

FACTS 송전 설비와 기존 송전 설비의 경제성 비교

최준영
전주대학교 전기전자정보통신공학부

Cost Comparison of FACTS Devices and Conventional Transmission Devices

Joon Young Choi
Department of Electrical and Electronics Engineering, Jeonju University

Abstract - In this paper, cost of FACTS devices and that of conventional 345kV transmission devices that transmit scheduled amount of electricity from one point to other point for thirty years is calculated and compared to each other. In case of long distant transmission, cost of FACTS devices is smaller compared to that of conventional 345kV transmission devices, and in case of short distant transmission, cost of FACTS devices is bigger than that of conventional transmission devices.

1. 서 론

전력 전송에 유연 송전 시스템(FACTS, Flexible AC Transmission System,)이라는 신기술이 도입되며 하고 있다. FACTS는 신뢰도에 영향을 주지 않으면서 기존의 송전 선로의 전력 수송 능력을 늘리는 송전 설비 요소(FACTS element)를 도입한 전력 계통이다. 이 송전 설비 요소는 사이리스터를 이용한 고속 스위칭 장치인데, 이 장치는 송전 용량을 제한하는 가장 큰 요소인 유도성 임피던스를 용량성 임피던스로 보상하여 송전선의 열용량 한계까지 전력 전송을 가능하게 하므로 송전선의 용량을 키워주는 것과 같은 효과를 내준다.

유연 송전 시스템은 송전 용량 증대 효과 이외에도 전력 계통의 제어성을 향상시키고, 제어성이 향상되는 만큼 안정도를 향상시키는 긍정적 측면이 있지만 또 전력 조류량을 변화시킴으로써 보호 계전기의 정정값이 모두 바뀌어야 하고, 갑자기 유연 송전 시스템이 동작을 멈추었을 때를 대비하여 예비 설비를 설치해야 하는 등의 부담이 있다. 이 논문에서는 이러한 여러 효과들 중 유연 송전 시스템의 송전 용량 증대 효과에 대해서만 그 경제성을 평가해보려고 한다. 경제성을 평가하는 방법은 정해진 전력량을 정해진 거리만큼 송전할 때, 기존의 345kV 송전 설비만을 이용하는 방법의 비용을 계산하고, 유연 송전 설비를 포함한 송전 방법의 비용을 계산하여 두 비용의 크기를 비교하는 것이다.

송전 비용을 계산할 때, 송전 거리, 송전 전력량, 송전 전력량의 증가 추세, 투자 할인율, 설비의 가격을 변수로 한 여러 경우에 대하여 송전 비용을 계산하였다. 이 변수를 조합하여 144가지 경우를 만들고 이 144가지 경우에 대해 송전단으로부터 수전단까지 전력을 수송할 때, 각각 유연 송전 시스템의 비용과 기존 345kV 송전 설비의 비용을 계산하여 그 크기를 서로 비교했다.

2. 본 론

2.1 경제성 평가 모형

송전 설비의 경제성을 평가하는 모형은 송전 용량, 설비의 가격, 송전 거리, 전력 수요량, 송전의 신뢰도 수준, 투자에 대한 할인율, 송전 손실과 같은 운전 비용을 고려하여 송전 비용을 계산하는 모형이어야 한다. 이 연구

에서는 이와 같은 점을 고려하는 모형을 만들고, 여러 경우의 송전 비용을 계산하고 그 크기를 비교함으로써 경제성을 평가했다.

