

대북 전력공급 방안 연구

이강완, 남정일
(주)대화기술사, (주)프로컴시스템

A Study on South Korea's Power Supply Plan to North Korea

Kang-Wan Lee, Chung-il, Nahm
DAEHWHA Engineering & Consultants Co., Ltd., PROCOM System Co., Ltd.

Abstract - 2005년 3월에 개시된 개성시범공단에 대한 남한으로부터의 전력공급은 우선 229kV 배전 방식으로 최대 15MW까지 확보되고 있으며 6년 말까지 154kV 송전선이 건설되어 100MW 전력을 개성공단의 완공에 대비하여 공급할 것으로 알려지고 있다. 한편 정부는 작년 7월에 중대발표를 통하여 2GW의 대북 송전을 제안해 놓고 있으나 6차회담의 교착상태로 논의가 중단된 상태에 있다. 본 연구에서는 이상의 두가지 경우를 연관시켜 기술적/경제적 측면에서 가장 현실적으로 타당하다고 판단되는 몇 개의 대안에 대하여 조류계산, 전압강하, 과도안정도 및 전압안정도 문제 등을 분석하여 주로 남한의 수도권 전력수급 안정에 미치는 영향을 검토하였다.

1. 서 론

현재 실시되고 있는 개성시범공단 전력공급에서 앞으로 예상되는 2GW 대북송전에 이르기까지 적정 품질의 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 방안을 검토한다. 대북송전에서 나타날 수 있는 남북연계송전선의 전압 선택 문제 및 북한 전력계통과의 연계에 따른 전력 품질 및 안정도 문제 등을 감안하여 본 연구에서는 북한의 일정지역에 전력을 단계적으로 확대 공급하는 것으로 가정하여 대북송전 방안을 제시한다.

조류계산으로 제시된 각 대북송전 방안별 조류 및 전압 상태 등을 분석하고 필요한 경우 적정 전력계통 구성 방안 등을 제시한다. 과도안정도 해석으로 예상될 수 있는 상정사고에서 안정도 조사와 대북송전에 따라 나타날 수 있는 전압안정도 등을 분석하여 제시된 대북송전 방안의 기술적인 적합성 등을 검토한다.

2. 본 론

2.1 대북 송전 방안

대북 송전은 현재 건설중인 154kV 문산-개성 송전선에 의한 200MW를 1, 2 단계로 하고, 이후 3, 4 단계는 345kV 송전선로를 동·서 2루트로 건설하여 각각 1,000MW씩 공급하고, 5단계는 북한 서남해안에 화력발전소 1,000MW를 건설하는 것으로 가정한다. 현재 북한 전력계통은 220kV가 최고전압이며 북한 전역이 연계되어 있다. 서부의 사리원과 동해안 원산은 남한의 345kV 계통과 비교적 가까운 거리에 있어, 3단계 양주-사리원, 4단계 신가평-원산간은 345kV/220kV 연계송전선을 전제한다. 우선 단계별 송전은 1, 2단계에서는 북한계통과 분리되며 북한전력계통의 운영상황이 적정하게 되면 3, 4단계에서는 앞으로 예상되는 남북계통의 연계를 고려한다.

전력계통 해석에 사용된 계통 전원 및 구성은 전력수급 기본계획과 이에 따른 장기 송변전설비 계획을 기준한 것으로 1, 2 단계는 2010년 전력계통을 3, 4, 5 단계는 2017년 전력계통을 기준한 것이다.

<표 1> 단계별 대북 송전전력

구분	부하		개성 부하		사리원 부하		원산 부하	
	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1단계	59684	27559	100	62				
2단계	59784	27621	200	124				
3단계	69318	32152	200	124	800	496		
4단계	70318	32772	200	124	800	496	1000	620
5단계	70364	32801	200	124	800	496	1000	620

단, 대북 송전전력 역율은 85%를 가정하였다.

<표 2> 단계별 대북 전력공급 방안

구분	문산-개성	양주-사리원	신가평-원산	해주 T/P
1단계	154kV T/L 2회선			
2단계	154kV T/L 2회선			
3단계	154kV T/L 2회선	345kV T/L 2회선		
4단계	154kV T/L 2회선	345kV T/L 2회선	345kV T/L 2회선	
5단계	154kV T/L 2회선	345kV T/L 2회선	345kV T/L 2회선	500MW × 2기

<표 1>은 단계별 대북 송전전력을 그리고 **<표 2>**는 여기에 대응한 전력공급 방안을 나타낸 것이다. 즉, 처음 1단계 및 2단계에서는 문산-개성 간

에 신설될 154kV 2회선 송전선로를 이용하여 전력을 공급하고, 3단계에서는 여기에 더하여 양주-사리원 간에 345kV 2회선을 추가하여 전력을 공급하며, 4단계에서는 신가평-원산 간에 345kV 2회선을 추가하여 전력을 공급토록 한다. 최종 목표인 5단계에서는 보다 안정적인 전력공급 방안이 될 수 있도록 해주에 500MW 화력발전기 2기를 건설하여 운영토록 한다.

