동북아 계통연계의 기술성 분석

▮ 윤재영 / 한국전기연구원

서 언

국가간 계통연계 기술성분석은 독립적으로 운전되고 있는 전력계통을 연계하여 단일계통으로 운전하기 위한 기술적 방안을 도출하기 위해 검토한다. 단일계통 운전으로 운전비용을 절감하고 계통신뢰도를 향상시키기 위한 최적의 운영방안을 수립하고 연계계통 운전에 따라 발생할 수 있는 제반 기술적인 문제에 대한 대책방안을 마련하기 위한 것이다.

동북아계통연계의 기술성분석은 계통연계 시나리오 초안 수립과 연계계통 해석 및 신뢰도분석으로 구분된다. 계통연계 시나리오 수립은 동북아 계통연계의 경제성 · 시장성 · 기술성 분석을 위한 기본 검토대상을 제공하기 위하여 정성적인 방법을 사용하여 계통연계 초안으로 상정할 수 있는 다양한 대안을 제시하는 것이다. 연계계통 해석은 PSS/E 정태해석과 EMTDC 등가계통 과도해석을 포함한다. 신뢰도분석은 계통연계로 인한 공급신뢰도의 향상 혹은 예비력 감소정도를 분석하는 것이다.

동북아계통연계는 장기적인 관점의 계통계획 사안이고 국제간 협력을 전제로 하므로 국내계통을 대상으로 계획할 때 보다 불확실성이 더 높다. 따라서, 국가간 계통연계의 사업시행 이전에 세부 기술적인 사안에 대한 상세 검토가 요구된다. 본 고에서는 동북아계통연계의 기술성분석 필요성과 분석 방법론과 더불어 현재 국내에서 수행 중인 "동북아계통연계 기반구축 연구(1)"의 기술성분석 관련 연구개요를 소개하고자 한다.

기술성분석 필요성

국가간 계통연계를 시행하는 경우, 실제 사업을 수행하기 위해서는 기술성 관점에서 〈그림 1〉에 도시한 사항에 대하여 논리적인 근거에 바탕을 둔 명확한 답변이 제시되어야 한다. 이러한 논리적 근거를 제시하기 위해서는 개별사안에 대하여 세부 기술성 검토가 필요하다. 기술성분석의 필요성에 대하여 요약하면 다음과 같다.

- ㅇ 계통연계설비 적용에 따른 분석필요성 :
  - 기존 계통에 없는 전력설비(계통연계설비)를 도입하는 경우 발생할 수 있는 다양한 기술적 현상들에 대하여 사전에 검토되어야 한다.
- ㅇ 연계계통 운전에 따른 분석필요성 :
  - 국가간 연계계통의 운전에 따른 기술적 문제는 단순한 전력설비의 신규 적용과 같은 문제와는 차원이 다른 복잡한 사안이다. 그 이유는 연계계통 운전에 따른 신뢰도분석, 예비력공유, 계통보호와 통신과 같은 제반 문제를 내포하고 있기 때문이다.
- ㅇ VSC-HVDC 계통 해석기술 확립과 계통분석 필요성 :
  - 동북아 국가는 서로 주파수가 상이하기 때문에 국가간 전력계통 연계를 위해서는 HVDC 송전방식을 적용해야 한다.
  - 기존 CSC-HVDC 방식(CSC : Current Source Converter)은 초고압 대용량화에는 유리하지만,

