

## 유연송전시스템의 투자비용과 운전비용 평가모형

최준영

전주대학교 전기전자공학부

### Cost Evaluation Model for FACTS Investment and Operation

Joon-Young Choi

Department of Electrical Engineering, Jeonju University

**Abstract** - 최근 유연송전시스템에 대한 연구가 각광받고 있는데, 이 새로운 시스템이 연구의 대상에서 활용의 대상으로 변화하기 위해서는 그 경제적 이점을 검증받아야 한다. 유연송전시스템의 경제성은 이를 설치하는 데 들어가는 투자비용과 사용하는 데 들어가는 운전비용의 크기를 기존의 송전방식의 비용과 단위용량당 비교를 함으로써 알아볼 수 있다. 이 새로운 송전방식은 송전설비의 송전용량을 증대시킬 것으로 예상되기는 하지만 단위용량당 비용면에서 경제성이 확보될 것인지, 또 커다란 초기투자비용이 투자되기때문에 과연 경제성이 확보될 것인지는 불투명하므로 이 논문에서 초기용량의 크기, 적정용량 도달기간, 초기투자비용과 설비의 운전비용의 계산하는 모형을 개발하여 유연송전시스템의 경제성을 평가해보았다.

경제성을 비교평가는 여러 요소의 영향을 받게된다. 경제성은 평가에 사용되는 모형의 정밀성에 의해서도 영향받고, 평가에 사용되는 데이터의 정밀성에도 영향받게된다. 그러므로 모형과 데이터 모두가 중요하다고 하겠다. 경제성을 평가할 때는 평가모형은 외국의 것을 쓸 수 있지만 경제성 관련 데이터는 외국의 것을 그대로 사용하기 곤란하다. 특히 현재 FACTS 설비가 국내에서 개발, 생산되고 있지 않으므로 국내가격이 확실하지 않기 때문에 정확한 경제성을 평가하기는 어렵고, 대략의 추정만을 해볼 수 있는 형편이다.

이 연구에서는 투자비용과 운전비용을 고려한 경제성을 평가하는 모델을 개발하는 것에 대해 논하였다. 이 모델은 FACTS설비와 기존설비의 송전용량증대능력, 설비가격에 의한 설비투자비용, 유지비용 및 운전비용을 서로 비교하여 경제성을 평가하는 모형이다.

#### 1. 서 론

FACTS 적용에 관한 연구는 각국에서 활발히 진행되고 있는데, 이러한 기술이 새로 도입되는 이유는 기존의 전력전송 기술이 최근의 부하증가추세를 감당하기에 경제적, 환경적, 기술적 한계를 보이고 있고, 신기술은 기술적인 한계를 극복하면서 경제적으로 점점 유리해지기 때문이다.

최근 전력전송분야에 유연송전시스템(FACTS; Flexible AC Transmission System)이라는 신기술이 제안되고 있다. FACTS는 신뢰도에 영향을 주지 않으면서 기존의 송전선로의 전력수송능력을 늘리는 송전설비요소(FACTS element)를 도입한 전력계통을 말한다. 이 송전설비요소는 사이리스터를 이용한 고속 스위칭 장치인데, 이 장치는 송전용량을 제한하는 가장 큰 요소인 유도성 임피던스를 용량성 임피던스로 보상하여 송전선의 열용량한계까지 전력전송을 가능하게 해준다. 이 장치에 의한 송전용량 증대와 투자비용의 비와 기존 송전선로의 송전용량과 투자비용의 비를 서로 비교하여 투자비용에 대한 경제성을 비교평가할 수 있다.

#### 2. 본 론

경제성을 평가하는 데 중요한 요소로서 수요예측이 있다. 수요예측 데이터는 매년의 각 전력수요 중심지의 전력수요량인데 이 수요예측 데이터는 전력수요 증가량, 전력수요의 증가속도이다. 이 전력량을 만족시키는 전력전송이 이루어지기 위한 송전설비 투자액 크기를 각 송전수단별로 계산하면 각 송전수단별 경제성이 평가된다. 그러므로 수요예측 데이터는 송전수단의 경제성을 평가하는 데 필수불가결한 요소이다.

