

## PSTCP : A Tool to Evaluate Power System Transfer Capability

劉守峴\* · 鄭鍾勳\*\* · 鄭珉和\*\*\* · 李炳俊<sup>§</sup> · 宋吉永<sup>§§</sup> · 申榮澈<sup>§§§</sup> · 金永善<sup>#</sup>  
 (Soo-Hyun Yoo · Jonghoon Jeong · Min-Hwa Jeong · Byungjun Lee · Kil-yeong Song ·  
 Young-Chul Shin · Young-Son Kim)

**Abstract** - This paper presents an algorithm that can calculate the evaluation index of power system from the transfer capability point of view. The algorithm adopts a successive linear programming skill to solve an optimal solution. Two indices which are transfer margin index and economic matching index have been developed. Prior to calculating these indices, Maximum Load Supplying Capability(MLSC) and Economic Load Supplying Capability(ELSC) are utilized as basic data. For man-machine interface, graphical user interface has been implemented so that an unified software package PSTCP(Power System Transfer Capability Program) has been developed. KEPCO systems planned up to 2006 year have been tested to show effectiveness and usefulness of the PSTCP for power system planning stages.

**Key Words** : 계통계획, 계통수송능력, 최대부하공급능력, 경제부하공급능력, 수송여력지수, 경제성 정합지수

### 1. 서 론

한국의 전력계통은 수용가의 전력수요가 매년 10% 이상 급속히 증가해왔으며 앞으로의 전력수요 증가는 당분간 계속 될 것으로 보이지만, 2015년 이후에는 수요증가율의 포화 현상을 보일 것으로 예상된다. 이러한 전력수요의 변화에 대응하여 장기전원계획에 의해 발전설비가 매년 증설되고 있으나 이것은 단순히 발전용량과 부하수요만을 고려한 설비계획이므로 실제로 계통의 수송단을 거쳐 전달되는 전력의 공급능력이라고는 말할 수 없다. 이처럼 급격한 수요증가에 대응한 계통의 적절한 확장과 장래 수요증가의 포화에 대응한 계통의 경제적인 확장의 필요성이 동시에 요구되고 있는 상황에서 전원설비에 비해 상대적으로 취약해져 가는 한국전력의 대규모 수송계통에 대한 기술적, 경제적 적정성을 확보하기 위해서는 계통계획단계에서 전원 및 송전망의 각종 운용상 제약하에서 대규모 전력계통의 수송능력을 평가하여 이른바

수송능력의 적정성 지표를 산정하는 평가법의 개발이 중요하게 부각되고 있다.

전력계통의 신뢰도는 사고에 의한 공급력의 “부족”에 기반한 확률론적 지수와 수송능력의 관점에서 “여유력”에 기반한 확정론적 지수<sup>[1-4]</sup>로 분류하여 평가할 수 있다. 이러한 수송능력 산정과 관련된 연구는 79년 L. L. Garver에 의해 부하공급능력(Load Supplying Capability : LSC)을 산정하는 논문<sup>[5]</sup>이 처음으로 발표된 이후, 이러한 수송능력을 이용하여 복합계통의 신뢰도를 확정론적으로 평가해서 이를 계통계획에 활용하는 방법론들이 제시되어 왔다<sup>[6-12]</sup>. 이러한 종래의 방법들은 전력수송능력을 구할 때 계통조건을 근사화시킨 직류조류법을 사용하므로 계통의 무효전력이나 전압제약 등을 고려할 수 없을 뿐만 아니라 근사법에 의해 수반되는 오차 등에 의해 실제의 전력계통에 적용하여 수송능력을 산정하기에는 다소 어려움이 있었다. 한편, 저자들의 최근문헌 [13-15]의 연구에서는 종래 논문들의 근사 계산문제를 해결하기 위해 전력수송능력 산정문제를 교류조류계산법(뉴턴랩슨법)에 기반한 비선형 최적화문제로 정식화하고 이를 연속선형계획법(successive linear programming)의 알고리즘으로 최적화하는 방법론을 제시하였다. 그러나, 이러한 수송능력의 산정법은 계통이 수송할 수 있는 최대전력만을 구하는 기본적인 방법론들로서 장래 수요증가율의 포화에 대응하기 위하여 대규모 수송계통에서의 경제급전의 개념에 기반한 수송능력 평가부분이 간과되어 있어 수송능력에 대한 적정성을 올바르게 산정하기 위해서는 확정론적인 수송능력평가의 관점에서 추가적으로 고려해야 할 합리적인 평가과정이 필요하게 되었다.

이러한 수송능력에 대한 계통 적정성의 산정문제를 효과적으로 다루기 위하여 본 논문에서는 계통계획단계에서 한국

\* 準 會 員 : 高麗大 工大 大學院 電氣工學科 碩士  
 \*\* 準 會 員 : 高麗大 工大 大學院 電氣工學科 碩士 科 程  
 \*\*\* 正 會 員 : 高麗大 工學技術研究所 主任 研究員 · 工博  
 § 正 會 員 : 高麗大 工大 電氣電子電波工學部 助 教 授 · 工博  
 §§ 正 會 員 : 高麗大 工大 電氣電子電波工學部 教 授 · 工博  
 §§§ 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 電 源 機 械 處 系 統 支 隊 部 課 長  
 # 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 電 源 機 械 處 系 統 支 隊 部 部 長  
 接受日字 : 1999年 3月 4日  
 最終完了 : 1999年 5月 26日

