

남북한 연계선로 평가 및 최적안 선정에 관한 연구

차준민* 노대석 최재석 김홍래 신중린
대진대 한국기술교육대 경상대 순천향대 건국대

A Study on Evaluation of Tie Lines between North and South Korea and its Selection of the Best Alternative

Junmin Cha Daeseok Rho Jaeseok Choi Hongrae Kim Joongrin Shin
Daejin Univ. Korea Univ. of Technology Kyeongsang Univ. SoonChunHyang Univ. Konkuk Univ.

Abstract

This paper presents the results of power flow of North-South Korea system with interconnected cases which were proposed by various present studies. PSS/E and PowerWorld Simulator were used to analyze the interconnected system with several interconnected lines alternatives. The results would be very useful to select the best alternative for interconnection with considering several evaluation terms.

1. 서론

최근, 남북협력체제의 가시화로 다양한 분야의 남북 교류가 진행되고 있다. 이와 관련된 다양한 교류방안의 하나로 남북간 전력교류가 최우선으로 고려되고 있는 시점이다. 즉, 남북한 경제협력의 일환으로 특정지역에 공업단지 조성을 추진하고 여기에 공급될 전력설비를 직접 건설하거나 남한의 전력계통과의 연계방안을 모색하고 있는 실정이다. 또한, 신포의 경수로가 건설중에 있어 완공이 되면 전력을 공급해 줄 수 있게 되어 이의 효율적인 운용방안을 마련해야 하는 시점이다.

한편, 남한의 경우에는 최근 경제위기 극복과정과 국민생활 수준 향상에 따라 지속적인 전력사용량 증가가 예상되고 있다. 또한, 첨단정보통신산업의 발달로 전력에 대한 고품질화가 사회적으로 요구되고 있다. 하지만, 신규전원의 입지확보와 송전선 경과지 확보의 어려움은 날로 증대되고 있는 실정이다. 특히 이러한 어려움은 전력산업의 구조개편에 따른 발전사업자 분할로 인하여 대규모 신규투자예 많은 어려움이 예상되고 있는 시점에서 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 또한, 북한의 경우에는 부존 발전에너지원이 비교적 풍부함에도 불구하고 계속되는 경제난으로 인하여 개발에 쉽게 착수하지 못하고 있는 실정이다. 이에 전력계통의 남북연계가 현실화되면, 남한의 기술력과 자본을 이용하여, 북한의 발전에너지원 이용과 전원입지확보를 통하여 상호 이익을 얻을 수 있을 것으로 전망되고 있다. 이와 같이 남북한 전력연계는 양측 모두에게 경제적 이익을 가져다 줄 뿐만 아니라, 나아가 북방정책과 관련하여 중국, 러시아, 일본 등과의 전력 연계 및 에너지 자원의 교류 기반을 위해 필수적인 작업이라 할 수 있다.

이와 관련하여 남북간 계통연계시의 발생하는 문제점을 파악하고, 효율적인 운용을 가능케 할 수 있는 방안

에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다. 즉, KEDO 원자력 발전소 준공에 따른 전력 전송을 위한 송전선 건설 방안 및, 남북 계통 연계시의 전원 및 송전선 설비 이용률 극대화 방안 등에 대한 연구가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 기존의 남북 연계에 관련된 연구에서 제안하고 있는 연계방안들을 평가하기 위한 기초연구에 그 목적을 둔다. 여러 조건하에서 연계계통의 조류계산을 실시하고, 계통을 분석함으로써 대체안 평가지표 선정에 필요한 기초자료를 제시한다.

2. 남북한 전력계통의 특징

2.1 남한의 전력계통

남한의 전력계통의 특징은 꾸준한 수요 신장을 들 수 있다. 1년중 최대수요는 8월에 발생하고, 그 중에서도 낮시간대에 전력수요가 높게 나타나고, 계통 운용상의 어려움이 가중되고 있다. 이에 대처하기 위해서는 막대한 전력공급설비를 추가해야할 필요가 있지만, 전원 입지 확보가 곤란한 실정이다. 또한 남한의 발전연료원은 매우 부족하여 발전용 연료의 대부분을 수입에 의존해야 한다. 한편, 최근의 발전자회사 분할 및 민영화 추진 등의 전력산업구조개편이 본격화 되고 있으며, 전력거래소 발족 이후, 기존의 계통운용 방식이 입찰에 의한 전력거래를 기반으로 한 새로운 방식으로 변경되고 있는 시점이다.

