

豆滿江地域開發計劃(TRADP)에 關聯된 東北아시아 地域 電力系統의 連繫 및 安全性 強化方案

尹 甲 求*

Yoon, Kap Koo

요 약

북한은 전력부족난과 전기품질의 저하로 인하여 주요 생산기업에 지장을 주고 있으며, 노후 발전소의 성능저하도 함께 진행되고 있는 것으로 추정된다.

이에 대한 적절한 대책이 없는한 그 상황은 더욱 악화될 전망이다. 한반도 에너지 개발기구(KEDO)가 추진하고 있는 경수로 원자력 발전기가 6~7년 후에 준공된다고 해도 이처럼 불안정한 전력계통에 병입되어 원활한 운전이 가능 할런지 기대하기 곤란하다.

이러한 실정에서

- ① 전력부족으로 주파수가 저하될 때 우선 순위가 낮은 부하를 제한하는 자동 부하제한 방식을 포함한 자동 주파수 제어 계통개선
- ② 기존발전소 성능과 이용을 향상을 위한 재가동(Repowering) 등의 리엔지니어링
- ③ 가스터빈 복합화력과 열병합발전(Co-generation) 등과 같이 건설기간이 짧고 비용이 적게들며 송전 설비 건설도 불필요한 분산형 전원의 건설
- ④ 수력발전소와 조력발전소의 건설
- ⑤ 양수발전등 전력에너지 저장설비의 개발
- ⑥ 송전전압격상과 배전방식개선 및 종합전력정보시스템 구축
- ⑦ 남·북한 전력계통 내지는 동북아시아 전력계통을 연계하는 평화망사업(Peace Network

Project)

등의 추진이 경수로 사업에 선행되어야 한다.

특히 러시아, 중국, 한국, 일본의 발전 에너지원 분포와 연간 부하곡선을 고려할때 동북아시아 전력계통의 연계는 관련국 상호간에 에너지 환경과 경제적 측면에서 상당한 이득과 안정성을 강화해 줄 것이며, 기술발전과 평화공존에 크게 기여 할 것이다.

이를 위하여 관련국의 전력계통연계 전문가들이 참여하는 남·북한전력계통연계연합회(Co-Pia; Co-re Power Systems Interconnection Association)와 동북아시아지역전력 계통연합회(Near Pia=North-Eastern Asia Region Power Systems Interconnection Association)의 구성을 제안하는 바이다.

주요용어(Key Words): 자동주파수 제어(AFC), 리엔지니어링(Re-Engineering), 분산형 전원(Dispersed Generation System), 전력저장(Power Storage), 부하조절기(Load Conditioner), 수요관리(DSM) 연계(Interconnection), 인터시스템(Intersystem), 통합자원계획(IRP), 안전성 강화(Security Enhancement), 전력시장개방(Electricity Free Market), 통일비용(Unification Expense, Unification Cost), 남·북한전력계통연계연합회(Co-Pia), 동북아시아지역전력계통연계연합회(Near-Pia)

1. 서론

두만강지역개발계획(TRADP)과 관련하여 남·

*發送配電技術士, 韓國技術士會 常任理事, (株)ACE技術團 代表理事.

북 경제기술 교류협력 타당성조사차 1996년 6월 23일부터 30일까지 중국(CHINA 이하 CHIN로 표기)의 북경, 연길, 훈춘과 조선민주주의 인민공화국(DPRK, 이하 북한 또는 NKOR로 표기함)의 나진·선봉 자유경제무역지대 및 러시아(RUSSIA 이하 RUSS로 표기)의 핫싼, 사루비노, 블라디보스톡을 방문하였다.

방문전후에 입수한 자료와 방문기간중 측정하고 조사한 자료를 분석한 결과 NKOR의 전력사정은 발전능력 부족으로 주파수 저하 문제 및 송배전설비 불량으로 전압강하 문제가 있는 것으로 추정된다. 이와같은 문제점들에 대해 NKOR 내부에서 해

결가능한 대책과 동북아시아 지역(NEAR)의 전력계통 연계 및 안전성 강화에 대한 제안을 하고자 한다.

2. 북한과 그 주변 국가의 전력사정

가. 전력에너지 환경과 관련 경제지표

NKOR와 그 주변 국가들의 전력 에너지 환경과 관련한 주요경제 지표를 <표 1>에 나타냈다. 에너지 매장량은 RUSS와 CHIN에 치우쳐 있고, 발전량은 RUSS, JAPA, CHIN, SKOR, NKOR 순이다. 각국의 인구 증가 예상과 경제성장을 및 인구 1인당 발전량등의 에너지 환경 경제지표를 살펴볼때

<표 1> 전력 에너지 환경과 관련 경제지표^{1),2),3),4),5),6),84)}

국 가 별	RUSS (구소련)	CHIN	NKOR	SKOR	JAPAN
면적[천km] (1995.2)	17,075	9,556	121	99	378
인구[천명] (1995. 2)	150,500	1,196,980	23,265	44,655	125,360
인구전망[천명] (2010)	145,183	1,376,092	28,491	49,683	130,397
GNP[10억\$]	1,490 (1991)	480 (1991)	22 (1995)	452 (1995)	3,670 (1993)
1인당 GNP[\$]	5,086	417	923	8,483	29,795
경제성장률[%]	1.4	10.5	-4.5 (6년평균)	7.8 (6년평균)	4.0
석탄 매장량 (1988)	241,000	530,700	600	158	873
가스매장량 (1990) [10억 m ³]	52,000	1,000	-	-	36
석유 매장량 (1990) [백만 bl]	57,875	21,500	-	-	49
1차에너지 소비량 (1993) [백만 TOE]	1,119	712	67	124	456
전년대비 증가율	-9.7	4.6	7.2	8.2	1.1
수력발전 소비량 (1993) [백만 TOE]	20.1	12.4	1.1	0.5	8.7
원자력 발전소비량 (1993) [백만 TOE]	54.5	0.7	-	15.0	64.6
발전량 [백만kwh]	1,938,000 (1990)	836,429 (1993)	23,130 (1994)	164,993 (1994)	849,260 (1994)
인구1인당 발전량 (1993)[kwh/년]	5,068	589	1,008 (1994)	3,712 (1994)	7,257

CHIN와 NKOR의 전력생산 증가에 관심을 두어야
 했다.

나. 발전설비 용량

NKOR와 그 주변 국가들의 발전설비 용량을

〈표 2〉에 나타냈다. RUSS와 CHIN 및 대한민국
 (ROK, 이하 남한 또는 SKOR)과 일본(JAPAN 이
 하 JAPA로 표기)은 화력설비의 비중이 높고,
 NKOR는 수력설비의 비중이 높다.

〈표 2〉 발전설비 용량^{1),2),6)}

MW(천kw)

국 가 별	RUSS(구소련) (1990)	CHIN (1993)	NKOR (1994)	SKOR (1994)	JAPA (1994)
수 력	65,000 (19)	44,593 (24)	4,340 (60)	2,493 (7)	40,558 (18)
화 력	241,600 (70)	137,118 (75)	2,900 (40)	18,641 (56)	116,763 (53)
원 자 력	37,400 (11)	1,200 (1)	-	7,616 (23)	40,366 (18)
설 비 계	344,000 (100)	182,911 (100)	7,240 (100)	28,750 (86)	197,687 (89)
자 가 설 비	-	-	-	4,563 (14)	23,211 (11)
발 전 설 비 총 계	344,000 (100)	182,911 (100)	7,240 (100)	33,313 (100)	220,898 (100)

()내는 발전설비 총계에 대한 구성비

다. 발전량^{1), 2), 7)}

NKOR와 그 주변국가들의 발전량을 〈표 3〉에
 나타냈다. RUSS와 CHIN 및 SKOR와 JAPA은

화력발전량의 비중이 높고, NKOR는 수력발전량의
 비중이 높다.

〈표 3〉 발전량

GWh(백만kwh)

국 가 별	RUSS (구소련) (1990)	CHIN (1993)	NKOR (1994)	SKOR (1994)	JAPA (1994)
수 력	233,000 (12)	150,743 (18)	13,830 (60)	4,098 (2)	69,969 (7)
화 력	1,493,000 (77)	685,686 (82)	9,300 (40)	102,244 (56)	511,127 (53)
원 자 력	212,000 (11)	-	-	58,651 (32)	268,164 (28)
발 전 량 계	1,938,000 (100)	836,429 (100)	23,130 (100)	164,993 (90)	849,260 (88)
자 가 설 비	-	-	-	18,373 (10)	115,071 (12)
발 전 량 총 계	1,938,000 (100)	836,429 (100)	23,130 (100)	183,366 (100)	964,331 (100)

라. 표준 주파수와 표준전압

1) 표준주파수¹⁾

- 가) RUSS(모스크): 50[Hz]
- 나) CHIN: 50[Hz]
- 다) NKOR: 60[Hz]
- 라) SKOR: 60[Hz]
- 마) JAPA(동경, 동북부): 50[Hz], 남서부는 60[Hz]

2) 표준전압¹⁾

- 가) RUSS(구소련)
 - (1) 송전전압: 750, 400~500/330/220/154/110/35[kV](AC), ±400kV(DC)
 - (2) 저압 배전전압: 127/220(Y)[V]
- 나) CHIN
 - (1) 송전전압: 500/220(330)/110(154)/35(66)/10[kV]
 - (2) 저압 배전전압: 220/380(Y)[V], 2선/4선
- 다) NKOR
 - (1) 송전전압: 220/154/110/66[kV]
 - (2) 고압 배전전압: 3.3(△)kV

- (3) 저압 배전전압: 220/380(Y)[V], 2선/3선

라) SKOR

- (1) 송전전압: 345/154/(66)/22.9(22)[kV]
- (2) 고압 배전전압: 22.9(Y)/(6.6△)[kV]
- (3) 저압 배전전압: 100/200(△), 220/380(Y)[V], 2선/4선

마) JAPAN

- (1) 송전전압: 500/275/220/154/110[kV]
- (2) 고압 배전전압: 6.6[kV]
- (3) 저압 배전전압: 100/200(△)[V], 2선/3선

3. 전기품질

가. 주파수 유지현황

CHIN과 NKOR의 경우는 전국적으로 전력공급 능력이 부족하여 주파수 유지에 어려움이 있고, 주파수 변동때문에 전기시계를 사용할 수 없을 정도의 낮은 신뢰도 수준으로 알려지고 있었다.¹⁾ 그 현황을 신뢰성 있게 파악하기 위하여 관련 문헌자료를 조사하고 현지 측정 자료를 분석해 본다.^{1), 9)}

〈표 4〉 주파수유지 현황

구 분		평균	최고	최저	※1 유지율[%]	※2 변동률[%]
중국	북 경 96.6.23~24	50.0	50.1	49.9	100(100)	0.4
	연 길 96.6.24~25	50.0	50.1	50.0	100(100)	0.2
	훈 춘 96.6.25~26	50.0	50.1	50.0	100(100)	0.2
	총 합	50.0	50.1	49.9	100(100)	0.4
북한	1 차 96.6.26~28	59.1	59.8	56.7	38.8(92.0)	5.8
	2 차 96.6.28~29	59.4	59.7	59.0	68.8(100.0)	1.7
나진	총 합	59.2	59.8	56.7	47.1(94.2)	5.8

※1 유지율: 표준주파수 ±0.1[Hz], ()내는 표준주파수 ±0.2[Hz] 이내 유지비율[%]

※2 변동율 = $\frac{\text{최고} - \text{최저}}{\text{최저}} \times 100[\%]$

* 최고치가 표준보다 낮으면 표준치 적용

1) 중국

1995년도에 전국 14개의 주간 전력망중 13개 전력망의 주파수가 적정 수준을 유지했고, 5대 전력망중 서북전력망(NWPN)을 제외한 4군데의 전력망에서는 주파수 유지율이 99% 이상 합격에 달했다.^{1), 8)}

여기서 주파수 유지율은 표준주파수 50Hz를 기준으로 $\pm 0.2\text{Hz}$ 범위내의 유지시간을 연간 시간수로 나눈값을 의미한다.

CHIN의 북경과 연길 및 훈춘의 주파수를 측정한 예를 <표 4>와 <그림 1>에 나타내었다. 측정기간중의 주파수 유지율은 100[%]였고, 변동율은 0.4[%] 이내로 양호했다.⁹⁾

2) 북한

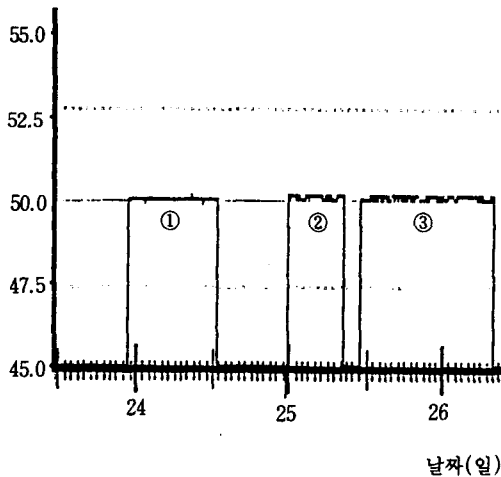
NKOR의 전력품질은 매우 낮아서 주파수가 표준주파수 60[Hz]에서 57~59[Hz]로 자주 저하하

고 있다.¹⁰⁾

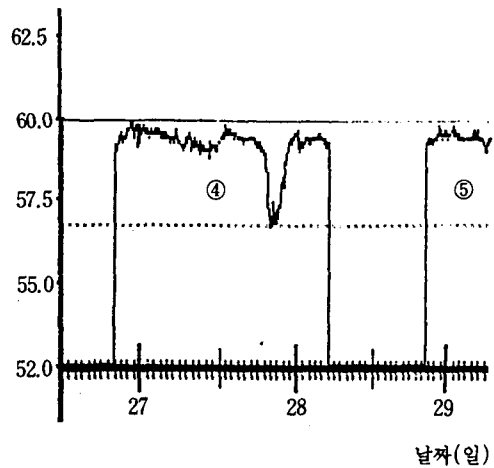
NKOR의 나진·선봉 자유경제무역지대의 주파수를 측정한 예를 <표 4>와 <그림 2>에 나타냈다. 측정기간중의 평균주파수는 59.2[Hz]였고, 56.7~59.8[Hz] 사이의 낮은 주파수로 운전되고 있었다. 표준 주파수 60[Hz]의 $\pm 0.1\text{Hz}$ 이내 유지율은 47.1[%]에 불과했으며, $\pm 0.2\text{Hz}$ 이내 유지율도 94.2[%]로 상당히 낮은 편이다.

