

### 송전선로 건설과 제약비용의 검토 (1)

송민준, 박철우, 강대연, 방민재, 윤부현  
KEPRI, 한국전력 중앙교육원, 한국전력공사

### Constrained Cost Of The Transmission Line (1)

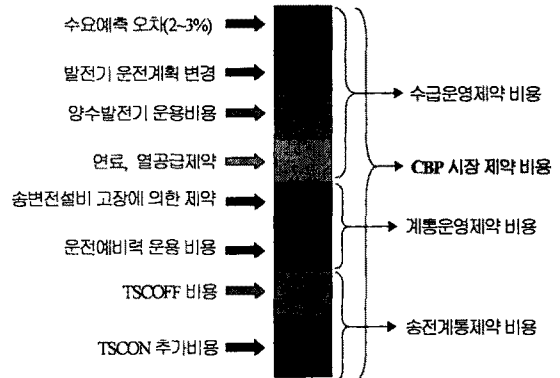
Song.I.J, Park.C.W, Kang.D.U, Bang.M.J, Yun.B.H  
KEPRI, KEPCO Central Education Institute, KEPCO

**Abstract** - 현행 CBP(변동비 반영 전력시장)시장에서는 송전비용은 부과하고 않고 있으며, 제약비용은 제약(CON)/비계약(COFF) 발전비용을 Uplift로 일괄하여 정산하면서 이것을 송전계통계약으로 발생하는 비용으로 규정하고 있다. 그러나 송전망을 소유하고 있는 송전회사로서는 전체 제약비용 중에서 순수한 송전계약비용을 파악할 필요가 있다. 본 논문은 2005년 계통을 기준으로 이미 건설되어 운영되고 있는 송전선로를 대상으로 송전선로의 유/무에 따른 송전계약 비용을 비교함으로써 송전선로 건설에 따른 제약비용의 감소효과 즉, 송전선로 건설의 경제적 가치를 판단할 수 있는 기반을 제시할 수 있다고 본다.

발전(CON)과 제약비발전(COFF)만을 정의하여 이것을 송전계통계약으로 인해 발생하는 비용으로 규정하고 Uplift로 일괄 처리 하고 있다. 하지만 CBP시장에서 발생하는 제약비용을 분석해 보면 <그림 1>과 같이 송전계통계약으로 인해 발생하는 제약비용 외에 다른 원인으로도 제약비용이 발생하고 있다. 즉, CBP의 제약비용에는 송전계통계약만이 아니라 계통운영계약, 수급운영계약에 의해서 발생하는 비용도 포함되어 있다. 송전계통계약 운전량은 다른 계약을 제외한 송전 계통계약 발전량(TSCON)과 송전계통계약 비발전량(TS COFF)만이 된다. 각 계약에 따른 상호영향에 대한 평가는 앞으로 계속 연구해야 할 부분이다.

#### 1. 서 론

송전계통계약 운전량이란 전력시스템의 정상 또는 상정사고시 도달할 수 있는 송전선로나 설비의 운용한계를 말한다. 그리고 송전계통계약 비용이란 경제급전에서 송전계통계약으로 인한 발전기의 출력 제때분에 따른 연료비의 상승비용으로 정의할 수 있으며, 이를 혼잡비용이라고도 한다. 일반적으로 송전혼잡은 전력시장 참여자가 계통에서 물리적으로 수용될 수 없는 전력조류를 일으키는 급전을 요청할 때 존재하는 조건으로 회망하는 급전계획에 근거하여 혼잡을 표시할 수 있지만, 혼잡비용은 전력시장의 운영방법 및 정산규칙에 따라 다르게 정의되거나 구해진다.