2.2 북한의 전력계통

북한의 전력계통은 먼저 전원개발 계획측면에서 보면 수력에 편중되어 있기 때문에 갈수기의 출력저하로 구조적 취약성을 가지고 있고 전력수요가 많은 겨울철의 전력난을 가중시키고 있으며, 화력발전설비도 채탄시설의 노후화, 채탄조건의 악화 등으로 인한 생산부족으로 가동률이 떨어지고 있다. 전력계통상으로는 송전전압이 220kV로 300~500kV급 초고압 간선망이 형성되어 있지 않아 지역간의 저력유통이 원활하지 못하고 송전손실이 크며, 수력발전설비의 영향으로 풍수기인 하계에는 전력조류가 동에서 서로 이동하고 갈수기인 동계에는 서에서 동으로 이동하기 때문에 전력손실이 클 것으로 추정된다. 그리고 전력 다소비형 산업구조로 인하여 전체 부하중 산업용이 85%를 차지하여 부하율이 높고 년중 최대수요가 동계에 발생하는 것이 특징이다.[1][2][3]

표 1 남북한 전력현황 비교

구분	남한	북한
송전전압(kV)	765, 345, 154	220, 154, 110, 66, 33, 22
배전전압		
• 고압(kV)	22.9, 6.6	11, 6.6, 3.3
• 저압(V)	220, 110	220, 110
주파수(Hz)	60	60
전력자원부존현황		
• 수력(발전가능)	346(142)만kW	900(500)만kW
• 화력(역톤)	16	120
• 우라늄(만톤)	2.4	2,600

2.3 남북한 계통 DATA

남북 전력연계 방안의 대체안 평가와 최적안 선정을 위해 가장 중요한 부분은 정확한 자료와 데이터의 확보에 있다고 할 수 있다. 자료 접근의 어려움 때문에 정확한 실태조차 파악하지 못하고 있는 상황에서 각 연계 방안을 평가하고 최적안을 선정한다는 것은 거의 불가능하고, 실제 평가할 수도 없다.

이에 본 연구에서는 남북 전력연계와 관련하여 기존에 국내에서 시행된 「남북 전력 현황과 전망」 등의 자료와 검토 결과에서 필요한 데이터를 취득하였다. 본 연구에서 이용한 자료는 1997년 북한계통 데이터이며 이는 러시아 자료에 기준한 것이다.

남한의 계통 데이터는 1998년 한국전력의 실제 계통 데이터를 사용하였다.

2.4 대체안별 평가지표 선정에 대한 연구방향

전원과 송전설비를 모두 고려한 복합계통에 대한 평가는 주로 상정사고에 기반을 둔 확정론적 방법을 사용하여 왔다. 이들 방법에서는 각각의 상정사고에 대하여 현재의 계통이 수용할 수 있는 최대가능전력수송량을 계산하고 동시에 어느 상정사고하에서 어떤 선로를 보강하여야 하는가의 송전선로 보강을 위한 대체안을 결정한다. 그러나 보다 합리적인 선로보강을 위해서는 복수개의 후보 대체안을 마련하고 이들을 종합적인 견지에서 상호 비교 검토함으로써 가장 적절한 대체안을 선택할 수 있다. 즉, 복수개의 대체안을 비교 검토함에 있어서는 각 대안의 투자비용과 보수유지비용, 수송능력 증강효과 그리고 입지 및 경과지 확보의 용이성 등 차원이 서로 다른 평가항목에 대해 주관적인 판단까지도 반영하여 최적안을 선정해야 한다.