2.1.1 송전 용량

송전선 1회선의 송전 용량은 송전 전압, 송전 거리, 송전선 규격에 따라 달라지는데, 대개 가까운 거리는 선로의 저항에 의해 나는 열이 어느 한계 이하가 되도록 하는 용량(열 용량)으로 제한되고, 먼 거리는 선로의 임피던스에 의한 송수전단의 위상각 차이가 안정한 한계이내에 있도록 하는 용량(안정도 한계 용량)으로 제한된다. 이 논문에서 송전 용량은 열 용량과 로더빌리티에 의해 결정되는 것으로 하였다. 로더빌리티(Loadability)는 우리 말로 송전 용량으로 번역하여 쓰겠다. 송전 용량은 거리와 Surge Impedance Loading의 함수인데, 선로의 전압 강하, 계통의 안정도 한계, 그리고 주위 계통의 영향을 고려하였을 때 송전 가능한 최대 용량을 계산할 수 있다. 송전 용량은 다음 식으로 나타낸다.

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

위 식에서 P_{SIL} 은 Surge Impedance Loading이고, L 은 송전 거리이다. 그리고 P_{SIL} 은 아래 식처럼 표시된다.

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

위 식에서 V 는 선로의 전압 레벨이고 Z_c 는 선로의 특성 임피던스이다.

2.1.2 송전 거리

송전 거리가 달라짐에 따라 기존 송전 방법의 송전 용량이 달라지므로 송전 거리는 단위 용량 당 송전 비용을 계산할 때 중요한 요소이다. 송전 계통에 유연 송전 시스템이 채용되면 송전 거리가 달라지더라도 송전 용량이 변치 않게 될 수 있다.

2.1.3 전력 수요량

전력 수요량은 설비 투자의 시기를 결정하는 요소로서 경제성에 영향을 미치게 된다. 초기 송전 규모의 크기, 최종 규모에 도달하는 시기가 빠르거나 늦음에 따라 경제성이 변하며, 최종 송전량이 많고 적음에 따라 경제성이 영향받는다. 일반적으로 초기 투자가 많고 후기 투자비가 작은 경우보다는 초기 투자가 작고 차츰 비용이 많이 소요되는 투자 계획안이 더 경제적이 된다.

2.1.4 신뢰도 기준

설비가 운전되는 중에 사고가 날 경우, 사고 선로가 다중 연계된 간선 계통이라면 전압이나 주파수 등의 전기 품질에 영향을 미치기는 하지만, 정전이 일어나는 일은 거의 없다. 또 정전이 일어난다고 해도 계통 구성 상태, 부하 크기, 주변 온도 및 사고 지속 시간 등에 따라 공

급 지장 전력의 크기가 변하므로, 설비의 사고율을 알고 있다고 해도 정확한 값을 계산하기 어렵다. 그리고 단위 사고 전력 당 공급 지장 비용을 추정하기는 더욱 어려우므로 이러한 지표용 경제성 평가에 사용하기는 어렵다. 다만 한 회선의 사고에 대응할 수 있는 정도의 예비 선로를 지을 것이냐 아니면 두 회선(한 선로)의 사고에 대응할 수 있는 양의 선로를 추가로 지을 것이냐 정도의 신뢰도 기준을 적용한다고 한다. 이 연구에서도 회선 또는 선로의 여유로 송전선을 건설하는 것으로 가장하여 경제성을 평가하였다.

2.1.5 할인율

할인율은 현재가 아닌 미래에 발생하는 경제적 가치를 현재 가치와 함으로써 현재의 시점에서 비교 가능하게 해 주는 도구이다. 할인율은 미래의 가치보다 현재의 가치를 선호한다는 '시간 선호'를 나타내는 지표이다. 할인율이 필요한 경우는 소비자가 주어진 소득을 현재의 소비와 미래의 소비(저축)로 나누는 때나, 즉 소비를 결정하는 순간에나, 기업이 한정된 재원으로 투자계획을 세우는 때나, 정부가 공공 사업의 우선 순위를 결정해야 하는 경우 등이다. 특히 정부나 기업에서 특히 오랜 기간에 걸쳐 비용이 회수되는 투자 계획을 수립하는 경우에는 할인율이 의사 결정에 영향을 미친다. 전력 설비도 건설 비용과 투자 편익이 오랜 기간에 걸쳐서 나타나므로 비용과 편익의 크기를 비교해보기 위해서는 할인율을 이용하여 현재의 가치로 바꾸어서 비교해 보아야 한다.