전력의 실규모 계통에 대한 최대부하공급능력(Maximum Load Supplying Capability : MLSC)의 산정과 계획단계의 발전기 우선순위법에 기초한 근사경제급전을 고려하여 경제성 관점에서 수송능력을 평가하는 경제부하공급능력(Economic Load Supplying Capability : ELSC)의 산정 알고리즘을 개발하였다. 여기서, 최대부하공급능력은 계통이 수송할 수 있는 가장 낙관적인 수송능력에 해당하는 반면 경제부하공급능력은 계통에서 일반적으로 수행되는 경제급전이 계통제약을 고려할 때 최대 어느 부하수준까지 실현가능한가를 수송능력의 관점에서 평가하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 산정하고 상정된 계통의 침두부하를 기준으로 수송능력에 대한 적정성 지표의 산정법을 제안한다. 한편, 본 논문에서 제안된 비선형 최적화 문제는 대규모 실계통에 적용할 수 있도록 소성(sparsity) 기반에 의한 연속선형계획법의 문제로 정식화되었고 산정과정의 사용자 편의성을 고려하여 GUI(Graphic User Interface)를 이용한 하나의 수송능력 평가 Tool로서 개발되었다.

본 연구에서 제안한 수송능력의 적정성 산정을 위한 평가법을 한국전력의 99년부터 2006년까지의 장기 계통에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

## 2. 복합계통의 수송능력 평가지수 개발

본 논문에서는 <sup>[1]</sup> 전력계통 신뢰도 평가방법 중 확정론적 접근에 의한 수송능력 산정을 위해 최대부하공급능력(Maximum Load Supplying Capability : MLSC)과 경제부하공급능력(Economic Load Supplying Capability : ELSC)을 계산하고, 이로부터 계통의 새로운 수송능력 평가지수로 수송여력지수(Transfer Margin Index)와 경제성 정합지수(Economic Matching Index)를 개발하였다.

### 2.1 최대부하공급능력(Maximum Load Supplying Capability : MLSC)의 정의

전력계통의 최대부하공급능력은 주어진 발전용량이 계통의 각종 제약하에서 얼마나 많은 전력을 계통의 부하에 공급할 수 있는가를 나타내는 전력계통의 양적인 수송능력을 나타낸다. 따라서, 이 최대부하공급능력은 계통이 수송할 수 있는 가장 낙관적인 수송능력에 해당하는 발전력배분이며 발전기들에 대한 경제운용의 개념은 고려하지 않는다. 여기서, 목적함수는 계통의 손실과 수송여력지수의 산정기준을 고려할 때 발전기의 유효전력 출력이 아닌 순수하게 부하에 수송 가능한 최대부하량으로 표현된다<sup>[6]</sup>. 표 1과 같이 각 모선의 부하량은 초기 상정부하값의 비(보통 년 침두부하 기준)가 항상 일정하게 유지되는 것으로 하였으며 이것은 모든 부하단에서의 예비율을 균등하게 확보한 상태에서 계통전체의 수송능력을 평가하고자 하는 것이다.

### 2.2 경제부하공급능력(Economic Load Supplying Capability : ELSC)의 정의

최대부하공급능력의 산정법에서는 경제급전의 개념이 포함되어 있지 않으므로 그와 같은 발전력배분이 가능하더라도 경제운용의 면에서 본다면 다소 현실적이지 못할 수도 있다. 그러므로, 계통계획단계에서는 최대부하공급능력과 함께 경제급전의 개념을 포함하여 수송능력을 현실적으로 고려할 필요가 있다. 본 연구에서 제안하는 경제부하공급능력은 경제성 관점에서의 복합계통의 수송능력을 나타내는 것으로 견고한 계통일수록 경제급전 원칙에 대해 운전제약의 위반없이 충분히 부하를 수송할 수 있는 적정한 수송능력을 가지고 있어야 한다. 즉, 최대부하공급능력이 경제운용으로부터 벗어나더라도 가능한 한 공급을 최대화하는 데에 초점을 맞춘 발전기들의 부하배분을 나타내는데 대하여 경제부하공급능력은 계획단계에서 경제성을 감안해서 발전력 배분을 수행할 때 선로과부하 제약과 같은 중요한 계통제약에 영향을 받지 않고 수송 가능한 최고 부하수준에서의 발전력배분을 의미한다. 물론, 향후의 규제완화 및 환경규제 등과 같은 전력계통 환경하에서는 반드시 경제운용의 원칙이 적용된다고는 볼 수 없지만, 본 연구에서는 하나의 종합적인 수송능력 산정과정을 제안하기 위해 최대부하공급능력에 대한 상대적 개념의 하나로써 경제부하공급능력의 개념을 도입한 것이며 이것은 계통 환경에 따라 다양한 문제구성으로 대체가 가능할 것이다.

한편, 일반적인 경제급전 문제에서의 목적함수는 고차의 비선형 함수로 표현되지만, 본 연구에서는 이것을 전연계획단계에서 근사적으로 적용하는 발전기 종별 연료비 계수( $w_i$ )<sup>[17]</sup>를 사용하였다. 이것은 계획단계에서 운용문제를 정확히 취급한다는 것이 현실적으로 어려운 일이며 또한, 계획단계에서 대규모 계통의 수많은 대체안을 효율적으로 평가하기 위해서는 목적함수를 선형으로 하여 비선형 최적화문제의 계산효율을 향상시킬 필요성이 있기 때문이다.

