

극동 러시아의 전력 분할과 국가간 전력송전 전망

윤 갑 구

에이스기술단 대표이사, 한국전기·전자기술사회장

머리말

최근 동북아 지역의 에너지 환경과 경제성을 고려할 때 그 어느 때보다도 관련 국가간의 긴밀한 협력이 요망된다. 이러한 실정에서 최근에 극동 러시아의 에너지 전문가들의 발표자료를 토대로 하여 극동 러시아의 전력 분할과 국가간 전력송전 전망을 소개한다.

1. 현재 상황

발전회사와 전력회사를 포함하는 극동러시아의 전력분할은 8개의 주식회사와 3개의 연방 발전소로 구성된다. 프리모르스키(Primorskiy), 하바로브스키 크라이스(Khabarovskiy krais), 아무르스카야 오블라스트(Amur skaya Oblast)와 야쿠티아(사하)(Yakutia (Sakha)) 공화국을 포함하는 극동의 4개의 지역에 전력을 공급하는 이러한 기업들은 보스토크 연합에너지 시스템(Vostok United Energy Systems), 줄여서 유이에스 보스토크(UES "Vostok")를 구성한다. UES "Vostok"는 UES 로시야(UES Rossiya)와 연결되어 있지 않고 다만, 상대적으로 저 전력 연결, 즉 220kV 송전선로만 UES 시베

리아(UES Siberia)의 치틴스카야 시스템(Chitinskaya System)과 연결되어 있다.

UES "Vostok"의 총 설비용량은 700만kW로, 지역 전체 설비용량의 70%이다. 1999년에 극동지역의 전력 생산은 연간 성장률 6.5%를 보이고 있고, 거의 3600만 MWh에 달한다. 반면 UES "Vostok"의 전력생산은 8.8% 증가하였다. 1990년부터 시작했지만, UES "Vostok"의 설비 용량의 구성에는 변화가 없다(표 1 참조).

〈표 1〉 UES Vostok : 설비용량 구성

연 도 단 위	1990		1999	
	백만kW	%	백만kW	%
총 설 비 용 량	6.9	100	6.9	100
1. 수력 발전	1.3	19.0	1.3	19.0
2. 화력 발전	5.6	81.0	5.6	81.0
2-1. 순 발전설비	(2.3)	(32.8)	(2.3)	(32.7)
2-2. 열병합 발전설비	(3.3)	(48.2)	(3.3)	(48.3)

극동지역에서 가장 큰 두개의 발전소는 130만kW의 제이스카야(Zeiskaya) 수력발전소(HPP)와 150만kW의 프리모르스키(Primorskiy) 화력발전소(TPP)로서 두 발전소는 UES Rossiya의 자회사이다.

UES "Vostok"의 송전 계통은 시베리아 횡단 철도

(TSR)를 따라 서에서 동으로 뻗고 있는 220kV가 근간을 이룬다. 이것은 500kV 송전선로로 강화되고 있는 중이지만 아직 완전히 개발되진 않았다. 러시아-중국 국경 부근에 위치한 기간 전력의 희망상은 UES "Vostok"와 중국의 잠재적인 고객 간의 국경을 횡단하는 연계(Interconnection)의 폭넓은 다양성을 허용한다.

최근 최대 국내소비를 초과하는 전력의 생산은 그러한 수출 지향의 상호연결을 허용한다. 1990년 설비용량의 잉여는 12%였고, 1997년에는 40%에 달했다. 전력계통의 어떤 지역에서는 연료의 부족으로 전력공급의 배급제를 유도하였고, 심지어는 고객의 일부분을 차단하였다. 이러한 것은 전력의 수출가능성에 문제제기로 연결된다. 이러한 불규칙성과 1999년에 국내 수요가 현저히 증가했다는 사실에도 불구하고, 2003~2004년에 예상되는 예비 용량은 기술적으로 전기의 국내공급과 수출판매 모두의 안정성을 허용한다. 이것은 발전소로의 연료 공급에 중단이 없고 국내 전력수요의 연간증가가 5% 이내라면 현실성 있는 제안일 수 있다.