2.2 단계별 전력조류 상태 분석

대북 송전 단계별 전력조류계산 결과 **<표 3>**과 같이 전력 수전점인 개성 154kV, 사리원 220kV 및 원산 220kV 모선에 비교적 많은 량의 전력용 콘덴서뱅크 설치 운영이 필요한 것으로 나타났다.

<표 3> 단계별 소요 전력용 콘덴서뱅크

구분	개성 154kV S/S	사리원 220kV S/S	원산 220kV S/S
1단계	50MVAR		
2단계	100MVAR		
3단계	100MVAR	500MVAR	
4단계	100MVAR	530MVAR	740MVAR
5단계	100MVAR	530MVAR	560MVAR

2.3 전력계통 안정도 평가

전력계통 안정도 평가란 외란이 발생한 경우 지속적인 전력계통 운영 능력 정도를 의미하는 것이다. 즉, 외란 발생으로 나타난 전압, 주파수 및 계통특성과 같은 동특성 등이 제어 가능한 계통 운영 한계치 이내로 유지될 것인가를 판단하는 것이다. 안정도 해석은 전력계통에 발생한 상정사고에 대해 계통의 동기화력 유지 여부를 판정한다. 전력계통의 안정도를 평가하는 것으로 과도안정도평가지표(Transient stability index) 및 임계고장제거시간(Critical fault clear time) 등이 있다.

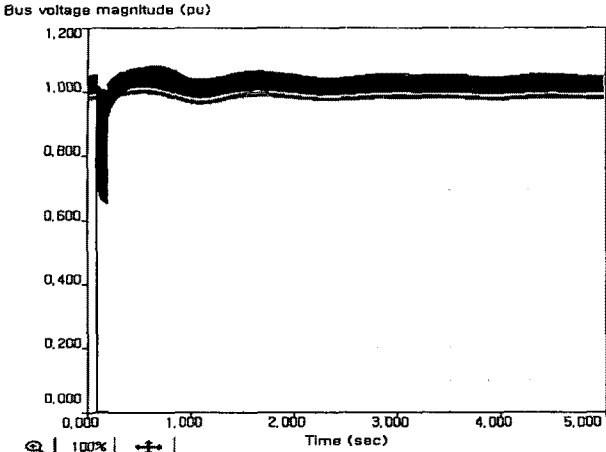
대북 송전에 따른 안정도를 평가하기 위한 상정고장은 북측 154kV 및 345kV 모선 또는 모선에 인접한 가공송전선 등에 3상 단락고장을 가정하고 해당 송전선로가 보호계전기 순시요소에 의해 개방되는 것으로 모의하였다.

<표 4> 단계별 대북 전력공급 방안별 안정도 평가 [단위 : Cycle]

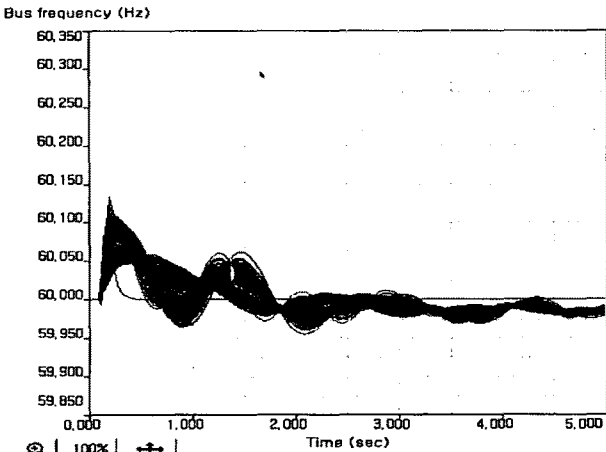
구분	상정사고	과도안정도 평가지표	임계고장 제거시간
1단계	문산 154kV 모선고장	56.25	2초 이상
	개성 154kV 모선고장	57.92	2초 이상
2단계	문산 154kV 모선고장	56.02	2초 이상
	개성 154kV 모선고장	57.06	2초 이상
3단계	양주 345kV 모선고장	53.35	35.61
	사리원 345kV 모선고장	56.35	2초 이상
4단계	양주 345kV 모선고장	54.34	35.61
	사리원 345kV 모선고장	57.15	2초 이상
	신가평 345kV 모선고장	54.23	15.13
5단계	원산 345kV 모선고장	58.57	2초 이상
	양주 345kV 모선고장	53.24	34.72
	사리원 345kV 모선고장	56.31	2초 이상
	신가평 345kV 모선고장	51.99	13.79
	원산 345kV 모선고장	56.79	2초 이상

