

**송전 선로의 발전기 참여 용량을 찾기 위한 조류 추적 계산 방법 및 구현**

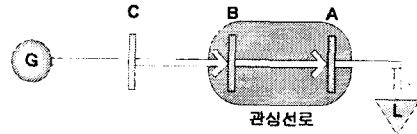
송인준\*, 광노홍\*, 장병태\*, 이재욱\*, 박철우\*, 강대연\*\*  
 한국전력공사 전력연구원\*, 한국전력공사 중앙교육원\*\*

**Development Power Allocation of Generators to Transmission**

Song in joon\*, Kwak no hong\*, Jnag byung tae\*, Lee jae uk\*, Park chul woo\*, Kang dae yun\*\*  
 KEPRI\*, KEPCO Central Education Institute\*\*

**Abstract** - 임의의 송전선로에 대하여 어떤 발전기의 전력이 어느 정도용량으로 유입-유출되고 있다고 명확하게 말할 수 없다. 다만, KCL(Kiechhoff Current Law)를 이용하여 소규모 계통에서는 가시적으로 계산할 수 있다. 이를 대규모 실계통에 적용할 경우 또한 명확하게 제시할 수 없다. 본 논문에서는 그동안 개발된 송전망 이용요금 산정과 관련된 수많은 방법을 근거로 송전선에 유입-유출되는 유효전력과 발전기의 참여 용량을 조류추적과 사용용량의 %누적을 이용하여 계산할 수 있는 방법에 대하여 논의하고자 한다.

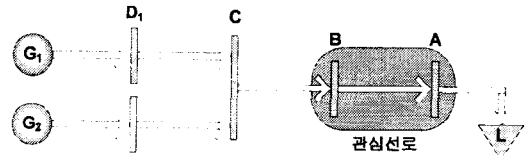
하게 계산할 수 있도록 계산 방법을 찾아 구현하였다. 다음의 [그림 1]처럼 단일 선로 1기의 발전기에서는 유입되는 모든 전력은 구성된 하나의 발전기에 모두 의존하게 된다. 이는 단일선로만이 아니라 N개의 선로라도 발전기가 1기라면 모두 하나의 발전기에 의존하게 된다.



[그림 1] 단일선로 1기 발전기

**1. 서 론**

전력 경쟁 산업시대로 접어들면서 송전망 이용요금 및 혼잡요금 부담 주체가 각 나라, 여러 계통마다 서로 다른 방법을 취하고 있다. 하지만 이용요금 규제 및 규정에 대한 기반은 보통 우편요금제와 MW-Mile 법등을 기반으로 응용하여 각각의 계통에 알맞은 방법을 찾아 정확한 부담 주체를 찾는 뒤 계통 운영에 알맞은 규정을 첨부하여 운영하고 있는 것이 일반적이다. 각 계통에서 송전망을 사용하면서 선로의 주 사용자를 판별하고 혼잡을 유발시키는 주체를 찾아낸다면 요금 부담의 주체를 찾거나 규정을 수립하는 것이 보다 수월해 질 것이다.



[그림 2] 2기 발전기

본 논문에서 설명하고자 하는 방법역시 기존의 방법을 응용한 것으로 임의의 모선에 기준으로 전력이 유입되는 선로를 역으로 조류 추적하여 연결된 발전기를 찾는 방법을 사용하였다. 선택된 모선에 대하여 발전기까지 연결된 하나의 선로를 구성하고 발전기로부터 관심모선 이외로 유출되는 전력에 대하여 분류하게 된다면 순수하게 관심모선으로 유입되는 전력을 구별할 수 있게 된다. 이 경우 계산 과정에서 MW 단위로 계산할 경우 수치상의 손실이 발생하게 되므로 여기서 사용한 방법은 각각의 연결된 선로의 사용 %를 연속하여 누적시키는 방법을 채택하여 수치 및 손실에 대한 영향을 무시할 수 있게 되었다.