그러나 2005년까지 기대되는 국내소비의 증가와 발전설비의 노후화는 현저한 자본의 투자를 요구할 것이다. 2005년까지 현재 사용설비의 약 30%가 교체되어야 할 것이고, 2010년까지는 추가적인 10%가 최대수명 한계에 도달할 것이다. 이것은 발전설비의 물리적인 교체뿐만 아니라 현대화 및 신뢰할 만하고 효율적인 연료 대안의 선택을 부과한다.

여기서 중요한 점은 UES "Vostok"의 국경을 넘는 전력계통 연계와 전력의 수출판매는 이러한 현대화와 개발 계획에 중대한 기여를 할 것이다. 동시에 극동러시아로부터 전력을 수입하는 데에도 이익을 줄 것이다.

2. 개발 대안

최근 극동지역에는 고려해야 할 두 가지 중요한 에너지

전략이 있고, 이에 대해 부분적으로 구현되고 있다. 첫 번째 것은 석탄을 사하린(Shakalin)의 천연가스로 교체하는 데 목적으로 두고 있다. 이것은 연료공급의 안정성을 확실하게 할 것이고, 전력 발전의 효율을 높일 것이며, 전기에 대한 더 낮은 요금과 비용감소에 대한 기회를 제공할 것이다. 현재의 석탄과 석유연료의 비용이 많이 드는 장거리 공급에의 의존은 제거될 것이다. 명확하게 천연가스는 극동지역의 전력분할의 구조개혁에 대한 최선의 가능한 대안이다. 그러나 이 연료의 충분한 양의 소비가 천연가스의 가격과 사하린 프로젝트에서 국제적인 투자자들의 장기적인 동의로 모두를 충족시키는데 필수적이다.

반면, 극동지역의 수력발전의 재생가능한 자원은 전력분할의 개발에 대해 더 현실적이고 전도유망한 기회를 제공할 수 있는 것처럼 보인다. 무엇보다도 3개의 거대규모의 수력발전소(HPP) 프로젝트가 이미 수행단계에 있다. 이 중 가장 큰 프로젝트는 아무르스카야 오브라스트에 있는 제이스카야(Zeiskaya) HPP이며, 야쿠티아에 있는 비루이스카야(Viluyskaya) HPP(한 시스템에 두 발전소가 결합되어 있음) 그리고 마가단스카야 오브라스트(Magadanskaya Oblast)에 있는 코림스카야(Kolymskaya) HPP가 있다. 또한 건설중인 프로젝트 중 가장 큰 것은 아무르스카야 오브라스트에 있는 뷰레이스카야(Bureiskaya) HPP로서 이 프로젝트의 용량은 현재 건설계획중인 다른 모든 프로젝트를 능가한다(표 2 참조).

뷰레야(Bureya) 강의 두 수력발전소의 용량은 240만 kW를 넘는데, 그것은 극동 남부지역의 화력발전소에 필요한 다른 지역으로부터 송전되는 6백만톤의 석탄을 대체할 것이다. 뷰레이스카야 HPP가 완공될 때 이 지역에서의 에너지 공급은 상당히 증가할 것이다. 물론 프리모르스키와 하바로브스키 크라이스의 에너지 안정성을 증가시킬 것이고, 향후 10~15년 이내에 북동아시아 지역의 인접국, 특히 중국에 전력 수출의 가능성도 엿보인다.

〈표 2〉 극동지역 수력 발전소 : 운전중, 건설중, 계획중

프로젝트	위치	설비용량(MW)	발전전력량(십억 kWh)
운전중			
Viluykaya-1, 2	Yakutia	680	2.66
Zeiskaya	Amurskaya Oblast	1,330	4.90
Kolymkaya	Magadanskaya Oblast	900	3.28
건설중			
Bureiskaya	Amurskaya Oblast	2,000	7.20
Nizhne-Bureiskaya	Amurskaya Oblast	428	1.60
Viluykaya-3	Yakutia	360	1.20
Tolmachevskaya(a cascade)	Kamchatskaya Oblast	45	0.80
Ust-Srednekanskaya	Magadanskaya Oblast	570	2.20
계획중			
Floating HPPs on Zeya River (a cascade), including:	Amurskaya Oblast	349	2.12
Inzhanskaya	Amurskaya Oblast	126	0.72
Chagoyanskaya	Amurskaya Oblast	126	0.77
Gramatukhinskaya	Amurskaya Oblast	97	0.63
Urgalskaya-1	Khabarovskiy Krai	600	1.80

관련된 예비적인 논의와 자문은 다음의 예상 경로를 포함한다.

