공단 경영혁신 8차 웨이브 SI 과제

케이블전선로의 콘덴서작용 용량 활용을 통한 건설,운용비용 절감 (요약본)

2009. 11. .

Sponsor : 신기술개발처장 박 광수
Process Leader : 부장 전 윤배
팀 원 : 과장 김홍태 과장 이영흠
과장 최석효

장항선 온양온천역 수전실

목 차

1. 추진 배경 - - - - - - - - - - - - - - - - - - P 3
2. 문제점 - - - - - - - - - - - - - - - - - - P 9
3. 핵심 원인 - - - - - - - - - - - - - - - - - P 14
4. 개선방안 - - - - - - - - - - - - - - - - - P 17
5. 현 수준 및 목표 설정 - - - - - - - - - - P 21
6. 개선 효과 - - - - - - - - - - - - - - - - - P 23
7. 실행 계획 - - - - - - - - - - - - - - - - - P 24
8. 관리 계획 - - - - - - - - - - - - - - - - - P 25

1. 추진 배경

가. 공단은 철도를 전국적 고속화 망으로 구축하는 사업 본격 추진 중

○ 2009. 1.1. 현재 국유철도 총 80개 노선 3,381 km 운영 중.

○ 공단은 국토해양부 “제1차 철도산업 발전기본계획(2006~2010년)에 의거 에너지 고효율, 친환경 교통수단인 철도를 전국적 고속화 망으로 확장 구축하고자 건설에 박차를 가하고 있음.

– 고속철도 : 경부2단계, 호남고속철도

– 일반철도 :

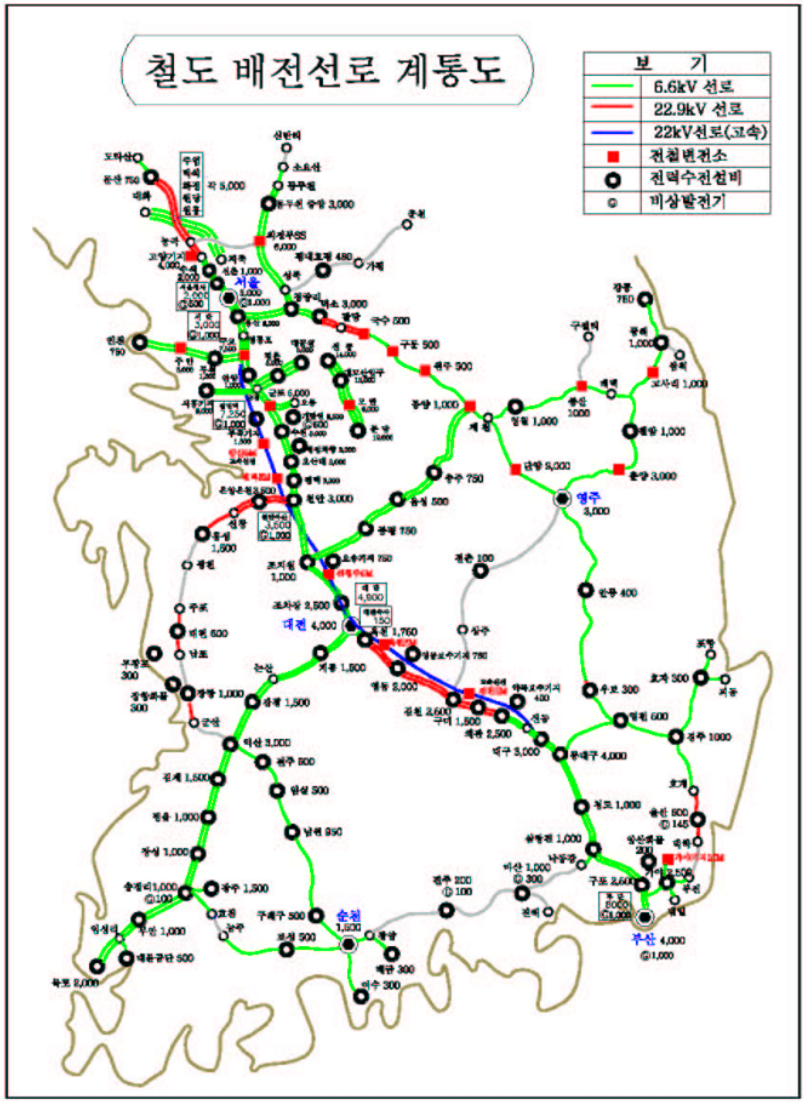
· 포항~삼척 등 7개 노선 신설사업
· 경춘선 복선전철화 등 25개 개량사업