변동율도 5.8[%]로 상당히 폭이 넓게 거치른 변동을 나타내고 있다.

참고로 SKOR의 주파수 유지율은 자동급전 시스템(SCADA/EMS)이 도입되기 이전인 1979년 상반기까지는 80[%]이하 였으나, 그후 부터는 95.0[%] 이상으로 개선되었고, 자동주파수 제어 시설과 기술의 보강 및 전력계통의 규모확충에 따라 근년에 와서는 99.9[%] 이상으로 양호하게 유지되고 있다.^{11), 12)}



<그림 1> CHIN의 북경^①, 연길^②, 훈춘^③ 주파수



<그림 2> NKOR의 나진·선봉^{④⑤} 주파수

나. 전압유지 현황

1) 중국

CHIN의 5대 전력계통 전압 유지율은 계통 표준전압의 $\pm 10\text{[%]}$ 이내를 기준으로 할 때 1993년의 경우 91[%] 이상으로 유지되었다.¹⁾

CHIN의 북경과 연길 및 훈춘에서 측정한 전압유지 현황은 <표 5>와 <그림 3>과 같다. 북경과 연길의 전압유지율은 100[%]로 양호하고 훈춘의 경우 표준전압보다 낮은 경우는 없고 높은 쪽으로 10[%]를 초과하는 경우가 있어서 유지율이 낮게 나왔다.⁹⁾

〈표 5〉 전압유지 현황

구 분		평균	최고	최저	※1 유지율[%] ()내는 220V 기준	※2 변동률[%] ()내는 220V 기준
중국	북 경 (96.6.23~24)	229.1	236	223	100	5.8
	연 길 (96.6.24~25)	234.5	240	228	100	5.3
	훈 춘 (96.6.25~26)	240.4	248	233	68.9	6.4
	총 합	234.6	248	233	84.5	6.4
북한 나진	1 차 (96.6.26~28)	194.3	209.0	177.0	31.4	24.3(18.1)
	2 차 (96.6.28~29)	199.6	207.0	188.0	73.9	17.0(10.1)
	총 합	195.9	209.0	177.0	62.6	24.3(18.1)

※1 유지율: 220±10[%] 이내 유지비율[%]

※2 변동율 = $\frac{\text{최고} - \text{최저}}{\text{최저}} \times 100[\%]$

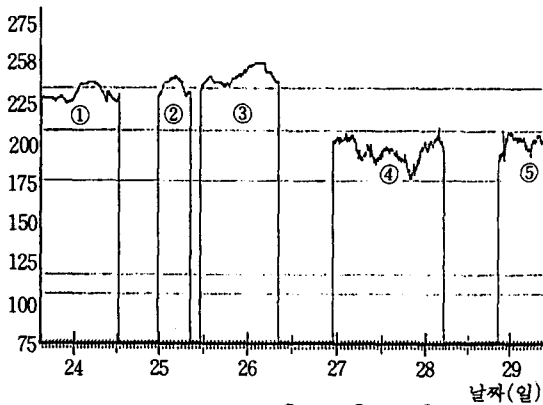
* 최고치가 표준보다 낮으면 표준치 적용

2) 북 한

NKOR의 나진·선봉 자유경제 무역지대에서 1996년 6월에 측정된 전압유지현황은 〈표 5〉와 〈그림 3〉과 같다.

측정기간중의 평균전압은 195.9[V]였고, 177.0~209.0[V] 사이의 낮은 전압으로 운전되고 있었다.

표준전압 220V를 기준으로한 ±10[%] 이내의 유지율이 62.6 [%]로서 상당히 낮은 수준이다.⁹⁾



〈그림 3〉 CHIN의 북경^①, 연길^②, 훈춘^③ 및 NKOR 나진·선봉^{④⑤} 전압

참고로 SKOR의 전압유지율은 자동급전 시스템이 도입되기 이전인 1979년 상반기까지는 90 [%]이하 였으나 그후 부터는 90[%] 이상으로 유지 되었으며, 자동전압 조정 시설과 기술의 보강으로 근년에 와서는 99[%] 이상으로 양호하게 유지되고 있다.^{11), 12)}

4. 발전능력 부족과 주파수 저하 문제

가. 발전능력 부족에 의한 주파수 저하

일반적으로 전력은 경제적으로 다량을 저장할 수 없기 때문에 소비전력의 변동에 맞추어 즉시 발전하여 공급하는 형태의 유통구조를 갖는다.

병렬운전되는 전력계통에 연결된 모든 수용가의 소비전력 합계를 총수요전력이라고 하는데 이 총수요 전력은 수용가의 전기사용 형태에 따라 시시각각으로 변동한다.

항상 변동하는 총수요 전력에 해당하는 만큼 발전출력을 조정하여 수요와 공급, 즉 수급균형을 유지시켜야 한다.

수급에 불균형이 생기면 발전기의 회전속도와 이에 비례하는 주파수가 변동한다. 총수요전력보다 발전출력이 부족하면 발전기 속도가 늦어져서 주파수가 저하되고, 발전출력이 초과하면 발전기 속도가 빨라져서 주파수가 높아진다.

이때 주파수 편차와 부하 변화량간에는 다음 식과 같은 관계가 있다.

$$\Delta f = -\frac{\Delta L}{K}(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

여기서 Δf : 주파수 편차

ΔL : 부하변화량

K : 계통 주파수 특성 정수($KG + KL$)

KG : 발전력 주파수 특성정수(보통 5~20%MW/Hz, '1971~74년 SKOR 계통 측정치 6.8~14.2%MW/Hz)

KL : 부하주파수 특성정수('1968~74년 SKOR 계통측정치 2.4~6.4%MW/Hz)

T : 계통시정수(K 의 시정수)

t : 부하변화 경과시간

대부분의 주파수 저하와 주파수 변동은 발전능력 부족과 자동주파수 제어설비의 미비에 의한 것이다.^{11)~20)}

나. 주파수 저하에 의한 발전능력 감소

계통주파수의 변동은 병렬운전되는 전력계통 전체에서 동시에 일어나는 현상이다. 즉 같은 시간에 측정된 주파수는 어느 곳에서나 동일하다. 따라서 NKOR의 나진·선봉에서 측정된 계통주파수는 이계통과 병렬운전되고 있는 모든 전력계통의 주파수와 같다. 주파수가 표준치 보다 상시 낮은 것은 전체 계통의 총수요전력보다 발전기 출력 합계가 상시 부족하다는 것을 나타내는 것이다.

주파수의 변동이 심한것은 총수요전력의 변동에 즉응해서 발전기 출력을 조정해야 하는데, 그

조정가능한 운전예비력이 없거나 자동주파수 제어 계통이 불비하다는 것을 나타내는 것이다.

저주파수 운전과 주파수 변동이 심하게 지속되면 전력계통 운용상 많은 지장을 준다.^{12)~20)}

주파수 변동에 의한 지장은 수용가 측에서 받는 영향과 전력 공급자 측에서 받는 영향이 있다. 수용자 측에서는 자동제어기나 컴퓨터 등 정밀전자 기기의 오동작, 전동기의 속도변동에 의한 제품의 생산성과 품질저하, 전기 시계의 오차발생, 광산 등에서의 조업상에 안전감소, 기기효율 저하와 수명단축 등 나쁜영향이 있다. 공급자 측에서는 발전기 자동제어 오동작, 보조설비 속도저하 및 불안정, 터빈날개 손상 등의 나쁜 영향이 있다. 여기서 공급자측에서 입는 지장이 더 가혹하다. 즉 공급자 측에서 요구되는 주파수 유지 정도가 더 엄격하다.

1) 발전소 보조설비 속도저하로 발전기 출력감소

보일러 급수펌프 등 보조설비의 속도저하로 발전기 출력이 감소하고, 발전기 냉각과 베어링 윤활유 계통의 안전에도 지장을 준다. 발전에 따라 다르지만 56.5-57.5[Hz] 이하로 저하 하면 곤란하다.¹⁵⁾

2) 증기터빈의 손상

증기터빈의 날개(blade)는 표준주파수에 상응하는 속도에서 가장 진동이 적도록 설계 되어 있다. 전력계통에 갑자기 큰 부하가 걸리거나 발전기 출력이 떨어져나가면 나머지 계통의 주파수가 저하되는데, 이때 주파수가 58.5[Hz] 이하로 저하하면 증기터빈이나 가스터빈의 날개가 공진현상(resonance)에 의해서 손상될 위험이 있다.¹⁵⁾ 주파수 저하로 발전용 터빈이 손상되면 발전능력이 감소한다. 또 발전능력이 감소하면 그만큼 공급능력 부족이 가중되어 주파수 저하가 더욱 심해지고 발전용 터빈의 성능 저하를 더욱 가속시키는 악순환이 거듭된다. 그래서 전력계통에서는 평상시 주파수를 표준주파수의 $\pm 0.1 \sim \pm 0.2$ [Hz] 범위 이내로 운전하려고 노력하며, 그렇게 하기 위한 자동제어 시스템을 구비한

다.^{11)~20)}

다. 저주파수에 의한 생산성과 품질저하

주파수가 저하한다는 것은 발전출력이 부족한 것 이므로 발전기의 전력제어기구(Power Control Mechanism)인 조속장치(Speed-Governing System)나 자동주파수 제어장치(AFC)에 의하여 발전전력을 증가 시키거나 그렇게 할 수 없을 때에는 이에 상응하는 부하전력을 제한해야 한다.¹⁷⁾

이와 같이 운전 예비력이 없으면 부하가 증가 되었을 때 주파수가 저하되어 생산성이 떨어지고, 그에 상응하는 부하를 제한하여야 하므로 결국은 생산에 지장을 주게된다. 이때 부하제한을 원활히 하지 않으면 그만큼 주파수 변동이 수반되므로 전력기기에 나쁜 영향을 주게되고 생산하는 제품들의 품질도 저하한다.^{11)~20)}

라. 전 전력계통 붕괴위험

계통주파수가 어느 이상 저하하면 터빈날개가 손상되는 것을 방지하기 위해 터빈 공급회사에서는 전력계통에 병입된 발전기를 자동으로 분리시키는 보호계전 방식을 채택하고 있다. 이 경우 주파수가 더욱 저하되고 결국은 공급과 수요의 불균형이 극심해져서 전 전력계통을 붕괴하는 위험을 초래하게 된다.¹⁹⁾

5. 송배전설비 불량과 전압저하 문제

가. 송배전 설비 불량에 의한 전압저하

전력은 발전소에서 발전하고 전압을 높여서 송전선로로 수요지까지 전송한다. 수용가 가까운곳에 이르러서 적절한 고압으로 낮춘후 고압배전선로를 이용하여 수용가 입구까지 배전하며, 저압기에는 다시 전압을 낮추어 최종 전기 사용기기에 적절한 전압으로 공급한다.

이러한 수송설비를 송배전설비라고 하는데 이 설

비는 전선로와 변압기 및 차단기등으로 구성된다. 이 설비들은 필요한 전력을 통과시킬 수 있는 용량을 갖추어야 한다.

용량이 부족하면 손실전력이 많아지고, 과부하로 온도가 상승하며 수명이 단축된다. 아울러 전압강하를 유발한다. 대부분의 전압강하와 전압변동은 송배전선로의 용량부족과 자동전압조정설비의 미비에 의한 것이다.

주파수는 전체적으로 동시에 동일한 변동을 하는데 비하여 전압은 측정하는 장소에 따라 시간과 장소마다 부하변동에 따라 다른값으로 변동한다.

따라서 한장소의 전압을 측정한 결과로 다른 장소의 전압을 일률적으로 판단하기는 곤란하다.

이번에 전압을 측정한 장소는 NKOR에서 귀빈을 영접하는 비파 초대소 였다. 더우기 이 장소는 유엔개발계획(UNDP)과 한반도에너지개발기구(KE DO)에 의하여 발전용 증유를 계속공급해 줌으로서 원활하게 재가동 되고 있는 20만kw 시설용량을 구비한 선봉(웅기)화력발전소 근처이다.²¹⁾ 따라서 이 지역의 전압이 표준전압 보다 상당히 낮고 변동이 심하다는 것은 어느 정도 다른지역의 전압 현황도 좋지 않을 것이라고 미루어 짐작할 수 있다.

