

## 최대전력수송량 산정기법을 이용한 지역간 수송여유율에 관한 연구

南宮在鎔 · 李龍漢 · 金應相 · 朴東旭 · 宋吉永\*

한국전기연구소, \*고려대학교

### A Study of Estimating Local Marginal Power Rate Based on Load Supplying Capability Evaluation Method

Jae-Yong Namkung, Yong-Han Lee, Eung-Sang Kim,  
Dong-Wook Park and Kil-Yeong Song\*

Korea Electrotechnology Research Institute, \*Korea University

#### 요 약

본 연구에서는 복합계통의 수송능력을 평가하던 종래의 연구결과를 발전시켜, 각 지역에 공급되는 전력이 예측된 최대부하에 대해 얼마만큼의 여유가 있는가를 계산하는 방법을 제안한다. 각 부하모션의 수송여유율에 따른 지역간 분할의 내용을 소개하며, 계산과정에서 병목선로도 탐색하도록 하였다. 그 결과 계통에서 취약한 수송여유율을 보이는 부하모션의 신뢰도 향상에 관한 자료를 얻을 수 있었다. 제안한 알고리즘을 IEEE 신뢰도 모델계통에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

**Abstract**— In this paper, an alternative method which can evaluate a marginal power exceeding yearly peak load for each load bus is proposed. The proportion of the marginal power to yearly peak load for each load bus is defined as Local Marginal Power Rate (LMPR). Furthermore, the composite system is separated base on the LMPR. The bottleneck facilities could be found, while the LMPR is estimated. Then, it is possible to provide information concerning improvement in the system reliability by bottleneck facilities. The IEEE Reliability Test System (RTS) is used to demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm.

#### 1. 서 론

최근, 경제규모의 확대 등으로 인해 수용가의 전력수요가 급속히 증가하고 있다. 이와 같이 증가일로에 있는 전력수요에 대응하여 발전소의 건설 등으로 공급력을 확보하는 것도 중요하지만 발전된 대량의 전기를 장거리에 걸쳐서 안전하게 수송하기 위한 견고한 계통구성 및 여유가 있는 송전설비의 확보도 중요한 과제로 부각되고 있다. 한편, 사회생활의 고도화나 정보사회의 진보로 인해 정전 등의 영향이 커지면서 무정전, 고품질, 저가적인 전력공급에 대한 요구가 높아지고 있다. 이에 따라 전원 및 수송설비를 포함한 복합계통(Composite System)의 수송력과 관련된 공급신뢰도의 평가와 보강대책의 중요성도 점차 증가하고 있다. 그런데, 전력계통은 지역적으로 분포되어 있기 때문에 전력계통에서 일어나는

문제는 공간적인 차원을 포함하게 된다. 따라서 지역에 따라 수송여유율의 차이가 생길 것이며 이 수송여유율의 차이를 밝힐 수 있다면 계통계획면에서나 계통운용면에서 보다 유용한 정보를 얻을 수 있을 것이다<sup>1,2)</sup>.

복합계통의 신뢰도와 관련된 연구는, 79년 L.L. Garver 등이 복합계통에서의 최대전력수송량을 구하는 논문을 발표하면서 시작되었다<sup>3)</sup>. 여기에서는 전원 및 송전선로의 상 하한제약하에서 직류조류법으로 모델링한 전력조류계산식을 만족시키면서 얼마나 많은 전력을 계통의 부하에 공급할 수 있는가를 나타내었으며, 이를 이용하여 계통 전체의 공급신뢰도를 평가하였다. 그러나, 이 논문에서는 단지 주어진 계통의 최대전력수송량을 구하는 내용만을 다루었지 '구체적으로 어느 지역이 취약한가' 등의 진일보한 내용까지는 다루지 않았다.

90년대에 들어서는 J. Toyoda 등에 의하여 복합계통

의 최소예비율(minimal reserve margin)에 관한 지수가 소개되었다<sup>6,7)</sup>. 이 지수는 2단계 선형계획법(two-step LP approach)을 사용하여 계산하는데, 공급지장이 발생하는 경우와 공급지장이 발생하지 않는 경우로 구분하여 최소예비율을 계산한다. 그러나, 이 방법에서는 선로에 흐르는 전력이나 각 모선의 유효전력을 조류계산법과 같은 계통방정식을 통하여 구하는 것이 아니라 선형계획법에 기초해서 단지 발전기나 선로용량의 상·하한 제약하에서만 계산하였기 때문에 정확한 조류계산의 결과와는 일치하지 않는 등의 문제점이 남아 있다.

본 연구에서 제안하는 복합계통에서의 지역간 수송여유율 평가법의 기본적인 방침은 조류계산식뿐만 아니라 선로조류제약도 고려한 최대전력수송량 산정기법<sup>8)</sup>을 이용해서 각 부하모선에 공급지장이 생길 때까지의 여유(각 부하모선의 수송여유율)와 그 지역분포를 구함으로써 지역적인 수송여유율분포, 나아가 지역간 수송여유율 차이의 원인이 되는 병목선로를 찾는 데 중점을 두고 있다. 그 결과 계통계획시 필요한 '구체적으로 어느 지역이 취약한가, 지역간 수송여유율 차이의 원인이 되는 병목선로는 어느 선로인가' 등에 관한 중요한 정보를 얻을 수 있다.