향후의 적정 할인율은 기존의 실질 할인율 8%보다 다소 높은 8.5%가 적정 수준이라고 한다. 그리고 이런 할인율을 실제 적용할 때는 8.5%에 집착하는 것보다 기존 할인율을 중심으로 한 8% ~ 9%의 범위에서 유연하게 적용하는 것이 필요하다.

2.1.6 운전 비용

운전 비용은 연료 비용과 손실 비용 그리고 유지 보수 비용으로 구성된다. 유지 보수 비용은 처음 건설비의 3 ~ 5% 정도로 생각하여 초기 건설 비용에 포함시킬 수도 있다. 연료 비용은 에너지를 생산하는 비용이고, 이는 송전 전압 등의 송전 설비의 변화에 따라서 변하는 부분이 아니기 때문에 이 연구에서는 운전 비용 비교에 연료비를 제외하였다. 따라서 이 연구에서 운전 비용은 손실 비용으로만 구성된다. 손실 비용은 발전 설비의 부족 때문에 나타나는 항(Demand Charge)과 에너지의 손실에 의해 나타나는 항(Energy Charge)으로 나누어진다. 전력 손실은 송전 손실과 변전 손실로 나뉘는데, 전력 손실 비용은 손실 전력량에 손실 전력 당 일정한 금액을 곱하여 구한다. 송전 손실은 송전 전력량, 전력 수송 거리, 선로의 저항 등에 따라 달라진다. 같은 양의 전력을 수송한다고 해도 전압 레벨, 송전선의 저항이 달라짐에 따라 송전 손실 전력량이 달라지고, 따라서 송전 손실액이 달라진다. 변전 손실은 변전 전력량에 비례하고, 변전 전력량은 송전 전력량에 비례하므로 송전 전력량에 변전 손실 경비를 곱하여 변전 손실 금액을 구하였다.

2.2 경제성 평가 시나리오

송전 거리, 전력 수요량, FACTS 설비 가격, 할인율 서너 가지를 바꿔가며 모두 144개의 경제성 평가 시나리오를 만들고 각각에 대해 송전 수당별 비용을 계산하고 크기를 비교했다. 각 시나리오를 구성하는 변수들과 그 변화 폭은 다음과 같다.

2.2.1 송전 거리

FACTS 설비는 송전선과 같이 송전 구간 전체에 설치되어 설비의 설치 가격과 송전 거리가 일치하는 설비는 아니지만, 송전 구간의 길고 짧은은 FACTS 설비의 경제성에 큰 영향을 끼친다. 송전 거리가 길어지면 안정도 한계에 따른 송전선 당 송전 용량이 줄어들며, 이를 열용량 한계까지 늘리는데 필요한 FACTS 설비의 용량도 늘어난다.

또 송전 거리가 늘어나면 송전의 경제성에 영향을 끼치는 요소 중 전력 손실이 차지하는 비중이 커지는데, 이 값이 경제성을 결정하는 중요한 요소가 되는 것을 연구 결과에서 볼 수 있다.

경제성을 평가하는 시나리오를 작성할 때 송전 거리는 가장 짧은 거리를 100km로 하고, 200km, 300km, 그리고 400km를 시나리오로 삼았다. 100km 이내의 거리에서는 FACTS 설비가 송전 용량을 키워서 생기는 경제적 효과는 무시할 수 있을 정도라고 판단했기 때문에, 최소 거리를 100km로 삼았다. 그리고 각 시나리오 별 거리 차이는 100km가 적당하다고 판단하였으며, 최대 송전 거리를 400km로 정한 것은 400km 보다 더 긴 전력 수송 구간이 우리 나라에 없기 때문이다. 그러므로 100km에서 400km 까지를 시나리오로 삼아서 경제성을 평가했다.