본 연구는 기존의 남북 전력연계 연구에서 제안되어온 다양한 안들을 평가하는 것에 최종 목표를 두고 있다. 이 대체안에 퍼지이론을 적용하여 손실, 과부하, 연계선로 조류량 뿐만 아니라 선종, 용량, 거리, 건설기간, 소요비용 및 수송능력 향상 효과 및 공사의 난이도와 연계용이성 등과 같이 계량화하기 힘든 주관적 판단까지 고려한다면 최적의 연계선로를 선정할 수 있으리라 사료된다.

3. 사례연구

본 연구에서는 1998년 현재 계통과 1997년 북한계통(러시아자료기준 - 남북한 전력계통 구성방향에 관한 연구)의 연계방안에 대한 평가를 보인다. 남한계통의 최대부하는 34298MW이며 북한 부하는 6800MW이며, 연계방안은 그림 1에서 보이는 바와 같이 ① 간성-금강산, ② 문산-금천, ③ 문산-평산, ④ 양주345-평양, ⑤ 의정부-사리원 이다. 연계선로는 모두 2회선이고, 각 선로의 data는 모두 같으며 용량은 200 MVA로 가정한다. 비교대상 사례는 다음과 같다.

- CASE 1 : 남한과 북한계통의 data를 기준으로 연계한 경우
- CASE 2 : 북한부하 5%(340MW) 증가시키고 남한의 경인지역의 발전량을 5%(384.51MW) 증가시킨 경우
- CASE 3 : CASE 2에서 상정사고(연계선로 중 1회선)가 일어난 경우

각각의 사례에 대해서 조류계산 후 과부하선로, 연계선로에서의 조류량, 계통 총손실의 변화량을 비교하였다. 시뮬레이션에 사용된 프로그램은 PTI사의 PSS/E와 PowerWorld사의 PowerWorld Simulator이다.

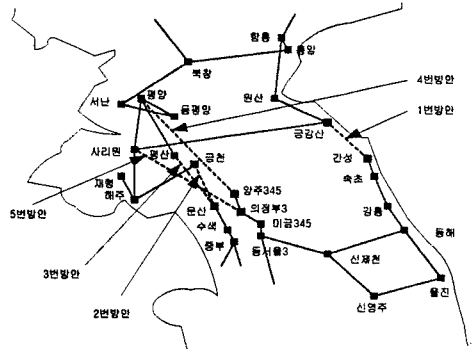


그림 1 남북한 전력연계 선로 방안

3.1 연계선로의 조류량과 계통의 총손실의 비교

표 2와 그림 2는 CASE 1과 CASE 2에서 조류량과 계통의 총손실을 비교한 것이다. 표 2에서 볼 수 있듯이 연계선로의 조류량에 따른 5가지 방안의 순위(뒤로 갈수록 조류량이 많은 경우임, 괄호 안의 숫자는 조류량 [MW])를 결정하면 다음과 같다.

- 1순위 : ⑤ 의정부3-사리원 (317 MW)
- 2순위 : ② 문산-금천 (320 MW)
- 3순위 : ④ 양주345-평양 (325 MW)
- 4순위 : ③ 문산-평산 (360 MW)
- 5순위 : ① 간성-금강산 (365 MW)

또한 연계선로의 손실에 따른 5가지 방안의 순위(뒤로 갈수록 손실이 많은 경우임, 괄호 안의 숫자는 손실

변화량MW))는 다음과 같음을 알 수 있다.

- 1순위 : ⑤ 의정부3-사리원 (-20.4 MW)
- 2순위 : ④ 양주345-평양 (-15.1 MW)
- 3순위 : ② 문산-금천 (2.9 MW)
- 4순위 : ① 간성-금강산 (52.1 MW)
- 5순위 : ③ 문산-평산 (53.6 MW)

상정사고시 연계선로의 과부하율에 따른 순위 (팔호안의 숫자 : 과부하율 %)는 다음과 같다.