## 2. 종래의 방법

지금까지 발표된 논문 중 각 부하모선의 수송여유율에 따른 지역간 분할의 내용을 다룬 것으로는 최소예비율에 관한 논문이 있다<sup>6,7)</sup>. 이 논문에서는 최소예비율  $x_i$ 를 정의하고 이를 2단계 선형계획법을 사용하여 계산하는데, 1단계에서는 다음 식 (1)을 이용하여 주어진 계통에서의 공급지장 유무를 계산하였다.

$$\text{목적함수: } \max \sum_i PD_i, \quad i=1, \dots, N_L \quad (1)$$

제약조건:

- ㉑ 모선수급밸런스:  $PG_j - PD_j = PF_j, \quad j=1, \dots, N_G + N_L$
- ㉒ 발전기출력제약:  $PG_k \leq PG_k^{\max}, \quad k=1, \dots, N_G$
- ㉓ 선로조류제약:  $PF_p^{\min} \leq PF_p \leq PF_p^{\max}, \quad p=1, \dots, N_K$
- ㉔ 부하공급전력제약:  $PD_i \leq d_i, \quad i=1, \dots, N_L$

단,  $PD_i$ :  $N_L$ 개의 부하모선 중  $i$ 번째 부하모선에 공급되는 전력

$PG_j$ :  $N$ 개의 전체모선 중  $j$ 번째 모선의 발전기출력

$PF_j$ :  $N$ 개의 전체모선 중  $j$ 번째 모선에서 회로로 공급하는 전력

$PF_p$ :  $N_K$ 개의 선로 중  $p$ 번째 선로에 흐르는 전력

$PG_k$ :  $N_G$ 개의 발전기가 존재하는 모선 중  $k$ 번째 모선의 발전기출력

$d_i$ :  $N_L$ 개의 부하모선 중  $i$ 번째 부하모선의 수요

$N_G$ : 발전기모선의 총 수

$N_L$ : 부하모선의 총 수

$N_K$ : 선로의 총 수

여기서 공급지장이 발생하지 않는 경우에는, 다음 식 (2)에서의 제약조건식 ㉑에 나타낸 각 부하모선의 예비력이 최대가 되도록 목적함수를 설정하고 계산함으로써 최소예비율을 구하였다.

$$\text{목적함수: } \max x_i \quad (2)$$

제약조건:

㉑ 모선수급밸런스:  $PG_j - PD_j = PF_j, \quad j=1, \dots, N_G + N_L$

㉒ 발전기출력제약:  $PG_k \leq PG_k^{\max}, \quad k=1, \dots, N_G$

㉓ 선로조류제약:  $PF_p^{\min} \leq PF_p \leq PF_p^{\max}, \quad p=1, \dots, N_K$

㉔ 부하공급전력제약:  $PD_i \geq d_i, \quad i=1, \dots, N_L$

㉕ 예비력제약:  $\frac{PD_i - d_i}{d_i} = x_i, \quad i=1, \dots, N_L$

단,  $x_i$ : 최소예비율

최소예비율이 구해지면, 심플렉스표를 바탕으로 각 변수가 유일해인가를 찾아보면서 선로에 해당하는 변수 중 그 선로의 용량한계치에 걸린 변수를 찾아낸다. 이렇게 구한 선로변수를 경계로하여 계통을 최소예비율의 지역과 더 높은 예비율을 갖는 지역으로 분할한다. 그리고, 최소예비율 지역의 분할된 선로들을 그 조류만큼의 부하로 고정한 뒤 새로운 계통을 구성한다. 구해진 새 계통에 대해 마찬가지로의 방법으로 계속 예비율 지역을 분할해간다.

그러나, 이 방법에서처럼 심플렉스표를 이용한 유일해 등의 판정을 통하여 예비율지역을 찾는 작업은 심플렉스표 상에서 일일이 각 변수의 대응을 찾아야 하고 특히 그 변수가 선로조류인 경우는 변수의 부호에 따라 주어진 선로조류의 방향에 주의하면서 계통을 최소예비율의 지역과 더 높은 예비율을 갖는 지역으로 분할하는 경계선에 해당하는 선로를 찾아야 하는 등 과정이 매우 복잡한데, 계통의 규모가 커지면 이러한 작업은 거의 불가능해진다. 이러한 작업 후 경계선에 해당하는 선로를 부하로 전환시켜 새로운 계통을 구성하는 것도 선로조류의 방향 등을 살피면서 하므로 작업이 매우 어렵다. 또한, 부하값이 고정되었기 때문에 부하공급전력제약을 처음부터 " $PD_i \geq d_i$ " 제약으로 주면 해를 구할 수 없는 경우가 생기므로 2단계로 나누어서 복잡하게 계산하는 과정이 필요하다. 한편, 구해진 선로에 흐르는 전력이나 각 모선의 유효전력은 조류계산법과 같은 계통방정식을 통하여 구한 것이 아니라 단지 발전기나 선로용량의 상·하한 제약하에서만 계산하였기 때문에 정확한 조류계산의 결과와는 많은 차이가 있다.