2.2.2 FACTS 설비 가격

FACTS 설비의 가격은 FACTS 설비의 경제성 검토 결과를 좌우하는 요소이다. 그러나 경제성 평가를 모두 좌우하는 요소는 아니다. FACTS 설비의 가격이 비싸면 대체적으로 FACTS 설비의 투자에 경제성이 나쁘다. 그리고 FACTS 설비의 가격이 싼 것이 FACTS 설비의 경제성 평가에 유리하다. 그러나 FACTS 설비의 가격이 아무리 싸더라도 FACTS 설비 투자가 경제적이 아닌 경우도 있다. 이러한 경우는 특히 전력량이 많은 단거리 선로의 경우인데, FACTS 설비가 채용되어 열 용량 한계 값까지 송전이 이루어지면 중 부하에 의한 송전 손실 금액이 FACTS 설비의 송전 설비 추가를 억제하는 효과보다 더 커져서 FACTS 설비에 의한 이익을 상쇄하여 이익보다는 손해가 많은 경우이다. 이런 경우는 FACTS 설비 가격을 아예 없다고 하고 경제성을 평가해도 FACTS 설비가 경제적이 아닌 경우도 있다.

이 연구에서는 FACTS 설비의 가격을 외국의 예를 참고하여 추산하였다. 설비 가격을 외국의 것을 쓰는 것은 정확한 평가를 하기 위해서는 피해야 할 일이지만 아직 우리나라에 FACTS 설비가 만들어진 예가 없는 지금으로서 는 국내의 가격을 추산하면 정확한 가격이 산출되리라는 보장이 있는 것도 아니다.

분명한 것은 FACTS 설비의 가격은 FACTS에 대한 연구를 하면 할수록 내려갈 것이라는 것이다. 그래서 FACTS 가격에 대한 시나리오에는 외국의 자료를 이용하여 추산해 본 추산 가격(100%)과 추산 가격의 절반(50%)인 경우, 그리고 추산 가격의 30%인 경우, 그리고 추산 가격의 10%인 경우의 네 가지 경우에 대해 경제성을 검토하였다. 전력에 관련된 기기들은 가격이 현재 가격의 50%, 30%가 될 가능성이 별로 없지만, FACTS 설비는, 현재 개발이 진행 중이며, FACTS 설비의 중요한 부분인 반도체 스위치의 경우 성능은 높아지고 가격은 낮아지는 경향이 특히 뚜렷한 제품이므로, FACTS 설비는 반도체 스위치의 기술 향상 및 가격 하락에 의해, 기존 개발된 제품의 가격 측면의 보완에 의해, 전혀 새로운 제품의 개발에 의해 가격이 낮아질 것이다. 특히 개발 초기 단계부터 우리나라를 포함한 여러 나라에서 경쟁적으로 개발되고 있으므로, 독점에 의한 높은 가격 유지는 쉽지 않을 것이다. 그러므로 머지 않아 기존 가격의 50%, 30% 가격의 제품이 나타나리라고 여겨진다. 그리고 기술 혁신에 의해, 또는 현재 개발 중인 FACTS 설비가 아닌 다른 설비로서 추정 가격의 10%인 제품도 나타날 수 있다고 보고 경제성을 평가해 보았다.

2.2.3 전력 수요량

전력 수요량에 관해서는 세 가지 경우를 상정했다. 처음 경우는 먼저 전력량이 꾸준히, 같은 양씩 증가하는 경우이다. 경제성 평가기간을 30년으로 정했으므로 30년 내 같은 양씩 수요가 증가하도록 정했다. 경제성 평가가 시작되는 때는 전력 수요가 전혀 없다가 매년 같은 양씩 수요가 증가하여 경제성 평가의 마지막 해에는 10000MW