## 2.3 수송능력 평가지수

본 논문에서 제안하는 수송능력 평가지수 산정의 기본적인 개념은 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 기본자료로 사용하여 계통에서 상정된 침두부하(peak load)를 기준으로 해서 수송능력의 평가지수를 산정하는 것이다. 수송능력 평가지수로 수송여력지수(Transfer Margin Index)와 경제성 정합지수(Economic Matching Index)를 제안한다.

### 2.3.1 수송여력지수(Transfer Margin Index)의 정의

송전선로의 사고를 상정하였을 때 계통의 최대부하공급능력과 연간 침두부하 사이의 마진을 수송여력이라고 정의할 때 수송여력지수는 마진과 연간 침두부하 사이의 비가 되며 식(1)과 같이 정의된다. 이 식은 결국 부하단의 전력수송량을 기준으로 산정하고 있으므로 종래 전원부문의 공급예비력의 개념을 그대로 복합 전력계통의 부하수요에 대해 적용해서 침두부하에 대한 % 예비율을 평가할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수송여력지수}(\alpha) \\ & = \frac{\text{MLSC} - \text{Peak Load}}{\text{Peak Load}} \times 100(\%) \end{aligned} \quad (1)$$

### 2.3.2 경제성정합지수(Economic Matching Index)의 정의

계통의 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 산정한 후, 최대부하공급능력과 경제부하공급능력의 비의 백분율인 경제성 정합지수를 계산할 수 있다. 경제성 정합지수는 아래 식 (14)와 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} & \text{경제성 정합지수}(\gamma) \\ &= \frac{\text{ELSC}}{\text{MLSC}} \times 100(\%) \end{aligned} \quad (2)$$

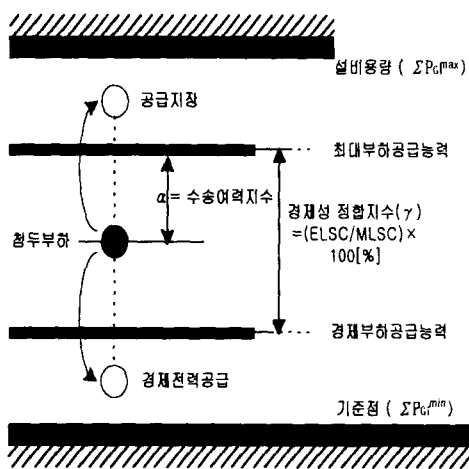


그림 1 수송능력 평가지수의 개념  
Fig 1 The concept of evaluation index for transfer capability

구체적인 평가개념을 도식적으로 설명하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림 1과 같이 건전상태에서 첨두부하는 최대부하공급능력의 부하점과 경제부하공급능력의 부하점 사이에 위치하는 것이 일반적일 것이다. 여기서, α는 최대부하공급능력과 첨두부하의 차를 첨두부하로 나타낸 수송여력지수를 의미하게 된다. 수송여력지수가 크다는 것은 기존의 설비만으로도 부하의 증가분을 공급할 수 있다는 것을 의미하나, 반대로 이 값이 너무 크게 될 경우 계통의 수송설비에 필요 이상의 투자가 이루어졌다는 것을 의미하기도 한다. 한편, 첨두부하가 최대부하공급능력보다 큰 영역에 위치하면 그것은 공급지장에 해당하고 반대로 경제부하공급능력보다 작은 영역에 위치하면 첨두부하에서도 경제부하전이가 가능하게 된다. 경제성 정합지수 γ의 경우 경제부하공급능력이 커져서 최대부하공급능력에 가까워질수록 계통의 수송능력은 여유가 있다고 하겠지만, 계통 설비보강의 측면을 고려할 때 이 경제부하공급능력을 반드시 크게 하는 것이 수송능력의 적정함을 나타내는 것은 아니다.

### 2.4 문제의 정식화

이러한 수송능력 산정을 위한 최대부하공급능력 및 경제부하공급능력에 대한 최적화 문제는 표 1과 같이 목적함수와 부하 상정조건을 각각 다르게 고려한다면 다음과 같은 비선

형 최적화 문제로 요약해서 정리할 수 있다.

표 1. 최적화 문제의 목적함수 및 부하 상정조건

Table 1. The objective functions and load conditions of optimization problems

구분	목적함수
최대부하공급능력	$\text{Max} \sum_{i=1}^{N_L} P_{Li}$
경제부하공급능력	$\text{Max}(\text{Min} \sum_{i=1}^{N_G} w_i P_{Gi})$
부하 상정조건 최대부하공급능력 : $P_{Li} = P_{Li0}(1+t)$ 경제부하공급능력 : $[\sum P_G = \sum P_L + P_{Loss}]$ $P_{Li}$ : 각 부하모선에 수송가능한 부하량 $P_{Li0}$ : 상정된 초기 부하수요 $t$ : 부하증가율 $w_i$ : 계획단계에서 적용되는 각 발전기의 근사적 연료단가	

□ 제약조건 :

$$P_G - P_L + P(V, \theta) = 0 \quad (3)$$

(유효전력의 전력조류방정식)

$$Q_G - Q_L + Q(V, \theta) = 0 \quad (4)$$

(무효전력의 전력조류방정식)

$$\sum P_G = \sum P_L + P_{Loss} \quad (5)$$

(수급균형)

$$|F(V, \theta)| \leq F^{max} \quad (6)$$

(선로의 조류제한)

$$V^{min} \leq V \leq V^{max} \quad (7)$$

(부하모선의 전압제한)

$$P_G^{min} \leq P_G \leq P_G^{max} \quad (8)$$

(발전기 유효전력 출력제한)

$$Q_G^{min} \leq Q_G(V, \theta) \leq Q_G^{max} \quad (9)$$

(발전기 무효전력 출력제한)

