

시나리오에 의한 한반도 전력연계 조류 계산

장용진 이상성 이상호 박종근  
서울대학교

김광호  
강원대학교

Scenario based Power Flow Analysis for Interconnection in Korean Peninsula

Yong-Jin Jang Sang-Seung Lee Sang-Ho Lee Jong-Keun Park  
Seoul National Univ

Kwang-Ho Kim  
Kangwon National Univ

**Abstract** - 지역 간 계통연계를 함으로써 얻을 수 있는 장점은 발전소 용량을 절감할 수 있고 긴급한 상황하의 전력의 교환이 가능하며 예비전력의 양을 줄일 수 있다는 것 등이 있다. 그러나 전력 시스템의 연계는 경제적이고 기술적인 고려가 요구되어진다. 연계에 대한 계획은 광범위한 기술적인 측면을 고려해야하고 체계적인 연구가 필요하다.

계통 연계는 다른 대륙에서 이미 많이 시도되어 왔으며 실행되고 있다. 하지만, 동북아시아 지역은 복잡한 정치적인 문제를 때문에 아직 연계가 되어 있지 않은 상태이다. 이러한 상황 하에 남한과 북한의 연계는 극동아시아지역의 연계의 시발점이 될 수가 있기 때문에 매우 중요하다. 본 연구에서는 남한과 북한의 전력 계통의 연계에 대한 시나리오에 의해 가상으로 연계한 후, PSS/E Tool을 사용하여 조류 계산을 하였다.

1. 서 론

연계에 관한 여러 가지 장점으로 인해 다른 지역에서는 지역과 지역, 그리고 국가 간 연계가 활발히 진행되고, 실행되어져 왔다. 그러나, 이전까지 동북아시아의 연계에 관한 연구는 계속적으로 거론되고 있지만 정치적이고, 복잡한 문제들로 인해 아직 풀리지 못하고 있다. 하지만, 최근 들어 점점 더 필요성이 대두되고 거론되어 오고 있다. 이러한 동북아시아의 연계와 맞물려 먼저 다 지역화를 하는 남한과 북한의 전력 연계문제가 선행되어야 일본과 중국, 러시아 등지와와의 연계가 완성될 수 있을 것이다.

현재 북한의 송전 계통 구성현황이 체계적으로 정리되어 있는 자료는 없으며 부분적으로 계통 구성현황이 일본자료(아시아동향연보, 아시아 경제연구소, 1992)와 이와 유사한 한전자료(남북연계 검토 자료)에 나타나 있다. 그리고 러시아 자료의 북한 계통 단선도와 송전 선로 임피던스, 길이, 연결 변전소 및 송전용 변압기 자료가 있다. 그리고 미국의 항공지도 회사에서 발간한 자료에 북한의 송전 계통을 표현한 자료가 있을 뿐이다. 따라서 지금까지 남한과 북한의 연계에 대한 연구는 위의 자료에 기초한 자료분석과 그에 따른 시나리오를 구성하는데 초점을 맞추었다[1]-[3]. 본 논문에서는 여태까지 진행되어 온 남북 연계에 관한 연구에 의한 자료들을 추정해 북한의 송전 망을 만들고 부하와 발전량을 예측해서 송전 계통을 구성하였다. 또한 이렇게 구성된 송전계통을 가지고 거시적인 북한 계통의 조류 흐름을 분석하고, 시나리오에 의해 남한의 실 계통과 연계한 계통도를 가지고, 전력이 융통될 때에 각각 융통 량에 따른 조류 흐름을 분석하였다.

2. 본 론

북한과 연계를 위한 첫 번째 단계로서는 우선 남한 계통의 조류의 특성을 거시적으로 분석하고 파악하여야 한다. 다음 단계에서 남한과 마찬가지로 북한 계통의 조류

특성을 분석 파악하고, 마지막으로 북한과의 연계 시나리오 계획에 의한 남북 연계를 구성하고 가상 모의하여 거시적 조류 흐름을 분석하고 특성을 파악하였다.

2.1 남한의 송전 계통 구성현황

남한지역의 전체 계통은 상당히 큰 시스템이므로 지역을 크게 전력관리처에 의한 지역과 행정구역에 의한 지역을 고려하여 크게 6개의 영역으로 분류하였다.