를 송전하는 경우이다. 이를 A 경우라고 한다. 두 번째로는 경제성 평가의 초기에는 전력 수요량이 급히 증가하지만 수요가 어느 정도 크기가 된 후에는 전력 수요량이 변하지 않는 경우이다. 경제성 평가가 시작될 때의 수요는 전혀 없다가 20년이 될 때까지 매년 같은 전력 수요량이 증가해서 수요규모가 6000MW가 된 후에는 수요량이 변하지 않고 경제성 평가의 최종년도까지 유지되는 경우이다. 이 경우가 전력 수요량이 처음에는 크게 늘어나다가 시간이 지남에 따라 수요 증가량이 작아져서 결국 전력 수요량이 포화하는 실제의 경우를 선형으로 모형화 한 것이라고 할 수 있다. 이 경우를 B 경우라고 한다. 세 번째로는 전력 수요량이 경제성 평가의 처음부터 마지막 년도까지 전혀 변하지 않는 경우이다. 경제성 평가가 처음 시작되는 년도의 전력 수요량도 5000MW이고, 경제성 평가가 끝나는 년도의 전력 수요량도 5000MW로서 일정한 경우이다. 이 경우를 C 경우라고 한다.

2.2.4 할인율

할인율은 시나리오에 변수로 사용된 다른 요소와는 달리 외부의 경제적인 상황을 경제성 평가의 결과에 투영하는 역할도 하고 있어서 경제성 평가를 위해 할인율의 크기를 쉽게 바꿔보기가 어렵다. 지금 이 연구가 진행되는 때는 국가 외환 위기 때문에 모든 금리가 올라있어서 할인율 또한 큰 값을 적용해서 경제성 평가를 해야 한다. 하지만 전력설비는 수명이 30년 이상인 경우가 많고, 이 평가의 시간 범위도 30년간으로 정했기 때문에 1, 2년간의 상황 변화를 적용하기보다는 장기적인 전망에 의한 할인율을 적용해야 한다. 서울대학교 경제연구소의 권고에 따르면, 8.0% ~ 9.0% 정도의 할인율을 적용하는 것이 바람직하므로 이 연구에서도 시나리오의 범위를 8.0% ~ 9.0%로 정했다.

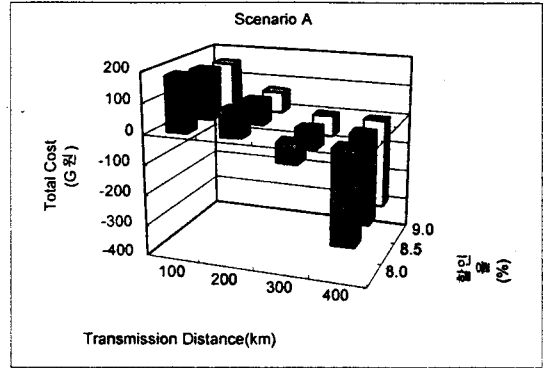
2.3 경제성 평가 결과

전력 수요량을 중심으로 하고 송전 거리, 할인율, 설비 가격을 바꿔가며 경제성을 평가했다. 처음 절에서는 전력 수요가 매년 같은 양씩 평가 기간 내내 증가하는 시나리오의 경제성을 평가했다. 전력 수요가 같고, 송전 거리가 100km, 200km, 300km, 그리고 400km인 경우를 가로 축으로 삼고, 할인율이 8.0%, 8.5%, 그리고 9.0%인 경우를 세로 축으로 삼은 후, 세 번째 축인 수직 축에는 345kV 송전 설비로 이루어진 전력 계통과 345kV 송전 설비와 FACTS 설비가 섞인 전력 계통의 송전 비용을 계산한 후 그 차이를 빼해서 나타냈다. 그러면 하나의 3차원 그래프에 전력 수요량은 같으며, 송전 거리, 할인율이 달라지는 열두 시나리오에 대해 345kV 송전 설비와 FACTS 송전 설비의 가격 차이를 나타낼 수 있게 된다.