### 2.5 연속선형계획법(SLP)에 의한 해법

본 연구의 비선형 최적화문제를 연속선형계획법(Successive Linear Programming)으로 풀기 위한 최적화 문제의 기본적인 정식화는 다음 식(10),(11)과 같이 간단히 표현할 수 있다. 여기서, Δ는 증분량을 나타내고 k는 연속선형계획법의 반복과정에서 k번째 단계를 의미한다.

$$\blacksquare \text{목적함수: Max (or Min) } \Delta F(x) \quad (10)$$

$$\blacksquare \text{제약조건 : } \nabla g(x^k) \Delta x = 0$$

$$\Delta h^{min} \leq \nabla h(x^k) \Delta x \leq \Delta h^{max} \quad (11)$$

$$\Delta x^{min} \leq \Delta x \leq \Delta x^{max}$$

식(10)의 목적함수와 식(11)의 제약조건으로 구성된 최적화 문제는 크게 SLP의 k번째 반복단계의 운전점  $x^k$  에서의 조류계산,  $x^k$  에서의 선형화 및 LP 정식화, 최적화(LP 계산)에 의한  $\Delta x$ 의 계산,  $x^{k+1}=x^k+\Delta x$ 에 의한 조류계산 입력지정치의 수정, 수렴판정의 5단계로 구성된 연속선형계획법(SLP)의 최적화 과정<sup>10-12)</sup>에 의해 최적화된다. 특히, 대규모 실제계에 적용하여 문제를 고속으로 풀기 위하여 각 정식화에 대한 행렬식은 모두 소성(sparsity)으로 처리되었고 또한, LP 문제도 소성처리를 기반으로 하여 최적화될 수 있도록 하였다.

### 3. 전력계통 수송능력 산정 프로그램

#### (Power System Transfer Capability Program : PSTCP)

PSTCP<sup>13)</sup>는 계통계획안에 대한 신뢰도 산정에서 확정론적 평가법을 기반으로 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 계산하고, 이로부터 계통의 수송능력 평가지수를 산정하는 프로그램이다. 본 프로그램은 계획된 각 설비들의 운용상의 제약들 내에서 부하단에 수송가능한 최대의 전력량인 최대부하공급능력과 근사경제급전을 유지하며 선로과부하계약과 같은 중요 계통제약을 위반하지 않는 발전력 배분시의 부하 수준인 경제부하공급능력을 계산한다. 최대부하공급능력에 대해서는 n-1 선로 상정사고를 일괄 처리할 수 있게 하여 계획된 계통이 얼마나 적정하게 입안되었는지를 평가할 수 있다. 또한, PSTCP는 Graphic User Interface를 이용한 종합적인 Package Tool로 개발됨에 따라 계통계획자가 손쉽게 사용할 수 있게 하였으며, 이 때 Graphic User Interface부분은 Visual C++로 구현되었다.

먼저, PSTCP는 PTI format의 데이터를 입력받은 후, 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 산정하기 위한 IEEE format 파일들로 전환시킨다. 이 때 사용자는 각 운용상의 제약들을 변경할 수 있고, 최대부하공급능력과 경제부하공급능력의 산정시 LP Step Size, 수렴 Tolerance들과 최대 반복회수 및 경제부하공급능력에서의 부하수준과 손실에 대한 가중계수들을 지정할 수 있다. 이러한 옵션들을 지정한 후, 사용자의 선택에 따라 조류계산, 최대부하공급능력 및 경제부하공급능력 등을 산정할 수 있다. 각각의 산정결과는 그래픽 출력부와 해석부에서 체크할 수 있다. PSTCP를 전체적으로 요약하여 그림 2에 나타내었다.

- 입출력부(Data Menu) : PTI/IEEE 입력형식  
호환 가능, 결과파일 출력
- 변경부(Change Menu) : 각종 제약값의  
변경 지정, Shunt Capacitance, Power Factor  
(Line, Bus), LP Step Size, Tolerance 및  
최대 반복회수 등의 조정
- 수송능력 산정부(Run Menu) : 조류계산, 최대부하  
공급능력, 경제부하공급능력 등의 산정
- 그래픽 출력부(Graphic Menu) : Graphic Menu에서  
산정된 결과를 그래프로 출력
- 해석부(Analysis Menu) : 병목선로, 수렴 패턴 등의  
자동출력