- 부레이스카야 수력발전소 - 할빈
 - 비킨과 프리모르스카야 화력 발전소 - 쪄하오해
 - 유슈기스크, 리포브츠키와 포그라니츠니 - 슈이펜해
 - 달네보스토츠나야(블라디보스토크)와 하산 - 훈춘
 - 블라디보스토크와 하산 - 북한
- 비록 국제적인 합의가 아직 협정되지 않았지만, 2001 ~ 2015년 기간 동안 다른 북동아시아 국가

또한 부레이스카야 HPP가 완전히 운전된다면 전기요금의 20% 절감을 조성할 것이고, 향후 전력요금의 증가를 억제할 것이다. 마지막으로 이 프로젝트는 UES "Vostok"의 수출잠재력을 상당히 증대시킬 것이다.

3. 국경횡단 연계에 대한 전망

UES "Vostok"가 이루어 놓은 현재의 모든 기술적, 경제적 평가는 중국으로의 전력수출이 타당하다는 것을 나타낸다. 전력 수출에 대한 다른 잠재적인 목적지는 북한이다. 사실, UES "Vostok"의 전력 수출에 대한 제안과 계통 연계는 20개의 다른 기술적, 지리적 대안을 포함하여 1997년부터 고려되었다. 북동 중국은 전력 수출에는 가장 천연적인 시장이다. 현재로서는 아무르스카야 오블라스트와 중국간 국경을 넘는 두 개의 사용 가능한 송전선이 있다. 이 선로는 110kV로 운전된다. 그러나 중국에 전력 시장이 있고 적절한 협정이 보충된다면 공칭 220kV 전압은 더 많은 용량이 이용될 것이다.

UES "Vostok"의 대리자에 의해 수행된 전력 수출과

에 대한 러시아 전력의 수출 잠재력은 줄잡아 어렵해도 현재 수출되는 1억kWh에서 2015년 16억kWh까지 증가할 것으로 예측된다(표 3 참조).

이러한 경로와 송전 대안(전압, 용량)은 주로 발전소와 목표 시장의 배전 변전소와의 지리적 근접의 관점에서 2006 ~ 2010부터 현실화될 것으로 여겨진다(표 4 참조).

교류에 근거한 송전선로에 더하여, 부레이스카야 HPP와 할빈 사이에 제안된 것과 같이 직류 역시 장거리, 대용량 송전에 대해서 고려되었다. 또한, 직류 송전선로는 60Hz가 표준으로 채택된 북한과 UES "Vostok"간에 제안되었다.

4. 수출을 넘어서

전력계통의 연계는 전력의 양방향 통행과 발전용량의 용통에 특히 효율적이다. 예를 들면, 중국이 아침 저녁의 최대수요를 충족시키기 위해 부레이스카야 HPP로부터 전력을 받을 기회가 있을 것이다. 반면 북한은 UES "Vostok"로부터 기저부하 용량에 대한 교환으로 수력발

〈표 3〉 UES Vostok 전력 수출 가능량(보수적 예측)

구 분	UES "Vostok" 합계		Amurenergo		Dalenergo		Khabarovskenergo	
	수 출 십억 kWh	송전용량 MW	수 출 십억 kWh	송전용량 MW	수 출 십억 kWh	송전용량 MW	수 출 십억 kWh	송전용량 MW
1999	0.12	11	0.12	11	-	-	-	-
2005	0.50	100	0.50	100	-	-	-	-
2010	1.60	400	1.00	200	0.3	100	0.3	100
2015	1.60	400	1.00	200	0.3	100	0.3	100

전소로부터 용량을 공급할 수 있다.