경인 지역과 영남지역은 부하 밀도가 높은 지역에 속한다. 특히 경인지역으로는 상당히 많은 량의 전력이 유입되는 북상 조류 현상이 나타난다. 제주지역은 HVDC를 이용해 호남지역에 속하는 해남과 연결이 되어 있다.

표 1. 남한 계통의 지역분할

지역 구분	경인지역	영동지역	중부지역	호남지역	영남지역	제주지역
전력 관리처 (area)	서울북부 서울강남 인천지역 경인남부	영동계전	중부대전	호남광주	영남대구 부산전력 창원전력	제주

2.2 북한의 송전 계통 구성현황

북한 송전 계통도는 앞에서 이야기한 여러 가지 자료에 의해 추정할 수 있다. 추정 자료에 의하면 북한은 북부 지역의 고지대에 풍부한 수력을 바탕으로 평안북도와 자강도에 수력 발전소가 집중되어 있고, 함경북도 지역을 중심으로 수력발전소가 집중되어 있다. 또, 수도 평양을 중심으로 화력발전소가 집중되어 있다[1]-[3]. 북한의 발전량은 약 7000MW로 추정된다.

자료에 나타난 계통도를 종합하여 송전 계통도를 구성할 수 있다. 송전 계통도는 110kV와 220kV선로만으로 구성되어져 있다. 이 계통도는 추정된 계통도이므로 실제 계통도보다 훨씬 단순화된 계통도이다. 또한 추정되는 발전량, 공업지역 그리고 제한되는 전력 수요를 고려하여 송전계통도의 지역에 해당하는 부하량을 산출하였다.

종합된 자료에 의해 북한의 발전 지역에 의한 발전량과 공업지역인 동북 지역의 공업지역과 평양, 함흥 지역이 부하를 많이 사용할 것이라는 추정 하에 지역별 발전량과 부하량을 추정해 보고, PSS/E Tool을 이용하여 각 선로의 조류 흐름 방향을 그려보았다.

조류계산을 한 결과, 크게 평양지역을 향하여 북에서 남으로 흐르는 남하 조류와, 북한 고위도 지역에서 서에서 동으로 흐르는 조류를 가지는 것이 큰 특징이라고 할 수 있겠다. 또한 큰 4개의 조류의 흐름이 나타난다. 따라서 이 조류의 흐름에 따라 크게 표 2와 같은 5개의 지역으로 조류흐름을 나누는 것이 타당하다고 생각된다. 표 2와 같이 5개의 지역으로 나누면 1지역과 2지역 3지역은 발전력이 많은 지역이고, 4지역은 부하가 많은 지역으로 볼 수 있다. 또한 북창 지역을 중심으로 많은 선

로가 방사형으로 연결되어 있는 3지역은 조류의 흐름이 소용되는 교차지점으로 간주할 수 있다.

표 2 북한 계통의 지역분할

지역 구분	1. 북서 지역	2. 북동 지역	3. 중부 지역	4. 중남부 지역	5. 남동 지역
상세 지역	평안북도 자강도	함경북도 랑강도	평안 남도	평양 황해도	함경남도 강원도 이북