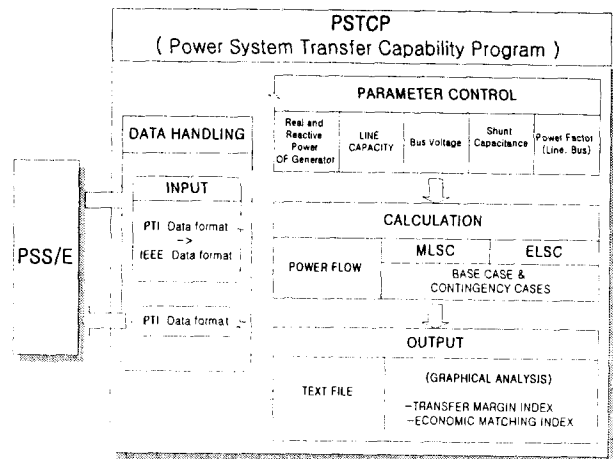


그림 2 전력계통 수송능력 산정 프로그램  
Fig 2 PSTCP

### 4. 99년도 한전시험 계통의 수송능력 평가

#### 4.1 99년도 한전 시험계통의 특성

본 연구의 사례계통으로 사용하는 399모선, 685선로의 99년 계통은 154[kV]선로들만을 축약시킨 것이다. 다음 표 2에 보인 바와 같이 총 205개의 발전기 모선으로 구성되어 있으며 발전계통은 총 44,568[MW]의 설비용량을 가지고 있고 상정 첨두부하는 36,079[MW]이다.

표 2 99년도 한전 시험계통의 특성  
Table 2 Specifications of KEPCO test system

모선수	선로수	발전기 모선	설비용량	상정 첨두부하
399	685	205	44,568 MW	36,079 MW

#### 4.2 최대부하공급능력의 산정

한전 축약계통에 대한 최대부하공급능력의 산정에서 건전 상태 및 n-1 상정사고에 대한 최대부하공급능력을 구하여 n-1 상정사고를 기준으로<sup>11-13)</sup> 할 때 상정첨두부하에 대한 수송능력을 평가하게 된다. 여기서 고려하는 n-1 상정사고는 발전기 모선에 연결된 선로와 주변압기(Main Transformer)가 달려있는 선로를 제외한 345[kV], 154[kV] 전선로들을 대상으로 한다. 이러한 과정은 PSTCP를 활용한 일괄처리로 건전상태 및 n-1 상정사고의 최대부하공급능력을 구하게 된다. 선택된 상정사상에 대해 계산을 모두 수행한 후 가장 작은 값을 계통의 최대부하공급능력으로 결정할 수 있고, 건전상태와 선택된 상정사상의 최대부하공급능력 값들의 산술 평균값을 계통의 최대부하공급능력으로 선택할 수도 있다. 본 프로그램에서는 최저 최대부하공급능력과 평균 최대부하공급능력을 모두 구하여 사용자가 활용 목적에 따라 선택할 수 있게 하였다.



표 3 선로보강을 고려한 경제부하공급능력의 산정

Table 3 ELSC evaluation considering line reinforcements

구분	선로보강	경제부하 공급능력[MW]
전전상태	보강 전	32,110(89%)
	#237	33,553(93%)
	#37, #636	33,914(94%)
	#423	35,357(98%)
	#318	36,079(100%)

주) 첨두부하(peak load) : 36,079[MW]

4.4 수송능력 평가지수의 산정

이와 같이 그림 3과 표 3에서 요약된 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 이용하여 수송능력 평가지수로 제안된 수송여력지수와 경제성 정합지수를 구하고 그 결과를 표 4에 나타내었다. 여기서, 계통의 최대부하공급능력은 n-1 선로 상정사고 중 가장 낮은 최대부하공급능력으로 산정된 신광주1-계림 선로의 39,516[MW]로 하였다. 이를 바탕으로 99년 계통의 상정 첨두부하에 대한 수송여력지수는 9.5[%]로 계산되었다. 또한, 표 3에서 구해진 선로보강을 고려한 경제부하공급능력에 대해 경제성 정합지수를 구하였고, 수송능력 평가지수의 산정결과는 다음 그림 7에 의해 개념적으로 설명되고 있다. 신광주1-계림 선로의 상정사고 결과인 최저 MLSC 39,516[MW]에 대해 9.5[%]의 수송여력지수, 81.3[%]의 경제성 정합지수가 계산되었고, 평균 MLSC 42,041[MW]에 대해서는 16.5[%]의 수송여력지수, 76.4[%]의 경제성 정합지수가 도출되었다.

표 4 99년 계통에 대한 수송여력지수와 경제성정합지수

Table 4 Transfer Margin Index and Economic Matching Index

구분	MLSC	수송여력지수 $\alpha$	
신광주1-계림	39,516[MW]	9.5[%]	
전전상태	선로보강	ELSC [MW]	경제성 정합지수 $\gamma$ [%]
	보강 전	32,110	81.3
	#237	33,553	84.9
	#37, #636	33,914	85.8
	#423	35,357	89.4
#318	36,079	91.3	

주) 첨두부하(peak load) : 36,079[MW]

5. 장기계획계통에의 적용

5.1 장기계획계통에 대한 타당성 검토

본 절에서는 수송여력지수와 경제성 정합지수를 장기 계통 계획 수립단계에 도입하여 계획된 계통의 타당성을 검토하는

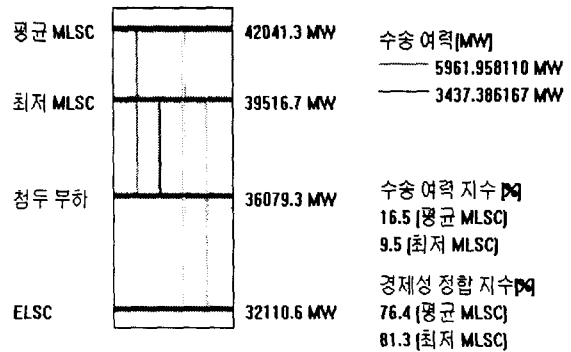


그림 7 수송능력 평가지수의 산정결과

Fig 7 The evaluation result of transfer capability evaluation index for normal state

방안을 제시하고자 한다. 계통계획의 타당성 검토는 수송여력지수와 경제성 정합지수를 각 계획연도별로 산정한 후 연도별 지수의 균일화 정도를 살펴봄으로써 실행될 수 있다. 수송여력지수나 경제성 정합지수의 균일화 정도가 유지되고 있다면 계획기간 중 계통의 수송능력이 평균화되어 있다고 말할 수 있으며, 만일 그렇지 않다면 균일화 정도를 향상시키기 위한 선로보강 등의 대책이 필요하다고 하겠다.