이러한 국경을 교차하는 전력송전 프로젝트에 대한 핵심 이슈는 가격이다. 전력수출과 또는 양방향 전력 교환의 경우에 있어서 계약 양측은 송전된 전력의 가격과 질에 만족해야만 한다. 따라서 지역 수요/공급 등식의 세부 평가는 타당성 평가의 부분으로서 매우 중요하다. 각각의 프로젝트와 실행(경로, 송전 용량과 전압)에 대한 특별한 대안은 경제적 효율을 확신하기 위해서 신중하게 선택되어야 하고, 국가간 협정에 건설한 토대를 제공한다. 그러나 500kV와 220kV로 극동러시아부터 중국으로의 국경을 넘는 전력송전 프로젝트의 예비 평가는 kWh당 0.02~0.04US\$의 가격으로 추정했을 때 수출지향의 국

경을 넘는 프로젝트의 대부분의 경우에 있어서 자본투자는 8년 이내에 수지가 맞을 것 같다는 것을 증명한다(표 5 참조).

현재, 두 정부는 국가간 블라디보스토크-하산-북한 송전선로를 고려하고 있으며, 제안된 전력자원은 새롭게 건설될 프리모르스키 크라이에 위치한 원자력발전소이다. 러시아 영토에서 송전선로의 길이는 175km이고, 원자력발전소와 두 국가 사이의 국경 근처에 건설될 변환 변전소와 연결할 것이다. 중국을 수출시장으로 생각하는 것도 매우 가능하다. 이 경우, 프로젝트의 첫번째 단계는 하산스키 지역과 이웃한 훈춘 도시와 둘러싼 지역에 전력을 공급하는 것을 목표로 할 것이다. 두번째 단계는 중국

〈표 4〉 UES "Vostok"와 중국 간 국경 횡단 송전선

경 로	거리(km)		수출 용량		수출량 십억 kWh	추정투자금액 1999년 십억 루블
	러시아	중 국	송전전력 MW	수 출 십억 kWh		
500kV						
Amurskaya-Tsitsikar	90	510	600	3,000	3,000	166
Bureiskaya-Kharbin	120	552	600	2,100	2,100/1,700	182
Khabarovskaya-Tsiyamushi	50	200	650	3,250	3,250	80
Khekhtsyur-2-Shunyashan	50	250	650	3,250	3,250	80
Primorskaya-Shunyashan	35	200	600	3,000	3,000	64
Vladivostok-Tsitz	100	150	250	1,250	1,250	70
Vladivostok-Khasan-Hunchun	175	15	130/250	650/1,250	1,250/650	56
220kV						
Klutchevaya-Tchagdagachi	50	260	100	500	500	40
Blagovestchensk-Tchagdagachi	10	25	100	500	500	35
Tanbovka-Suniye	80	20	150	750	750	14
Arkharal-Inchun	35	190	100	500	500	29
Oblutchiye-Inchun	30	170	250	1,250	1,250	26
Hydroliznaya-Fujin	20	200	150	750	750	28
Lesozavodsk-Baojin	15	140	250	1,250	1,250	20
Vladivostok-Mudanijan	100	160	150	750	750	35

〈표 5〉 중국까지의 수출지향 국경 횡단 전력송전선 : 경제적 타당성 평가

수출 루트	투자 1999년 십억 루블	수출 십억 kWh	가 격					
			US\$0.02 per kWh 경제 효율			US\$0.03-0.035 per kWh 경제 효율		
			회수기간 연	십억 루블	효 율 %	회수기간 연	십억 루블	효 율 %
500kV								
Amurskaya Tsitsikar	4,055	3,000	8	1,250	180	5	2,105	240
Bureiskaya-Kharbin	4,542	2,100	16	1,157	170	9	1,985	220
		1,700	20			16	1,125	170
Khabarovskaya-Tsiyamushi	2,028	3,250	3	2,310	220	2	3,470	281
Khekhtsyur-2-Shunyashan	2,028	3,250	3	2,310	220	2	3,470	281
Primorskaya-Shunyashan	1,588	3,000	2	2,438	260	2	3,509	330
Vladivostok-Tsitsi	1,690	1,250	12	58	104	7	283	118
Vladivostok-Khasan-Hunchun	1,386	1,250	8	191	115	4	1,084	183
		650	20			13	181	114
220kV								
Klutchevaya-Tchagdagachi	998	500	20			13	384	165
Blagovestchensk-Tchagdagachi	837	500	16	35	104	8	106	113
Tanbovka-Suniye	322	750	2	846	363	1	1,162	461
Arkharo-Inchun	725	500	14	81	112	7	135	120
Oblutchiye-Inchun	644	1,250	2	1,043	270	2	1,489	343
Hydrolniznaya-Fujin	709	750	6	250	137	4	518	177
Lesozavodsk-Baojin	499	1,250	1	1,207	353	1	1,653	446
Vladivostok-Mudanjan	837	750	8	107	113	5	375	147