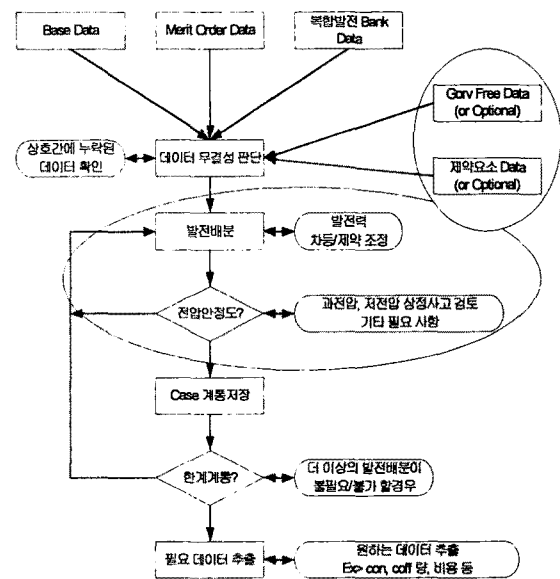


<그림 1> CBP 시장 제약비용 분류

현행 CBP(변동비 반영 전력시장)시장에서는 송전비용은 부과하지 않고 있으며, 제약비용은 제약발전(CON((Constrained ON generation))과 제약비발전(COFF(Con strained OFF generation)) 비용을 uplift로 일괄하여 정산하고 있다. 그러나 CBP에서는 송전계통계약을 따로 정의하지 않고 제약발전(CON)과 제약비발전(COFF)만 정의하고 이에 따라 정산하고 있으며, 이 정산금을 송전계통계약으로 인해 발생하는 비용으로 규정하고 있다. 따라서 실 계통운영에 따른 정산에서는 송전계통 계약으로 인해 발생하는 제약비용 외에 전력수요예측 오차, 양수운영, 발전기 운전계획 변경, 송변전설비 고장, 운전예비력 확보, 연료, 열공급계약 등에 의해서 발생하는 비용도 포함되어 있다. 즉, 현행 CBP 체계에서는 송전계약비용을 별도로 정산하지 않으므로 송전계통계약으로 발생하는 순수한 송전계약비용을 알 수가 없다. 그러나 송전망을 소유하고 있는 송전회사로서는 전체 제약비용 중에서 순수한 송전계약비용이 어느 정도인지를 파악할 필요가 있다.

#### 2.2 제약비용 계산 방법

현재 CBP시장에서 정산하고 있는 제약비용에서 순수한 송전계약비용을 산출하기가 쉽지 않다. 또한 아직까지 순수한 송전계약 비용에 대한 산출치가 나와 있지 않다. 따라서 시뮬레이션을 통해서 한해에 발생하는 순수한 송전계약 비용을 추정해 볼 수밖에 없다.



<그림 2> 제약비용 계산 Flow

본 논문에서는 한해에 발생하는 순수한 송전계약 비용의 추정치를 시뮬레이션을 통해서 계산할 수 있는 [참고문헌 1]을 마련하였고, 이를 응용하여 송전선로의 건설효과를 검토하였다.

송전선로의 건설효과는 송전계통의 혼잡을 완화시키는 정도로서 판단하는 것이 타당하다. 따라서 기존 송전선로의 건설효과를 분석하기 위해서는 현재 계통에서 그 선로가 얼마만큼이나 혼잡을 완화시키는가를 산출해볼 필요가 있다.

송전계통 혼잡 완화의 정도는 송전계약 운전량으로 판단해야 옳다. 그러나 송전계약비용을 지불해야 하는 전력시장에서는 송전계약비용의 절감액으로 송전계통 혼잡완화의 정도를 판단하는 것이 더 옳을 것이다.

따라서 본 논문에서는 기존 주요 송전선로의 건설효과를 송전계약비용 절감 측면으로 평가한다. 평가를 위한 주요 송전선로는 수도권 환상망 12개 루트와 북상전력 6개 루트를 대상으로 하였다. 여기서는 송전 제약비용을 계산한 방법에 대하여 설명하고 다음 논문에 검토결과를 정리하였다..

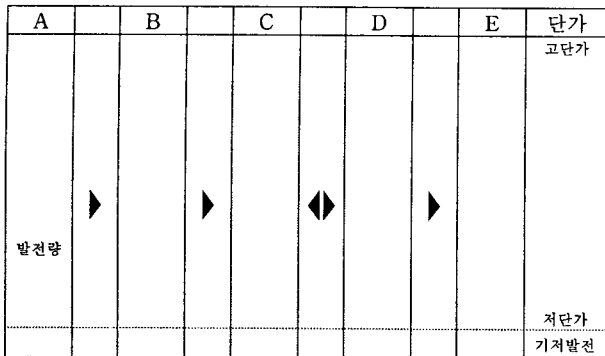
<그림 2>는 제약비용 계산에 사용한 Flow chart이다. 입력으로 검토계통 데이터, 발전단가표, 독립발전기 Bank 구성과 전압 상하한 값, 선로과부하율, 상정사고 선로이며, 사용자의 제약으로 운전되는 발전기 즉, Must Run, 휴전, 출력제한 및 고정 등을 옵션으로 입력할 수 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 송전계약비용