나. 저전압에 의한 생산성과 품질 저하

전력사용 설비들은 모두 정격전압이 정해져 있고, 정격전압을 중심으로 일정한 범위내의 전압이 인가될 때 정상운전 되도록 되어 있다.

전압이 일정범위를 벗어나거나 변동이 심하면 전기기기의 능력이 저하 되고, 동작 신뢰도가 떨어지며, 손실전력이 증가하고, 온도가 상승되며 수명이 단축된다. 뿐만아니라 전기기기의 가동에 의해 생산되는 제품의 생산량이 줄고, 품질이 저하한다.²²⁾

다. 주파수저하와 전압저하가 중복될 때의 피해

<그림 2>와 <그림 3>에서 보는 바와 같이 큰 주

파수저하는 전압저하를 유발하는 상관관계가 있다. 이럴 때 부하기들이 받는 피해는 더욱 크다.

참고로 비교적 전기품질이 양호한 국가의 전기품질관계 통계자료를 살펴보면 공급지장율(LOLP)은 미국 0.1[일](기준), JAPA 0.3[일](기준), SKOR 0.7[일](목표 0.5일)이다. 주파수는 ± 0.1 범위내에 유지되는 유지율이 미국은 99.9[%], 일본은 99.0[%], 한국은 98.6[%]이다.

전압은 미국과 JAPA의 경우 ± 2.0 [%]이내의 유지율이 99.9[%]이고 SKOR는 ± 2.5 [%]이내의 유지율이 98.8[%]이다.⁸³⁾

6. 경수로 사업의 기술적 문제

가. 사업의 개황

NKOR 전력산업위원회(EPIC: Electric Power Industry Commission)의 예측으로 적어도 500MW 정도의 발전력 부족분을 보충하여야 한다. 이미 발전력 부족으로 정전과 부하제한이 자주 발생하여 심한 생산감소를 겪고 있다. 겨울에는 눈으로 1,000MW, 봄에는 갈수로 2,000MW 정도의 부하제한을 한번에 1시간 정도까지 해야한다.¹⁰⁾

북·미 핵협정에 의하면 NKOR의 핵확산방지로 약 2,000MW의 총발전용량을 갖는 두기의 원자로로 구성된 경수로 프로젝트(2003년을 시한으로 상정하고 있음)에서 계약, 설계, 자금조달, 기기공급을 담당할 한반도 에너지개발기구(KEDO)라고 명명된 국제적인 컨서시엄을 구성할 것을 요구한다. 컨서시엄을 대표하는 미국은 두기의 경수로중 첫번째가 운전될 때까지 난방과 발전용 증유를 NKOR가 확보할 수 있도록 제공해야 한다. 미국은 재정 부담을 가장 많이 지지 않는다고 할지라도 KEDO의 주요한 참여주체이고, 타국의 참여를 확보하기 위해 노력해야 한다. 미국과 한국 그리고 일본은 KEDO 출범 정식 참여국이고 여타 아시아 제국 및 유럽, 걸프만 제국뿐만 아니라 중국과 러시아로 부터의 협조를 구하고 있다.²³⁾

이와 관련하여 미국 컴버스천 엔지니어링사가 개발한 발전용량 1백 30만kw급 원자로를 우리나라 실정에 맞도록 한전과 원자력 연구소가 1백만kw급으로 설계개선 항목을 반영해 개량한 한국표준형 경수로 1기와 2기를 2002년과 2003년에 가동할 예정이다.²⁴⁾

나. 기술적 문제

경수로 사업과 관련하여 NKOR 전체의 전력계통용량에 비하여 대규모 단위기 용량의 원자력 발전기가 병입되는데 따르는 다음의 기술적 문제들은 상당히 해결하기 어려운 힘겨운 문제들이다.¹⁰⁾

- ① 원자력 발전소의 신뢰도를 계속 유지하는 문제
- ② 기저부하용으로 건설되는 원전으로 부하추종운전을 해야하는 문제
- ③ 안전운전 문제 등

참고로 SKOR 전력계통에서도 1965년도에 발전기 탈락등에 의한 부하변동으로 발생하는 주파수 저하로 부터 증기터빈 발전기를 보호할 목적으로 24대의 저주파수 계전기(UFR)를 설치하여 자동부하제한 방식을 적용한 바 있다. 그 당시 계통전체 부하합계는 345~567[MW] 수준이었고, UFR에 의한 부하 차단량은 147.9~211.0[MW]로 설정한 바 있었다.¹³⁾

그 후 1969년도에 서울화력 5호기 250[MW]가 계통에 병입됨에 따라 UFR을 보장한바 있다. 그것은 계통부하 최대전력 1,340[MW]에 비하여 지나치게 큰 단위기 용량의 발전기가 운전됨으로서 그 발전기가 탈락될 때 주파수 저하가 다른 발전기 운전한계 이하로 강하되는 것을 방지하기 위한 것이었다.²⁵⁾

그럼에도 불구하고 1971년 9월 27일에 서울화력 5호기가 탈락할 때 그 충격으로 계통 주파수가 57.2[Hz]까지 저하되고 이때에 다른 발전기들이 연이어 탈락됨으로 전계통이 정전된바 있었다. 이 사고직전의 전계통 발전출력 합계는 1,249[MW]였고, 서

올화력 5호기의 출력은 230[MW]였다.²⁶⁾

다. 북한 경수로 원전 운용능력 의문

북한의 노후화된 전력체계를 감안해 볼때 북한 당국이 앞으로 건설될 현대적인 원자력 발전소 2기를 운영할 능력이 있을지 의문시 된다고 미국의 한 전문가가 1996. 6. 25 주장했다. 하와이 동서센터의 로널드 하겐 연구원은 로이터 통신과의 전화 회견에서 북한도 이같은 사실을 알고는 있으나 문제는 초현대적인 원자력 발전소를 원만히 운영할 수 있는 송전설비 개선에 필요한 자금을 확보하기 어렵다는 점이라고 말했다. 하겐은 북한의 전력 부문에 관한 보고서에서 「새로 건설될 원자력 발전소의 송전용량은 북한의 현 송전 설비에 무리일지도 모른다」고 강조했다.²⁷⁾

7. 주파수 저하문제 해결방안과 자동주파수 제어계통 개선

가. 주파수 저하 문제 해결방안

주파수 저하는 발전능력 부족과 자동주파수제어 계통의 불비에서 오는 것이므로

- ① 자동주파수제어계통을 개선하는 방안
- ② 발전능력을 확충하는 방안
- ③ 전력 에너지를 시간에 따라 여유 있을때 저장했다가 모자랄때 사용 하는 방안
- ④ 인접한 다른 전력계통과 연계(Interconnection)시켜 시간과 장소에 따라 서로 남고 모자르는 전력을 융통시키는 방안등을 고려할 수 있다.¹⁴⁾

나. 자동주파수 제어계통 개선

원자력 발전소는 고정비 개념의 건설비가 비싸고 변동비 개념의 핵 연료비는 짝편이다. 그래서 운전 가동율과 발전량을 증가시킬 수록 경제적이다. 또 원자력 발전기는 핵연료의 건전성 유지를 위해서

출력변동을 억제 하고 일정 출력으로 운전시킬 필요가 있다.²⁸⁾

이와 같이 경수로 사업에 의한 발전능력 확충은 계통용량에 비하여 단위기 용량이 너무 크기 때문에 주파수 유지상 문제점이 심각하다.

따라서 6~7년후에 계통 병입이 예상되는 원자력 발전소의 준공에 앞서서 자동 주파수 제어계통을 정비하여 평상시 원자력 발전기는 일정 출력으로 기저부하(base load)를 담당하고 부하 추종운전에 적합한 첨두부하(peak load)용 발전기들이 주파수 제어를 위해 출력변동을 시키며 운전되도록 해야 한다.

또 1,000[MW]급의 대단위 용량 발전기가 갑자기 탈락되는 비상시에 대비하여 저주파수 계전기(UFR)를 적용한 자동부하제한 방식(Automatic Load Shedding Scheme)을 구비시켜야 한다.^{11), 13), 14)}

참고로 SKOR에서는 고리 원자력 1호기의 계통 병입을 앞두고 이와 같은 문제가 제기되어 1975년 2월에 자동부하 제한방식을 검토하여 적용한 바 있다.¹⁶⁾

8. 발전능력 확충 방안

가. 기존발전소 성능 개선과 이용율 제고

앞에서 제안한 자동주파수 제어계통을 아무리 개선하더라도 발전능력을 확충하지 않고는 완전한 주파수 유지 대책이될 수 없다.

따라서 발전능력 확충방안의 하나로 우선 성능이 저하된 기존발전소의 성능을 개선할 것을 제안한다.

<표 3>의 발전설비 용량과 <표 4>의 연간 발전량 통계로 부터 1994년도 SKOR의 화력발전소 이용율은 62.6%(기력 75.1% 복합 34.8%, 내연 31.6%)인데, NKOR의 화력발전소 이용율은 36.6%에 불과한 것으로 추정된다. 이것은 화력발전소 성능 문제로 가동율이 낮은것과 연료의 조달에 어려움이 있는 것도 있겠다. 어찌되었던 화력발전소의 성능

개선과 연료조달을 원활히 하여 이용율을 높일 것이 요망된다.

1991년도의 NKOR 발전량은 수력 31,750[GWh], 화력 21,750[GWh], 합계 53,500[GWh]였고 수력설비 이용율은 72.5[%]이고 화력설비 이용율은 55.2[%]였으며, 전체설비 이용율은 64.3[%]로 밝혀진 바 있다.⁶⁾

한편 1994년도의 발전량은 <표-3>에서 보는 바와 같이 수력 13,830[GWh]와 화력 9,300[GWh], 합계 23,130[GWh]로 1991년 보다 수력은 56.5[%] 감소했고, 화력은 57.2[%] 감소하여 합계 56.8[%]나 감소한 것으로 나타나고 있다.

이것은 갈수와 발전소의 노후화 및 부품의 부족 또는 화력발전소용의 연료 부족과 저질탄 등으로 발전이 여의치 못하여 크게 감소한 것으로 추정된다.^{6), 29)}

이러한 문제에 대한 대책으로는 갈수와 평수 및 풍수를 고려한 수력 운영계획의 전산화가 요망되며,³⁰⁾ 노후 발전소의 성능복구와 부품 확보 및 화력 발전용의 연료 조달이 요망된다.^{10), 21)}

NKOR에서 1991년도 수준으로 이용율을 개선한다면 약 20~40[%] 발전량을 증가시킬 수 있다.

최근 국제적으로 발전소의 성능 및 이용율 향상을 목적으로 이루어지는 재가동(Repowering), 설비 개장(Refurbishing), 성능복구(Rehabilitating), 설

비개조(Renovating), 설비격상(Upgrading), 출력증대(Uprating)등의 리엔지니어링(Re-engineering) 사업이 전력회사의 새로운 전략으로 부상하고 있다.^{29) ~36)}

나. 건설기간이 짧고 비용이 적게드는 분산형 전원의 건설

NKOR의 전력사정으로 보면 건설기간이 짧고, 건설비용이 적게 들며, 효율이 높고, 공해가 적으며, 송배전설비를 줄일수 있는 분산형전원 (Dispersed Generation System)을 채택하는 것이 바람직하다.³⁷⁾

1) 가스터빈 복합화력과 열병합발전소의 건설

이와같은 조건을 가장 만족 시킬만한 발전방식으로 가스터빈 복합화력을 권할 수 있다. 최근 가스터빈 발전은 건설기간이 2-3년으로 가장 짧다. 건설비도 450[MW] 용량의 경우 kw당 USD 500-600[불](5십만원정도)로서 비교적 경제적이다.³⁸⁾ 열소비율(heat rate)도 <표-6>과 같이 양호하다.³⁹⁾ 공해배출이 적어서 수요지점 근처에도 건설 할 수 있으므로 송전설비를 따로 건설할 필요가 없다. 효율이 일반 기력발전소의 경우 40[%] 이내인데 비하여 가스터빈 복합화력은 60[%] 가까이 개선되고 있다. 아울러 가스터빈 발전은 계통에서 주파수가 1.2[Hz] 이

<표 6> 발전방식별 열소비율과 운전유지비용

Generic Base Heat rates and Operation and Maintenance Costs

발전방식	용 량 [MW]	열소비율 [Btu/kwh]	운전유지 비용 [\$/kw-Year]	가변비 [\$/kwh]
스팀터빈	600	8,600	7	0.10
	300	9,000	8	0.15
	150	10,000	9	0.20
가스터빈	100	11,000	14	0.20
	75	12,000	15	0.25
	50	13,000	16	0.30
복 합	300	8,500	11	0.20
	150	9,600	12	0.25

상 떨어질 경우 5초 후에 40[%]의 부하 증가도 허용하면서 그 발전소는 60[%] 부하에서 운영되도록 기대된다.⁴⁰⁾

나아가서 열수요와 전력수요를 동시 공급하는 열병합발전소(Co-generation)을 건설하면 종합열효율을 90% 가까이까지 높일 수 있어서 더욱 경제적이다.⁸²⁾

2) 신기술 발전소의 건설 검토

최근 급속한 기술발전으로 실용화가 진행되고 있는 고효율, 저공해 발전설비로서 NKOR에 적용할 만한 발전방식으로 연료전지, 풍력발전, 태양광 발전 등의 검토를 권한다.^{41)~45)}

이중에 풍력발전은 전력생산에 필요한 토지수요

가 300~17,000km²·년/엑사줄(30년 수명기준)로 비교적 적다⁴³⁾ 발전단가도 <표 7>과 같이 1990년대 후반부터는 가장 저렴할 것으로 예상된다.⁴⁴⁾ 한편

<표 7> 에너지원별 발전단가

Cost of Electricity in Favorable Locations

에너지원	90년대 초	90년대 후반	2000년 이후
광 전 지	30~40 ¢	10~20 ¢	6 ¢
풍 력	7~9 ¢	5 ¢	3.5 ¢
바이오매스	5 ¢*	5 ¢	4 ¢
태 양 열	10 ¢	8 ¢	6~8 ¢
지 열	5-7 ¢	5-7 ¢	≤6 ⁺

* 적절한 쓰레기 처리비가 필요

⁺ 고열의 건조한 바위의 경우 자원 이용 효율을 향상시킬 수 있음.

