化를 나타내는 感度係數인 線路開放分配係數(LODF:Line Outage Distribution Factor)를 사용하는 방법으로써 이 분배계수가 負인 것만을 택하여 過負荷線路의 過負荷를 해소하는 방법이다. 일반적으로開放線路의 兩端母線 구동점 리액턴스와 전달리액턴스 및 과부하선로의 양단모선과 개방선로의 양단모선간의 전달리액턴스의 합으로 표시되는 선로 개방분배계수를 사용하여 선로 개방에 따른 새로운 분배계수를 적용함으로써 과부하를 해소하기 위한 절환선로를 설정하고 또한 과부하 해소 여부를 확인하기 위하여 P-Q분할법에 의한 조류계산을 행하기 보다는 절환 선로를 중심으로 하여 다른 선로에 대한 LODF를 같은 알고리즘으로 다시 구하여 선로 절환으로 인한 조류변화분 만큼 수정함으로써 과부하해소 여부를 간단히 확인하였다.[1][2] 따라서 새로운 線路開放分配係數의 계산은 다음과 같이 구한다.

우선 개방선로 양단모선 번호에 해당하는 2열의 리액턴스를 이용하여 발전력 변화시의 선로 조류를 계산하는데 이용하는 발전력변화분배계수(GSDF: Generation Shift Distribution Factor)를 구하고 선로 개방사고시 계통구성 변화에 따른 선로조류 변화를 나타내는 GSDF로 수정한다. 그리고 과부하선로와 개방선로 양단모선사이의 수정된 GSDF의 차를 계산함으로써

새로운 선로사고분배계수를 나타낼 수 있다.

2. 線路의 過負荷 解消 對策

2.1 過負荷 解消 對策의 概要

상정사고시 발생되는 선로의 過負荷 解消對策으로는 가능한 한 負荷를 遮斷하지 않고 解消할 수 있는 對策이 요구된다. 따라서 본 논문에서도 과부하 선로 이외의 임의의 선로를開放(line switching)할 때 과부하선로의 조류를 가장 크게 감소 시킬 수 있는 선로를 찾아서 이 선로를開放함으로써 過負荷를 효과적으로 解消시킬 수 있는 方法을 제시한다.

이 방법에서는 개방하고자 하는 선로의 전력조류에 대한 과부하선로의 전력조류 변화를 나타내는 線路開放分配係數를 사용함이 편리하다.

線路開放分配係數를 사용할 경우 過負荷線路의 電力潮流式은 식(1)과 같이 표시할 수 있다.

$$P_m = P_m + d_{m,f} \cdot P_f \quad (1)$$

P_m : 모선 l에서 모선 k로 흐르는 과부하선로 m의 有效電力

P_f : 모선 s에서 모선 e로 흐르는 개방선로 f의 有效電力

$d_{m,f}$: 선로 f의 開放後 과부하선로 m의 有效電力

$d_{m,f}$: 線路開放分配係數(선로 f의 개방시 선로 m의 전

력 변화에 대한 感度係數)

식(1)의 정의에 따라 P_m 과 P_f 의 값은 항상 正이므로 선로 개방분배계수의 값이 負일 경우에는 線路 f의 開放後 過負荷線路 m의 電力은 減少하므로 過負荷를 減少 또는 解消시킬 수 있다.

따라서 주어진 과부하선로 m에 대한 다른 선로의 선로개방 분배계수를 구하여 그 값이 負인 선로만을 택하여 절대값이 큰 순서에 따라 식(1)에 의하여 그선로의 開放후에 過負荷線路의 過負荷解消 여부를 判定하여 解消 시킬 수 있다.[3]

2.2 新로운 線路開放分配係數 계산

선로 f의 탈락으로 인한 과부하선로 m의 전력조류 변화를 나타내는 感度係數인 선로개방분배계수($d_{m,f}$)를 종래방법으로 나타내면 식(2)와 같으며 발전기 출력변화로 시뮬레이션한 새로운 선로사고분배계수를 다음과 같이 계산한다.

$$d_{m,f} = \frac{(X_{es} - X_{km} - X_{le} + X_{ke})}{X_f - (X_{ss} + X_{ee} - 2X_{se})} \cdot \left(\frac{X_f}{X_m} \right) \quad (2)$$

2.2.1 GSDF 계산

GSDF의 계산은 DC법을 이용하였으므로 당연히

다음과 같은 가정을 전제로 하였다.