### 3. 새로운 지역분할법의 제안

본 연구에서는 최대전력수송량 산정기법을 이용해서 수송여유율을 계산하고, 이를 바탕으로 지역적인 수송여유율분포, 나아가 지역적인 수송여유율 차이의 원인이 되는 병목선로를 찾을 수 있는 보다 효율적인 방법을 제안한다.

#### 3-1. 최대전력수송량(LSC)의 계산

최대전력수송량은 전원 및 송전선로용량의 상 하한계 제약하에서 직류조류법으로 모델링한 전력조류계산식을 만족시키면서 전원과 송전망으로 구성된 복합계통이 얼마나 많은 전력을 계통 각 지점의 부하에 공급할 수 있는가를 나타내는 양으로서, 주어진 계통의 수송력을 나타낸다.

본 논문에서는 최대전력수송량을 계산하기 위하여 다음 식 (3)과 같이 정식화식을 정리하였다.

$$\text{목적함수: } LSC = \text{Max} \sum_{k=1}^N G_k \quad (3)$$

제약조건:

㉑ 회로방정식 :  $[Y][\theta] = [G-L], [f] = [A][\theta]$

㉒ 수급밸런스 :  $\sum_{k=1}^N G_k = \sum_{i=1}^N L_i$

㉓ 부하의 배분비율:  $L_i = \beta_i \sum_{k=1}^N G_k$

㉔ 선로조류제약 :  $[f^{min}] \leq [f] \leq [f^{max}]$

㉕ 발전기출력제약 :  $[G^{min}] \leq [G] \leq [G^{max}]$

㉖ 전압위상각 :  $[\theta^{min}] \leq [\theta]$

- 단,  $G_k$  : k모선의 발전기 출력
- $[Y]$  : 어드미턴스행렬
- $[\theta]$  : 전압위상각벡터
- $[f]$  : 선로조류벡터
- $[A]$  : node/link 접속행렬
- $L_i$  : i 모선의 부하
- $N_G$  : 발전기모선의 총 수
- $N_L$  : 부하모선의 총 수
- $\beta_i$  : i 모선의 부하비율( $\sum \beta_i = 1$ )
- $[f^{max}], [f^{min}]$  : 선로조류 상 하한치 벡터
- $[G^{max}], [G^{min}]$  : 발전기모선의 출력 상 하한치 벡터
- $[\theta^{min}]$  : 전압위상각 하한치 벡터

#### 3-2. 수송여유율에 따른 지역분할

최대전력수송량은 여러 가지 제약조건하에서 전 발전

력 최대화라는 최적화 알고리즘에 따라 산정된다. 이 결과 최대전력수송량은 계통 내의 취약한 일부 송전선로나 발전기의 송전용량 및 출력제약에 구속된 상태에서 구해진다. 한편, 각 부하모선에서의 부하는 이 최대전력수송량(=ΣG<sub>k</sub>)의 일정배분비율로 설정되어있기 때문에 각 모선의 부하에 따라서는 더 늘릴 수 있지만 계통 내의 일부 요소의 제약상 (공, 병목설비의 존재) 더 늘릴 수 없는 수준에서 멈추게 되는 수가 있다. 이는 (3-㉓)식의 계산과정에서 각 부하모선의 부하는 전계통에서 일정비율을 갖도록 계산하고 있기 때문에, 지역(모선)에 따라서는 이처럼 정해진 비율 이상의 부하를 담당할 수 있는 여유 있는 지역(모선)과 전혀 여유가 없는 지역(모선)으로 나누어 질 것이다.

본 연구에서는 k단계에서 구한 최대전력수송량에 대해 그 최대전력수송량을 더 증가시키지 못하도록 제한했던 부하모선의 수송여유율 M(k)를 식 (4)와 같이 정의하고, 이 수송여유율 M(k)를 기초로 해서 지역간 분할을 실시하였다. 수송여유율에 따른 지역분할의 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

$$M(k) = \frac{(LSC(k) - FVAL(k) - (TLOAD - FVAL'(k)))}{(TLOAD - FVAL'(k))} \times 100[\%] \quad (4)$$

- 단, LSC(k) : k번째 반복계산의 단계 1에서 주어진 운전조건하에서 계산한 최대전력수송량[MW]
- FVAL(k) : k-1회까지의 반복계산과정 중 공급 지장모선으로 판단되어 그 부하값을 계산시점의 부하값으로 고정시키는 모든 부하모선의 부하값의 누적된 합[MW](첫 번째 반복계산에서는 고정치가 0[MW])
- FVAL'(k) : k-1회까지의 반복계산과정 중 공급 지장모선으로 판단된 모든 부하모선의 수의 합[MW]
- TLOAD : 부하의 총 수요[MW]
- M(1) : 초기의 수요단 수송여유율
- M(2), M(3), ... : 수송여유율 수준에 따라 지역분할이 실시되면서 구해지는 향상된 수송여유율

단계 1: LSC의 계산  
식 (3)을 이용, 주어진 운전조건하에서의 LSC를 계산한다.