위의 [그림 2]처럼 계통에 2기의 발전기가 연결되어 있다면 발전기 G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>의 참여율은 각각 G<sub>1</sub>/(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>), G<sub>2</sub>/(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>)가 된다. 선로 P<sub>BA</sub>의 참여 용량은 다음처럼 P<sub>BA</sub> = G<sub>1</sub>/(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>)×P<sub>BA</sub> + G<sub>2</sub>/(G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>)×P<sub>BA</sub>가 된다. 이것을 각각의 모선에 연결된 선로에 유입되는 전력의 백분율을 계산하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

본 논문은 “송전계통 제약 운전량 산정기준 및 제약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발” 과제의 일환으로 송전망 제약 비용 부담주체를 구별하기 위하여 개발하였으며, 요금을 부과하기 위한 것이 아니라 단순히 송전선로를 사용하고 있는 발전기의 주체와 참여 용량을 계산하기 위하여 개발하였다.

각각의 모선에 유입되는 전력의 %를 계산한다.

$$P_B = P_C \quad | \quad \%P_B (=100\%)$$

$$P_C = P_{D1} + P_{D2} \quad | \quad \%P_{D1} = \frac{P_{D1}}{P_{D1} + P_{D2}} (\times 100\%)$$

$$\%P_{D2} = \frac{P_{D2}}{P_{D1} + P_{D2}} (\times 100\%)$$

$$P_{D1} = P_{G1} \quad | \quad \%P_{D1} (=100\%)$$

$$P_{D2} = P_{G2} \quad | \quad \%P_{D2} (=100\%)$$

계산된 백분율을 누적하여 참여 %와 용량을 계산 한다.

**2. 기본개념 및 알고리즘**

계산하기에 앞서서 계산하기 위한 계통은 ①조류계산이 완료된 상태에서 전력수급을 만족해야 함. ②송전선에서 손실이 포함될 수전단을 기준으로 계산하여 송전선로 손실을 미리 포함함을 전제로 함. ③송전선에 N:1로 유입되는 전력은 각각의 유입된 전력의 % 합으로 함. ④ 1:N으로 유출되는 전력에 대하여 각각의 유출된 전력의 합은 100%로 함. - 위와 같이 계산하기에 앞서서 가장 기본이 되는 원칙만을 사용하여 큰 규제 없이 간략

$$\%G_1(\%) = [\%P_B \times \%P_C \times \%P_{D1}]$$

$$\%G_2(\%) = [\%P_B \times \%P_C \times \%P_{D2}]$$

$$P_{G1} = P_{BA} \times \%G_1 \quad , \quad P_{G2} = P_{BA} \times \%G_2$$

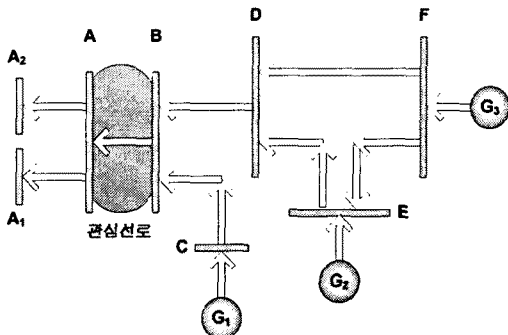
이것을 보다 쉽게 계산하기 위하여 다음의 [표 1]과 같은 하나의 행렬로 작성할 수 있다. 여기에 Pivoting을 할 수 있는 접속행렬을 구성하여 계산하면 쉽게 하나의 선

로에 유입되는 발전기의 참여용량 및 %를 계산할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 접속행렬을 구성하지 않고 단순한 Linked List 구조를 이용하여 계산하였다

[표 1] 행렬 구성

[%]		송전단					
		B	C	D1	D2	G1	G2
수 전 단	B	1	%P <sub>B</sub>				
	C		1	%P <sub>C</sub>	%P <sub>C2</sub>		
	D1			1		%P <sub>D1</sub>	
	D2				1		%P <sub>D2</sub>
	G1					1	
	G2						1

위와 같은 방법으로 다음의 [그림 3]과 같은 임의의 계통에서 관심선로로 유입되는 선로만을 분류한 예제 계통에 대하여 [표 2]와 같은 행렬을 구성할 수 있다.