- ① 각 모선 전압의 크기는 거의 정격값과 같다.
 - ② 선로양단 모선전압의 위상각차는 작다.
 - ③ 선로 저항은 리액턴스에 비해서 훨씬 작다.
- 그러므로 모선 i의 발전력변화에 대한 선로 m의 조류의 변화를 나타내는 GSDF의 계산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_{mi} &= \frac{\partial P_m}{\partial P_{Gi}} \\ &= \frac{\partial}{\partial P_{Gi}} \left(\frac{\theta_i - \theta_k}{X_m} \right) \\ &= \frac{X_{ki} - X_{ki}}{X_m} \end{aligned} \quad (3)$$

단, l,k는 선로m의 양단 모선 번호이다.

2.2.2 상정사고시의 GSDF계산

선로 f의 탈락사고시 모선i의 발전력 변화로 인한 선로m의 조류변화를 나타내는 GSDF의 계산은 다음과 같다.

상정사고시의 GSDF의 계산은 모선 i의 주입전력 변화에 따른 선로 m의 피상전력의 변화를 나타내는 전력전송분배계수(PTDF:Power Transfer Distribution Factor)의 개념으로 부터 계산 된다.

또한 PTDF는 직류조류법에의하여 GSDF로 표현될 수 있으므로 선로 f의 상정사고시의 GSDF는 다음 식과 같이 수정된다.[4]

$$A'_{mi} = A_{mi} - \frac{X_{if} \cdot (A_{if} - A_{kf}) \cdot A_{fi}}{X_m \cdot (A_{if} - A_{kf} - 1)} \quad (4)$$

단, s,e는 선로 f의 양단모선 번호이다.

2.2.3 선로사고분배계수 계산

선로사고시 LODF는 과부하 선로(조류계산을 하고자 하는 선로)와 사고선로 양단 모선 사이의 감도계수인 GSDF를 수정함으로써 계산할 수 있다. 선로 f의 탈락사고시 선로m의 조류 P_m 는 사고전 조류를 P_m 이라 하고 선로 m과 선로 f사이의 사고분배계수를 $d_{m,f}$ 라 하면 계통의 전 발전출력은 변하지 않는 것으로 하고 선로 f의 탈락사고를 시뮬레이션 할 수 있다. 즉, 조류가 모선 s에서 모선 e방향으로 흐를 때 모선 s의 발전기 출력 변화분은 P_f , 모선 e의 발전기 출력 변화분은 $-P_f$ 로 됨으로 GSDF를 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.[5][6]

$$\begin{aligned} P_m' &= P_m + d_{m,f} \cdot P_f \\ &= P_m + A_{ms} \cdot P_f + A_{me} \cdot (-P_f) \\ &= P_m + (A_{ms} - A_{me})P_f \end{aligned} \quad (5)$$

위 식에서 선로사고분배계수 $d_{m,f}$ 는 과부하 선로m과 탈락선로 f의 양단모선사이의 발전력변화분배계수 A_{ms}, A_{me} 로부터 다음과 같이 계산된다.

$$d_{m,f} = A_{ms} - A_{me} \quad (6)$$

또한 선로개방분배계수 $d_{l,k}$ 의 부호는 개방선로의 개방전 전력조류가 모선 s에서 모선 e방향 (+방향)이며 과부하선로 m의 전력조류는 모선 l에서 모선 k방향 (+방향)일 경우이므로 상정사고시 전력조류의 방향이 변하면 선로개방분배계수 $d_{l,k}$ 의 부호도 바꾸어져야한다.

2.2.4 소요母線 리액턴스 計算 알고리즘

線路開放分配係數 계산에는 개방하고자 하는 선로 f의 양단모선의 구동점 리액턴스 X_{ss}, X_{se} 와 양단 모선간의 전달리액턴스 X_{es} 또는 X_{ee} 와 過負荷線路 m의兩端母線 l,k와 開放線路 f의兩端母線 s,e간의 전달리액턴스 $X_{ls}, X_{le}, X_{ke}, X_{se}$ 만이 필요함으로 그림 1에서 표시된 바와 같이 선로수×선로수 만큼의 2차원 리액턴스 행열을 구하는 대신 개방선로 양단 모선번호에 해당하는 2열의 리액턴스만 구한 후 과부하 선로 및 개방선로의 양단 모선번호에 해당하는 행의 요소를 이용하면 모든 선로에 대한 LODF를 계산 할 수 있으므로 계산기의 기억 용량 및 계산시간을 경감시킬 수 있었다.[7]

		개방선로	
		s	e
1 과부하선로	k	*	*
		*	*
s 개방선로	e	*	*
		*	*

그림 1. 線路開放分配係數 계산에 필요한 리액턴스 要素

Fig. 1. X Matrix Terms Required for D Factors.