단계 2: 수요단 수송여유율 M(k)의 계산  
식 (4)를 이용하여 수요단 수송여유율 M(k)를 계산한다. 이 경우 처음 얻어진 M(1)은 초기의 수요단 수송여

유율로서 지역분할 개시 전의 수송여유율을 나타낸다. 이후 반복계산에 따라 얻어지는 M(2), M(3), ...는 수송여유율 수준에 따라 지역분할이 실시되면서 그 때마다 향상되면서 얻어진 수송여유율 값을 나타내게 된다.

단계 3: 수송여유율 M(k)에 따른 지역분할

각 부하모선별로 돌아가면서 부하를 근소량 증가(이때의 증가분과 같은 양의 부하를 나머지 부하모선에서 부하비율대로 빼어줌)시킨 새로운 부하상태를 상정해서 LSC를 계산한다. 이때 j번째 모선의 부하를 근소량 증가시킨 경우의 LSC를 계산할 때는 식 (3)의 LSC의 제약조건에 다음 식 (5)와 같은 제약을 추가한다. 식 (5)는 k번째 반복에서 부하를 근소량 증가시킨 특정부하 이외의 부하가 최소한 M(k)이상의 수송여유율을 강제로 갖도록 하는 식이다. 그러므로, j번째 모선의 부하를 근소량 증가시킨 경우에 식(5)와 같은 제약도 만족시키는 LSC가 구해졌다면, 이때의 LSC는 j번째 모선의 부하를 근소량 증가시키지 않고 계산했던 수송여유율 M(k)가 계산된 시점의 LSC(이하 기준 LSC로 표기)보다 큰 값으로 계산된다. 그 결과, j번째의 특정 부하모선은 아직도 공급받을 수 있는 여력이 남아 있다는 것을 보여준다. 그러나, j번째 모선의 부하를 근소량 증가시킨 경우의 LSC가 존재하지 않는다면, 이 경우는 부하를 증가시킨 특정모선을 제외한 나머지 모선에서의 부하가 감소되는 경우이다. 즉, j번째 특정 모선 이외에서는 j번째 모선의 부하를 근소량 증가시킨 경우의 LSC를 계산한 결과에서의 각 모선의 부하값이 기준 LSC를 구한 경우의 각 모선의 부하값보다도 줄어드는 경우로서, 이는 특정모선 이외의 모선에 공급되는 전력의 양이 감소됨을 의미한다. 그러므로, m번째 계산에서 이러한 결과가 나오면 이 특정모선은 계통내 일부요소의 제약(곧 병목설비)에 의하여 수송여유율을 M(m)으로 고정시키는 공급지장모선으로 판정한다.

$$\sum_{k=1}^N G_k \geq \text{PRELSC} \left( 1 + \frac{\beta_j \times \text{INC}\beta_j}{\sum \beta_i + \beta_j \times \text{INC}\beta_j} \right) \quad (5)$$

단, PRELSC: 수요단 수송여유율을 계산할 때 사용한, 특정부하를 근소량씩 증가시키기 전의 LSC[MW]

- $\beta_j$  : j번째 부하모선의 부하비율
- $\text{INC}\beta_j$  : j번째 부하모선의 부하증가비율
- $\sum \beta_i$  : 각 부하모선의 부하비율의 합(=1)

단계 4: 공급지장모선의 수송여유율 고정

단계 3의 계산에서 공급지장모선이 포함된 지역은 수송여유율 M(k)%의 신뢰도지역이므로 이 지역에서는 더 이상의 부하를 분담할 수 없기 때문에 이 지역의 부

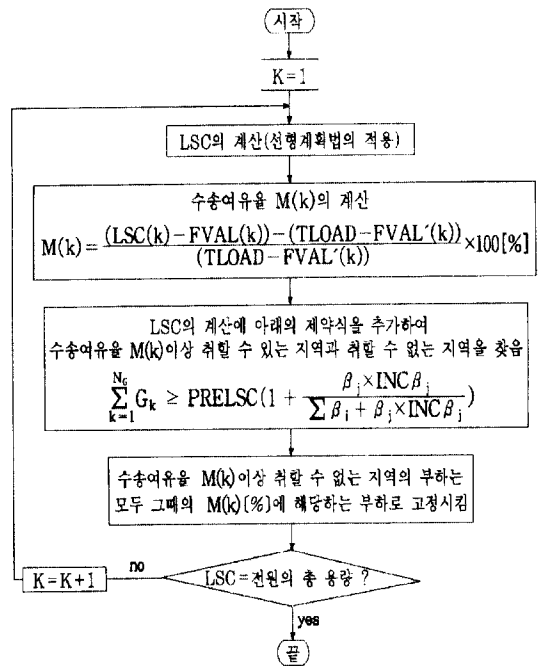


Fig. 1. The algorithm for the local separation of power system.