– 광역철도 :

· 용산~문산 간 복선전철화 사업 등 10개 노선 건설 및 개량 중

1. 추진 배경

나. 신설, 개량노선 상의 배전설비/선로를 종전 6.6 → 22.9kV로 승압 구축 중



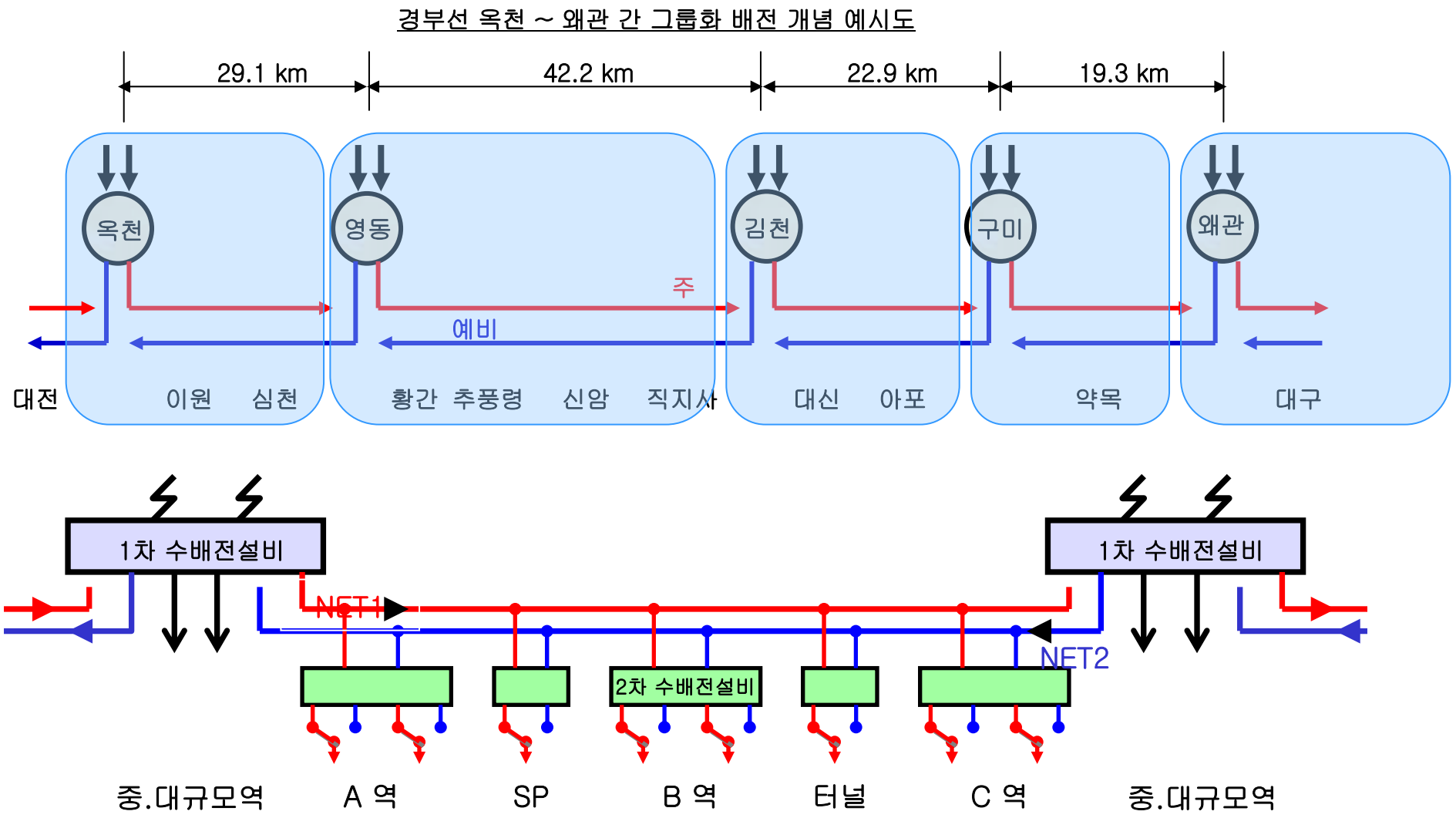
○ 공단은 신설, 개량 노선 상의 대형·현대화하여 신설하는 역과 연선(沿線) 차량급전·제어시스템 및 방재시스템에 전기에너지를 정전없이 안정적으로 공급하고 건설비용과 유지관리 비용을 적게 하기 위하여