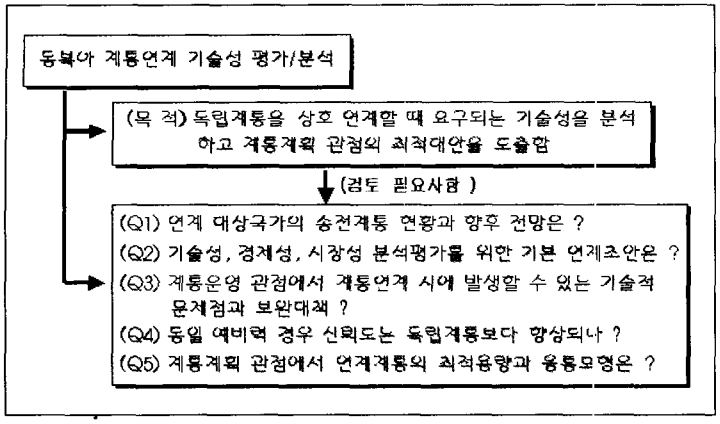

그림 1 계통연계 기술성분석 필요성

무효전력 보상문제와 계통제어 관점에서는 단점을 지니고 있다. 반면에 새로운 기술인 VSC-HVDC 방식(VSC : Voltage Source Converter)은 현재 수백 MW급 이하에서만 적용되고 경제성은 낮지만, 계통운용 관점에서는 큰 장점을 지니고 있다. 향후 기술발전에 따라서 VSC-HVDC 방식의 경제성은 크게 향상될 것으로 기대되며, 수 GW급 용량에서도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

- 동북아계통연계는 현재 민간차원에서 논의되는 초기단계로서, 사업화가 되더라도 실제 사업수행까지에는 10년 이상의 많은 시간이 소요되는 장기적인 검토과제이다. 이러한 점을 고려할 때 동북아계통연계에는 VSC-HVDC 방식이 적용될 것으로 판단된다.
- 대용량 VSC-HVDC 송전방식에 대한 계통모의와 해석 방법론은 현재 확립되어 있지 않기 때문에 이에 대한 계통분석을 위해서는 관련기술 개발이 요구된다.

○ 기술성 분석내용 :

- (시나리오 초안 수립 필요성) 어떤 연계대안에 대하여 기술성을 분석할 것인가 ?
- (연계계통 해석 필요성) 연계계통을 계획할 때 검토해야 하는 정태, 동태 및 과도현상과 기술적 대처방안은 ?
- (연계계통 신뢰도분석 필요성) 연계계통의 경우 독립계통보다 공급신뢰도가 어느 정도 향상되는가 혹은 운전예비력의 절감 정도는 ?
- 연계계통을 어떻게 운용하는 것이 최적방안인가 (연계계통의 최적 운용모형은) ?

기술성분석내용

국가간 계통연계 기술성 분석은 연계계통에서 나타날 수 있는 다양한 현상을 분석함으로써 합리적인 연계계통 계획 및 운영방안을 수립하고, 연계계통 운전시의 기술적 대응방안을 도출하는데 있다. 동북아계통연계의 기술성분석내용은 다음과 같이 크게 4가지로 구분할 수 있다.

○ 동북아계통연계 시나리오 초안수립
○ 연계계통 과도현상 해석 (EMTDC급 계통해석)
○ 연계계통 정태해석 (PSSE급 계통해석)
○ 발전과 송전계통을 포함한 복합계통 신뢰도 분석

동북아계통연계에 대한 경제성, 시장성, 기술성 분석을 위해서는 최우선적으로 기본적인 초안수준의 계통연계 시나리오의 작성이 필요하다. 이와 관련하여 현 시점에서 상정할 수 있는 전체 동북아 계통연계의 시나리오 초안을 수립하여야 한다. 일반적으로 전력계통에서 발생하는 각종 현상을 분석하는 해석방법은 다양하지만, 계통계획과 계통운영을 위한 해석방법으로 구분할 수 있다. 이 중에서 계통운영에 관련된 해석은 현재 운전 중인 계통을 대상으로 하여 계통운영방식을 최적화하기 위한 정태해석, 고장해석, 전압과 위상안정도와 같은 동태해석 및 송변전 설비측면에서의 과도현상 해석으로 구분된다. 실 계통 운전을 위한 계통해석은 현재 존재하는 전력설비와 시스템을 대상으로 하므로 계통계획 측면보다 상세한 해석과 검토를 필요로 한다. 반면에 계통계획 측면의 해석은 향후 구성될 미래계통을 대상으로 하기 때문에 자료의 불확실성과 계

획의 변경 가능성을 고려하여 상세한 동태해석보다는 정태와 고장해석을 위주로 하여 수행한다. 동북아 계통연계는 장기적인 관점의 계통계획 사안이고 국제간 협력을 전제로 하므로 국내계통을 대상으로 계획할 때보다 불확실성이 더 높다. 그러므로 계통계획 측면에서의 계통해석 방법을 적용하여 동북아 계통연계 시나리오 초안에 대한 조류해석, 고장해석, 신뢰도해석 및 등가계통 과도해석 등을 수행하는 것이 타당하다. 또한, 동일한 예비력을 보유하는 경우 연계계통의 신뢰도는 독립계통보다 높다. 반대로, 동일한 신뢰도를 유지하는 경우 연계계통의 예비력은 독립계통의 경우보다 절감할 수 있다. 따라서, 연계계통의 신뢰도 향상효과에 대하여 정량적인 분석이 필요하다. 국가간 계통연계를 위하여 요구되는 개별 기술성 분석내용에 대하여 기술하면 다음과 같다.