또, 경제성을 평가하는데 또 중요한 요소로서 설비투자액의 가치를 시간적으로 환산하는 데 쓰이는 변환매개변수인 할인율이 있다. 할인율은 언뜻 시전의 투자비용의 가치를 다른 시간에서의 값으로 변환시키는 기능을 하는 요소이다. 할인률의 크기가 달라짐에 따라서 여러 가지 투자의 경제성의 우위가 달라진다. 특히 초기투자비용이 큰 투자가 할

인률의 크기가 변함에 따라 경제성이 크게 좌우된다. 유연송전시스템은 기존의 송전시스템보다 많은 설비를 필요로 하고 그러므로 투자비용도 커지므로 할인률에 더 많이 영향받는다 고 하겠다.

### 2.1 설비투자비용

전력송전설비의 경제성을 평가하는 모형을 이용하여 여러 대안의 경제성을 평가해보려면 각 대안별 설비의 송전전력량과 설비가격으로부터 계산한 단위용량당 가격, 설치되는 최소용량 혹은 단위용량, 송전전력량, 전력전송 거리, 설비투자의 할인율 그리고 송전전력량이 포화되는 시기, 사고의 고려유무를 고려하여야 한다.

각 대안별 설비의 단위용량당 가격은 경제성을 고려할 때는 필수적으로 알아야 하는 데이터인데, FACTS 설비의 단위용량당 가격 데이터는 PTI에서 작성한 EPRI REPORT에 간략한 값이 계산되어 있다. 설치되는 최소용량 혹은 단위용량이란 송전선과 같이 용량이 선형적으로 증가하지 않고 계단형으로 증가하는 설비의 최소용량을 뜻한다. 또 전력이 전송되는 거리도 알아야 한다. 대개 경제성을 평가한 결과를 살펴보면 송전거리가 커질수록 대용량의 송전설비가 경제성이 높다는 결과를 보여준다. 물론 이는 대략적인 수치이고 전력량이 포화되는 용량, 시기도 경제성에 커다란 영향을 미친다. 당연한 이야기지만 347kV급 한 회선으로 충분히 감당할 수 있는 용량의 수요만이 있다면 그 수요를 감당하기 위한 송전대안으로 765kV급의 송전선은 절대로 경제적이지 않게 된다. 또 송전전력이 포화되는 시기가 긴 경우와 짧은 경우도 경제성에 미치는 영향이 크다. 포화되는 시간이 길게되면 초기 투자량이 많은 대안의 경제성이 없게 나타나고, 포화되는 시간이 짧다면 초기투자량이 많은 대안도 초기투자의 경제적 부담이 그리 크지 않게 평가되므로 경제성이 있을 수 있다. 또 할인율도 경제성을 평가할 때 영향을 주는 요소인데, 할인율이 높다면 초기투자의 부담이 크게 평가되는 것이고, 반대로 낮다면 초기투자가 그리 부담스럽지 않게 되므로 초기투자량이 많은 대안의 경제성도 좋을 수가 있다. 대개 할인율의 크기는 이자율의 영향을 받는데, 송전설비와 같은 공공설비에 투자할 때 쓰는 할인율은 사기업이 투자의 경제성을 분석 평가할 때 사용하는 할인율에 비해 낮은 값을 사용한다.