### 2.3 남한 계통과 북한 계통의 조류 흐름도

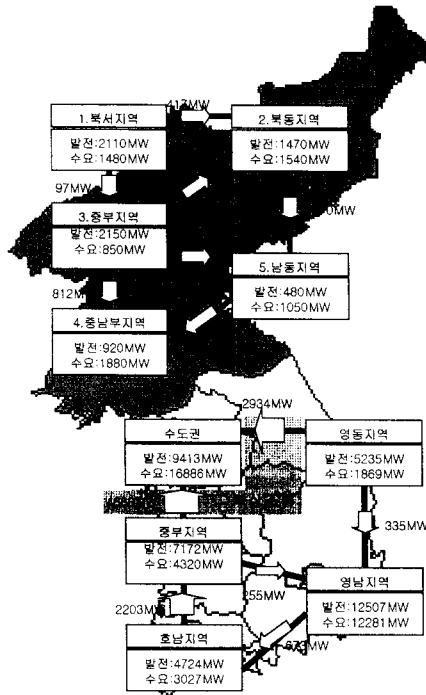


그림 1 남한계통과 북한 계통의 조류 흐름도

그림 1은 남한 실제통과 북한 추정 자료에 의한 지역별 조류 흐름도를 나타낸 것이다. 남한의 계통도를 살펴보면 발전량보다 부하량이 두 배정도 많은 수도권을 향하여 영동 지역과 중부지역에서 복사하는 조류가 나타나는 것을 큰 특징으로 꼽을 수 있다. 그리고 제주지역과는 HVDC로 연계되어 운전되어져 있어 제주지역을 제외한 남한계통의 조류변화가 제주지역의 조류흐름에 크게 영향을 주지 않는다. 따라서 steady state 상태의 조류 흐름도에 있어서 제주도는 제외하였다. 북한 계통은 남한 계통에 비하여 전체적인 시스템의 크기는 작다. 그러나 남한과 닮은꼴로 남한의 복사 조류와 비슷하게 평양을 중심으로 하는 남부 조류가 있는 것을 지역 분할 방법에 의하여 쉽게 관측할 수 있다. 따라서 평양지역을 중심으로 하는 북한의 중남부 지역에서는 많은 전력이 필요함을 알 수 있다. 따라서 시나리오에서는 남한의 계통도에다 북한의 중남부 지역으로 연계를 구상한 계통도를 모의하였다.

### 2.4 시나리오에 의한 남북 전력 연계

연계하는 방식은 크게 직류 연계와 교류 연계 2가지 방법을 생각할 수 있다.

#### a. 직류 연계 방식:

교류연계 방식에 비해 막대한 비용이 필요. 남한 계통 보호 측면에서 현실적(고장 영향 적음) 장거리 유리(1000km 이상)

#### b. 교류 연계 방식:

직류 연계 방식에 비해 저렴함  
계통 구성 방식 제한  
고장 영향 큼

북한의 현 전력 상황을 고려 할 때 북한의 계통 규모가 남한에 비해 월등히 작으며 전력 부족현상이 심각한 상태라고 추정되므로 전기 공급에 대한 연계 효과는 당분간 크지 않을 것이다. 또한 북한의 전기 품질 또한 좋지 않으며, 북한 지역 고장 발생 시에 파급 효과가 크리라 예상된다. 따라서, 단기적으로 북한의 일부 지역을 북한 계통에서 분리하고 취약한 부분을 안정적으로 보강한 후, 154kV, 345kV 등의 남한측 송배전 선로를 연장 건설하여 비용이 저렴한 교류에 의한 계통 연계를 추진하는 것이 바람직하다고 생각된다. 그 후에 장기적 전력 지원을 위한 계통 연계로는 765kV선로의 건설을 고려하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 북한의 계통이 안정적이라는 가정 하에 북한의 전 계통도에 교류 연계를 하여 시나리오를 모의하여 보았다. PSS/E TOOL을 이용한 교류 연계 방식의 시나리오에 따라 남한의 154kV와 345kV계통을 북한의 220kV 계통과 연계하여 모의해 보았다.

표 3 시나리오

	남한	북한	거리	비고
시나리오 1	문산(154kV)	평산(220kV)	60km	비교적 짧은 거리
시나리오 2	양주(345kV)	평양(220kV)	200km	평양 지역으로의 직접 연결
시나리오 3	의정부(345kV)	평양(220kV)	200km	평양 지역으로의 직접 연결

표 3과 같이 각 시나리오별로 연계한 후 남한 계통의 발전모션에서 전체 100MW, 500MW를 증가시켰을 때, 그리고 1000MW를 증가 시켰을 때, 반대로 북한 계통의 발전기는 현재 노후와 고장으로 인하여 추정되는 발전량보다 적다고 가정할 수 있으므로 남한의 발전량을 증가시킨 만큼 북한의 발전량을 같은 만큼만큼 줄여서 모의하였다. 이때 남한의 한 지역에서 증가시키는 방법과, 전체 계통을 끌고루 증가시키는 방법이 있는데, 후자의 방법을 써서 모의하였다.

모의 계통에서는 슬랙모션을 남한의 삼천포 발전기 중 하나를 선택하여 슬랙으로 정하였다. 따라서 발전량의 증감 없이 연계 시에도 남북한 조류의 흐름이 발생한다.