계통연계 시나리오 초안수립

동북아계통연계 시나리오는 기술성 · 경제성 · 시장성을 분석하기 위한 검토대상을 제공하기 위하여 수립한다. 동북아계통연계의 기본(안)은 계통연계 시나리오에 대한 기술성 · 경제성 · 시장성 상세 분석결과를 통하여 수정, 보완되어 최종적으로 확정된다. 〈그림2〉는 동북아계통연계 기본(안)의 수립과정을 나타낸 것이다. 동북아계통연계 시나리오는 현 상황에서 현실적인 필요성과 가능성이 높은 "러시아~북한~남한" 계통연계 시나리오 초안과 동북아 6개국 전체 전력계통을 연계하기 위한 종합 시나리오 초안으로 구분할 수 있다.

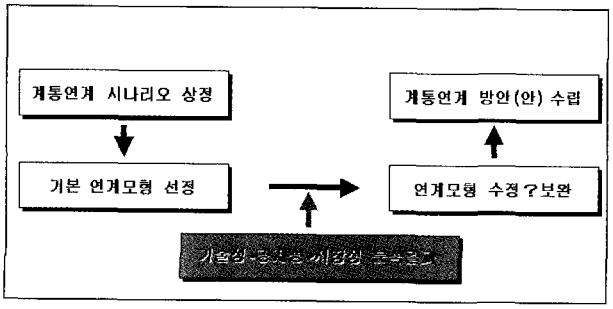

그림 2 동북아 계통연계 기본(안) 수립과정

동북아계통연계와 병행하여 남북한 전력협력을 시행햐야 하는 우리의 입장에서는 "러시아~북한~남한" 계통연계에 대하여 중점적인 검토가 필요하다. "러시아~북한~남한" 계통연계 시나리오를 수립할 때 고려해야 하는 사항을 정리하면 다음과 같다.

○ 장기 및 단기 전력협력 정책 조화
- 단기적인 대북한 전력협력 문제 및 장기적인 동북아 국가간 전력융통과 남북한 단일계통 운전을 동시에 고려함.
- 단기협력방안은 북한의 전력지원 요청, 개성공단 전력공급 방안 및 "러시아-북한"의 국부 계통연계 논의 등을 포함함.
- 장기협력방안은 전체 동북아 계통연계를 통한 대북한 전력융통 측면 및 KEDO 원전 의 안정적 운영과 생산전력의 활용방안을 의미함.

○ 북한 데이터 추정 어려움
- 동북아 및 남북한 전력협력을 검토하기 위해서는 필연적으로 북한 전력산업과 전력계통 관련자료가 요구됨.
- 그러나, 북한의 폐쇄성으로 인해 발전력과 부하자료의 획득이 현실적으로 어려움.
- 특히 장기전망 데이터는 향후의 정치, 경제적 시나리오에 따라서 크게 가변적임.
- 북한수요는 실제 공급수요(발전량-손실)와 공급되지 못한 잠재수요로 구분됨.

○ 기술적, 시장 경제적 차이점
- 동북아 6개국의 전력산업 체제는 기술적, 시장 경제적 관점에서 서로 상이하므로 계통연계 시나리오를 상정할 때 이 점을 고려하여야 함.
- 기술적으로는 주파수와 전압계급, 전압/주파수 운영기준과 공급신뢰도 기준 및 계통운영 방식 등 제반 기술적 기준이 서로 다름.
- 시장경제적으로는 전력산업의 운영주체, 구조개편 진행여부 및 전반적인 전력산업 운영체제가 서로 상이함.

연계계통 정태 및 과도현상 해석

기술성분석 중에서 연계계통 해석은 계통계획 측면에서의 계통해석 방법을 적용하여 동북아 계통연계 시나리오 초안에 대하여 조류해석, 고장해석 및 등가계통 과도해석을 수행하고, 그 계통해석 결과를 반영하여 동북아계통연계 기본(안)을 수립하도록 한다. 계통해석 도구는 PSS/E와 EMTDC 프로그램을 사용하며, 연계계통 해석의 개요를 기술하면 다음과 같다.