<표 4>는 단계별 대북 전력공급 방안별 과도안정도지표 및 임계고장제거시간을 나타낸 것이다. 여기에 나타난 것은 전력 수전점인 개성 154kV 모선, 사리원 345kV 모선 및 원산 345kV 모선고장에 비하여 전력 송전점인 문산 154kV, 양주 345kV 및 신가평 345kV 모선고장이 안정도면에서 취약한 것으로 나타났다. 임계고장제거시간도 앞에서와 같이 수전점보다 송전점인 양주 345kV 및 신가평 345kV 모선고장에서 취약한 것으로 나타났다. 특히 4단계와 5단계의 경우 신가평 345kV 모선고장 동특성 모의 결과로 나타난 임계고장제거시간이 20사이클 보다 짧게 되어 이보다 더 긴 시간지연을 적용하게 되는 345kV 송전선로보호용 거리계전기의 Zone 2 및 Zone 3에 의한 고장제거는 문제가 될 수 있음을 보여주고 있다.

〈그림 1〉과 〈그림 2〉는 각각 5단계 대복송전 전력계통에서 동부지역 송전선의 수전점인 원산 345kV 모선에 3상단락고장을 모의한 것으로 154kV 및 220kV 모선전압과 주파수를 나타낸 것이다. 고장은 보호계전기 순시요소에 의해 신가평-원산 345kV 송전선로 2회선이 고장으로부터 0.1초 후 개방되는 것으로 모의한 것이다. 154kV 및 220kV 모선 전압은 고장제거 후 가벼운 진동 다음에 안정되는 것으로, 주파수는 단락고장시 상승하였다가 고장제거 후 안정 상태로 복귀하고 있다.

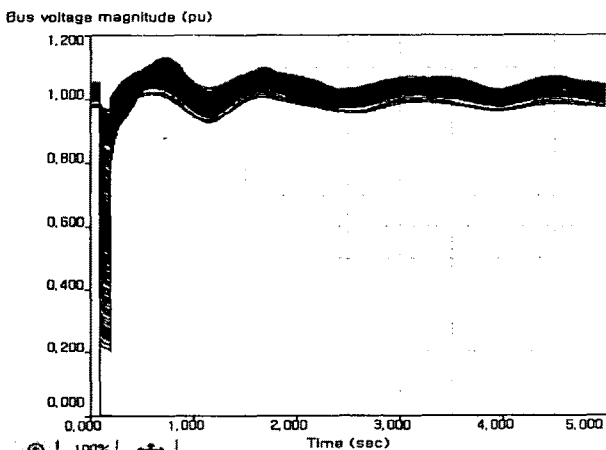


〈그림 1〉 5단계 대복송전 원산345kV 모선고장 154~220kV 모선전압

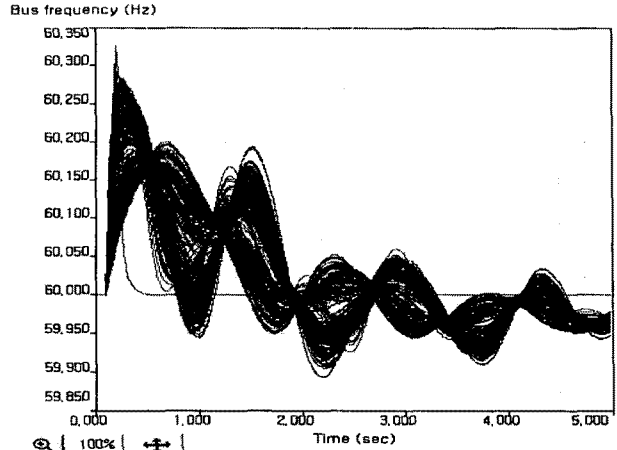


〈그림 2〉 5단계 대복송전 원산345kV 모선고장 154~220kV 모선주파수

〈그림 3〉과 〈그림 4〉는 각각 5단계 대복송전 전력계통에서 동부지역 송전을 담당하고 있는 신가평 345kV 모선에 3상단락고장을 모의한 것으로 154kV 및 220kV 모선전압과 주파수를 나타낸 것이다. 고장제거는 보호계전기 순시요소에 의해 신가평-원산 345kV 송전선로 2회선이 고장으로부터 0.1초 후 개방되는 것으로 모의한 것이다. 이 경우는 상대적으로 154kV 및 220kV 모선 전압강하가 더 심하고, 주파수도 상대적으로 더 진동한 후에 안정 상태로 복귀하는 것을 나타내고 있다.