<표 8> 두만강 수질

일련 번호	항목	단위	조 사 결 과			중국길림성 환경학회 측정치
			장소 1 96.6.25 14:00	장소 2 96.6.26 09:10	장소 3 96.6.29 14:15	
1	수소이온농도	-	7.6	7.7	7.8	
2	부 유 물 질	mg/l	45	144	164	상류: 1,000~4,590 하류: 200~870
3	탁 도	NTU	21	38	40	
4	COD	mg/l	17.4	18.2	19.2	BOD 봄·가을: 1.0 겨울: 18.9~33.6
5	F ⁻	mg/l	ND	ND	ND	
6	염소이온(Cl ⁻)	mg/l	14	14	10	
7	전기전도도	µS/cm	219	214	230	
8	NO ₃ ⁻	mg/l	7.8	5.3	4.4	
9	일반세균	CFU/ml	1.4 * 10 ⁴	1.5 * 10 ⁴	1.7 * 10 ⁴	
10	PO ₄ ³⁻	mg/l	0.07	0.05	0.05	
11	SO ₄ ²⁻	mg/l	33	28	20	
12	폐놀	mg/l				0.079~0.165

※ 이온성 화합물은 여과한 시료를 대상으로 IC로 분석함. (F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻)

장소 1: 中國의 防川(북한의 두만강 노동자구와 러시아의 Khasan 국경근처 두만강 하류)

장소 2: 中國의 琿春縣密江과 汪清縣凉水사이

장소 3: 북한 훈융(訓戎)

〈표 9〉 세계 에너지 소비 예측과 태양전지 시스템의 필요면적 환산(2000년)

1차 에너지 소비량 (원유환산)($\times 10^{10} \text{kl/y}$)			태양전지 시 스템	원유환산계수 ($\text{kl/m}^2 \cdot \text{y}$)		태양발전기의 필요면적 ($1 \times 10^{10} \text{m}^2$)[km^2]	
전소비량	발전분 [A ₁]	열원분 [A ₂]	변환효율 (%)	단순환산 [B ₁]	발전용 원유환산[B ₂]	A ₁ /B ₂ + A ₂ /B ₁	특지율 50%
1.404	0.421	0.983	10	0.01736	0.04960 ($\eta \sim 35\%$)	65. 11 [807]	130. 22 [1141]

기준: 1990년의 1차 에너지 소비량 $\dots 180 \times 10^6 \text{ Barrel/Day} = 1.045 \times 10^{10} \text{kl/year}$
소비신장을 3% 기준

NKOR에서는 평안남도의 양덕 은하리에 500[kw]의 실험용 발전기가 2기 설치되어 주변 지역에 전력을 공급하고 있는 것으로 알려지고 있다.⁷⁾

태양에너지 이용도 풍력과 함께 다른 화석에너지와 전면적인 경쟁을 할 수 있는 시기에와 있다.⁴³⁾ 세계에너지 소비예측과 태양전지 시스템의 필요면적을 〈표 9〉에 나타냈다.⁴⁵⁾

공업발전이 덜된 개발도상국의 입장에서 가능한 한 고효율 저공해 발전방식의 채택은 장기적으로 환경보전과 경제성 면에서 유리하다고 본다.

특히 두만강 오염수준이 이미 〈표-8〉과 같이 간과해서는 안될 상황에 달하고 있으므로 두만강지역 개발계획(TRADP)과 관련해서 수질오염 등 환경과 괴를 초래하는 일이 없도록 심혈을 기울여야 하겠다.^{9), 46)}

다. 수력발전소와 조력발전소의 건설

NKOR에는 500만kw 정도의 수력발전소가 건설되었다. 압록강, 두만강 등 40km를 넘는 하천이 138개나 흐르고 있다. 특히 NKOR에는 낙차가 크고 수량이 풍부한 하천이 비교적 많다. 더욱이 100여개의 천연호수를 비롯하여 개발가능한 수력자원은 아직 풍부하게 존재하고 있다.⁶⁾

아울러 서해안 일대의 조수간만 차이를 이용한 조력발전의 개발도 가능하다.

이미 조력발전소는 평안남도 남포와 황해북도 전율의 2개소에 설치된 것으로 알려지고 있다.⁶⁾

SKOR에서도 태안반도 근처의 가로림만 조력발전에 대하여 타당성 조사를한 결과 석유등 에너지 가격이 상승했을 때와 교량과 도로건설 및 토지조성, 양식장, 관광사업등의 부수적 사업을 고려하면 경제성이 있고 에너지 공급다변화와 자연에너지 이용이라는 측면에서 건설할 필요가 있다.⁴⁷⁾ 석유, 가스등의 부족자원이 부족한 입장에서 가급적 자연 에너지를 이용한 발전방식을 채택하는 것이 바람직하다.

9. 양수발전소등 전력에너지 저장설비 건설

가. 양수발전소 건설

양수발전소는 공휴일이나 심야등의 경부하시에 발전능력에 여유가 있고 비교적 연료비가싼 발전기가 운전되고 있을때 하부 저수지의 물을 상부 저수지로 양수 했다가 첨두부하(peak load)가 걸리는 시간에 상부저수지의 물을 하부 저수지로 떨어뜨릴 때 그 위치 에너지를 이용하여 발전하는 방식이다.

전력계통에서 양수발전은 에너지 저장설비이다. 일반적으로 양수발전은 변동하는 부하에 즉시 대처하여 발전을 할 수 있다.

양수발전은

- ① 경제부하 배분(ELD)운전
- ② 부하주파수 제어(LFC)운전
- ③ 조속기 운전(Governor Free) 이 가능하다.

최근에는 가변전압 가변주파수(VVVF) 장치에 의한 가변속 양수 발전기술도 개발되어 주파수 조

정능력을 향상시키고 있다.⁴⁸⁾

양수발전은 계통용량에 비하여 단위용량이 크고, 부하추종 운전이 불편하며 운전비가 싼 기저부하용 원자력 발전기가 계통에 병입될 때 반듯이 함께 건설해야 할 정도로 서로 보완 관계에 있는 필요한 설비이다.

경부하시에 양수부하를 부가 시킴으로서 계통부하 수준을 높이게 되어 대단위 용량이 탈락될 때 부하편차를 줄여서 주파수 저하를 경감시킨다. 또 발전력 탈락시 양수부하를 가장먼저 조절하거나 계통에서 분리 시킴으로서 생산에 지장을 주는 부하를 보호하면서 주파수를 유지시킨다. 나아가서 단시간에 부하(양수)에서 발전으로 또는 발전에서 부하로 변경시킬 수 있어서 계통 주파수 조정능력을 향상시킨다.^{45), 49)}

NKOR의 경우는 비교적 수력 자원이 풍부하고 지형 조건도 하부저수지와 상부저수지의 조성이 쉽고 경제적인 것으로 추정된다.

나. 전력 저장설비 개발

이밖에도 전력 에너지 저장설비로서 NKOR의 실정을 생각해서 권할만한 것은

- ① 압축공기 에너지 저장: 지하터널 조성이나 동굴 또는 폐갱 등을 이용하여 전력부하 평준화 도모
- ② 전지 전력저장: 전기 자동차, 직류부하 조성 등으로 전력부하 평준화 도모
- ③ 플라이 휠 저장: 단시간 전력 저장으로 조업 중단 방지
- ④ 초전도 저장: 순간 저장으로 계통 신뢰도 증진

등이 있다.^{48)~52)}

이처럼 부족전력을 공급설비 확충으로만 해결하려고 하지 말고, 전력저장 설비의 활용으로 부하율을 개선하는 등 수요관리(DSM)를 병행시키는 것이 효과적이다.⁵²⁾

10. 송배전 설비 보강

가. 송전전압의 격상과 단순화

NKOR의 송전전압은 220/154/66[kV]로서 대전력 수송을 위하여는 격상 할 필요가 있다. NKOR의 비접지방식이거나 소호리액터(reactor) 접지방식의 송전선로를 유효접지방식으로 변경시키면 송전선로의 절연수준을 그대로 두고 1.732배의 승압이 가능하다. 즉 220kV는 345kV로, 154kV는 220kV로, 110kV는 154kV로 66kV는 110kV로 각각 승압시킬 수 있다고 본다. 이렇게 할 경우 송전능력은 2~3배 증가된다.

SKOR의 경험과 통일조국을 내다본 표준화를 고려할 때 154[kV]와 345[kV] 중성점 유효접지 방식을 채택하여 장차 남·북한 전력계통연계를 쉽게 할 수 있도록 하고, 저감절연을 도모하여 경제성을 높이는 것이 좋겠다.

SKOR의 경우 1975년 9월에 345kV 초고압 송전선을 준공하여 당분간 154kV로 운전후 이듬해 345kV 송전을 개시한 바 있다.⁵³⁾ 한편 66kV와 22kV 중성점 비접지 또는 소호리액터접지 방식은 생략하기 시작하여 송전전압의 단순화를 추구하고 있다. 현재는 765kV 초초고압 송전선로의 건설을 시작하여 계속 송전전압을 격상해 가고 있다.

나. 배전 설비보강

1) 3.3kV를 5.7kV로 승압

현재의 고압배전 설비를 거의 그대로 사용하면서 배전용량을 3배 가까이 증가시킬 수 있는 승압방식을 제안한다.

그것은 현재의 3.3kV, Δ 결선, 중성점 비접지 배전방식을 5.7kV, Y결선, 중성점 접지방식으로 승압하는 것이다. 이 방식은 SKOR의 경우 1950년대 후반부터 1970년대 중반까지 매우 유용하게 활용한 바 있는 방식이다.

2) 특고압 유효접지 방식의 채택

3.3kV를 5.7kV로 승압하는 것은 근본적인 대책으

로는 미흡하다. 장차 전력사용의 증가에 대비하여 SKOR와 같이 20kV급 이상의 특고압 배전방식을 채택하는 것이 좋겠다. SKOR의 경험을 살리고, 통일 조국에 대비한 표준화를 내다본다면 22.9kV, Y결선 중성점 다중 접지방식의 3상 4선식 특고압 유효 접지 배전방식을 권한다.

3) 저압 배전설비 정비

NKOR의 저압배전 방식은 220/380(Y)(V)로 전 등부하는 2선으로 공급 하고 동력부하는 3선으로 공급하고 있다. 이 방식은 SKOR의 저압배전 방식과 일치하며 비교적 현대화한 방식으로서 상당기간 변경할 필요는 없다고 본다. 다만, 전선의 굵기와 지지물과 절연체를 정비하여 전압강하를 경감시키고, 절연파괴에 의한 누전이나 고장을 줄이도록 한다.

다. 저압 전기사용 설비의 직류화 및 직접부하제어 시스템 적용

NKOR의 가전제품 보급율은 아직 높지 않을 것이므로 새로 보급되는 전기사용 설비를 직류화 하는 것이 좋겠다. 전기 사용 설비를 직류화 하게 되면 축전지 저장에 의한 부하 평준화를 경제적으로 할 수 있다. NKOR의 전력사정으로 보아 침두부하를 억제하고 기저부하를 부양하여 부하율을 높이는 것이 공급설비 투자비를 회피시키고, 전력생산비를 절감하며 손실전력을 경감시킨다. 그렇게 하기위한 효과적 방법으로 경부하시에는 축전지에 전력을 저장했다가 전력 공급능력이 부족하고, 생산비가 비싼 침두부하시에는 축전지에 충전된 전력을 사용하는 방식이 있다. 일반적으로 이와 같은 부하조절기(Load Conditioner)는 상용전원인 교류를 직류로 변환하는 정류기와 직류를 저장하는 축전지 및 충전된 직류를 다시 교류로 변환하는 인버터를 통하여 전기 사용기기를 가동시킨다.

이때에 직류를 사용하는 전기사용 기기라면 인버터를 생략할 수 있는데 그렇게 할 경우 신뢰도 면에서나 경제적, 기술적면에서 상당히 효과적이다. 여

기에 전력공급측 사정에 따라 직접부하제어(Direct Load Control)를 할 수 있는 시스템을 구축하면 대단히 이상적인 가변부하조성(Flexible Load Shape)이 가능하다.