현 CBP시장에서는 송전계통계약에 대하여 따로 정의하지 않고 제약

입력된 데이터에 오류가 없을 경우 주어진 시나리오에 따라 발전 배분을 시작한다. 입력할 수 있는 제약조건은 N개 선로의 1루트 1회선, 또는 1루트 2회선의 단일 상정사고, 전압의 상, 하한값, 선로의 과부하율, 조류계산의 Mismatch이다. 발전배분은 다음의 <그림 3>과 같은 발전기 발전 배분과정을 반복한다.



A : 비계약 경제발전 B : 비계약발전  
C, D : 발전배분 과정 E : 계약발전  
**<그림 3> 발전기 배분 과정**

위 <그림 3>에서 (A) 또는 (B)는 입력된 BASE 계통으로 (A)는 비계약 경제발전 상태이고 (B)는 임의의 발전기를 투입하여 제약조건이 많이 감소된 비계약발전 계통이다. (C)~(E)는 주어진 제약조건을 만족하는 범위 내에서 상대적으로 고단가 발전기를 탈락시키면서 저단가 발전기를 투입해 나가는 과정이다. 최종 (E)는 주어진 제약조건을 만족하면서 계산된 최적의 계약 경제 발전조건이 된다. 최적의 계약발전 계통이 작성되면 필요한 발전기 CON/COFF 비용을 추출, 또는 단순 전체 발전비용을 계산할 수 있다.

### 2.2.1 발전 배분 계산 시나리오

- (1) 초기 상태는 계약발전기를 제외하고 모든 발전기가 최대 출력 상태를 유지하도록 함.
  - (1-1) 발전 배분 및 G.F AGC 를 확보할 때 사용자의 조정에 의하여 임의의 발전기는 출력을 조정할 수 있음.
  - (1-2) 또한, 사용자의 조정에 의하여 임의의 발전기는 발전배분 과정에서 생략 할 수 있음
  - (1-3) 모든 발전기는 계산유선에서 따라서 소내부하, 발전모선, 발전모선 연계선에서 발전기 상태에 따라 같이 On/Off 하도록 함.
  - (1-4) 입력된 복합발전기의 운전조건에 따라서 운행되므로 복합발전기는 기본적으로 단독운전을 허용하지 않지만, 경우에 따라서 사용자의 조정 및 조작으로 이를 허용할 수 있음.
- (2) 초기 상태에서 유통전력을 감소시켜 계통에 P, Q를 과잉 공급한 뒤 <그림 3>과 같은 방법으로 계약을 만족할 수 있도록 발전기를 투입/차단을 반복 계산함
- (3) 입력된 (비)상정사고와 국지전압을 제외한 전체전압, 계통 MISMATCH 를 기준으로 P,Q 수급을 변경함.
  - 탈락 가능한 발전기 중 고단가 발전기부터 탈락시킴
  - 현재 정지되어 있는 발전기중 투입 가능한 저단가 발전기를 투입함.
  - 위의 두 가지 기동/정지를 반복하면서 입력된 제약조건을 만족하는 계산 가능한 발전운전의 경우의 수를 찾아감
- (4) (3)에서 계산된 경우의 발전 조건에서 최소 발전비용, 최대 유통전력의 상위 5개 계통에 대하여 예비력 계산을 실행함. - G.F 와 AGC 예비력을 계산함.
  - 슬랙 모선의 제한  
P, Q 수급과 예비력을 확보하면서 최종적으로 슬랙 모선은 자기발전의 90 - 100 % 이내로 유지하도록 조정함. EX) 삼천포6호기 최대 발전 500 MW -> 400 ~ 500 MW 으로 계산되도록 함. 발전력 출력 범위는 조정 가능함

송전선로의 건설효과를 계약비용으로 비교하고자 할 경우 동일한 부하계통에서 선로를 Close 시킨 상태의 발전비용 (E)와 Open된 상태에서의 발전비용 (E')를 비교함으로써 그 선로의 가치를 평가할 수 있다. 선로의 가치가 평가된다면 이후 선로를 건설하고자 할 때 그 선로가 계통의 혼잡비용을 감소시키는 부분과 건설비용을 비교하여 경제성을 비교할 수 있고, 안정성 또한 검토할 수 있는 장점이 있다.