[그림 3] 예제 계통

[표 2] 예제 행렬

%		송전단								
		A	B	C	D	E	F	G1	G2	G3
수 전 단	A	%P <sub>AA</sub>	%P <sub>BA</sub>							
	B			%P <sub>CB}</sub>	%P <sub>DB}</sub>					
	C							%P <sub>GC</sub>		
	D					%P <sub>ED</sub>	%P <sub>FD</sub>			
	E						%P <sub>FE</sub>		%P <sub>GE</sub>	
	F									%P <sub>GF</sub>
	G1									
	G2									
	G3									

다음의 수식은 [표 2]의 각 요소에 대한 계산 값이다.

$$\%P_{AA} : 100 \%$$

$$\%P_{BA} : \frac{P_{BA}}{\sum P_{BX}} \times 100 = 100 \%$$

$$\%P_{CB} : \frac{P_{CB}}{\sum P_{CX}} \times 100 = 100 \%$$

$$\%P_{DB} : \frac{P_{DB}}{\sum P_{DX}} \times 100 = 100 \%$$

$$\%P_{ED} : \frac{P_{ED}}{\sum P_{EX}} \times 100 = 100 \%$$

$$\%P_{FD} : \frac{P_{FD}}{\sum P_{FX}} \times 100 = \frac{P_{FD}}{P_{FD} + P_{FE}} \times 100 \%$$

$$\%P_{FE} : \frac{P_{FE}}{\sum P_{FX}} \times 100 = \frac{P_{FE}}{P_{FD} + P_{FE}} \times 100 \%$$

$$\%P_{GC} : \frac{P_{GC}}{\sum P_{GX}} \times 100 = 100 \%$$

$$\%P_{GE} : \frac{P_{GE}}{\sum P_{GX}} \times 100 = 100 \%$$

$$\%P_{GF} : \frac{P_{GF}}{\sum P_{GX}} \times 100 = 100 \%$$

$\sum P_{YX}$  : 모선 Y로부터 송전되는 모든 선로용량의 합

각각의 발전기를 기준으로 모선 A까지 연결된 하나의 선로들로 분류하면 다음과 같은 Linked List 선로들로 분류하여 표현할 수 있다.

G<sub>1</sub>-C-B-A (3개 선로 사용)

$$\%G_1 = \%G_{1C} \times \%C_B \times \%B_A \times \%A_A$$

G<sub>2</sub>-E-D-B-A (4개 선로 사용)

$$\%G_2 = \%G_{2E} \times \%E_D \times \%D_B \times \%B_A \times \%A_A$$

G<sub>3</sub>-F-D-B-A (4개 선로 사용)

$$\%G_{3-1} = \%G_{3F} \times \%F_D \times \%D_B \times \%B_A \times \%A_A$$

G<sub>3</sub>-F-E-D-B-A (5개 선로 사용)

$$\%G_{3-2} = \%G_{3F} \times \%F_E \times \%E_D \times \%D_B \times \%B_A \times \%A_A$$

$$\%G_3 = \%G_{3-1} + \%G_{3-2}$$

G<sub>3</sub> : 중복선로 제외 5개 선로 사용, 중복선로 포함 총 9개 선로 사용

다음과 같이 선로용량 P<sub>BA</sub>에 각각의 참여%를 곱하면 각각의 참여용량을 계산할 수 있다.

$$G_1 \text{의 참여용량} : P_{BA} \times \%G_1$$

$$G_2 \text{의 참여용량} : P_{BA} \times \%G_2$$

$$G_3 \text{의 참여용량} : P_{BA} \times (\%G_{3-1} + \%G_{3-2})$$

### 3. 실제계통 적용 결과

다음의 계산 결과는 2010년도 90% 계통에서 신가평 765kV를 모선에 연결된 신태백 765kV 선로와 신안성 765kV 선로의 발전기 참여율이다.

(발전기 모선번호 및 명, 참여율, 참여용량, 사용선로수(A,B))

1020-5010 선로에 대하여					
25151. 용전#1G 22.0	6.63172245 (%)	213.453	4	4	
25152. 용전#2G 22.0	6.63172245 (%)	213.453	4	4	
25153. 용전#3G 22.0	30.28860664 (%)	974.890	3	3	
25154. 용전#4G 22.0	30.28860664 (%)	974.890	3	3	
25155. 용전#5G 22.0	13.07966709 (%)	420.991	3	3	
25156. 용전#6G 22.0	13.07966709 (%)	420.991	3	3	
		3218.670			
		99.99099237 (%)	6개의 발전기가 참여함		