하를 이때의 수송여유율의 부하값으로 고정시킨 후 단계 1로 돌아간다.

단계 5: 지역분할의 종료

단계 1~단계 4의 조작을 반복하는 과정 중 단계 3에서 모든 공급지장모선을 찾았다면 계산을 더 이상 진행할 수 없으므로 지역분할 과정은 종료된다. 여기서 모든 공급지장모선이 찾아진 경우란 전원의 총 용량만큼의 전력을 각 부하모선에 공급한 경우를 뜻하는데, 이때는 전원의 총 용량과 LSC가 일치된다.

이상의 지역분할과정을 알고리즘으로 나타내면 다음 Fig. 1과 같다.

#### 4. 사례연구

먼저 간단한 4모선 계통을 이용하여 종래의 방법<sup>7)</sup>과 제안한 방법으로 지역분할을 구하는 과정을 비교하였다. 다음에, IEEE 신뢰도 시험계통으로 모델계통을 확장하여 적용함으로써 제안한 방법의 유용성을 검증하였다.

##### 4-1. 4모선 모델계통에의 적용

###### 4-1-1. 종래의 방법<sup>7)</sup>에 의한 결과

다음 Fig. 2와 같은 4모선 모델계통에 식 (1)을 이용하

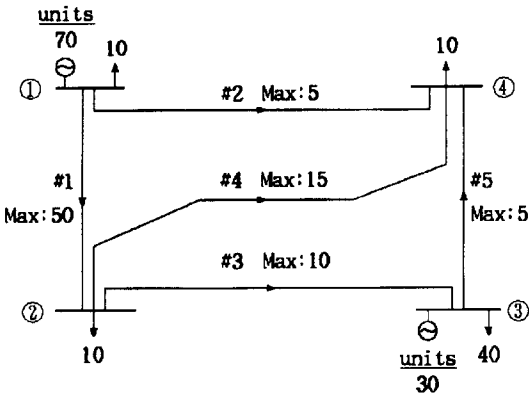


Fig. 2. 4-bus model system.

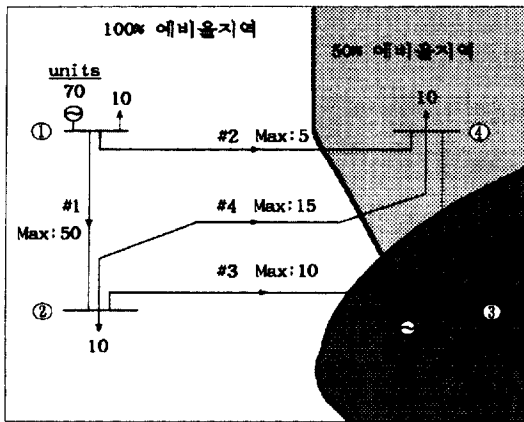


Fig. 3. Local separation of the power system using a previous method.

여 계산하면 공급장장의 발생없이 해가 구해진다.

해가 구해지면 식 (2)를 이용하여 최소예비율을 계산하는데(이 경우 12.5%)로 계산되었음), 이때 심플렉스표를 이용하여 병목이 되는 선로를 찾는다. 실제로 선로에 흐르는 조류방향과 처음 계산에서 지정한 조류방향

의 일치 여부, 기저변수와 비기저변수의 위치 등을 고려하면서 각 선로의 용량한계치와 변수값을 비교하면 #3, #5번 선로가 병목으로 판정된다. 병목으로 판정된 두 선로는 방향을 고려하여 선로용량만큼의 부하로 고정시키고 ③번모선을 제거한 새로운 계통을 구성한다. 새로운 계통에 대해 같은 과정을 반복하면 Fig. 3과 같은 지역분할이 구해진다.

4-1-2. 제한한 방법에 의한 결과

실제의 계통을 고려하려면 조류계산이 반드시 고려되어야 한다. 모델계통에서의 임피던스는 #2, #5번 선로는 0.1[pu]이고, 그 외의 다른 선로는 0.01[pu]로 된 것이다.

(1) 첫 번째 반복계산

주어진 계통을 이용하여 LSC를 계산하면 Table 1의 기준 경우에 나타낸 바와 같이 모든 부하모선이 예측된 최대부하에 대해 최소 0.76% 수준의 수송여유율을 지니고 있다. 여기서 각 부하모선의 부하를 미소량(1%)씩 증가시키면서 해를 구한 결과를 Table 1의 아래쪽에 나타내었다.

$$M(1) = \frac{(70.529-0)-(70-0)}{(70-0)}$$

× 100 ≃ 0.76[%]의 수송여유율을 갖는다. 그러나, ①번모선과 ②번모선은 더 많은 전력을 공급받을 수 있으므로, ③번모선과 ④번모선의 부하를 각각 최대부하에 대해 0.76%의 수송여유율을 갖는 부하값인 40.302457[MW]와 10.075614[MW]의 부하로 고정한다.