NKOR는 공산주의 체제이므로 전력을 상거래하는 계량 시스템이 불비 할 것이고, 전력사용의 통제와 절전관리가 어려울 것이다. 기왕에 새로 보급할 필요가 있는 전력량계를 직접부하제어 시스템과 더불어 전자식 전력량계로 구비하는 방안을 권한다. 이렇게 하면 직접부하제어(DLC)와 자동 원격검침(AMR) 등의 기능을 통합한 종합시스템 구축이 가능하여 투자효과가 증대된다.^{51), 52)}

11. 전력계통 연계

가. 남·북한 전력계통 연계

1) 연계의 필요성

국가간이나 지역간 또는 회사간 전력계통 연계는 기본적으로 다음의 세가지 이유가 있다.⁵⁴⁾

- ① 비상시 유통지원
- ② 수요구조 차이에 의한 운전비 절감
- ③ 수요구조 차이에 의한 투자비 절감

이러한 이점외에도 전력계통 연계는 인터시스템(Intersystem) 용량을 증대시키게 되어 대용량의 전원탈락이나 부하변화에 대하여 주파수 유지가 원활하고, 계통의 신뢰도가 증가하여 전기품질이 향상된다.

SKOR와 NKOR의 전력계통은 이러한 효과를 기대하기 위하여 연계할 필요가 더욱 크다.

2) 단전의 역사

역사를 돌이켜 보면 1948년 5월 14일 오전 10시 30분경 NKOR측의 전기총국장은 SKOR의 조선전업 사장에게 전화로, 약정된 송전요금을 미군 측이 청산치 않으므로 대 SKOR 송전을 단전코자 한다. 만약 한국인 동족끼리 해결할 의사가 있으면 곧 평양으로 오라는 요지의 통고가 있었다. 이에 대해 SKOR 조선전업 사장은 당국과 상의하여 확답할터

이니 단전을 유보할 것을 요청하였다. 그럼에도 불구하고 동일 12시 정각에 일방적으로 단전하고 말았다. 당시 SKOR의 전력수요량의 70~80%를 담당하여 오던 북한전력의 공급중단은 SKOR에 일찌기 없었던 전력기근을 초래하였으며 산업에 끼친 영향이란 참으로 컸던 것이다. 단전 후 SKOR의 6월 평균 출력은 58,026[kw]에 불과했다.⁵⁵⁾

3) 재연계 분위기

이러한 상황을 극복하고 SKOR와 NKOR간의 송전선 연계의 가능성에 대하여는 극히 정치적인 판단이 필요한 문제이지만 SKOR측에서는 NKOR에 대한 장기적인 지원책의 하나로서 「남·북 송전선 연계」의 구상도 고려하고 있는 것으로 보인다.⁶⁾ 한국전력공사(KEPCO)는 1993년 10월 6일 국회에 제출한 자료를 통해 「SKOR의 최대전력 수요기는 여름철과 낮시간대인 반면 NKOR는 겨울철과 밤시간대에 전기를 많이 쓰고 있다.」고 전제하고 「이같은 남·북간 전력수요 시간대의 차이를 이용 남·북한간 남아도는 전력을 나누어 쓰는 방안을 검토하고 있다」고 밝혔다. KEPCO는 1단계 전력계통의 연결방안으로 SKOR의 문산변전소와 NKOR의 황해도 변전소간을 연결한 뒤 2단계로 남한에서 전압이 가장 높은 양주변전소와 북한의 평양변전소를 연결하는 방안을 제시했다. KEPCO는 앞으로 이같은 방안을 NKOR측과 협의, 남북간 전력교환 사용을 실현시킬 방침이라고 밝혔다.⁵⁶⁾

4) 서독과 동독의 연계사례

우리와 비슷한 사정의 서독과 동독의 다음과 같은 예가 있다.

서독의 경우 1989년의 크리스마스에 베를린 장벽이 무너진지 2년, 그리고 그들이 두동강이로 찢겨져 나간지 40년이 경과해서 Bewag와 EVB는 마침내 재결합을 하기에 이르렀다. 1992년 12월 1일 전공들은 이들 두 전력회사의 베를린 설비 사이에 폴리에틸렌 케이블 2[km]를 부설함으로써 말초우(Malchow) 변전소의 25만[kVA] 변압기 두 대를 공동으로 사용할 수 있도록 110[kV] 3상의 역사적인 선로

연계를 이루게 된다. 그러나 아이러니하게도 12월 16일 서독 전력산업의 멤버로서 유럽에서 가장 높은 신뢰도를 자랑하고 있는 Bewag의 로이터웨스트(Reuter West) 발전소의 발전기 사고는 EVB의 발전용량 32만[kw]의 전력을 끌어들이야만 하였던 것이다.⁵⁷⁾

1995년 9월 13일 현재 독일에서 운전중인 연계 송전선은 중부 1지점, 남부 2지점의 합계 3지점이다. 북부의 연계선은 현재 건설중이다. 구 동·서독간의 연계로 전력회사 간의 전력유통이 기대되고 있다.⁵⁸⁾ 서독정부는 통일 직후에 트로이한트(Treuhand: Trust Fund(신탁자금)의 독일어)를 설립하였다. 1990년 이후 트로이한트는 동독의 모든 원자력발전소가 서독의 안전기준에 미달한다는 이유로 폐쇄⁵⁹⁾한 것을 필두로 1995년 말까지 도합 500만 kw가 폐지되었다.⁴⁸⁾

이와 같이 전력계통의 연계는 취약한 지역에 성능이 낮은 발전소를 폐지시킬만한 여유를 줄수도 있다.

5) 국내 연계사례

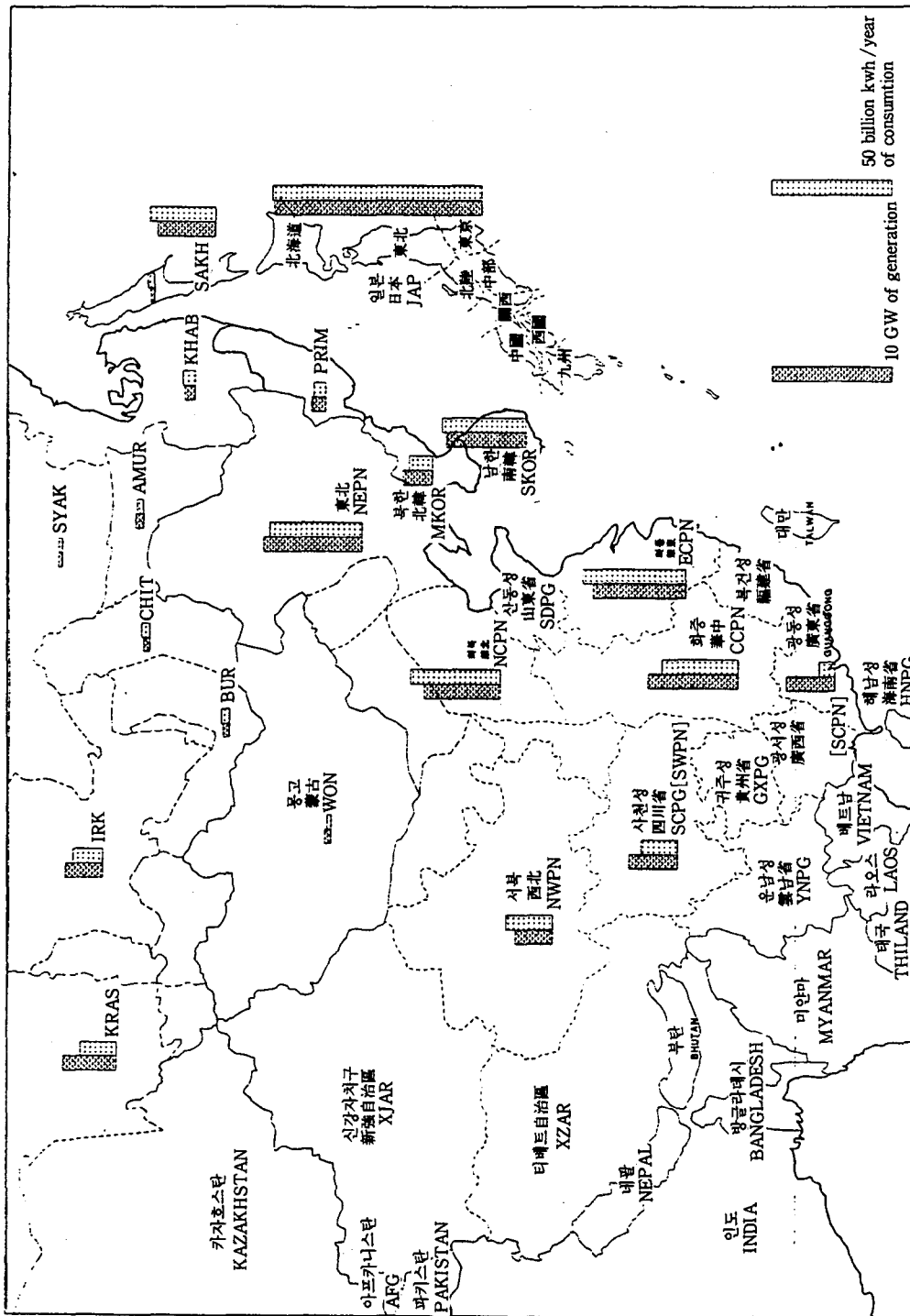
SKOR에서는 제주도와 육지간 계통연계 사업이 진행되고 있다. 이 사업은 내륙계통의 다변화 되고 저렴한 연료로 발전된 전력을 유류발전예 의존하고 있는 제주지역에 공급함으로써 제주계통의 발전원가 절감과 연료 대체효과를 가져오며, 내륙계통의 설비 이용율을 높이게 하는 것이다. 이 사업은 100[km] 정도 떨어진 거리들 180[kV] DC 2회선으로 300[MW] 정도 송전능력을 가지며, 약 3,000억원의 투자로 30년간에 걸쳐 약 340억원의 이득금액을 예상한다.⁵⁹⁾

나. 동북아시아 전력계통연계

1) 지역별 전력에너지 자원과 소비분포

최근 전세계의 전력계통(EPSS) 개발동향은 광역화와 국제화 및 대륙간 연계화로 특징 지을수 있다. 이러한 과정은 두가지 핵심적인 이점을 가지고 있다.

① EPSS의 과잉지역으로 부터 부족한 지역으로



〈그림 4〉 동아시아 권역의 서면 단위 지역별 발전 입도와 전력 소비입도
 Generation and consumption of territories in the East-Asian region

송전이 가지고 오는 수요와 효율 측면

② EPS의 연결로 인한 인터시스템(intersystem) 효과와 상호협력 개발

〈그림 4〉는 동아시아권역의 서로 다른 지역별 발전밀도와 전력 소비밀도를 나타내고 있다. 이러한 숫자들에서 볼 수 있는 바와 같이 현재 RUSS의 동부 시베리아 지역, CHIN의 남동부 지역 및 JAPA와 SKOR는 이런 관점에서 가장 발전된 지역인 것이 분명하다. 바이칼호 횡단지역, RUSS의 극동지역, 몽고(MON) 및 CHIN의 서부지역에서는 발전량 및 전력소비량이 저조하다.⁶⁰⁾

석탄매장량은 RUSS의 동시베리아 지역과 CHIN의 북부 및 북서부 지역에 집중되어 있으며, 가장 풍부한 수력발전원은 동시베리아와 RUSS의 극동지역 및 CHIN의 서부와 남부지역의 특징으로 나타나고 있다. 발전연료로서의 가스자원의 분포는 가스수송을 효율 면에서 송전과 비교한다면 연계 시스템과 국가간 전력교환에 있어서 중요한 역할을 하지 않는다. 석탄 가공의 첨단기술과 발전이 광범위하게 적용된다면 석탄자원 분포가 가지는 유사한 역할도 감소될 것이다. 국가간의 연계를 포함하는 연계 시스템과 연계선로의 개발조건은 해당권역의 연료와 에너지원의 분포에 따라 기본적으로 좌우된다. RUSS 동부의 수력발전원의 자료는 〈표 10〉에 표시되어 있다. 〈표 11〉에는 CHIN의 연료와 에너지

〈표 10〉 RUSS의 중대형 중하천의 수력발전원

지역		동시베리아	극동	합계
이론적 포장수력	TWh	849	1,008	2,396
	%	35.4	42.2	100.0
개발가능 MWh/km ²		206	164	140
기술적 개발가능	TWh	661	684	1,670
	% of Russian	39.6	41.0	100.0
	% of gross	77.9	67.9	69.7
1992 현재개발	TWh	91.8	10.8	168.4
	%	54.3	6.4	100.0
기술적 개발가능 대비 현재개발비율[%]		14.9	1.6	10.0

〈표 11〉 CHIN의 지역별 석탄과 수력자원

지역	석탄자원 10억t	수력자원 GW	설비용량	
			화력	수력
동북(NEPN)	14	12.0	25.4	6.2
화북(NCPN)	305	6.9	25.4	1.2
화동(ECPN)	31	17.9	27.7	3.8
화중+화남 (CCPN+SCPN)	18	67.4	37.1	8.7
서북(NWPN)	103	41.9	6.2	6.7
남서(SWPN)	53	232.3	9.3	6.3