개방선로 양단모선번호에 해당하는 2열의 리액턴스 계산은 모선어드미턴스의 쌍삼각화 분해를 통하여 구할 수 있다.[3]

선로사고분배계수를 이용하여 선로절환법에 의한 과부하 해소대책에 관한 흐름도는 그림 2와 같다.

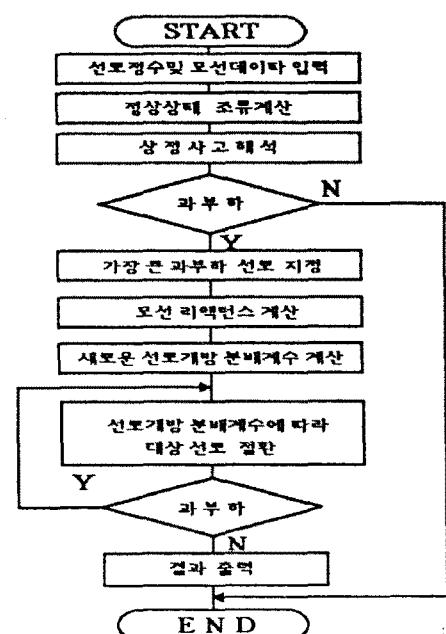


그림 2. 主프로그램 흐름도

Fig. 2. Flowchart of Main Program

3. 모델系統에의 적용에

본 논문에서 제시한 알고리즘 및 프로그램에 관한 효용성을 입증하기 위하여 모델系統으로 그림 3과 같은 6母線系統을 선정하여 적용하였으며 이에 대한 상정사고 대책결과는 표 1과 같다. 표1에서와 같이 2번, 4번, 7번 선로 탈락사고시의 조류 계산 결과 103%, 111%, 114%의 과부하가 발생하였으며 상기 알고리즘을 이용하여 9번 또는 8번 선로를 개방한 결과 97%, 87%, 88%로 과부하가 해소되었으며 이에 대한 조류계산은 선로 개방시의 선로사고분배계수(LODF)를 이용하였다. 또한 표2와 같이 선로사고분배계수 계산 결과를 종래 방식과 비교한 바 소수점 7자리에서 일부계수가 변하였으나 개방선로 선정 및 개방후 조류계산 결과에는 별다른 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