#### a. 시나리오 1

시나리오1에 따른 문산 154kV모선과 평산 220kV모선 연결시의 조류흐름도이다. 남북 발전력의 변화 없이 연결하였을 때 87MW가 북한으로 흐르는 것으로 모의되었다. 이는 북한의 슬랙모션을 고정시키고 남한의 삼천포 지역의 발전 모션을 남북한을 통틀어 하나의 슬랙모션으로 정해서 북한의 계통을 단독으로 조류 계산할 때 북한의 위원 지역에서 투입되어지는 유효 전력량을 남한의 삼천포 지역에서 부담하는 것으로 계산되어지기 때문에 생기는 결과 값이다. 연계했을 시, 서로 남북한 단독은

전을 할 때 북한의 슬랙 모선인 위원지역에서 계산되어지는 유효전력량만큼을, 조류계산 할 때 북한지역에서 발전한다고 수정하면 남에서 북으로의 조류 흐름인 87MW는 발생하지 않는다. 즉 실제 계통에서는 이러한 현상을 없앨 수 있을 것이다.

남한과 북한의 발전량을 각각 100MW 증가, 감소 시에 생기는 조류흐름도에서는 전력이 185MW가 북으로 융통되었다. 또한 북한의 중부지역에서 중남부 지역으로 남하하는 전력의 양이 조금 줄어들음을 알 수 있다. 남한과 북한의 발전량을 각각 500MW 증가, 감소 시에 생기는 조류흐름도에서는 남한의 북상조류가 눈에 띄게 증가함을 알 수가 있다. 그리고, 북한의 경우는 남하조류가 상당히 많이 줄어들음을 알 수가 있다. 특히 북한의 북서지역에서부터 계속 남하하던 조류의 흐름이 중부지역에서 북서지역으로 방향을 바꿈을 알 수가 있다. 남한과 북한의 발전량을 각각 600MW이상 증가, 감소 시에는 시스템이 발산해버리는 현상이 생긴다. 이는 154kV 선로의 최대 송전량과 관계가 있다.

b. 시나리오 2

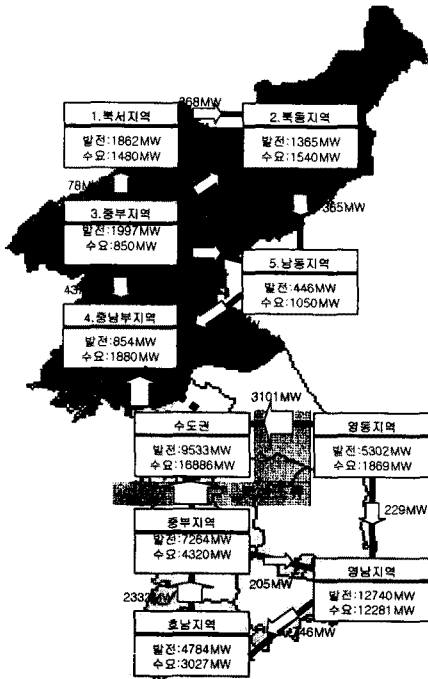


그림 2 남북한 각각 발전량 500MW 증가,감소시 양주,평양 연계

시나리오 2에서는 남한의 양주 345kV 모선과 북한의 220kV 모선을 연계하였다. 345kV 모선에 의해 연계하고 부하집중지역으로 연계를 바로 하였기 때문에, 평산과 문산 지역을 연계할 때의 경우보다 조금 더 시스템의 변화가 적고 안정도 측면에서도 좀더 안정된다고 판단된다. 또한 손실도 적으리라고 판단된다. 모의한 계통의 조류 흐름도에서도 실제로 그러한 결과가 도출되었다.

그림 2에 나타난 남북한 각각 발전량 500MW 증가, 감소 시에 양주, 평양 연계에 의한 조류흐름도에서도 시나리오 1에서의 경우와 비슷한 조류흐름도를 가지지만 시나리오 1의 경우보다 손실이 작기 때문에 연계선로에 의해 북상하는 조류가 좀더 적다.

그림 3에서는 북한에서 남하하는 현상이 줄어들었다. 시나리오1의 경우와 마찬가지로 북한의 중부지역에서 북서 지역으로 전력을 송전하는 현상이 나타난다.