#### 2.1.1 송전용량

기존 송전설비의 송전용량은 가까운 거리에서는 열용량에 의해 제한되고, 먼 거리에서는 선로의 임피던스에 의한 안정도 한계 또는 전압강하 한계에

의해 제한된다. 안정도 한계와 전압강하 한계에 의한 송전용량(Loadability)을 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{송전용량} = P_{SIL} \times \left[ \frac{480}{L} \right]^{0.65}$$

위 식에서

$P_{SIL}$  ; Surge Impedance Loading

$L$  ; 송전거리

이다. 그리고  $P_{SIL}$ 은 다음과 같이 표시된다.

$$P_{SIL} = \frac{1}{Z_c} \frac{V^2}{Z_c}$$

이 식에서

$V$  ; 전압레벨

$Z_c$  ; 선로의 특성 임피던스

이다. 이 식으로 송전전력량을 계산해보면 대개 75km에서 100km 정도의 송전거리에서 열용량 한계와 안정도 한계에 의해 송전전력량이 같아지는 점이 나타난다.

송전설비에 FACTS 기기를 투입하면 송전선의 길이, 송전선의 송전전력량에 의한 양단간의 위상각 차를 보상하여 안정도 한계값을 크게 늘려주므로 모든 송전거리에서 안정도 한계값이 열용량 한계값보다 큰 값이 되도록 유지할 수 있다. 즉 모든 송전거리에서 송전전력량을 제한하는 요소가 송전선의 열용량이 되도록 보상할 수 있다. 송수전단 양단간의 위상각 차는 송전거리 뿐만 아니라 송전전력량에 의해서도 영향받으므로 이 위상각의 차를 보상하기 위해 FACTS 설비를 투입하는 량은 송전용량에 의해서도 달라지고, 송전거리에 의해서도 달라진다.

#### 2.1.2 설비가격

각종 송전설비의 경제성을 평가할 때는 각 송전수단별로 송전용량당 가격을 비교하여 송전용량당 가격이 가장 싼 수단을 알아보면 된다. 송전설비의 가격은 건설비와 용지보상비로 구성되는데, 우리나라 송전선로 건설비의 평균값이 km당 4억 4천 6백만원이고 용지보상비가 평균 km당 4천 2백만원이다. 그리하여 합이 km당 4억 8천 8백만원이다. 송전설비의 용량당 가격을 구하기 위해서는 송전선로의 용량을 구해서 건설비로 나누어주어야 한다. 그런데 송전선로의 용량이 송전선로의 길이에 따라 달라지므로 먼저 송전거리가 결정된 후에야 송전용량당 설비가격을 결정할 수 있는 것이다.

#### 2.1.3 송전거리

전력생산지와 소비지간의 거리도 경제성 평가에 중요한 역할을 한다. 대개 거리가 가까울수록 낮은

전압의 경제성이 돋보이게 된다. 송전거리가 가까우면 송전선의 송전한계가 열용량한계일 경우가 많은데, 이런 경우에는 송전전력량 증가를 위한 FACTS 설비의 경제성은 없다. 다만 이런 경우라도 전력량을 조절하기 위한 FACTS 설비는 투입될 가능성이 있다.

### 2.1.4 전력수요

송전설비의 경제성을 평가할 때 중요한 요소 중의 하나가 전력수요량이다. 최종 전력수요량의 크기, 최종규모에 도달하는 시간이 경제성을 평가할 때 꼭 필요한 데이터이다. 최종규모가 크면 클수록 높은 전압의 경제성이 우월하고, 최종규모에 도달하는 시기가 빠르면 빠를수록 높은 전압의 경제성이 우월하다. 최종규모가 크면 클수록 높은 전압의 경제성이 우월한 이유는 높은 전압의 송전설비의 단위용량당 가격이 낮기 때문이며, 최종규모에 도달하는 시기가 빠르면 빠를수록 높은 전압의 경제성이 우월한 이유는 조금씩 투자해도 되는 낮은 전압의 송전설비와 달리 단위설비당 용량이 크기 때문에 막대한 투자비용을 한 번에 내야하는 높은 전압의 불리함이 상대적으로 적어지기 때문이다.