다음 그림 8과 그림 9에 나타나 있는 계통계획안 A, B에 대한 연도별 수송여력지수와 경제성 정합지수의 균일화 정도를 살펴본다. A안의 경우는 계획기간 중의 수송여력지수와 경제성 정합지수가 일정수준으로 유지가 되어 평준화를 이루고 있다. 따라서, 계획기간 중 책정된 설비계획에 따른 수송설비로 수송능력이 평균화되어 계획안이 타당하다고 평가할 수 있다. 그러나, B안의 경우는 수송여력지수와 경제성 정합지수가 연도마다 크게 달라져 상하로 증감하고 있다. 이 B안의 경우는 책정된 설비계획에 따른 수송설비로써 수송능력의 격차가 심해서 A안에 비해 타당한 계획안이라고 할 수 없다. 이와 같이 계통계획면에서 수송여력이나 경제성 정합지수가 일정수준으로 평준화되어 있는 것이 타당성 평가의 기준이 되며 이를 바탕으로 평가지수를 평준화시키는 대책을 수립하여야 한다.

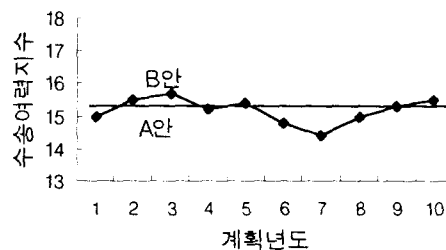


그림 8. 수송여력지수 산정 예

Fig 8. Example of evaluation of Transfer Margin Index

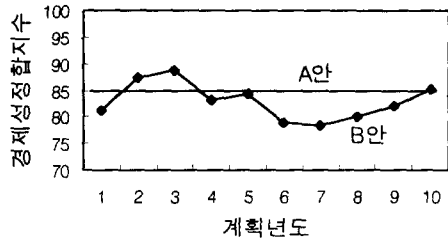


그림 9 경제성 정합지수 산정 예  
Fig 9 Example of evaluation of Economic Matching Index

5.2 한전 계통에 대한 연도별 수송능력 평가지수의 검토

건전상태와 N-1 선로 상정사고의 MLSC 값들 중 최저 MLSC를 낸 상정사고를 택하여 계통의 MLSC로 정할 때 각 연도의 평가지수의 추이를 살피고자 한다. 이 때의 검토 연도는 1999년, 2000년, 2002년, 2004년, 2006년도 계통이다. 각 연도별 평가지수를 그림10에 나타내었다. 그림 10에서는 MLSC가 설비용량과 첨두부하의 증가에 맞추어 증가하다가 2006년 계통 MLSC 증가 기울기가 조금 작아지는 것을 알 수 있다. 한편, ELSC는 2002년까지 거의 증가하지 못하다가 2004년 이후부터 설비용량과 첨두부하의 증가 기울기와 비슷하게 증가함을 고찰할 수 있다. 그림 11에서 막대그래프로 표시된 수송여력의 값은 상당히 큰 변동을 보이고 있으나 첨두부하로 나눈 수송여력지수는 연도별로 일정한 경향을 유지하고 있다. 설비용량의 공급예비력을 첨두부하로 나눈 전원예비율은 연도별로 감소하고 있으나, 계통의 수송능력지수는 일정한 경향을 유지하여 발전설비에 비해 상대적으로 여유가 있음을 알 수 있다. 또한, 2006년의 수송여력, 수송능력지수가 감소하는 것을 통해 MLSC의 증가가 상대적으로 떨어지고 있음이 보여지고 있다.

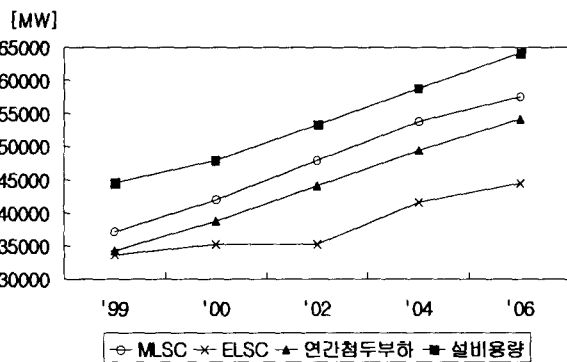


그림 10 각 연도별 계통에 대한 수송능력, 첨두부하 및 설비용량의 추이곡선  
Fig 10 Variation Curves of Transfer Capability, Peak Load and Installed Capacity for each yearly system

경제성 정합지수는 ELSC가 증가하거나 MLSC가 감소하는 경우 모두 증가의 형태로 나타나며, ELSC가 감소하거나 MLSC가 증가할 때는 모두 감소하게 된다. 그림 12에서 보이는 바와 같이 연도별 MLSC는 일정하게 증가하지만, 2002년

ELSC가 전년도와 거의 동일하게 유지됨으로 말미암아 경제성 정합지수가 감소함을 알 수 있다.