1020-5010 의 Linked List

1. 25151.용전#1G 22.0 : . - >, 0.5, 5150. - >, 0.0898113, 5151. - >, 0.0663172, 5100. - >, 0.0663172, 5010. - >, 0.0663172, 5010.
2. 25152.용전#2G 22.0 : . - >, 0.5, 5150. - >, 0.0898113, 5151. - >, 0.0663172, 5100. - >, 0.0663172, 5010. - >, 0.0663172, 5010.
3. 25153.용전#3G 22.0 : . - >, 0.410189, 5151. - >, 0.302886, 5100. - >, 0.302886, 5010. - >, 0.302886, 5010.
4. 25154.용전#4G 22.0 : . - >, 0.410189, 5151. - >, 0.302886, 5100. - >, 0.302886, 5010. - >, 0.302886, 5010.
5. 25155.용전#5G 22.0 : . - >, 0.5, 5152. - >, 0.130797, 5100. - >, 0.130797, 5010. -

> 0.130797, 5010,  
 6. 25156,울진#6G 22.0 : , - >, 0.5, 5152, - >, 0.130797, 5100, - >, 0.130797, 5010, -  
 > 0.130797, 5010.

(발전기 모선번호 및 명, 참여율, 참여용량, 사용선로수(A,B))

1020-4010 선로에 대하여				
26105, 태안#5 22.0	3.03375697 (%)	23.533,	4	4
26106, 태안#6 22.0	3.03375697 (%)	23.533,	4	4
26107, 태안#7 22.0	3.03375697 (%)	23.533,	4	4
26108, 태안#8 22.0	3.03375697 (%)	23.533,	4	4
26201, 당진#1 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	4	4
26202, 당진#2 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	4	4
26203, 당진#3 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	3	3
26204, 당진#4 22.0	10.47500351 (%)	81.262,	3	3
26205, 당진#5 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	3	3
26206, 당진#6 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	3	3
26207, 당진#7 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	3	3
26208, 당진#8 22.0	11.05558109 (%)	85.758,	3	3
75,702 MW				
100.00000000 (%) 12개의 발전기가 참여함				
* 당진#4호기 출력 : 475 MW, 당진#8호기 이외의 당진발전기 출력 500 MW				

1020-4010 의 Linked List				
1. 26105,태안#5 22.0 : , - >, 0.25, 6101, - >, 0.25, 6300, - >, 0.0303376, 6030, -				
>, 0.0303376, 4010, - >, 0.0303376, 4010,				
2. 26106,태안#6 22.0 : , - >, 0.25, 6101, - >, 0.25, 6300, - >, 0.0303376, 6030, -				
>, 0.0303376, 4010, - >, 0.0303376, 4010,				
3. 26107,태안#7 22.0 : , - >, 0.25, 6101, - >, 0.25, 6300, - >, 0.0303376, 6030, -				
>, 0.0303376, 4010, - >, 0.0303376, 4010,				
4. 26108,태안#8 22.0 : , - >, 0.25, 6101, - >, 0.25, 6300, - >, 0.0303376, 6030, -				
>, 0.0303376, 4010, - >, 0.0303376, 4010,				
5. 26201,당진#1 22.0 : , - >, 0.5, 6300, - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, -				
>, 0.110556, 4010, - >, 0.110556, 4010,				
6. 26202,당진#2 22.0 : , - >, 0.5, 6300, - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, -				
>, 0.110556, 4010, - >, 0.110556, 4010,				
7. 26203,당진#3 22.0 : , - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, - >, 0.110556,				
4010, - >, 0.110556, 4010,				
8. 26204,당진#4 22.0 : , - >, 0.119227, 6020, - >, 0.104759, 6030, - >, 0.104759,				
4010, - >, 0.104759, 4010,				
9. 26205,당진#5 22.0 : , - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, - >, 0.110556,				
4010, - >, 0.110556, 4010,				
10. 26206,당진#6 22.0 : , - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, - >, 0.110556,				
4010, - >, 0.110556, 4010,				
11. 26207,당진#7 22.0 : , - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, - >, 0.110556,				
4010, - >, 0.110556, 4010,				
12. 26208,당진#8 22.0 : , - >, 0.125825, 6020, - >, 0.110556, 6030, - >, 0.110556,				
4010, - >, 0.110556, 4010,				

아래의 결과는 동일한 계통에서 신가평 765kV에 연결된 신가평 345kV 모선와 의정부 345kV 모선에 연결된 선로의 발전기 참여율이다.