### 2.1.5 상정사고

상정사고는 컨팅전시(contingency)라고도 불린다. 상정사고는 송전선에 사고가 나서 전력전송이 지장 받는 상황을 가정해보는 것이다. 회선 컨팅전시란 한 회선이 사고로 전력전송을 못하는 상태이고 루트 컨팅전시(route contingency)란 한 루트, 즉 두 회선이 사고로 전력전송을 못하는 상태를 말한다. 어떤 이유든 송전선로에 이상이 있어서 잠시 송전이 중단되는 일이 있을 수 있기 때문에 컨팅전시는 고려되어야만 한다. 고려되는 컨팅전시의 양이 많을수록 단위설비당 용량이 큰 송전설비의 경제성이 나빠진다.

## 2.2 운전비용

운전비용은 연료비용과 손실비용으로 구성된다. 연료비용은 전력을 생산하는데 쓰이는 에너지 비용으로서 단위에너지당의 가격은 유연송전시스템의 투입여부에 관계없이 결정되므로 고려의 대상에서 제외하였고, 송전시와 변전시에 나타나는 손실에 의한 비용만을 운전비용으로 고려하였다.

### 2.2.1 송전손실비용

송전손실비용은 송전시의 손실을 화폐단위로 환산해 놓은 것이다. 송전손실은 송전거리에 비례하여, 송전전력량에 비례하여 커진다.

### 2.2.2 변전손실비용

변전손실비용은 변전시 나타나는 손실을 화폐단위로 환산해 놓은 것이다. 변전시의 손실은 변전전

력량에 비례하는 값을 갖는 성분과 변전전력량에 영향받지 않는 성분으로 나뉜다. 이 두가지를 모두 고려하여 변전손실비용을 계산한다.

## 2.3 할인율

할인율은 각각 다른 시간대에 사용된 돈의 가치를 어떤 시점의 가치로 환산하기 위해 쓰는 변환매개변수이다. 각 송전수단별로 투자해야 하는 금액이 다 다른 것은 물론이고 어떤 금액을 투자해야 하는 시기도 다 다르다. 이러한 투자의 가치를 비교하기 위해서는 투자비용과 투자된 설비를 유지보수하는 비용, 운전비용의 크기를 비교할 수 있는 일정시점의 값으로 환산하여야 하는데, 이러한 경우 할인율을 사용하여 돈의 가치를 시간적으로 변환한다. 그리고 각 수단별로 일정시점으로 변환된 금액을 모두 더하고, 모두 더한 금액의 크기를 비교하여 경제성을 평가한다. 이 때 유지보수비용, 운전비용의 크기에 비해 투자비용의 크기가 크므로 투자비용이 할인률의 변동에 많은 영향을 받는다.

## 2.4 추세비교

여러 가지 송전수단의 경제성을 비교할 때 경제성이 바뀌는 점(BEP; Break even point)을 구하여 경제성을 비교평가하는데, 송전설비를 증설해 가는 과정에서 여러 개의 BEP가 나타나기도 한다. 이는 송전설비의 용량이 상당히 큰 값이며 투자시기가 간헐적이기 때문에 한 번의 큰 투자가 이루어진 후 마다 경제성이 역전되기 때문이다. 이러한 경우는 사실적이기는 하지만 경제성을 나타내는 추세를 파악하기 어려우므로 투자금액을 작은 크기로 나누어서 일정시간간격마다 일정한 값이 투자된다고 가정하고 경제성을 평가해 볼 수 있다.

## 3. 결 론

이 연구에서는 경제성평가모형을 개발하여 유연송전시스템 설비의 경제성을 평가하여보았다. 개발된 모형은 2point 법을 중심으로 하여 개발되었으며 전력량, 전력전송 거리, 전력량의 증가가 포화되는 시기, 전력설비의 가격 등 투자비용과 송전손실, 변전손실 등의 운전비용에 관한 데이터를 이용하여 FACTS 설비와 기존 전력전송 설비의 경제성을 평가할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전원계획처, "향후 대전력수송을 위한 장기계통 구성대책에 관한 연구," 한국전력공사