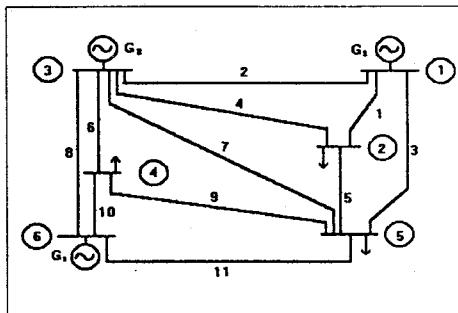


그림 3. 6 모 선 모 펠 계 통 도

Fig. 3. Model Diagram of 6-Bus System

표1. 6 모선 계통 상정사고 대책결과
Table1. Results of the 6-Bus System

선로 번호	정상 조류	사고 선로번호 2		사고 선로번호 4		사고 선로번호 7				
		사고시 조류(%)	9번선로 개방시 조류(%)	8번선로 개방시 조류(%)	LO DF	사고시 조류(%)	8번선로 개방시 조류(%)	LO DF		
1	0.738	0.669(63)	0.659(62)	0.121	1.064(100)	1.038(98)	0.092	0.729(69)	0.734(69)	0.019
2	0.108	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0	0.361(34)	0.296(28)	0.229	0.192(18)	0.145(14)	0.167
3	0.308	0.270(42)	0.280(43)	0.121	0.236(36)	0.203(31)	0.117	0.402(62)	0.344(53)	0.208
4	0.475	0.530(76)	0.551(79)	0.256	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0	0.561(80)	0.510(73)	0.184
5	0.003	0.016(2)	0.006(1)	0.132	0.167(24)	0.193(28)	0.092	0.072(10)	0.017(2)	0.197
6	0.649	0.664(103)	0.633(98)	0.380	0.721(111)	0.569(88)	0.534	0.739(114)	0.575(89)	0.590
7	0.317	0.342(49)	0.364(52)	0.277	0.433(62)	0.359(52)	0.259	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0
8	0.328	0.318(49)	0.317(49)	0.007	0.284(44)	0.0 (0)	0.0	0.279(43)	0.0 (0)	0.0
9	0.070	0.082(13)	0.0 (0)	0.0	0.127(20)	0.132(20)	0.015	0.143(22)	0.126(20)	0.060
10	0.647	0.644(77)	0.625(75)	0.240	0.637(76)	0.819(98)	0.641	0.636(76)	0.818(98)	0.650
11	0.537	0.552(60)	0.578(63)	0.317	0.612(67)	0.764(84)	0.535	0.616(67)	0.761(83)	0.520

표 2. 선로사고분배계수 계산결과 비교
Table2. Comparison of two LODF Calculation

선로 번호	2번선로 탈락사고시 9번선로 개방				4번선로 탈락사고시 8번선로 개방			
	A _m	A _{me}	d _{m,f}	d _{m,i}	A _{ms}	A _{me}	d _{m,f}	d _{m,i}
1	0.1929328	0.0720849	0.1208479	0.1208481	0.3928201	0.3005636	0.0922565	0.0922530
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2690586	0.4977579	0.2286993	0.2286994
3	0.0720848	0.1929329	0.1208481	0.1208480	0.4115464	0.2949415	0.1166049	0.1166048
4	0.2286995	0.0269058	0.2556054	0.2556054	0.3823948	0.4844240	0.0	0.0
5	0.0635331	0.1960227	0.1324897	0.1324897	0.3928201	0.3005637	0.0922564	0.0922564
6	0.1181230	0.2615965	0.3797195	0.3797196	0.6508411	0.1164864	0.5344547	0.5344548
7	0.0343066	0.2430657	0.2773723	0.2773722	0.5081967	0.2487947	0.2594020	0.2594020
8	0.0065686	0.0	0.0065686	0.0065686	0.0102374	0.0	0.0	0.0
9	0.4547586	0.2053446	0.0	0.0	0.3190291	0.3036412	0.0153879	0.0153878
10	0.2396693	0.0	0.2396693	0.2396694	0.6408713	0.0	0.6408713	0.6408712
11	0.3171768	0.0	0.3171768	0.3171768	0.5348032	0.0	0.5348032	0.5348032

d_{m,i}* : 종래방법으로 LODF계산

4 结 论

본 논문은 想定事故에 기인한 線路의 過負荷解消對策을 수립함에 있어서 새로운 線路開放分配係數를 이용한 線路切換 방법에의하여 線路의 電力潮流를 再分配함으로써 過負荷를 解消하는 방법을 제시하였으나 종래 방법과 비교하여 切換 대상 線路를 선정하거나 切換후 LODF를 이용한 조류계산에는 별다른 영향을 미치지 아니했다. 그러나 現行負荷分配시 GSDF를 이용하여 손실계수를 구할 경우 이를 이용하는 새로운 線路事故分配係數가 유리함을 알 수 있었다.

参考文献

1. A.J.Wood, "Power Generation, Operation and Control", John Wiley, pp. 368 - 373, 1984.
2. 朴圭弘, "電力系統의 想定事故 解析 및 對策에 관한 연구", 학위논문, 중앙대, 1986.
3. 村圭弘, 諸在吉, "線路切換에 의한 過負荷 解消 알고리즘", 대전전기학회지 Vol.41, No.5, pp.459 - 467, 1992.
4. Heydt, D. Y., "Computer analysis methods for power systems", Macmillan New York, 1986.
5. Brandwajn, V., "Efficient bounding method for linear contingency analysis", IEEE Trans. vol. PWRS-3, pp.38-43, 1988.
6. Chang,Y.C., "A new method for calculating loss coefficients", IEEE Trans. vol.PWRS-9, pp.1665 - 1671, 1994.
7. Elham B.Makram, "Selection of Lines To Be Switched To Eliminate Overload Lines Using a Z Matrix Method", IEEE Vol.4, No.2, pp. 653-661, May, 1989.