(2) 두 번째 반복계산

③번모선과 ④번모선의 부하를 지정한 제약식을 추가한 뒤 식 (3)을 이용하여 LSC를 계산하면, LSC=100[MW]로 계산되어 LSC와 전원의 총 용량이 일치되면서 지역분할이 종료된다. 이때, ①번모선과 ②번모선의 수송여유율은  $M(2) = \frac{(100-50,378)-(70-50)}{(70-50)}$  × 100 ≃

148.11[%]로 계산된다. 이때의 지역분할의 모습을 나타내면 Fig. 4와 같다. Fig. 3에 표시한 종래의 결과에서는 ③번모선에는 부하수요보다 최대 12.5%의 전력을, ④번

Table 1. The results caused by load increments at each load bus.

부하 증가모선	항목 LSC [MW]	발전기출력[MW]		각 부하모선의 부하[MW]				선로조류[MW]				
		①번 모선	③번 모선	①번 모선	②번 모선	③번 모선	④번 모선	#1	#2	#3	#4	#5
기준 경우	70.529	40.53	30.00	-10.08	-10.08	-40.30	-10.08	27.05	3.40	10.00	6.98	-0.30
①번모선	70.630	40.63	30.00	-10.18	-10.08	-40.30	-10.08	27.05	3.40	10.00	6.98	-0.30
②번모선	70.631	40.63	30.00	-10.08	-10.18	-40.30	-10.08	27.14	3.41	10.00	6.97	-0.30
③번모선				가능해가 존재하지 않음								
④번모선				가능해가 존재하지 않음								

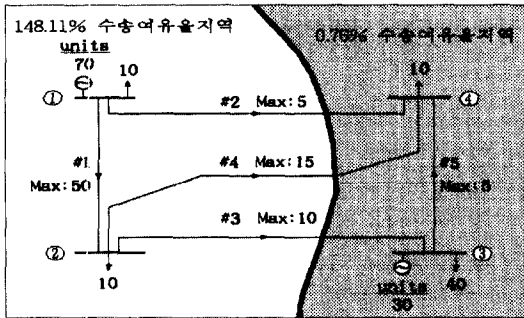


Fig. 4. Local separation of the power system using the proposed method.

모션에는 50%의 전력을 더 공급할 수 있다고 보았다. 그러나, Fig. 4에 나타난 바와 같이 실제로 조류방정식을 고려한 결과 ③번모선과 ④번모션에는 부하수요보다 0.76%의 전력밖에 더 공급할 수 없음을 알 수 있다.

한편, 각 반복계산에서 LSC와 부하비율의 관계를 이용한, LSC의 증가를 제한하는 부하모션에서의 부하수요의 고정치 계산을 자세히 설명하면 다음과 같다.

먼저, 전체계산과정 중 첫 번째 반복계산에서는 LSC가 70.529[MW]로 계산되었는데, 이때의 ①번 부하모션의 부하비율: ②번 부하모션의 부하비율: ③번 부하모션의 부하비율: ④번 부하모션의 부하비율=1:1:4:1이었다. 각 부하모션의 부하를 증가시키면서 계산한 결과 ③번모선과 ④번모션이 공급지장모션으로 판정되었으므로

③번모션의 부하를  $70.529 \times \frac{4}{(1+1+4+1)} \approx 40.302$ [MW]로,

④번모션의 부하를  $70.529 \times \frac{1}{(1+1+4+1)} \approx 10.076$ [MW]로

고정하였다. 그리고, 두 번째 반복계산에서 LSC를 계산하면 100[MW]로 구해지는데, ①번 부하모션과 ②번 부하모션의 부하비율이 1:1이므로 ①번 모션과 ②번 모션에는  $[70.529 \times \frac{1}{(1+1+4+1)}] + [(100-70.529) \times \frac{1}{(1+1)}] \approx$

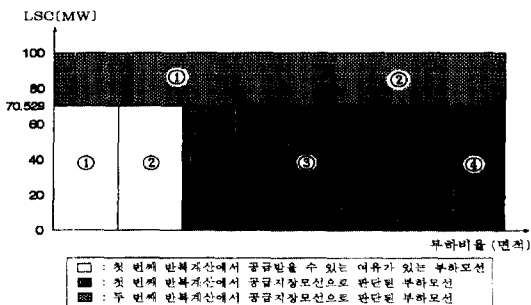


Fig. 5. The relation between LSC and load ratio.

24.811[MW]까지의 전력을 공급할 수 있게 된다. 이와 같이 각 반복계산에서의 LSC와 부하비율의 관계를 이용한 부하수요의 고정치의 계산 결과를 그림에서 면적으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

그런데, Fig. 4에서 구한 최종적인 결과는 모델계통에서의 임피던스가 #2, #5번 선로는 0.1[pu], 그 외의 다른 선로는 0.01[pu]인 상태에서 구해진 것이다. 만약 모든 선로의 임피던스가 0.1[pu]이었다면 이때의 LSC는 46.67[MW]로 계산되고, 모든 부하모션은 공급지장모션이 된다. 실제로 이와 같이 각 선로의 임피던스가 어떤 값으로 주어지느냐에 따라 계통의 총 부하인 70[MW]를 만족시키지 못할 수도 있는데, 종래의 방법에서는 조류계산법을 무시하였기 때문에 Fig. 3과 같이 항상 모든 부하모션에 충분한 전력을 공급할 수 있다는 결과를 보이고 있는데 유의할 필요가 있다.