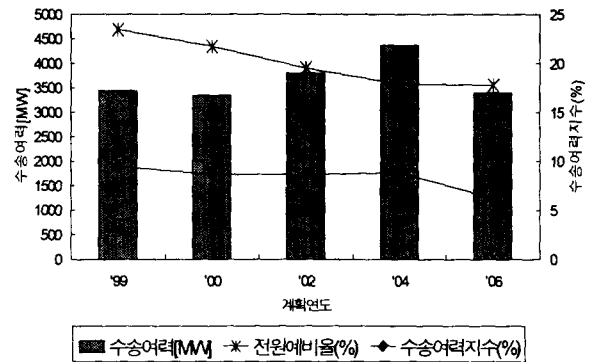


그림 11 각 연도별 수송여력, 수송능력지수 및 전원예비율의 비교  
Fig 11 Comparison of Transfer Capability, Transfer Margin Index and Reserved Margin

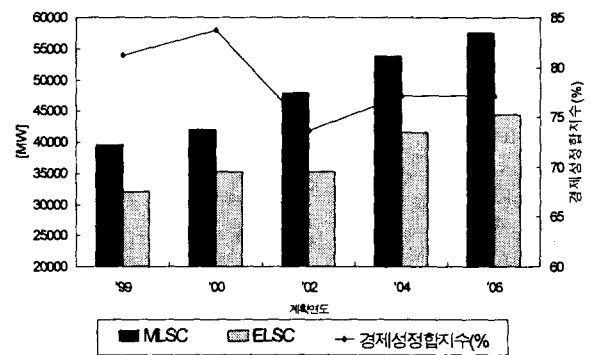


그림12. 각 연도별 경제성정합지수, MLSC, ELSC의 비교  
Fig 12. Comparison of Economic Matching Index, MLSC and ELSC

6. 결 론

본 연구에서 제안한 한국전력 계통의 수송능력의 산정방법에 관한 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 한국전력 계통의 수송능력에 대한 적정성 지표의 산정문제를 효과적으로 다루기 위하여 최대부하공급능력과 경제부하공급능력을 산정하고 여기서 얻어진 두 가지의 수송능력을 기초로 해서 상정된 계통의 첨두부하를 기준으로 수송능력지수와 경제성 정합지수를 수송능력의 평가지수로 제안하였다.

(2) 이를 위해 계통계획단계에서 한국전력의 실규모 계통에 대한 최대부하공급능력의 산정과 계획단계의 근사경제급전을 제안하여 경제성 관점에서 수송능력을 평가하는 경제부하공급능력의 산정 알고리즘을 개발하였다.

(3) 제안한 수송능력의 평가지수에 대해 계통계획단계시장

기 전원계획 계통에 대한 균일화의 관점에서 수송능력 지표로서의 타당성 검토를 하였다.

(4) 한편, 제안된 비선형 최적화문제는 대규모 실계통에 적용할 수 있도록 소성(sparsity) 기반에 의한 연속선형계획법의 문제로 정식화되었고, 산정과정의 사용자 편의성을 고려하여 GUI(Graphic User Interface)를 이용한 하나의 수송능력 평가 Tool인 PSTCP라는 이름으로 개발되었다.

(5) 본 연구에서 제안한 수송능력의 평가지수 산정법을 한국전력의 399모선, 685선로의 실규모 축약계통에 적용하여 그 유용성을 검증하였다.

(6) 마지막으로 선형계획법의 감도해석 등을 이용하여 선로보강계획까지 고려한 최대부하공급능력의 산정문제에 대해 계속 연구해 나갈 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] CIGRE WG 37.08, "Adequacy and Security of Power Systems in Planning Stage", Proceeding of CIGRE Symposium on Power Systems Reliability, Montreal, 1991
- [2] 七原俊也, 栗原郁夫, "諸外國における電源・系統計劃の信頼度基準の現状, 日本電氣學會 論文紙 B, Vol. 114-B, No. 10, 1994
- [3] 高橋一弘, 外, "基幹系統の電力輸送力に関する新しい評価方法", 日本電氣學會論文紙 B, Vol. 117-B, No. 1, 1997
- [4] 栗原郁夫, 外, "基幹系統の供給信頼度評價システムの開發-靜的供給信頼度解析手法の基本 理論の開發", 日本電力中央研究所 研究報告 T97063, 1998
- [5] 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, 1979
- [6] 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, 1982
- [7] L. Chen, H. Suwa and J. Toyoda, "Power Arrival Evaluation of Bulk System including Network Constraints Based on Linear Programming Approach", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 1, February 1991
- [8] 高橋一弘, 栗原郁夫, "電力系統の輸送力評價-計劃段階での系統余力評價に関する一考察", 日本電力中央研究所, 研究報告 T91062, 1992
- [9] 高橋一弘, 栗原郁夫, "電力系統の輸送力評價-系統余裕の均一化手法の開發", 日本電力中央 研究所 研究報告 T92046, 1993
- [10] 持館靖典, 齋藤浩海, 豊田淳一, "需要端豫備率に基づく發電・送電系統の信頼度評價", 日本電氣學會論文紙 B, 113卷, 10號, 1993
- [11] K. Takahashi and I. Kurihara, "A Concept on Adequacy Evaluation in Power System Planning", Proceedings of 11th PSCC, 1993
- [12] I. Kurihara, K. Takahashi, and B. Kermanshahi, "A New Method of Evaluating System Margin under Various System Constraints", IEEE Tans. on Power Systems, Vol. 10, No. 4, November 1995
- [13] 한국전력공사 전원계획처, "전력계통 수송능력 진단을 위한 평가지수 개발에 관한 연구", 최종보고서, 1998. 11
- [14] 국경수, 정민화, 남궁재용, 이병준, 송길영, "연속선형계획법을 사용한 전력계통의 최대전력수송능력 및 계통여유율의 산정", 대한전기학회 논문지, 제47권, 4호, 1998년 4월
- [15] 정민화, 유수현, 이병준, 송길영, "발전기무효전력 제약을 고려한 전력계통의 최대전력수송능력의 산정", 대한전기학회 논문지, 제47권, 8호, 1998년 8월
- [16] Soo-Hyun Yoo, Min-Hwa Jeong, Byongjun Lee, Kil-Yeong Song, Young-Chul Shin, Jong-Young Hwang, and Young-Sun Kim, "Evaluation of Maximal Flow with the Step Size Control of Real Power Generation", The International Conference on Electrical Engineering, Proceedings : Vol.II, July, 1998
- [17] 한국전력공사 전원계획처, "공급능력 및 LOLP를 고려한 발전설비 적정수준에 관한 연구", 최종보고서, 1995. 4