### 2.2.1 순수한 송전계약비용 산출 방법

모의하고자 하는 2005년 계통을 계절별, 시간대별 부하량에 맞추어 구성한다. 구성된 계통에 발전단가가싼 발전기부터 발전량을 배분하여 경제발전 발전비용을 계산, 합산 하여 1년간의 경제발전 발전비용을 산출한다. 구성된 계통에 송전계통계약 (과부하, 단일상정고장 검토)을 반영하여 발전력을 재배분하여 계약발전 발전비용을 계산, 합산하여 1년간의 계약발전 발전비용을 산출한다. 이렇게 계산된 1년간의 계약발전 발전비용과 경제발전 발전비용의 차로 연간 송전계약비용으로 산출한다.

$$\text{연간 송전계약비용} = \text{계약발전 발전비용} - \text{경제발전 발전비용}$$

### 2.2.2 주요 송전선로 건설효과 산출 방법

주요 송전선로 건설효과는 선로별 송전계약비용 절감 효과를 계산하여 송전선로의 가치를 평가하는 방법으로 분석한다. 즉, 대상선로가 계통에 없었다는 가정에서 발생하는 연간 송전계약비용과 현재 계통에 있을 때 발생하는 송전계약비용의 차로써 대상 송전선로의 가치를 평가한다.

시뮬레이션 절차는, 먼저 평가대상 송전선로를 OFF하고 송전계통계약 (과부하, 단일상정고장 검토)을 반영하여 계절별, 시간대별 발전비용을 계산하고, 이를 합산하여 1년간의 발전비용을 계산한다. 그리고 여기서 구한 발전비용과 송전계통계약시 발전비용의 차로써 대상선로 OFF시의 연간 송전계약비용을 산출한다. 평가대상 송전선로의 가치는 연간 송전계약비용과 대상선로 OFF시의 연간 송전계약비용의 차로써 평가한다.

평가 대상선로의 가치

$$= \text{평가 대상선로 OFF시의 연간 송전계약비용} - \text{평가 대상선로 ON시의 연간 송전계약비용}$$

### 3. 결 론

본 논문에서는 "송전선로 건설과 계약비용 검토(2)"에서 검토한 계통의 모의 방법과 비용 산출 방법에 대하여 설명하였다.

모의를 가능한 자세하게 하기 위하여 2003년부터 2005년까지의 과거 실적을 바탕으로 2005년 6월부터 2006년 5월까지 1년 데이터를 4계절로 분할하였다. 각 계절은 평일부하, 주말부하, 최대부하, 최소부하 4개로 시간대를 기준으로 각 부하의 최대부터 60%까지 5% 단위로 세분하여 모의계통을 작성하였다. 또한, 각 데이터마다 전국을 제외한 23개 지역으로 세분하여 직거래 부하, 변압기 부하의 비율도 실제와 동일한 조건을 사용하였다. 1년을 모의하는데 사용한 데이터 개수는 36(1년 × 4계절 × 9개 부하(100~60%))개의 계통을 모의하였다. 발전계약은 거래소에서 제공하는 발전기 O/H 계획을 반영하여 계산하였다. 발전기 출력의 시변화, 일변화와 같은 연속성은 시간대를 분류하여 미분과 같은 방법으로 나누어 각각 계산의 합을 하였다. 하지만 발전출력에 따른 발전단가의 변동이나, 발전기탈락, 부하차단과 같은 고장파급방안은 적용하지 못하였다.

다음의 "송전선로 건설과 계약비용 검토(2)"에서는 이러한 방법을 사용하여 모의한 결과에 대하여 검토하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 송인준, "PSS/E의 IPLAN을 이용한 국내전력계통 자동발전 배분 계산 프로그램 개발, 2005, 하계학술대회
- [2] 송인준, "송전계통 계약 비용 산정 모의", 2005, 하계학술대회
- [3] "송전계통 계약 운전량 산정 기준 및 계약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발" 최종 보고서, 전력연구원
- [4] 전력시장운영규칙 세부운영기준