4-2. IEEE 신뢰도 시험계통에의 적용

IEEE 신뢰도 시험계통의 전원용량은 3405[MW]이며 예측된 최대부하는 2850[MW]이다. 단, 원래의 모델계통의 각 선로는 모두 충분히 큰 용량을 가지므로 여기서는 송전선로의 용량제한 등의 이유로 계통이 설비용량의 전력을 공급하지 못하는 경우를 살펴보기 위하여 각 선로의 정격용량을 반으로 줄인 계통을 본 연구에서의 모델계통으로 선정해서 사용하였다.

Table 2. The decision of the load bus which limits the LSC increasing.

1%씩 증가시킨 부하모션	LSC [MW]	병목선로	최종판정 (예비율)
①	-		3% 고정
②	-		3% 고정
③	-		3% 고정
④	-		3% 고정
⑤	-		3% 고정
⑥	-		3% 고정
⑦	2935.478	#10, #17, #23	-
⑧	2935.952	#10, #17, #23	-
⑨	-		3% 고정
⑩	2937.384	#10, #17, #23	-
⑬	-		3% 고정
⑭	-		3% 고정
⑮	-		3% 고정
⑯	2935.272	#10, #17, #23	-
⑰	2937.620	#10, #17, #23	-
⑱	2936.107	#10, #17, #23	-
⑳	2935.522	#10, #17, #23	-

4-2-1. 첫 번째 반복계산

먼저 모델계통에 대해 계산한 LSC 값은 2934.191 [MW]로서 모든 부하모선이 당초 예측한 최대부하 2850[MW]에 대해 최소 약 3%의 수송여유율을 보유하고 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서의 제안법에 따라 각 부하모선에서의 부하를 차례로 근소량(여기서는 1%로 계산)씩 증가시켜서 LSC를 구한 결과는 Table 2와 같다.

Table 3. The results from 2nd iteration.

반복 회수	LSC [MW]	수송 여유율[%]	공급지장 모선	공급받을 수 있는 여력이 있는 모선
2	3104.6	17	(8), (10)	(7), (16), (18), (19), (20)
3	3197.2	27	(19), (20)	(7), (16), (18)
4	3299.5	46	(18)	(7), (16)
5	3352.0	70	(7)	(16)
6	3405.0	123		(16)

같다.

4-2-2. 반복계산의 결과

Table 2의 결과에 의하여 먼저 (1), (2), (3), (4), (5), (6), (9), (13), (14), (15)번 모선은 수송여유율 3%의 부하값으로 고정시키고 다른 모선은 같은 비율의 변수로 두고 두 번째 반복에서의 LSC를 계산하기 위한 자료를 구한다. 두 번째 반복계산결과로부터 최종결과까지를 Table 3에 나타내었다.

계산된 지역분할의 결과를 정리하여 나타내면 다음 Fig. 6과 같다.

이때 각 반복계산에서의 병목선로를 나타내면 Table 4와 같다.

Table 4에서는 총 34개의 선로 중 5개의 선로만이 병목이 되었는데, 이 병목선로들은 모두 수송여유율에 따른 지역분할에서의 경계선에 해당되었다. 수송여유율 수준이 낮은 지역으로의 전원공급을 제한하는 요소가