## 참 고

### 전원설비용량의 변동에 따른 n-1선로 상정사고의 최대부하공급능력 곡선

그림 3에 보인 건전상태 및 n-1 선로 상정사고의 최대부하공급능력 결과는 주어진 발전기출력 제약 즉, 운전 중인 모든 발전기들의 설비용량에 영향을 받고, 또한 실제 선로의 열용량제약은 충분한 여유를 갖고 건설되므로 계통의 수송한계를 고려한 정확한 값이라고 보기 어려울 수 있다. 그림13은 주어진 설비용량에 대해 일률적으로 1.5배, 2.0배를 하여 계통에 전력을 충분히 공급할 때에 각 n-1 선로 상정사고시의 계통의 수송한계점들의 값들을 나타낸 것이다. 원래의 설비용량과 비교하여 1.5배의 설비용량에 대한 곡선은 급격한 MLSC의 증가 상태에서 값들이 결정됨을 알 수 있으나, 2.0 배를 하였을 때는 거의 증가하지 않아 포화됨을 알 수 있다. 또한, 가장 낮은 MLSC를 낸 선로들은 발전설비용량 제약을 풀어 주어도 병목선로에 의해 MLSC가 거의 개선되지 않음을 알 수 있다.



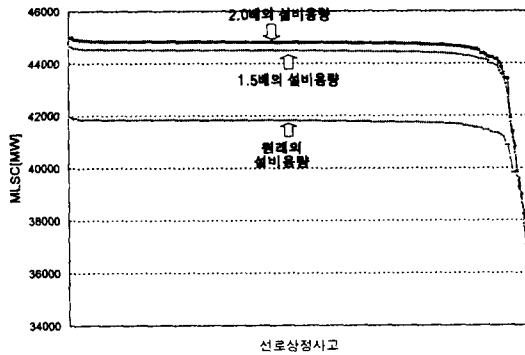


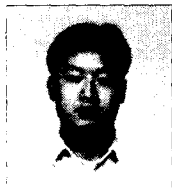
그림13. 증설된 발전설비용량에 따른 n-1 선로 상정사고의 최대부하공급능력 곡선

Fig 13. MLSC curves for n-1 contingencies according to the expanded installed capacities

저 자 소 개



**유수현 (劉守峴)**  
 1972년 9월 10일생. 1997년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 한국전력공사 근무  
 Tel : 02-3290-3803  
 E-mail : hayyoo@dava.kepco.co.kr



**정종훈 (鄭鍾勳)**  
 1971년 7월 27일생. 1998년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
 Tel : 02-3290-3803  
 E-mail : jhjeong@elec.korea.ac.kr



**정민화 (鄭珉和)**  
 1965년 2월 22일생. 1987년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987년~1992년 삼성전자 종합연구소 근무. 1998년~현재 고려대 부설 공학기술연구소 선임연구원

Tel : 02-3290-3803  
 E-mail : minhwa@psl.sys.hiroshima-u.ac.jp

**이병준 (李炳俊)**  
 전기학회 논문지 제48권 3호 참조  
 Tel : 02-3290-3242  
 E-mail : leeb@elec.korea.ac.kr



**송길영 (宋吉永)**  
 1934년 5월 15일생. 1953년 서울대 공대 기계공학과 중퇴. 1958년 일본 무사시대 전기공학과 졸업. 1961년 일본 와세다대 대학원 졸업(석사). 1967년 동 대학원 박사과정 졸업(공학). 1970~1974년 과학기술처 중앙전자 계산소장, 1974~1976년 한양대 전기공학과 교수, 현재 고려대 고대 전기전자전파공학부 교수  
 Tel : 02-3290-3216

**신영철 (申榮澈)**  
 1960년 11월 9일생. 1986년 성균관대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 1995년 3월~1999년 5월 한국전력공사 전원계획처 계통기술부 근무

**김영선 (金永善)**  
 1954년 6월 23일생. 1976년 전북대 전기공학과 졸업. 1992년 연세대 산업대학원 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전원계획처 계통기술부장  
 Tel : 02-3456-3750