아래 그림은 좌우 축을 거리로, 전후 축을 할인율로, 그리고 상하 축을 345kV 설비와 FACTS 설비의 가격 차이로 해서 그린 삼차원 그래프이다. FACTS 설비의 값이 비싸면 평면의 위쪽 기둥으로, FACTS 설비의 값이 싸면 평면 아래 쪽 기둥으로 그려진다. 가로 축인 거리는 100km, 200km, 300km, 400km의 네 가지, 세로 축인 할인율은 8.0%, 8.5%, 9.0%의 세 가지 하여 모두 12가지 경우를 한 그래프로 나타냈다. 거리가 100 ~ 200km인 경우에는 사각 기둥이 위로 올라와서 345kV 송전 설비가 싼 것으로, 거리가 300 ~ 400km의 경우는 기둥이 아래로 내려가 FACTS 설비의 비용이 작은 것으로 나타났다.

이렇게 열두 가지 시나리오의 경제성을 나타내는 그래프는 모두 열두 개가 있어서 총 144가지 경우에 대해 경제성을 평가하게 된다.

그림 1. FACTS 가격이 100%인 때의 경제성



경제성 평가 결과 두 가지 송전 방식의 경제성에 가장 큰 영향을 미치는 시나리오 구성 요소는 송전 거리이다. 장거리 송전에는 FACTS 설비가 값이 싸고, 단거리 송전에는 345kV 설비가 값이 싸다. 송전 거리는 전력량, 할인율, 그리고 FACTS 설비 가격의 변화에 큰 영향을 받지 않고 위와 같은 경향을 보인다. 송전 거리 다음으로 경제성에 영향을 주는 요소는 FACTS 설비 가격이다. FACTS 설비의 가격이 추정치의 100%에서 10%로 변해감에 따라 345kV 설비와 FACTS 설비의 경제성 순위가 뒤바뀌는 것을 볼 수 있다. 송전 전력량은 경제성에 영향을 미치는 정도가 시나리오 구성 요소 중 세 번째이다. 송전 전력량의 변화는 A 경우, B 경우, 그리고 C 경우로 나타났다. 다른 조건이 모두 같을 때, 송전 전력량이 A에서 B로, B에서 C로, C에서 A로 달라짐에 따라 경제성이 뒤바뀌는 것을 볼 수 있다. 검토한 시나리오 중에는 특히 거리 200km 인 경우의 경제성 순위가 가장 많이 바뀌는 것을 볼 수 있다. 즉 200km 거리에서는 전력량이 달라짐에 따라 345kV 송전이 값이 쌀 수도 있고, FACTS 송전이 값이 쌀 수도 있다는 것이다. 시나리오 구성 요소 중 경제성의 순위 변화에 가장 작은 영향을 미치는 요소가 할인율이다. 할인율이 변함에 따라 투자비, 손실에 의한 비용의 크기가 변하며, 345kV 송전 설비와 FACTS 송전 설비의 비용차의 크기도 변하지만, 경제성의 순위가 뒤바뀌는 경우는 없었다.

3. 결론

검토한 144개의 시나리오 중 345kV 송전 설비의 비용이 작은 안이 모두 54안, FACTS 송전 설비의 비용이 작은 안이 모두 90안으로 전체 안 중 62.5%가 FACTS 설비 송전이 유리했고, 37.5%가 345kV 설비 송전이 유리했다.

[참고 문헌]

- [1] Power Technologies, Inc., Flexible ac Transmission Systems(FACTS): Scoping Study, Volume 1, Part 1: Analytical Studies, EPRI EL-6943, Volume 1, Part 1, EPRI Final Report, August 1990
- [2] 서울대학교 경제연구소, 한국전력공사 전원계획처, 전원개발 투자사업에 있어서의 적정 할인율 산정, 1993년 8월
- [3] 한국전력공사, 1997년도판 경영통계, 1997
- [4] 한국전력공사 전원계획처, 향후 대전력수송을 위한 장기계통 구성대책에 관한 연구, 한국전력공사 과제관리번호 89M-J07