- 연선 배전전압을 종전 고압(6.6kV) → 특고압(22.9kV)으로 승압 변경
- 대 규모역에 한전 수전실을 구축하고 노선 30~40km 구간을 그룹으로 묶어 배전설비/선로를 2중계로 구성 공급하는 방안을 2004. 8. 정립 표준화하고 건설사업에 적용 중에 있음

구분	총계	배전 전기방식별			비고
		3상3선 6.6kV	3상4선 22.9kV	3상3선 22kV	
노선장 km	2,479	1,863	394	222	2009. 10. 현재
비율	100%	75.1%	15.9%	9.0%	

1. 추진 배경

▣ 배전설비/선로를 그룹화 예시



1. 추진 배경

다. 신설, 개량노선 상의 배전선로는 종전 가공배전선 → 지중케이블 전선로로 구축 중

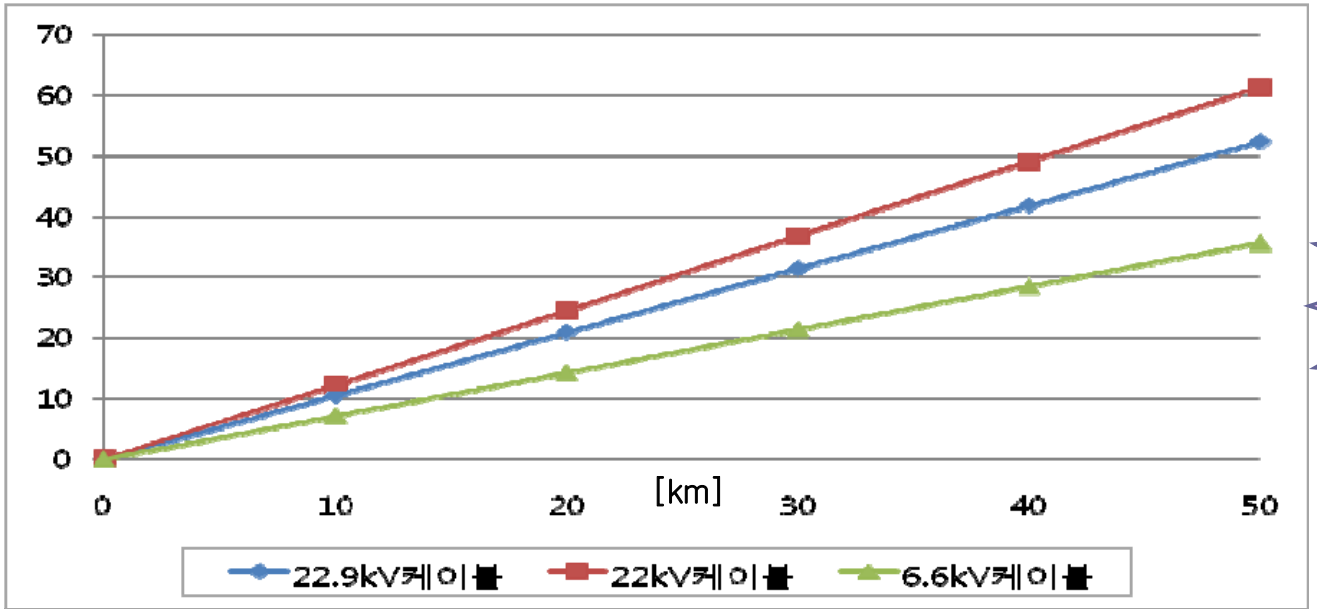
기존선/신설·개량 노선 구조물 비율 비교

구 분		노선장 (km)	노반 구성비율 현황 (10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%)	교량, 터널 비율
기존선	경부선	441.70		6.15%
	호남선	252.50		8.55%
3개 사업 2급선	부산신항	44.08	토공 / 교량 / 터널	50.19%
	경전선	51.83		67.98%
	동해남부선	29.42		65.31%
3개 사업선 계		125.33		61.10%