으로 증가된 전력송전을 포함할 것이다. 이것은 500kV로 계통을 변환하는 것이 뒤따를 것이다. 최종적으로, 프로젝트 구현의 세번째 단계로서, 직류 설비가 계통에 통합 될 것인데, 이것은 북한 소비자의 요구를 충족시키기 위해 주파수를 60Hz로 변환시킬 수 있게 할 것이다. 완료 후, 계통은 극동 러시아, 북동 중국과 남북한 전력계통의 병렬운전을 쉽게 할 것이다.

더군다나 2010년 이후, 사하린스카야 오브라스트와 일본 그리고 프리모르스키 크라이와 한국들을 연결하는 파워 브리지(Power Bridges)에 대한 가능성이 있다. 사하린-홋카이도-혼슈 파워 브리지에 대한 개념은 대단히 잘 개발되었고 철저하게 평가되었다. 이 프로젝트의 선 타당성 연구가 유즈노-사하린스크에서 2000년 6월에 UES "Rossiya"에 의해 발표되었다. 파워 브리지 프로젝트는 사하린스카야 오브라스트의 행정부에 의해 지지받고 있고 이것의 경제적 장점은 극동과 시베리아에 위치한 연구 기관 외에 모스크바와 피츠버그의 연구 기관에 의해 독립

적으로 평가되었다. 프로젝트 개발자의 주장인 직류연구 기관은 이 프로젝트가 완료되었을 때 파워 브리지에 대한 다음 패러미터를 제안하였다.

- 복합발전 터빈(CCGT)를 사용하는 400만kW 천연 가스 열병합 발전소가 사하린에 건설될 것이고, 일본으로의 전기를 공급하기 위해 지정될 것이다.
- 1,800km의 가공, 해저 고압 직류 송전선로(HVDC)가 1,400km의 해저 케이블 구간을 갖고 (+), (-) 600kV로 운전될 것이다.
- 사하린에 건설될 400만kW용량과 홋카이도에 건설될 100만kW 용량, 혼슈섬에 지어질 300만kW의 변환 변전소를 포함하는 세 개의 변전소가 있을 것이다.
- 전력송전의 시작은 2010년으로 기대되고, 최대한의 용량은 파워 브리지가 완성되는 2012년 이후에 유효할 것이고, 투자비로 96억 US\$를 요구한다.