- 1순위 : ⑤ 의정부-사리원 (164.1 %)
- 2순위 : ② 문산-금천 (168.5 %)
- 3순위 : ④ 양주345-평양 (177.2 %)
- 4순위 : ③ 문산-평산 (190.1 %)
- 5순위 : ① 간성-금강산 (207.6 %)

표 2 연계선로의 조류량과 계통 총손실

연계방안	조류(MW) 남한-북한		계통 총손실(MW)		
	CASE 1	CASE 2	CASE 1	CASE 2	변화량
① 간성-금강산	1	365	949.4	1001.5	52.1
② 문산-금천	0	320	949.1	952.0	2.9
③ 문산-평산	-1	360	948.7	1002.3	53.6
④ 양주345-평양	1	325	948.0	932.9	-15.1
⑤ 의정부3-사리원	-1	317	948.6	928.2	-20.4

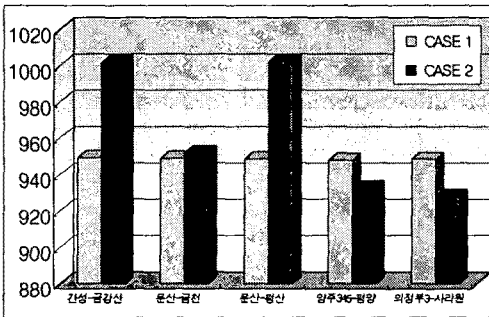


그림 2 연계방안에 따른 계통총손실

3.2 과부하율의 비교

CASE 1은 모든 경우에서 과부하선로가 나타나지 않았다. 표 3부터 표 12는 각각의 연계선로방안에 대해서 각 사례(CASE 2,3)시 과부하선로를 요약한 것이다. 여기서 첫번째 방안(① 간성-금강산)이 WORST CASE(과부하선로가 제일 많고 상정사고시 과부하율이 가장 높으므로), 4,5번째 방안(④ 양주345-평양 ⑤ 의정부3-사리원)이 BEST CASE(과부하선로가 제일 적고, 전체적인 과부하율이 비교적 낮으므로)라고 말할 수 있다. 또한 4,5번째방안(④ 양주345-평양 ⑤ 의정부3-사리원)은 전체적인 과부하율이 낮은 편이며, 1,2,3번째 방안은 대체적으로 과부하율이 높은 편임을 알 수 있다. 표 3에서 표 12를 근거로 과부하선로의 개수에 따른 5가지 방안의 순위는 다음과 같다.

- 1순위 : ④ 양주345-평양 ⑤ 의정부3-사리원
(정상시-1개, 상정사고시-2개)
- 2순위 : ② 문산-금천 ③ 문산-평산
(정상시 : 3개 - 2회선 1개, 1회선 1개)
상정사고시 : 4개 - 2회선 1개, 1회선 2개)
- 3순위 : ① 간성-금강산
(정상시 : 6개 - 2회선 3개
상정사고시 : 5개 - 2회선 2개, 1회선 1개)

3.3 최적안 선정

대체안들의 경우에는 서인천-신부평간의 345 kV 선로(2회선, 15km, OF 케이블 2,000 mm²)의 투자계획에 소요되는 비용을 참조하였다.(98년도 : 240억원, 99년도 : 286억원) 한편, 건설비를 현가화하기 위한 할인율은 8.5%로, 내용년수는 30년으로 가정하였다. 각 대체안의 거리를 추정하여 거리에 비례하는 값을 사용하였다. 또한, 조류계산 결과 각 대체안별로 구한 손실 증감분과 상정사고시 과부하율을 표 3에 정리하였다.

표 3. 각 대체안별 손실증감분 및 과부하율

대체안	손실 증감분(MW)	상정사고시 과부하율(%)
#1	52.1	164.1
#2	2.9	168.5
#3	53.6	177.2
#4	-15.1	190.1
#5	-20.4	207.6

각 대체안을 평가하기 위하여 정한 평가항목에 대한 중요도는 다음 표 4와 같이 주어졌다고 가정하였다. 위에서 가정한 중요도를 이용하여 2절에서의 퍼지측도 값을 구하고 이를 평가치와 퍼지적분한 결과가 각 대체안의 종합평가치가 된다. 이것을 표 5에 보인다. 일례로 대체안 #1의 퍼지적분과정을 그림 3에 보인다.