PSS/E 계통해석 분야에서는 우선 VSC-HVDC 연계계통의 모의방법에 대한 방법론을 확립하고, VSC-HVDC 연계계통의 전력조류와 고장해석을 수행한다. 전력조류 해석은 미래 계획계통에 대한 기본적인 분석방법으로서 연계선로의 신증설에 따른 기존 계통과의 조화문제를 검토하며, 고장해석은 교류송전 방식을 사용할 수 있는 연계계통에 대하여 계통연계로 인한 고장전류의 변화에 대한 분석을 하는 것이다. 〈그림 3〉은 동북아계통연계 상정 시나리오별로 PSS/E 계통검토의 수순을 나타낸 것이다. "동북아계통연계 기반구축 연구(1)"의 연계계통 해석을 위해서는 북한을 포함한 동북아 국가별 계통자료가 필요하며, 국제협력 활동을 통하여 수집하도록 한다. 특히, 북한 계통자료는 데이터 수집과 더불어 일부 자료의 경우 추정이 필요할 것으로 예상된다.

EMTDC 계통해석은 동북아연계계통의 등가 축약계통에 대하여 연계계통 운전시에 발생할 수 있는 다양한 과도현상을 해석한다. VSC-HVDC 연계방식의 EMTDC 모델은 PSSE 급에 비하여 훨씬 복잡하고 상세한 모델링을 요구한다. "동북아계통연계 기반구축 연구(1)"를 통하여 EMTDC급의 VSC-HVDC 시스템 해석기술을 확립하고 "러시아~북한~남한" 연계계통을 포함한 동북아계통연계 시나리오별 등가축약 해석대상 계통을 모의한다. 그리고 모의대상 계통에 대하여 HVDC 연계계통 혹은 연계된 교류계통의 상정사고시 해석조건별로 과도현상을 분석한다. EMTDC 해석분야에 있어서 기존 CSC-HVDC 시스템에 대한 계통해석 기법은 국내의 경우도 해남-제주 HVDC 계통 도입 경험을 바탕으로 일정수준에 도달해 있다고 평가할 수 있다. 그러나 새로운 연계방식인 VSC-HVDC 시스템에 대해서는 경험이 거의 전무하므로 EMTDC 모델링 기술을 포함한 다양한 계통조건에서의 연계계통 동특성을 검토하여야 한다.

연계계통 신뢰도분석

연계계통 신뢰도분석은 〈그림 4〉와 같이 개별 독립계통의 발전/송전계통 및 연계계통의 용량과 사고확률을 고려할 경우에 공급신뢰도가 어떻게 변화하는지를