자원(수력과 석탄)의 분포가 나타나 있다.⁶⁰⁾

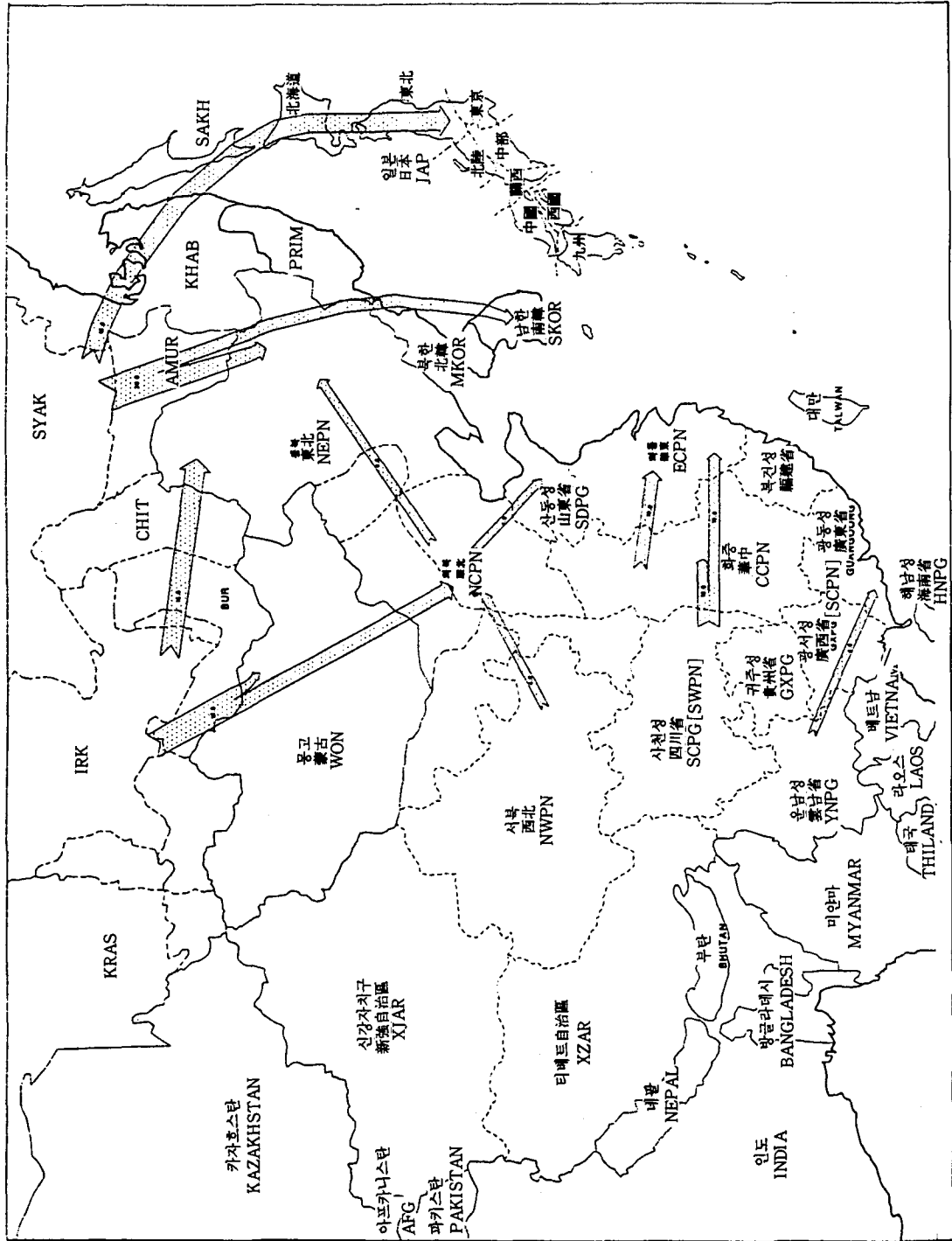
2) 전력계통연계와 관련한 국제협력 증진

전력계통연계는 국가나 지역간의 에너지 자원 소비의 격차를 원활하게 해소해 줄 수 있는 경제적이고 편리한 방안이다. 이미 유럽과 북아메리카에서는 오래전 부터 국가간에 전력연계를 이루었으며 점차로 그 범위를 확대해 가고 있다. 그 예로 중동 지역 연계 와 동유럽-중앙유럽의 연계⁶²⁾ 및 아프리카-유럽의 연계⁶³⁾ RUSS-USA의 연계⁶⁴⁾가 검토되거나 진행중에 있다.

더우기 최근에는 각 나라마다 전기사업에 대한 각종 규제가 완화되어 민영화 되고 있으며 전력시장이 개방되는 추세에 있다.

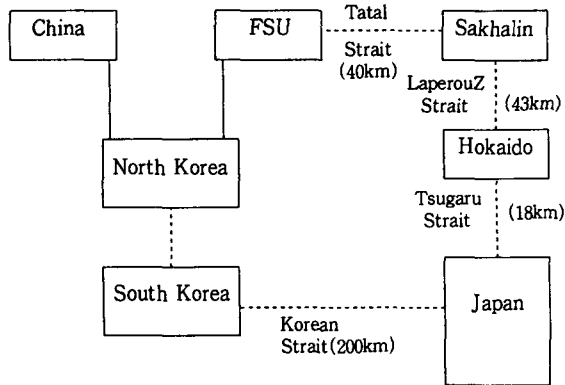
전력망 이외에도 통신망의 국제간 연계와 항공망 연계 및 철도망의 연계가 관련 국가의 경제발전과 기술교류 및 문화교류에 얼마나 많은 도움을 주며 국제협력과 평화공존에 기여하고 있는지에 대하여는 계량학적인 수치로 표현하기 어려울 만큼 크다는 것을 많은 사람들이 공감하고 있는 것이다.

이러한 국제적 배경에서 남·북한 내지는 동북아시아의 전력계통망을 연계하는 사업은 남·북한의 기술교류와 경제발전은 물론이고 긴장완화와 조국통일에 크게 도움을 줄 것으로 믿는다. 뿐만 아니라 동북아시아, 나아가서는 전세계 인류공영과 평화공존에 크게 이바지 할 것으로 기대한다.



〈그림 5〉 동아시아 지역의 전력예용

Electricity exchanges in the East-Asian region for the future(billion kwh/ year)



〈그림 6〉 극동아시아 각국의 네트워크 구성
Network Configuration of Far East Asian Countries

입수한 추정자료에 의하면 동아시아의 국가간의 전력연계는 상당한 가능성을 보이고 있다. 특정 조건과 필요조건에 따른 이러한 가능성에 대한 포괄적인 분석은 특히 에너지원의 독립성과 파트너 국가의 에너지 안정측면에서 지역내의 서로 다른 국가로부터 전문가를 초빙하는 협력조사 계약이 이루어져야 할 것이 요청되고 있다.⁶⁰⁾

이를 위하여 관련국의 전문가들이 참여하는 남·북한전력계통연계연합회(Co-Pia; Core Power Systems Interconnection Association)와 동북아시아 지역전력계통연계연합회 (Near-Pia; North-Eastern Asia Region Power Systems Interconnection Association)의 구성을 제안한다.

3) 연계방안

가) 연계방안[1]

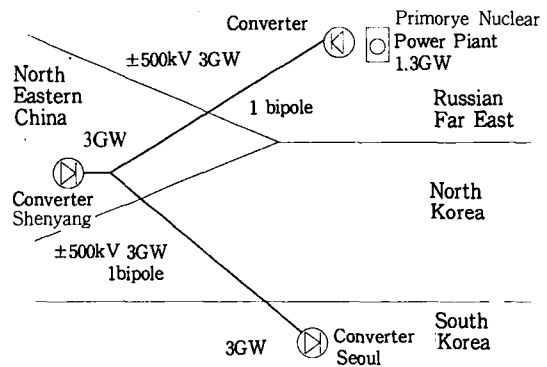
최첨단 발전설비와 고압송전선로를 고려하고 전력산업의 발전속도를 감안한 동아시아 권역국가의 경제와 에너지 분포특성 및 발전 가능성을 분석하면 미래의 동아시아 권역의 연계 시스템과 국가간의 전력교환의 경향과 규모를 평가하는 것은 가능하다. 이러한 분석결과로서 동북아시아 지역 전력계통연계 방안[1]과 전력융통 가능성을 〈그림 5〉에 나타냈다.⁶⁰⁾

나) 연계방안[2]

남·북한의 전력계통 연계를 전제로한 CHIN-NKOR-SKOR-JAPA-RUSS의 전력계통 연계방안을 〈그림 6〉에 나타냈다.⁵⁴⁾

다) 연계방안[3]

RUSS의 Primorye 원자력발전소(PNPP)와 관련한 RUSS-CHIN-SKOR의 전력계통 연계방안을 〈그림 7〉에 나타냈다. 아울러 이 방안에 대한 경제성을 〈표 12〉와 〈표 13〉에 제시 하였다.⁶⁵⁾



〈그림 7〉 러시아-중국-남한의 인터스테이트 일렉트리티아 구성

Scheme of IST "RUSSIA-CHINA-SOUTH KOREA"

〈표 12〉 PNPP와 CHIN의 동북부와 SKOR 연계시의 총 투자비 및 연간경비

Investments and annual expenditures on IST and PNPP

항 목	투자비 [mil. \$]	연간경비 [mil. \$/yr]
송 전 선 로	1170	35
변 전 소	900	90
연계 총소요금액	2070	125
원 전 건 설 비	2635	470
총 계	4705	595

〈표 13〉 경쟁발전소의 투자비와 연간경비

항 목	투자비 (mil. \$)	연간경비 (mil. \$/yr)
RUSS 극동부의 화력발전소 대체	600	116
RUSS 극동부의 예비발전소 감소	75	7
RUSS 극동부의 총 투자액	675	123
CHIN동북부 화력발전소 대체	840	162
CHIN동북부 화력발전소 감소	3000	349
CHIN동북부 예비발전소 감소	150	12
CHIN동북부 화력발전소	-	-27
CHIN동북부 총 투자액	3990	496
SKOR 화력발전소 대체	1920	293
SKOR 화력발전소 감소	2080	240
SKOR 예비발전소 감소	100	9
SKOR 부하관리 화력발전소	-	-66
SKOR 총 투자액	4100	476
합 계	8765	1095

라) 연계방안[4]

RUSS의 극동부(FER)와 CHIN의 동북부(NEC) 및 SKOR의 전력계통연계 대안에 대한 주요기술경제지표를 〈표 14〉에 나타냈다.

4) 기타 연계자료

참고로 아일랜드/영국간 케이블 연결제안을 〈표 15〉에 나타냈다.⁶⁶⁾

송전전압별 비용 예는 〈표 16〉에 나타냈다.⁶⁷⁾

RUSS-USA간 전력계연계안을 〈그림 8〉에 나타냈다. 이 사업은 ±750[kV] DC 송전으로 10[GW]를 유통시킬 예정인데, 약 200[억\$]이 소요될 전망이다.⁶⁸⁾

다. 평화망 사업(PEACE NETWORK PROJECT) 제안

두만강지역개발계획(TRADP)과 관련한 경제 기술교류 협력 타당성조사⁹⁾ 등을 통하여 입수한 자료를 분석한 결과 한반도 통일을 내다보고 주변국가의 에너지 환경과 경제성을 고려한 남·북한 및 동북아시아 전력계통 연계의 필요성이 더욱 중요하게 대두되었다.

앞에서 소개한 이미 제안된 연계 방안들도 기술적, 경제적 타당성이 인정된다. 여기서는 한반도의 특수한 대치상황과 에너지 환경 및 경제성을 종합적으로 고려할 때 전력경제 발전과 청결한 에너지 공급에 혁신적으로 기여하게 될 평화망 사업

〈표 14〉 FER-NEC-SKOR 전력계통연계 대안의 주요기술 경제지표

Main techno-economic indexes for the alternatives for the interconnection of the EPSs of Far-Eastern Russia(FER), North-Eastern China(NEC) and South Korea(SKOR)

d는 할인율

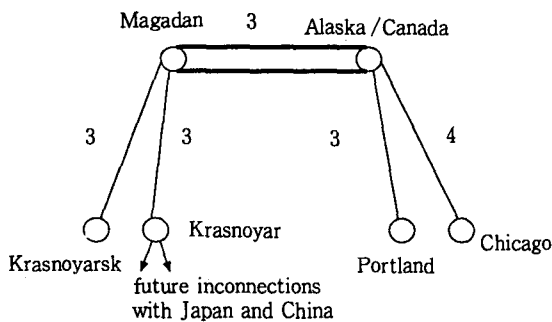
발전원	Uchursk 수력발전 : 3.7GW 극동 원자력발전 : 2.5GW					
	NEC	SKOR	NEC-SKOR	NEC	SKOR	NEC-SKOR
송전점						
연계용량[GW]	4	4-8	4-8	5	5	5
연계구장[km]	2,700	3,500	3,500	1,600	2,000	2,300
선로비용 [bil.\$]	2.5	2.9-3.9	3.4-4.5	2.0-2.3	2.2-2.5	3.0-3.5
총사업비용 [bil.\$]	8.4	8.8-9.9	9.4-10.4	6.0-6.7	6.2-7.2	7.0-8.2
교체투자비 [bil.\$]	3.3-3.75	3.2-4.7	4.5-5.9	3.8-4.2	4.3-4.7	6.1-6.5
연료절감비 [mil.\$]	40-56	55	55	50	57	53
순이익 d=6%,[mil.\$]	3.3-4.9	4.3-5.4	5.1-6.1	0.0-2.7	0.8-3.5	0.5-3.2

〈표 15〉 아일랜드/ 영국 케이블 연결제안
Proposed Iceland/ Uk Cable Connection

항 목	현 재	장 래
케이블당 정격 용량[MW]	550	750
정격전압(bipole)[kV]	±400	±500
부하율[%]	100	100
정격전류[A]	1,375	1,500
전선의 크로스섹션[mm ²]	1,400	1,600
최대 전계강도[MW/m]	30	35
전압강하(935km)[%]	4.4	3.3
정상 전력수송비 (8000 hrs)[p/kWh]	2.3~2.9	-
가동율[%]	96	-

〈표 16〉 송전전압별 비용예
Costs of Alternatives for an 8-gW Transmission Line over 2400km (\$ 10⁹)

전 압	1050 kV AC	±600 kV DC	±800 kV DC
투 자 비	3.089	2.454	2.470
손 실 비	1.204	1.308	1.154
합 계	4.293	3.762	3.624



3-the length of transmission lines, thousands of km
Capacity of each transmission-10GW

〈그림 8〉 RUSS-USA간 ±750[kV] DC 송전망
The Transmission Network ±750[kV]
Direct Current RUSSIA-USA

「PEACE(Power Economic And Clean Energy) NETWORK PROJECT」을 〈그림 9〉와 같이 제안한다.