1. 추진 배경

라. 케이블의 콘덴서작용 특성

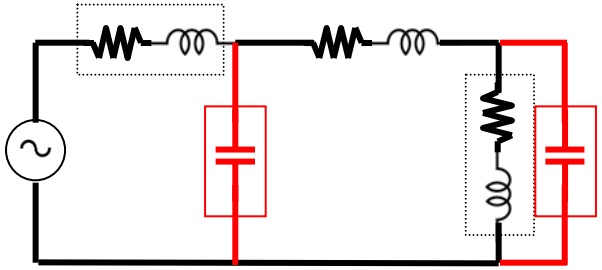
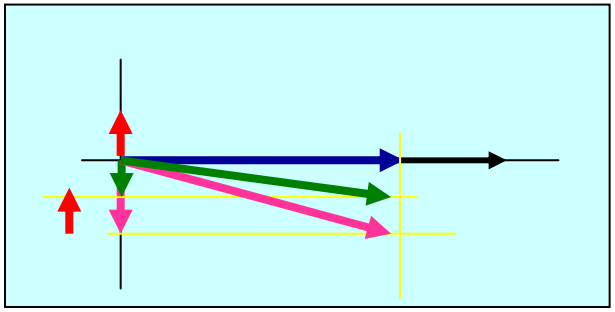
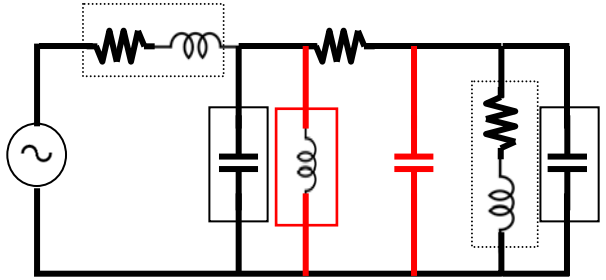
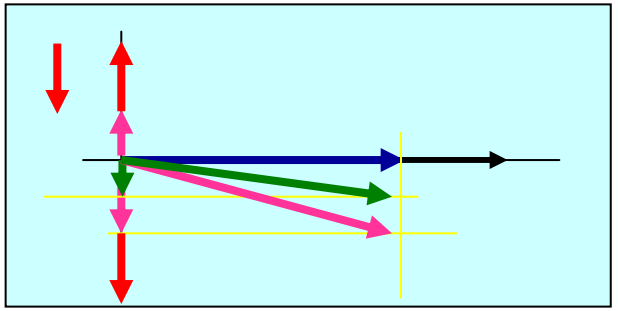
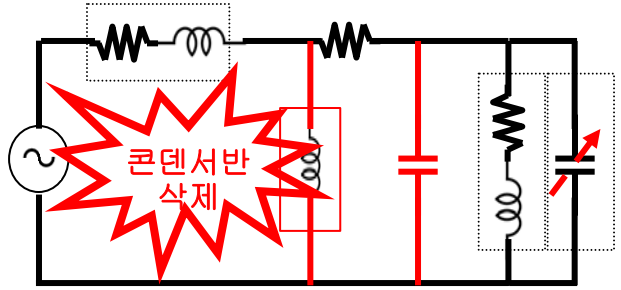
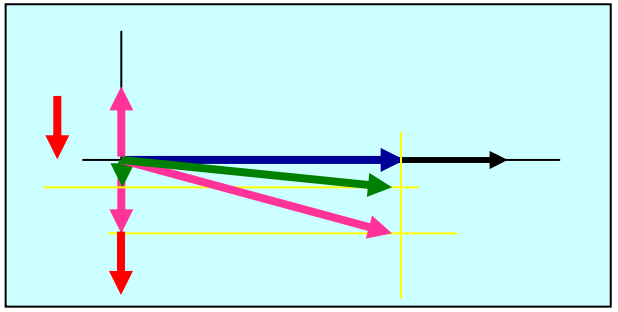
배전거리에 따른 충전전류 특성



케이블은 고유 특성 상 콘덴서작용을 하므로 이를 상쇄키 위한 분로리액터를 설치하여야 함

구 분	적용케이블 품명.규격	1[km]당 정전용량	1km 당 충전전류	IEC 규정상 개폐 제한 전류치	비 고
일반, 광역철도 22.9kV 전선로	22.9kV-y CNCV 60SQ-1C	최대0.21[㎌]	1.045 [A]	31.5 [A]	케이블 제조사 카다로그 제시 값
경부고속철도 22kV 전선로	22kV CV 60SQ-1C	0.1480[㎌]	1.227 [A]	31.5 [A]	실 측정 값
일반·광역철도 6.6 KV 전선로	6/10kV CV 95SQ-1C	0.287[㎌]	0.714 [A]	10 [A]	가온전선 안내 값

마. 케이블의 콘덴서작용을 활용한다면 콘덴서반을 설치하지 않을 수 있지 않을 까?