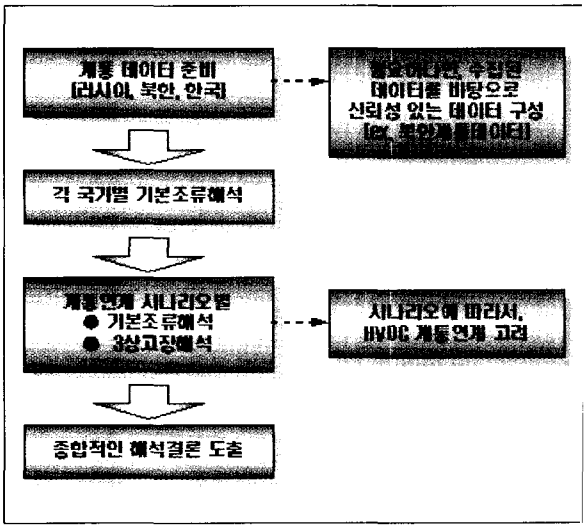

그림 3 동북아계통연계 시나리오별 PSS/E 계통해석절차

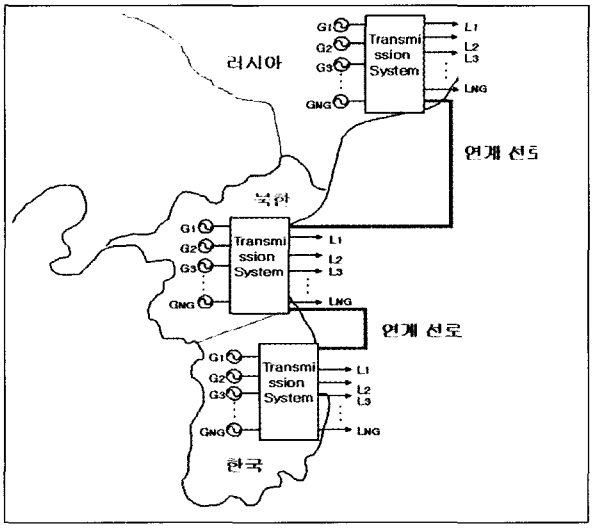

그림 4 동북아연계계통의 복합계통 신뢰도 평가 예 (HLII Level)

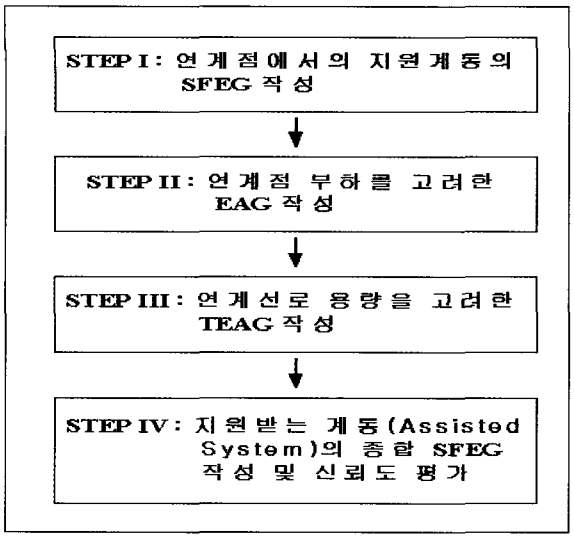

그림 5 등가보조발전기 방법을 사용한 복합계통 신뢰도분석 순서

평가하는 것을 의미한다. 이를 통하여 신뢰도 관점에서 최적의 연계지점을 결정할 수 있고 신뢰도지수의 정량분석이 가능하게 된다. "동북아계통연계 기반구축 연구(1)"에서는 임의의 연계계통에 있어서 발전계통뿐만아니라 송전계통의 선로제약 및 불확실성까지 고려한 복합 전력계통에서의 등가보조발전기모델을 개발하고 이를 적용한 신뢰도평가를 시행한다. 연계용량제약 등가보조발전기(TEAG) 방법을 적용한 복합 연계계통에서의 신뢰도 분석순서를 나타내면 〈그림 5〉와 같다.

결 언

본 고에서는 동북아계통연계의 기술성분석에 대하여 기술하였다. 기술성 분석목적은 국가간 계통연계의 계획관점에서 최적대안을 수립하고 연계계통 운전시에 발생할 수 있는 기술적 사안들에 대한 대처방안을 확립하기 위함이다. 국가간 연계계통의 운전에 따른 기술적 문제는 단순한 전력설비의 신규 적용과 같은 문제와는 차원이 다른 복잡한 사안이다. 이는 국가간 계통연계가 기본적으로 서로 다른 기술적 기준에 의해 운전되던 독립계통을 연계하는 것이며, 대규모의 투자와 국제협력이 필요한 장기적인 정책사안이기 때문이다. 동북아계통연계의 기술성분석을 위해서는 필수적으로 연계대상 국가의 전력계통 해석용 자료가 요구되며, 이는 국제협력 활동을 통한 상호 정보교류에 의해 수집된다. 각 국가별 수집자료는 계통연계 DB에 구축되며, 계통 데이터의 지속적인 수집과 동시에 수집된 데이터의 신뢰성을 판단하여 수정 보완되어야 한다. 특히 북한자료의 경우는 원천적으로 수집이 어렵고, 자료 자체의 신뢰성도 낮으므로 일정 부분은 전문가의 추정이 필요할 것으로 예상된다. 예비적으로 상정된 시나리오 초안과 수집자료에 근거하여 연계계통 해석과 신뢰도 분석이 이루어지며, 연계 시나리오별 기술성 분석결과는 시나리오 초안의 수정 보완 및 종국적으로는 동북아 계통연계의 기본(안)을 수립하는데 활용될 것이다.