(발전기 모선번호 및 명, 참여율, 참여용량, 사용선로수(A,B))

1500-1200 선로에 대하여				
25151, 울진#1G 22.0	5.34016506 (%)	68.240,	6	6
25152, 울진#2G 22.0	5.34016506 (%)	68.240,	6	6
25153, 울진#3G 22.0	24.38949394 (%)	311.668,	5	5
25154, 울진#4G 22.0	24.38949394 (%)	311.668,	5	5
25155, 울진#5G 22.0	10.53222656 (%)	134.589,	5	5
25156, 울진#6G 22.0	10.53222656 (%)	134.589,	5	5
26105, 태안#5 22.0	0.50096478 (%)	7.551,	6	6
26106, 태안#6 22.0	0.50096478 (%)	7.551,	6	6
26107, 태안#7 22.0	0.50096478 (%)	7.551,	6	6
26108, 태안#8 22.0	0.50096478 (%)	7.551,	6	6
26201, 당진#1 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	6	6
26202, 당진#2 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	6	6
26203, 당진#3 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	5	5
26204, 당진#4 22.0	2.04032254 (%)	26.073,	5	5
26205, 당진#5 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	5	5
26206, 당진#6 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	5	5
26207, 당진#7 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	5	5
26208, 당진#8 22.0	2.15322256 (%)	27.516,	5	5
1277.877 MW				
100.00000000 (%) 18개의 발전기가 참여함				

\* 신가평 345kV에서 의정부, 미금, 신포천 345kV로 연결된 선로가 3개 존재한다.

\* 사용선로수 (A, B) :

A : 관심선로에서 발전기까지 연결된 하나의 단일선로 개수

B : 관심선로에서 발전기까지 연결된 누적된 선로 개수 (EX [그림 3] 의 G<sub>3</sub> 발전기)

위 결과를 보면 신가평-신포천 765kV선로는 울진 발전기만 참여하여 서로 분담하고 있고, 신가평-신안성 765kV 선로는 태안, 당진 발전기만 참여하여 서로 분담

하고 있는것을 알 수 있다. 또한, 신가평 765kV에 연결된 신가평 345kV 역시 연결된 울진, 태안, 당진 발전기의 참여율과 용량을 확인할 수 있다.

접속행렬을 사용하지 않고 위와 같은 형식의 Linked List 구조를 사용한 것은 사용된 선로를 위와 같이 확인할 수 있도록 하기 위함이다.

계산된 결과처럼 상호간에 같은 용량의 발전기라도 현재의 출력에 따라 선로에 미치는 영향이 다르기 때문에 당진#4호기처럼 서로 다른 참여율을 갖게 된다.

MW 단위로 계산하지 않고 각각의 누적된 % 사용량을 이용하여 최종적으로 선로에 유입된 전력을 분배할 경우 중간단계에서 선로의 용량손실에 대하여 포함할 수 있고, 수치적 손실을 막을 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 방법은 “송전계통 제약 운전량 산정기준 및 제약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발” 과제 진행 중 송전선로 혼잡비용 부담 주체를 찾기 위한 방법으로 시작되었고, 현재 임의의 모선에 유입된 전력에 대하여 연결된 발전기의 참여율을 계산할 수 있고 또한 연결된 선로에 대하여 마찬가지로 발전기의 참여율을 이용한 참여용량을 계산할 수 있도록 하였다. 이처럼 임의의 선로에 발전기의 참여 용량을 계산할 수 있다면 송전망에서 발생하는 혼잡선로의 혼잡용량을 감소시킬 수 있고, 또한 혼잡비용의 부담 주체를 찾을 수 있게 된다.

현재는 단순히 송전선에 발전기의 참여용량을 계산하고 있지만 계산과정에서 사용되는 선로의 사용요금 등을 접목하여 전체 송전망 사용요금을 도출할 수 있고, 계통 해석에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] “송전계통 제약 운전량 산정 기준 및 제약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발”, 최종보고서, 전력연구원
- [2] PSS/E Program Application Manual