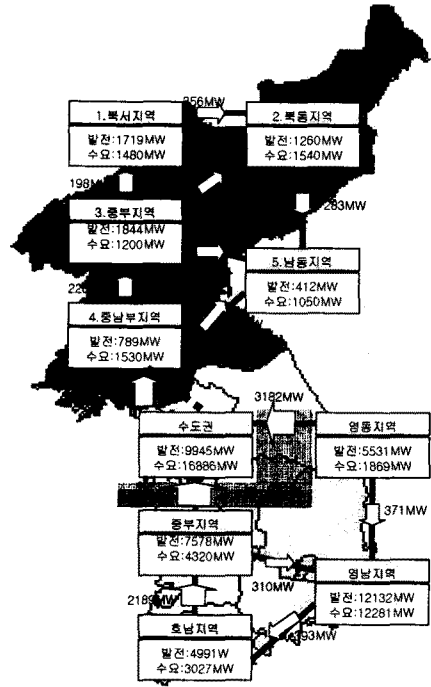


그림 3 남북한 각각 발전량 1000MW 증가, 감소시 양주, 평양 연계

c. 시나리오 3

시나리오3의 의정부는 양주와 비슷한 위치에 있는 345kV 모선이다. 따라서, 시나리오 모의 결과 시나리오와 큰 차이가 없이 비슷한 현상이 나타남을 알 수 있다

3. 시나리오별 조류 흐름 분석

표 4 연계 시나리오별 송전 용량

남한계통의 발전 증가량(MW)	0	100	500	1000	비고
북한계통의 발전 감소량(MW)	0	100	500	1000	최대 송전량(MW)
시나리오1	87	185	612	발산	600
시나리오2	80	169	547	1087	2300
시나리오3	80	168	547	1088	2300

표 4는 각 시나리오 별로 조류 계산을 하였을 때, 한에서 북한으로 융통되는 전력량을 나타낸 것이다. 나리오1은 남한과 북한의 연계운전 시 서로 가까운 거에 있으므로 건설비용이 적게 들 수 있다는 장점이 있다. 그러나 남한 154 kV선로의 한계를 고려 할 600MW미만의 전력량을 송전할 수 있다. 시나리오 2 은 비슷한 위치에 연계소를 설정하였기 때문에 거의 비슷한 결과가 나왔다. 500MW 발전량을 조정 한 후에 전 시에는 시나리오 2,3의 경우가 시나리오 1의 경우 다 훨씬 더 적은 양을 보내주어도 되는 결과가 도출되 다. 시나리오 2,3은 남한의 345kV와 북한의 부하 집 지역으로 직접 전력을 송전하므로 전압안정도도를 고려

때 시나리오 1 보다는 안정적인 결과를 도출할 것이라고 추측할 수 있다. 또한 시나리오에서 최대 2300MW까지 송전할 수 있었다. 그리고, 같은 필요량의 전력을 남한이 부담하는데 있어서 시나리오 1보다 적은 전력량을 북한으로 송전한다. 비용 면에 있어서는 345kV선로와 약 200km만큼의 거리의 선로가 필요하므로, 비용은 시나리오1보다 훨씬 더 커진다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 현재까지 나와있는 자료들을 취합하여 북한 계통을 추정하여 보았으며, 한 걸음 더 나아가 남한 실계통과 연계하여 각 시나리오에 따른 조류를 분석한 후 문제점을 찾아보고자 하였다. 그리고 효율적인 연계를 위하여 여러 가지 시나리오에 따른 시도를 해 보았다.

이번 모의 연구를 통하여 남한이 북한에 전력을 공급하게 될 때 북상 조류의 문제가 발생하게 되었고 북한의 전압 안정도 문제도 발생하였다. 따라서 남북 연계를 계획시에 이러한 문제점들을 고려해야 할 것이다. 또한, 북한의 전력 중심지가 서울과 흡사하게 평양을 중심으로 모여 있으므로, 효율적인 전력 공급과 향후 북한의 부하 증가를 생각할 때 이러한 점들을 고려할 수 있을 것이다.

향후 이러한 조류 분석은 동적 모의와 안정도모의의 시발점이 될 수 있을 것이다.

본 연구는 한국 과학 기술 평가원(KISTEP)의 특정 연구 개발 과제로 이루어진 연구입니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 신중린, "남북전력협력에 따른 기술적 논점과 대책", 전력그물기술협력회 워크숍 논문집, 43권호, 38-49페이지, 2000
- [2] "남북한 전력계통 구성방향에 관한 연구", 한국전력공사 전원계획처, 11-57페이지, 1997
- [3] "남북 전력 현황과 전망", 대한 전기학회 기술 조사보고, 제13호, 1998