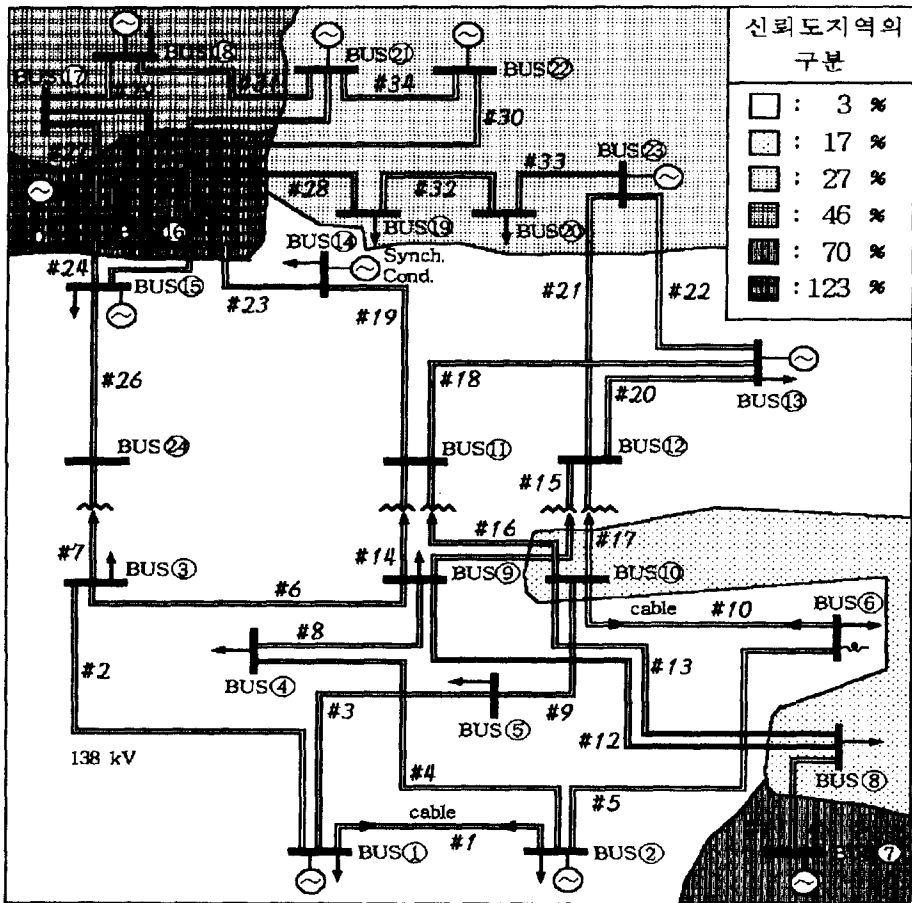


Fig. 6. The LMPR at IEEE RTS using the proposed method.

**Table 4. Bottleneck facilities resulted from each iteration.**

반복회수	LSC[MW]	병목선로
1	2934.191	#10, #17, #23
2	3104.619	#11, #17, #23
3	3197.190	#11, #23, #27
4	3299.499	#11, #23
5	3351.966	#23
6	3405.000	#11, #23

바로 이러한 병목선로들이므로, 이러한 저 수송여유율 지역의 신뢰도향상대책을 세운다면 바로 Table 4의 병목선로들이 대상이 될 것이다.

## 5. 결 론

수송여유율에 따른 지역분할과정은 종래의 방법과는 달리 주관적이거나 시행착오를 유발할 수 있는 복잡한 계산과정이 없어서 모든 단계를 일정한 rule에 따라 프로그램화할 수 있어 단시간에 계산이 가능하며, 계통의 규모 등의 영향을 받지 않는다. 기타 주요한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 종래의 방법에서 고려하지 못한 직류조류제약식을 LSC의 계산과정에 포함시킴으로써 단순히 선로용량이나 발전기용량 상하한만의 영향이 아닌 선로의 임피던스의 영향 등도 고려할 수 있었다. 그 결과 종래의 방법에서는 더 많은 전력을 충분히 공급할 수 있다고 계산된 경우에도 실지로는 매우 적은 수송여유율만을 가질 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) 본 연구를 통하여 각 부하모선의 공급지장이 생길 때까지의 여유(각 부하모선의 수송여유율)와 그 지역분포를 구할 수 있었다. 그 결과 '구체적으로 어느 지역이 취약한가' 등에 관한 정보를 얻을 수 있었다.
- 3) 계통에서의 각 부하모선의 수요에 의해 정해지는

지역적인 신뢰도분포를 계산하는 과정에서 '지역적 신뢰도차이의 원인이 되는 병목선로'를 찾을 수 있었다. IEEE 신뢰도계통의 경우는 주어진 계통상태에 대해 총 34개의 선로 중 5개의 선로만이 병목이 되었는데, 이 병목선로들은 모두 수송여유율에 따른 지역분할에서의 경계선에 해당되었음을 알 수 있었다.

추후, LSC계산에서 사용한 직류조류제약식을 교류조류제약식으로 발전시키고, 상정사고시의 지역간 수송여유율 변화와 이때의 병목선로 등에 관한 내용 등을 확장하여 연구할 계획이다.

## 참고문헌

1. 송길영: "송배전 공학", 동일출판사 (1988).
2. Roy Billinton: "Power System Reliability Evaluation" (1977).
3. 송길영: "전력계통의 해석 및 응용", 동일출판사 (1995).
4. L.L. Garver, P.R. Van Horne and K.A. Wirgau: "Load Supplying Capability of Generation - Transmission Networks", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No.3 May/June, pp.957-962 (1979).
5. Philip R. Van Horne and Carol N. Schoenberger: "TRAP: An Innovative Approach to Analyzing the Reliability of Transmission Plans", IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-101, No.1 January, pp.11-16 (1982).
6. L.N. Chen, H. Suwa and J. Toyoda: "Power Arrival Evaluation of Bulk System Including Network Constraints Based on Linear Programming Approach", IEEE Trans. Power System, Vol. 6, No. 1 (1991).
7. J. Toyoda, L.N. Chen, T. Minakawa and T. Yamada: "New Indices and Computational Techniques for Composite Systems Reliability Evaluation", The Paper of CIGRE Reliability Symposium, 1A-01, (1991).
8. 송길영, 남궁재용, 김용하: "장기계통계획을 위한 수송력평가", 대한전기학회논문지, 제 46권, 제 4호, pp. 468-474 (1997).