표 4. 평가항목별 중요도

평가항목	중요도
건설비	0.9
보수유지비	0.5
총손실	0.8
과부하율	0.4

표 5. 각 대체안의 종합평가치

대체안	평가항목	건설비	보수유지비	총손실	과부하율
#1		0.67	1.00	0.10	1.00
#2		1.00	0.15	0.40	0.90
#3		0.67	1.00	0.20	0.70
#4		0.20	0.30	0.70	0.40
#5		0.24	0.35	0.90	0.20

그림 3에서, 퍼지적분 식을 이용하면, 평가항목 1번의 평가치(1.0)과 퍼지측도값(0.07603)의 최소값을 선택하고 이와 같은 과정을 각 평가항목에 대하여 반복한다. 이 값은 0.07603, 0.19934, 0.51202, 0.1이다. 이 중에서 최대값인 0.512가 대체안 1의 종합평가치이다. 이 과정을 각 대체안별로 반복하면 각 대체안의 종합평가치를 모두 구할 수 있으며, 이 결과를 표 6에 보인다. 표 6에서 알 수 있듯이 이 종합 평가치가 가장 높은 대체안이 최적으로 결정된다. 즉, 대체안 #1과 #3의 종합평가치가 0.512로 가장 높으므로 이것이 최적이 된 것이다. 이는 중요도를 정할 때 다른 평가항목보다 건설비에 대한 중요도가 상대적으로 컸기 때문에 건설비가 다른 대체안의 경우보다 저렴해서 평가치 결과가 높은 대체안 #1,3의 종합평가치가 높은 결과로 얻어진 결론임을 알 수 있다. 즉, 중요도를 달리 정하면 이를 반영한 최적안을 선정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

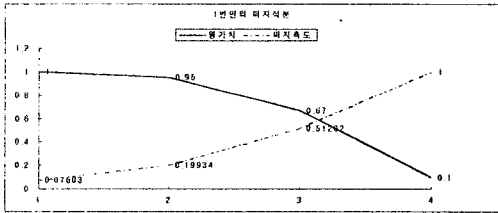


그림 3. 대체안 #1의 퍼지적분 과정

표 6. 각 대체안별 종합평가치

대체안	종합평가치
#1	0.512
#2	0.400
#3	0.512
#4	0.300
#5	0.303

4. 결론

1) 기존의 여러 자료에 불명확했던 북한 계통의 자료를 정리하여 조류계산을 할 수 있는 양식으로 변환하여 다양한 프로그램을 이용하여 조류계산을 실시하였다. 조류계산 결과 실제 계통에서 보기 힘든 전압강하 등의 결과를 보여 데이터 자체의 신뢰도에 많은 의심이 가지만, 대략적인 계통 상태를 추정할 수 있는 근거를 제시하였다.

2) 평가항목에 대한 중요도를 부여하고 이를 퍼지적분을 통해 종합평가치를 구함으로써, 평가항목별 중요도에 의해 결정되는 최적안을 달리할 수 있음을 알 수 있었다. 즉, 최적인 선정을 중요도의 선정에 따라 달리 할 수 있음을 알 수 있다.

3) 대체안별 상정사고를 고려하여 과부하율을 산정하여 반영함으로써 계통연계시에 발생할 수 있는 사고 효과를 고려하여 대체안 선정에 반영하였다.

4) 추후 더욱 정확한 북한의 데이터가 주어지고 남한의 송전설비 건설 데이터를 정확히 반영한다면 남북한 계통 현황에 맞는 최적의 연계선로를 선정할 수 있다고 사료된다.

5. 참고문헌

- [1] 대한전기학회, "남북전력 현황과 전망", 기술조사보고서 제 13호, 1997.
- [2] 한국전력공사, "한반도 전력산업의 장기 전망 및 투자부문 협력 방안.1997.
- [3] 박동욱 외, "남북한 전력계통연계", 전력계통운용 산학연 Workshop 논문집, 1998.
- [4] 차준민 외, "퍼지 다속성 의사결정문제의 감도해석을 통한 최적전원구성", 전기학회논문지, 42권 12호, pp.13-20, 1993. 12.
- [5] "퍼지이론을 이용한 최적선로보강계획", 차준민 외, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.83-86, 1999년 5월 28-29일.