구 분	등 가 회 로 도	역률 개선 벡터도	비 고
역간 배전선로를 6.6kV 가공 배전선로로 건설할 경우			6.6kV 가공배전선로는 코일작용을 하므로 수전실에 역률개선용 콘덴서반을 설치하여 이를 상쇄시켜야 한다
역간 배전선로를 22.9 kV 케이블 배전선로로 건설할 경우			22.9 kV 케이블 배전선로는 콘덴서 작용을 하므로 회로상에 분로리액터를 설치하여 이를 상쇄시켜야 한다
개선 방향			분로리액터 설치 용량을 케이블배전선로의 콘덴서 작용 용량의 85 ~95% 정도로 설정한다면 역률개선용 콘덴서반은 설치하지 않을 수 있다

2. 문제점

2009.05.08 경부선 옥천~왜관간 22.9kV 수배전설비(2006.12. 개통) 운영현장 피드-백(Feed-Back) 점검 결과

가. 김천 수전실 22.9/22.9kV 수배전설비 수전반 과도 진상 역률(-67%) 상태 확인

※정상 역률 범위 : 약 90~96%

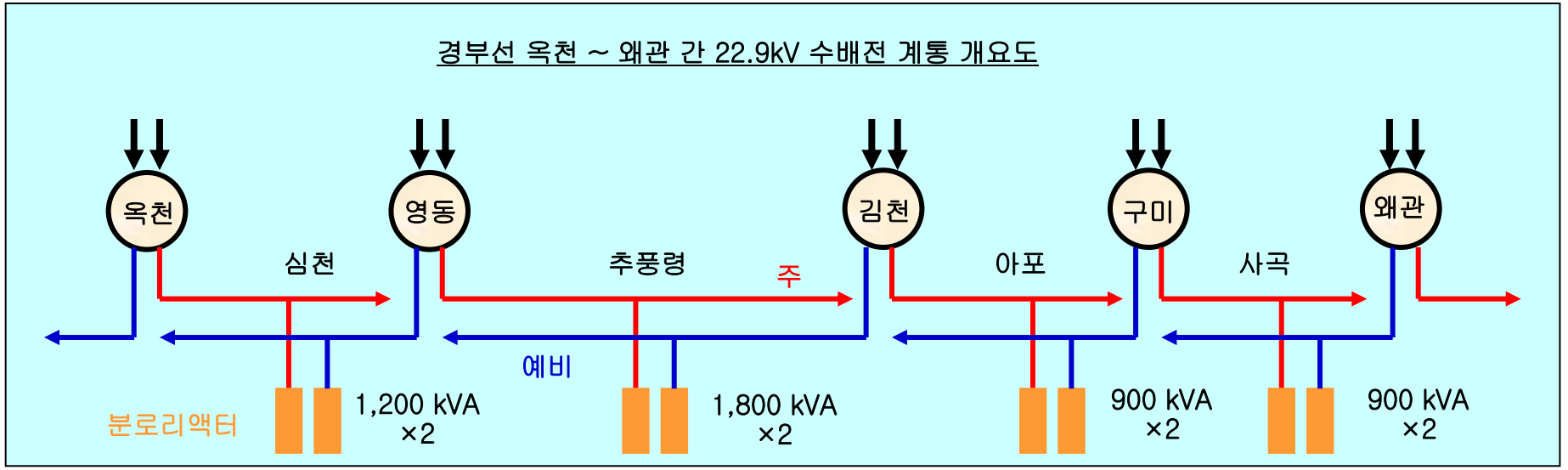
김천 수전실 전경

수전반 역률 표시

2. 문제점

나. 과도 진상 역률 (LEAD 0.48) 원인 파악 결과, 분로리액터 운전에 따른 전력사용 과대 및 역률 불량을 개선, 전기요금을 줄이려 일부 분로리액터를 임의 개방 운전 중 확인