우리의 의견으로, 러시아의 국내 요구사항을 통합하기 위해 사하린-일본 파워브리지의 개념은 사하린스카야 오

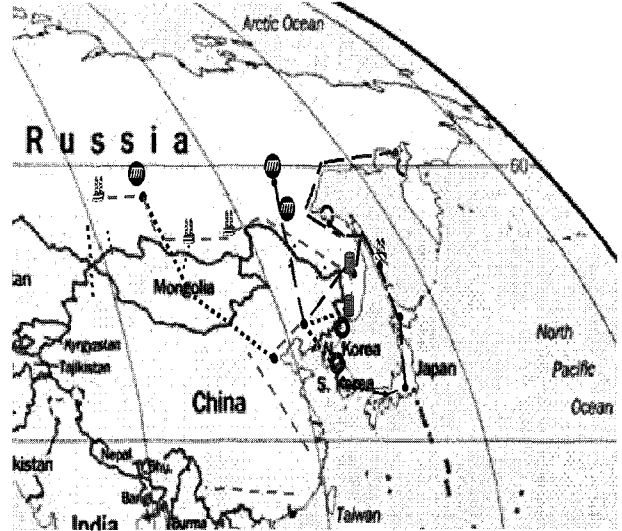
브라스트와 UES "Vostok"의 에너지 시스템과의 연계를 포함하기 위해 확장되어야 할 것이다. 이 경우에, 관련된 모든 부분이 향상된 기술적 특성과 프로젝트의 향상된 경제적 효율로부터 이익을 얻을 것이다. 이 시나리오에서 추가적인 HVDC 선로는 사하린과 하바로브스키지역을 연결할 것이다. 그런데 하바로브스키는 UES Vostok와의 연계를 위한 100만kW 용량의 변환 변전소가 설치될 지역이다.

이 결합은 겨울철 남쪽 극동지역으로의 사하린 CCGT 발전소로부터 발전된 잉여 전력의 송전을 허용할 것이다. 반면 일본에서의 하계 피크수요 동안 같은 양의 전력이 UES "Vostok"의 잉여 발전설비의 도입으로 반환될 것이다. 최대수요를 충족시키기 위한 사하린, 남부 극동 지역 그리고 일본 사이의 계절적인 융통은 설비용량 100만 kW와 대등한 것이다. 따라서 사하린과 일본 사이의 파워 브리지는 UES Rossiya와 UES "Vostok"의 유용한 연계를 통해 일본과 러시아에서 발전용량의 상호저장소를 허용할 것이다.

맺음말

결국, 극동러시아에 전력분할에 의한 향상된 효율은 국경을 넘는 에너지 전송 프로젝트에 대한 추가적인 기회를 제공할 것이다. 이것은 류레이스카야 수력발전소와 더 작은 수력발전 프로젝트의 완료, 극동 지역의 원자력 발전과 CCGT 발전을 포함하는 새로운 연료와 기술의 도입과 밀접한 관련이 있다.

수출지향 전력송전 계통의 향상된 신뢰도는 류레스카야 수력발전소의 발전출력을 흡수할 수 있는 프리모르스카야 화력발전소와 하바로브스키 크라이사이의 유사한 송전선로, UES "Vostok"와 동 시베리아 사이의 내부 연계와 220kV 송전선로의 발전인 500kV 선로의 건설을 통해 보증될 것이다. 모든 이러한 프로젝트는 극동 러시아에서의 전력분할의 향상된 효율에 긍정적으로 기여할



Possible Power Interconnections in Northeast (So call PEACE Network)
동북아에서의 가능한 전력계통연계(이른바 피스네트워크)

것이다. 동시에, 러시아 연방의 극동지역과 인접한 국가들간의 다양한 전력송전 프로젝트는 궁극적으로는 동북아시아 지역에서의 통합된 국경을 넘는 송전선로 기반을 유도할 것이다.

이 초기 단계에서, 기술적인 패러미터와 표준에서 많은 나라가 참가한 협조는 상호 요구사항을 더 빠르고 더 쉽게 채택하기 위해 필수적인 것이다. 장기적인 전망으로는, 극동러시아에서 유효한 에너지의 더 깨끗한 자원과 재사용 가능한 에너지 자원의 추가적인 개발에 대한 고려가 있을 것이다. 또한 프로젝트에 대한 여러 나라의 협조는 동북아의 지속가능한 개발과 더 높은 에너지 효율을 목적으로 하는 미래의 활동을 쉽게 할 것이다. ■

<참고자료>

1. Vladimir S. Rud and Alexander Yu. Ognev : RAO "EES Rossiya"- "Vostockenergo", Khabarovsk, Nikolai D. Gamoliya and Anna D. Filatova : "Dalenergosetproekt", Vladivostok "THE POWER SECTOR IN FAR EASTERN RUSSIA AND PROSPECTS FOR INTER-STATE POWER TRANSMISSION"
2. Kap Koo YOON, B. G. Saneev, S. P. Popov, A. D. Sokolov Power Interconnection Network in Northeast Asia: directions and problems