이 평화 망 사업(PEACE NETWORK PROJ-

ECT)는 1단계 사업으로 남·북한의 전력계통을 연계하고, 2단계 사업으로 동북아시아 전력계통을 연계하는 것이며, 3단계 사업으로는 동북아시아 전력계통을 환상(LOOP) 네트워크로 구성하는 것이다.

1) 1단계 사업: 남·북한 전력계통 연계

남·북한의 전력계통 연계는 계절별 시간별로 전력수요 구조차이에 의한 서로의 전력 생산비를 절감하고, 비상시 전력용량을 기할 수 있으며, 규모가 적거나 취약한 계통측의 안전성을 강화시킬 수 있다. 따라서 남북한의 전력계통 연계는 앞에서 지적한바 있는 NKOR의 경수로 프로젝트와 같이 계통설비용량에 비하여 단위기 용량이 지나치게 큰 발전기를 계통에 병입하는 경우 안전하게 운전할 수 있는 여건을 조성하는데 크게 기여하게 된다.

남·북한 연계방안은 이미 SKOR에서 제안한 바 있는 문산 변전소와 개성 부근 변전소 및 양주 변전소와 평양부근 변전소를 교류(AC) 154kV 내지 345kV 송전선로 연계할 수 있겠다. 연계운용은 초기단계와 NKOR 전력계통의 안전성 수준에 따라 일부 지역을 분리운전 하거나, 남·북한 전력조류(Power Flow) 제어장치 또는 지역계통 안정화 장치등의 적용이 필요할 것이다.

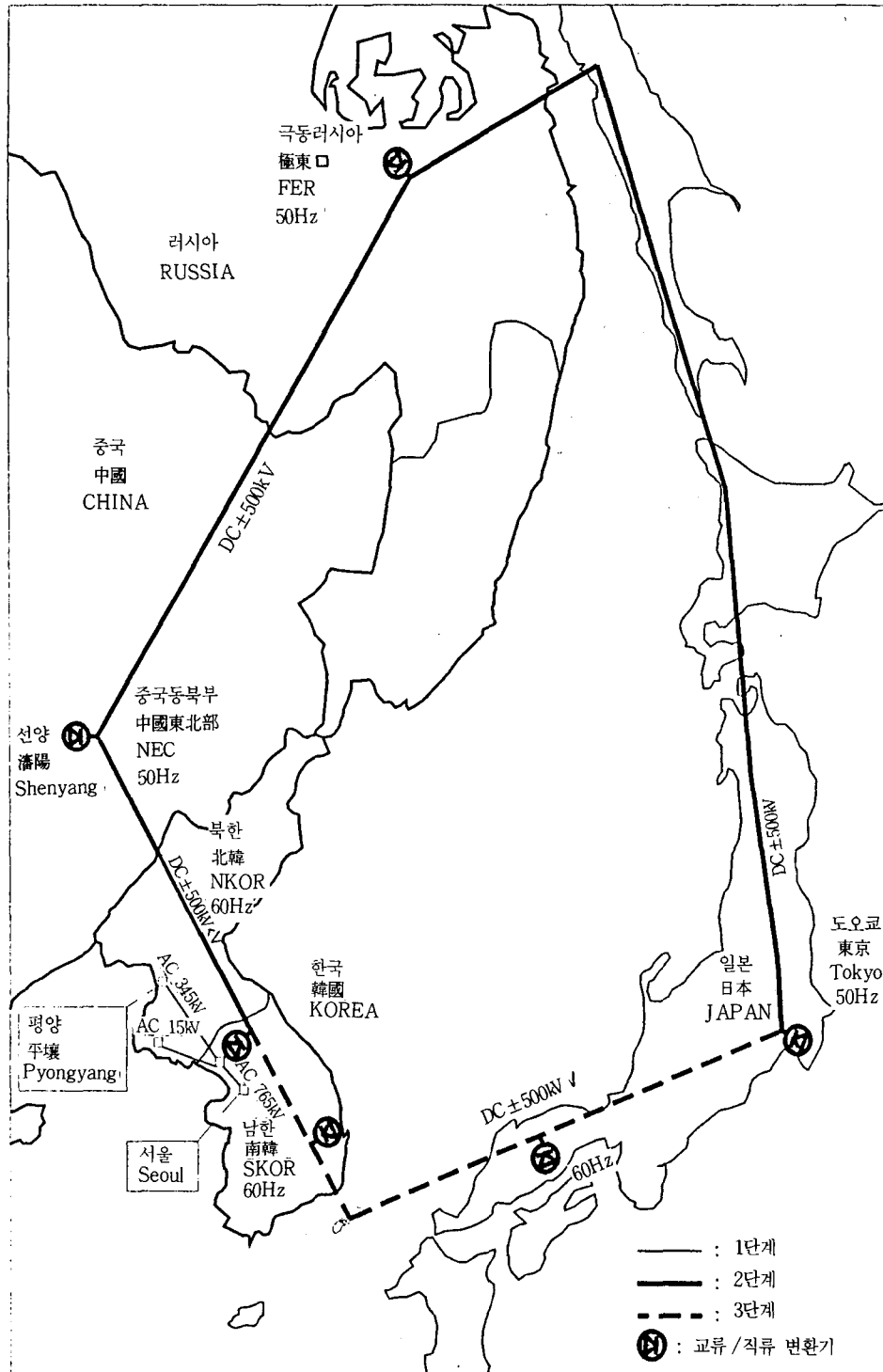
2) 2단계 사업: 극동러시아와 중국동북 및 SKOR의 전력계통 연계

극동러시아(FER)에 수력발전소나 조력발전소(Tidal Power Plant) 또는 원자력 발전소를 건설하고, 초고압직류(HVDC) 송전에 의하여 SKOR와 JAPA에 전력을 송전하는 것이다.

이 사업은 앞에서 소개한 이미 제안된 연계방안 〈1〉~〈4〉에서 기술적, 경제적 타당성이 제시되고 있는 것이며, 발전연료의 대부분을 해외수입에 의존하는 SKOR와 JAPA에게 발전 연료대신 전력으로 대체수입을 하도록 한다.

가) 수력발전과 연계송전에 의한 공해감소

SKOR나 JAPA에 발전소를 건설할 경우는 공해에 영향을 주는 화석연료를 사용하지 않게 되는데 비해



평화망 사업(PEACE-Power Economic And Clean Energy-NETWORK PROJECT)

여 FER의 경우 공해가 적은 수력발전이나 원자력에 의하게 되므로 SKOR와 JAPA는 물론이고, 지구환경 보존에 상당한 효과가 있다.

세계적으로 개발가능한 포장수력은 15,000TWh/year(15wh kwh) 정도이나 불과 2,000TWh/year 정도가 개발되어 있다. 이와 같이 수력발전은 개발가능량의 13% 정도가 개발되었고, 총발전 설비용량의 20% 이내의 비중이다.

만약 기존의 화석연료를 소모하는 화력발전 대신에 수력발전으로 2,000TWh/year의 에너지를 대체 공급한다면 10~15동안 연간 공해감소는 다음과 같이 상당히 크게 추정된다.^{52), 78)}

- (1) 이산화탄소(CO₂) 감소: 1,500[million tonnes]
- (2) 질소산화물(NO_x) 감소: 5[million tonnes]
- (3) 아황산(SO₂) 감소: 15[million tonnes]

예를 들면 중부유럽의 연간 15TWh의 전력량을 수력발전으로 대체함으로써

CO₂: 24million tonnes, No_x: 45,000 tonnes SO₂: 110,000 tonnes을 경감할 수 있고, 노르웨이(Norway)에서 덴마크(Denmark)로 수력발전량 31TWh를 송전함으로써 덴마크는 CO₂: 22.5million tonnes, No_x: 85,000 tonnes, SO₂: 185,000 tonnes를 경감한다.⁷⁸⁾

나) 남·북한과 관련된 안전보장 체제 강화

1단계 사업의 남·북한 전력연계는 역사적으로 1948년 5월 14일 NKOR의 단전에 대한 상처 때문에 신뢰회복에 어려움을 지니고 있다.

그러나 여기서 제안하는 2단계 사업의 추진으로 이 사업의 신뢰성을 강화할 수 있다. <그림 9>와 같이 FER로부터 NEC와 NKOR를 통과하여 SKOR에 연계되는 송전선은 계통주파수가 50Hz와 60Hz로 서로 다르다는 점과 기술적 경제적 조건으로 보아 HV DC±500kV급으로 하고, 교류/직류 변환장치(Converter)는 SKOR에만 설치하는 것이 좋겠다. 이렇게 하면 1단계 사업에 의하여 NKOR와 SKOR는 AC 345kV 송전선으로 연계되고, RUSS와 CHIN 및 SKOR는 DC 송전선으로 연계하게 된다.

이러한 계통구성을 함으로서 NKOR는 SKOR와

연계된 AC 송전선의 안전을 보장받기 위하여 NKOR를 통과하는 DC 송전선의 안전성을 확보해 주어야 한다. 상대적으로 SKOR는 NKOR를 통과하는 DC 송전선의 안전을 보장받기 위하여 NKOR와 연계된 AC 송전선의 안전을 확보해 주어야 한다. 아울러 RUSS와 CHIN은 공동투자한 전력에너지의 수출을 위한 DC 송전선의 안전을 보장 할 수 있도록 영향력을 발휘 할 것이다. 이렇게 관련국들이 서로의 안전을 보장받기 위하여 상대방의 안전을 확보해 주는 상호 안전보장 체제가 강화되고 견고해 질 것이다.

3) 3단계 사업: FER과 NEC, NKOR, SKOR, JAPA 네트워크 구성

RUSS와 CHIN 및 SKOR의 연계계통과 RUSS와 JAPA 연계계통을 환상(Loop)으로 연결하여 망(Network)을 구성한다.

DC 송전로의 신뢰성은 상당히 높은 것이지만 지진이나 태풍등의 천재지변이나 관련 지역의 소요 또는 분쟁등에 의해서 연계 관련 시설의 정상적 운용이 곤란할 때에 대비하는 것이다.

이 사업은 유엔 아시아·태평양 경제사회 이사회(ESCAP)가 추진하는 아시아 고속도로 건설사업의 SKOR와 JAPA를 잇는 대한해협 해저터널 공사와 연계 시킬 수 있다면 경제성을 한층 높일 수 있겠다.

이밖에도 동북아시아 전력계통 연계는 발전소 건설을 위한 입지 확보난이 지속되고, 민주화, 지역화 및 이기주의적인 남비(NIMBY) 현상이 심화되며, 국제 환경 규제강화와 탄소세 부과를 해야하는 SKOR의 전원개발에 대한 딜레마를 해소하는 기발한 묘안중의 하나로서 혁신적 제안이라고 믿는다.

12. 결론

이 지구상에서 최후의 프론티어(frontier)로서,⁶⁹⁾ 아울러 분쟁예방을 위해서 개발되고 있어서, 세계의 관심이 집중되고 있는 두만강지역개발계획(TRADP)에 관련하여 북한과 그주변국의 전력시장

을 조사한 결과 북한은 전력부족과 전기품질 저하가 심각하다. 기존 발전설비의 성능저하를 가중시킬 뿐만 아니라 장래 경수로 원자력 발전기의 운전 을 불안하게 할것으로 예상된다.

이러한 문제점을 조기에 발견하고 적절한 대책을 수립하지 않으면 경제적 손실이 상당히 클것이고, 핵협정에도 차질을 줄 위험이 있다.

여기에 제안된 여러가지 대책들, 특별히 동북아시아지역의 전력계통 연계에 대하여 심도깊게 검토할 것을 제안한다.