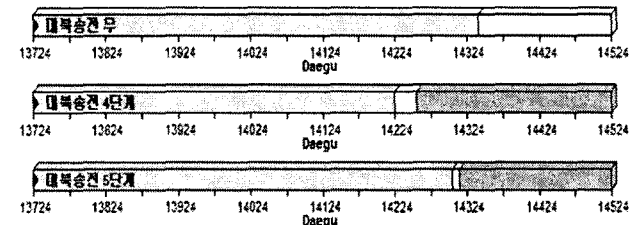


〈그림 3〉 5단계 대복송전 신가평345kV 모선고장 154~220kV 모선전압



〈그림 4〉 5단계 대복송전 신가평345kV모선고장 154~220kV 모선주파수

〈그림 5〉는 4단계 및 5단계 대복송전 관련 수도권 수요 증가에 대한 전압안정도를 분석한 것이다. 수요(Sink) 증가는 수도권으로 하고 발전(Source) 증가는 비교적 풍부한 전원이 운전되는 대구지역으로 가정하여 전압안정도를 조사한 것이다. 여기에서 보여주는 것과 같이 대복송전이 없는 경우 발전 한계까지 수도권 수요증가가 가능한 반면 대복송전의 경우 전압안정도 제약이 나타난다. 그러나 북한에 발전소를 건설하여 운영하는 것으로 가정할 5단계 대복송전이 4단계 대복송전 방안에 비하여 상대적으로 유리하게 나타났다. 물론 5단계에서와 같이 북한에 발전소를 건설하여 운영함으로써 전압 조정 측면에서도 유리하다.



〈그림 5〉 대복송전 관련 수도권 수요 증가 전압안정도

3. 결 론

남한의 전력수요가 2007년이면 6천만kW를 넘어서게 될 전망이고 전체수요의 43%를 차지하는 수도권은 유통전력 문제가 심각하여 서해안 HVDC 적용 가능성까지 검토되고 있고, 수도권 북부지역 345kV 순환계통 고장시에 전압 불안정 상태가 발생하게 된다. 여기에 대복 송전 2GW 문제가 겹치게 되면 사안은 더욱 어렵게 될 것이다.

본 논문은 개성시범공단의 전력공급에서 앞으로 예상되는 2GW 대복송전에 이르기까지 실효성이 있다고 판단되는 단계별 대복송전 방안을 제시하고 이들 방안에 대한 조류계산, 예상되는 상정사고에서의 과도안정도 및 수요 증가에 따른 전압안정도를 분석하였다. 조류계산 결과는 북한의 전력수용 지점의 수전전력 크기 및 역률에 따라 전압을 계단적으로 조정할 수 있는 전력용 콘덴서뱅크 설치 운영이 필요한 것으로 나타났고, 예상되는 상정사고에서 과도안정도는 전력을 수용하는 북측에서의 사고보다는 전력 공급지점에서의 상정사고가 안정도 측면에서 불리한 것으로 나타났다. 대복송전 연계지역 수요 증가에 따른 전압안정도는 북한에 발전소가 건설되어 운영되는 것이 유리한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 자료 조사 및 수집의 제약으로 대복송전이 북한 전력계통으로부터 분리되어 북한의 일정지역에 단계적으로 전력을 확대 공급하는 것으로 가정된 것이지만 앞으로는 북한 전력계통과의 연계를 가정한 다각적인 조사 분석이 되도록 지속적인 연구가 필요할 것이다.

【참 고 문 헌】

- [1] 남정일, "동북 Asia의 Energy망 구축 전략", 한일 기술사 합동 Symposium, Pusan/Korea, 1999, 10
- [2] 남정일, 김병섭외, "남북 전력협력을 위한 계통연계 및 대처방안", 대한전기학회, 2001, 5
- [3] 남정일, "북한의 전력현황과 대복송전방안", 과학기술단체총연합회 제3회 월례열린포럼, 2005, 8
- [4] "제2차 전력수급 기본계획(2004-2017년)", 산업자원부, 2004, 12
- [5] "TSAT User Manual", Powertech Labs Inc., Aril 2006
- [5] "VSAT Version 6.0 Installation Guide and User Manual", Powertech Labs Inc., May 2006