※개방 전/후 역률 변화 : 옥천 88→88, 영동 50 →100, 김천 66 →100, 구미 74 →100, 왜관 82 →100 %



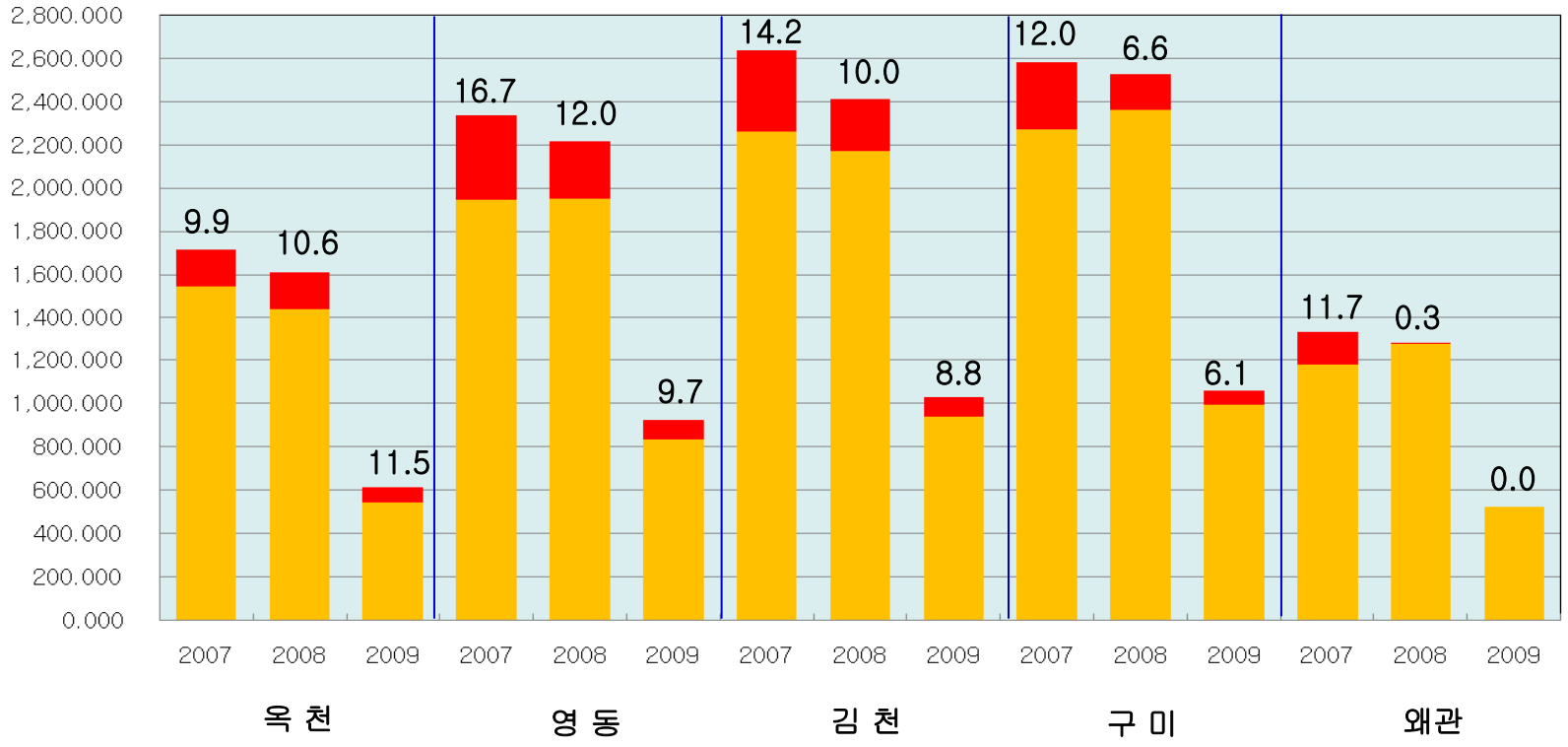
년도	심천		추풍령		아포		사곡	
	주	예비	주	예비	주	예비	주	예비
2007	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
2008	↓		↓	↓			↓	
2009	↓		↓	↓			↓	
운전 실태	계속 투입 운전 중	08.3.6. 이후 개방 중	계속 투입 운전 중	계속 투입 운전 중	08.2.21. 이후 개방 중	08.1.24. 이후 개방 중	계속 투입 운전 중	08.1.9. 이후 개방 중