이 사업은 통일조국을 내다본 대국적 견지에서 주변국가들의 에너지 환경과 경제성을 종합적으로 고려한 통합자원계획(IRP)의 개념으로 접근시킬 필요가 있다. 이 사업의 성공 효과는 남·북한과 관계국들의 전기품질과 전력경제(Electricity Economic) 및 전력 안정성 강화(Security Enhancements)에 도움을 줄 것이다.^{52), 70)}

나아가서 전력시장 개방(Electricity Free Market)을 통한 기술개방과 문화교류 및 국제협력등에 크게 기여할 것이다. 궁극적으로는 인류공영과 평화공존 분위기를 증진할 것으로 확신한다.⁵¹⁾

그 대책들은 앞당기면 앞당길수록, 또 북한에 대한 해외투자가 많을수록 한국경제에 대한 부담이 감소 할 것이다. 이른바 최소 400억 달러(32조원)-최대 2조5천억달러(2천조원), 평균 6천9백19억달러(5백53조원)에 달할 것으로 추정되는 통일비용(Unification Costs)을 줄일 수 있다고 보는 전문가가 많다.^{71), 77)}

이제 NKOR는 해외투자 유치를 유도하기 위하여 기반시설(SOC) 구축과 제도개선 및 내부기업의 선행이주 등과 같은 여건조성에 힘쓰고, SKOR는 적극적인 대북투자의 견인차 역할을 하며, 기술인력 개발과 남북협력기금 확충등 통일대비를 능동적으로 추진하는 것이 바람직하다.

이를 위하여 관련국의 전문가들이 참여하는 남·북한전력계통연계연합회(Co-Pia; Corea Power Systems Interconnection Association)와 관련국의 전력계통연계 전문가들이 참여하는 동북아시아 전

력계통연계 연합회(Near Pia: North Eastern Asia Region Power System Interconnection Association)의 구성을 제안하는 바이다.

●참고문헌

1. 해외전력통계 '95, 한국전력공사 1995. 12. 20
2. 남북한 주요경제 지표, 통일원, 한국은행, 통계청 1994. 12. 31 현재
3. Rand McNally Atlas for Today's World, RandMcNally & Company 1995
4. 경영통계, 한국전력공사 1996. 4. 30
5. PC Globe 5.0, 1992 Broderbund Software, Inc.
6. 북한의 전력사업 현황, 일본 해외전력조사의 「해외제국의 전력사업·제2판·1995년」, 1995. 3
7. UN, 1994 Energy Statistic Year Book
8. 중국의 전력사업: '95년 실적과 제9차 5개년 계획 목표, 해외전력 '96. 7, 한국전력공사 해외전력정보, 1996. 8
9. 윤갑구, 북한방문보고서, 통일원 제출용, 한국기술사회 1996. 7. 13
10. Peter Hayes, Light Water Reactor Technology Transfer to North Korea : Does It Make Sense ?, Northeast Asia Peace and Security Network, Nautilus Institute for Security and Sustainable Development, September 1993
11. 전력계통 응용프로그램 편람, 한국전력공사, 1984
12. 오창석, 윤갑구, 한영석, 전력수급 관련자간 책임한계 및 역할분담에 관한연구, A Study on the Division of Responsibility and roles in Electric Service, 한국전력공사, 1998. 5
13. 이주희, Load Shedding 계전방식과 Under Frequency Relay 정정, 한국전력공사, 1965. 9. 28
14. 윤갑구, 전력계통의 자동주파수제어, 한국전력공사, 1971. 7
15. J. L. Blackburn, Applied Protective Relaying, Westinghouse Electric Corporation, 1976
16. 송길영, 고리원자력의 계통병인에 따른 문제점 검토, 한국전력공사, 1975. 2
17. Olle I. Elgerd, Electric Energy Systems Theory, McGraw-Hill Book Company, 1971
18. 대한민국 전기사업법
19. 강철용, 전력계통의 제어(계통운용 실무만 교체), 한국전력공사, 1988. 11
20. 임주일, 윤갑구, 전력계통 운용의 최적화, 대한전기학회 제1회 전력계통 연구회 학술발표회 1975. 11

21. Stephen J. Browne, 북·미 합의에 따른 북한에서의 미국기업의 사업전망, An American Business Perspective On the U.S.-DPRK Agreed Framework
22. 윤갑구, 민감한 전기전자 기기에 전압외란의 영향을 최소화하기 위한 조사연구, A Research to Minimizing the Effect of Voltage Disturbances on Sensitive Electrical and Electronic Equipment 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문(우수논문상 수상), 1986. 6
23. 김경원, Donald P. Gregg 등 22명, 북·미 핵협정에 관한 연구보고, 미외교 자문기구와 국제문제 서울포럼 공동지원 태스크 포스 보고서, 한국전력공사, 해외 전력정보, 1995. 4
24. 성철환, 북한 경수로 건설, 매일경제신문, 1996. 9. 10
25. 윤갑구, 서울화력 5호기 계통병입에 따른 계통운용 문제 검토, 한국전력공사, 1969
26. 이경재, 서울5기(230MW) 탈락에 의한 전계통 사고 보고서, 한국전력공사 1971. 10. 4
27. 싱가포르 로이더연합, 미동서 센터 보고서, 동아일보 1996. 10. 27
28. 정연택, 윤갑구, 한경희, 심야전력 창출에 관한연구, A study for deep night load enhencemant, 한국전력공사, 1987. 10
29. 이우홍, 어둠의 공화국, 통일일보사, 1990. 7. 10
30. 황탁, 윤갑구, 장미혜, 수력운영계획, 전력 수급운영계획 및 종합 시스템 개발에 관한연구 Development of the Integrated System for Power System Operational Planning and Analysis, 한국전력공사, 1996. 10
31. 증기터빈의 성능개선 현황, Asian Electricity, '94. 9, 한국전력공사 해외전력정보 1995
32. 유럽의 화력발전 리파워링 실적 및 동향, 해외전력 '94. 12 한국전력공사 해외전력정보, 1995. 4
33. 전기사업의 세계화, The Electricity Journal, '96. 5, 한국전력공사 해외전력정보, 1996. 8
34. 미국의 리파워링 동향, 해외전력 '95. 4, 한국전력공사 해외전력정보, 1995. 8
35. 발전소 리엔지니어링, Power, '95. 8, 한국전력공사 해외전력정보, 1995. 11
36. 발전설비 리파워링, EPRI Journal, '95. 9/10, 한국전력공사, 해외전력정보 1996. 1
37. 정근모, 감영창, 분산형 전원의 대처방안 수립에 관한 연구, A study on the Optimization, and Development Strategies Dispersed Generation System, 한국전력공사, 1994. 10
38. '95 정기전력 수급계획에 기초한 발전 비용계산 보고, 한국전력공사 1996. 3
39. Al-Shehri, A.M. El-Amin, I.M. Opoku, G. Al-Baiyat, S.A. Zedan, F.M. Mashreo arabInterconnected Power System Potential for Economic Energy Trading King Fahd University of Petroleum & Minerals Dhahran, Saudi Arabia, 1994
40. 개스터빈 발전시장의 급부상, Power Engineering International, '96. 3, 한국전력공사 해외전력정보, 1996. 6
41. 용융탄산염형 연료전지의 발전기술 개발, 에너지 '95. 4, 한국전력공사 해외전력정보 1995. 6
42. 대체에너지 개발, 한국전력공사 해외전력정보, 1996. 2
43. State of the World, Worldwatch Institute, 1995, 지구환경 보고서, 따님, 1996. 2. 1
44. Wind-the first alliance, EPRI JOURNAL June 1991
45. Solar Cells, "Saving the Earth with Solar Cells... The Genesis Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids Project", Sanyo ElectricCo., LTD., 1995
46. 玄明權, 두만강 환경오염이 지역개발에 주는 영향과 개선대책, 첨단환경기술 1996. 7
47. 이경재, 윤갑구, 가로림만 조력발전 타당성조사, 해양대학, 우보엔지니어링, 에이스기술단, 1994
48. 에너지 저장의 필요성, OHM, '95. 7, 한국전력공사 해외전력정보 1995. 8
49. 윤갑구, 에너지 정책, 국가에너지 정책 및 에너지 사용합리화 방안, 한국전기공사협회 전기기술자 보수교육교재, 1985년~96년 매년
50. 윤갑구, 한영석, 김영한, 최대부하 직접제어 방식 실용화를 위한 연구, A study on the actual application of the direct load control method for peak load clipping, 한국전력공사, 1990. 12
51. 윤갑구, 외국의 전력관리 동향과 신기법 소개, 대한전기기사협회, 한국전력공사의 안전 관리사 직무교육교재, 1996. 10
52. 유승철, 윤갑구, 에너지환경과 경제성을 고려한 전력 수요 관리기술, Demand Side Management Technologies Based On Energy Environment and Economical Efficiency, 에너지 기술연구소, 1994. 11. 3
53. 이종권, 초고압시설의 건설현장, 대한전기학회, 제1회 전력계통 연구회 학술발표회, 1975. 11
54. Sae-Hyuk Kwon, Kyu-Min Rho, Deok-Yeong Kim, Consideration on Interconnecting Electric Utility Companies in Far East Asia, ICEE '96, Aug. 12-15, 1996.
55. 한국전력공사 20년사, 한국전력공사, 1981
56. 남·북한 남아도는 전력 나눠쓰자, 세게일보, 1993. 10. 7
57. Peter Manos, The interconnection of Europe's power systems, Electrical world, March 1996

58. 구동·서독의 전력계통 연계, 해외전력 '95. 12, 한국 전력공사, 해외전력정보, 1996. 1
59. 윤갑구, 코스트 절감을 위한 에너지 관리기술, 한국전기공사협회, 1991. 1
60. N.I.Voropai, G.V.Shutov, The Conditions and Possible Trends in Formation of Interstate Interconnections in East Asia, Siberian Energy Institute, Irkutsk, Russia, ICEE '96, Aug. 12~15, 1996
61. K.N. Sheorey. Middle East Interconnections and Electricity Trade, The World Bank. Washington C.
62. T.J.Hammons, East and Central European Policy on Electricity Infrastructure, Interconnections and Electricity Exchanges, IEEE Power Engineering Society, IEEE Catalog Number, 96TP113-0
63. Eng. M. Maher Abaza, Africa-Europe Electrical Interconnection And Prospects of Worldwide Interconnections, CIGRE Keynote Address Paris Sunday 28, August 1994
64. The Potential of an Electrical Interconnection Between Russia and North America, GENI(Global Energy Network International), Jan. 15-17, 1992
65. Prof.L.S.Belyaev, Dr. G.F.Kovalyev, Dr.S.V.Podkvalnikov, Preliminary Evaluation of the Efficiency of the Interstate Electric tie of "Russia - China - South Korea" Siberian Energy Institute, Irkutsk, Russia ICEE '96, Aug. 12-15, 1996
66. LEV S Belyaev, Gennadi F Kovalev, Ludmila M Lebedeva, sergei V Podkvalnikov, Ties in North-Eastern Asia(Perspectives in Energy, 1994-1995, volume 3, pages 321-330), ICEE '96, Aug. 12-15, 1996
67. T J Hammons, J a Falcon, P Meisen, International Connections for Renewable Energy Resources, Power Generation Technology, The International Review of Primary Power Production
68. Sergio O. Frontin, Archer Mosse and Helio D. Porangaba, Advanced Electric Power Transmission Technologies, Advanced technology Assessment System, United Nations NewYork, 1991
69. 中村 後彦, 伊勢田 敏人, 們江流域, 〈中・朝・口〉國視察團 報告書, にいがだ21の食, 1995. 10. 29~11.5
70. 電經濟論, 한국전력공사, 1995. 12
71. 마커스 놀랜드, 한반도 통일 비용에 대한 계산 : 비판적 시각, 제11차 한-미안보 연구회, 조선일보, 1996. 10. 25 통일시대의 북한학
72. 통일비용 추정 "제각각", 통일원 국감자료, 동아일보, 1994. 9. 27
73. 홍사덕, 분단비용 "통일까지 매년 11조원, 통일후 10년동안 매년 40조원 부담", 동아일보, 1994. 8. 14
74. 강정구, 통일시대의 북한학, 당대, 1996. 7. 5
75. Immanuel Wallerstein, After Liberalism, 자유주의 이후, 당대, 1996. 9. 5
76. Golden Triangle RAJIN-SONBONG, The Committee for the Promotion of External Economic Cooperation of the Democratic People's Republic of Korea, 1996
- 77) "남북통일비용 천차만별", 「97년도 예산안 분석보고서」, 국회법제예산실, 경향신문 1996. 11. 2
- 78) Sten bohlin, Kjell Eriksson. Gunnar Flishberg, ELECTRICAL TRANSMISSION, 1991 Conference World Energy Coaun
- 79) Remote Renewable Energy Resources : Long-distance High Voltage Interconnections, IEEE power engineering Review. June 1992
- 80) 아시아 태평양 경제사회 이사회(ESCAP), '아시아 고속도 본격추진' 日韓-中-유럽연결, 경향신문 1996. 11. 9 및 경향신문 1996. 10. 7
- 81) 통산산업부, 「에너지 탄소稅」 도입추진, 경향신문 1996. 11. 12
- 82) Yong-Ki Beak, Kap-Koo Yoon, Young-Suk Han : 코제너레이션 계통병렬을 위한 설계고려사항(Design Considerations for Cogenerating in Parallel with the Utility), International symposium on Power Systems and Power Plant Control, Aug. 22~25, 1989 IFAC
- 83) 백영기, 문영현, 계통운용 및 보호기술, 전기학회지, 1996. 10
- 84) 통계청, 남·북한경제사회비교, 경향신문, 1996. 12. 2