2. 문제점

다. 한전 전력 수전량 대비 분로리액터 전력 손실량 비율이 매우 큰 편임('07 기준 9.9 ~ 16.7%)

※ 한전 배전 손실률은 1.8% 수준임

'06~'09 기간 중 한전 수전 전력량 대비 분로리액터 전력 손실량 비율 [%]



2. 문제점

라. 대량 발열설비인 분로리액터를 배전실 내에 설치함에 따라 실내온도가 크게 상승(42° C)하므로 환기 팬 만으로는 냉각이 곤란, 냉방기를 운전하게 되어 2차적인 전력 손실 발생

추풍령역 배전실

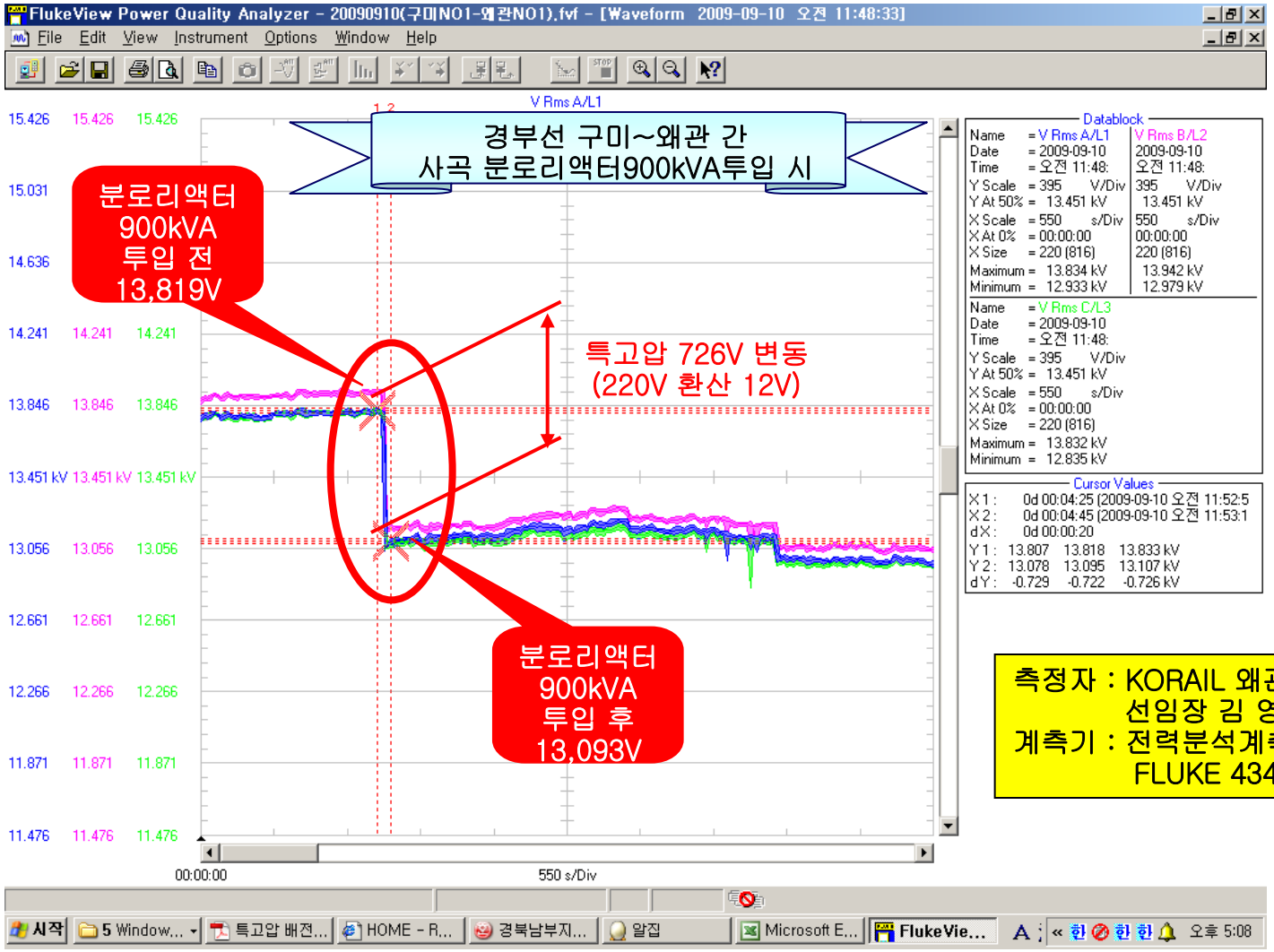
배전실 내 냉방기

분로리액터

분로리액터 유온도계 75°C

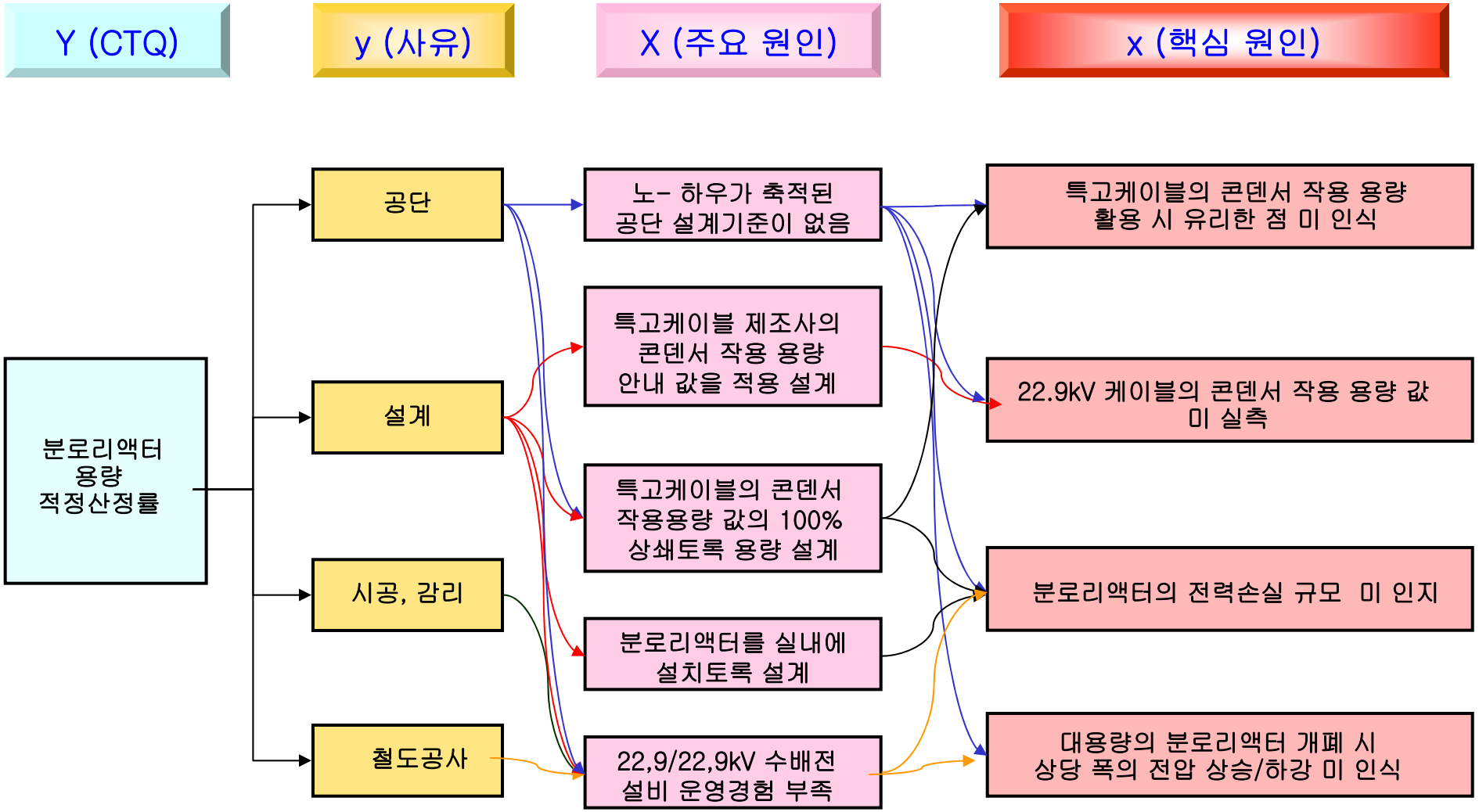
2. 문제점

마. 분로리액터 1대의 제작 용량이 매우 큼(800kVA이상)에 따라 개폐 시 상당한 전압 변동 발생 (900kVA 개폐 시 220V 기준 12V 이상 변동)



측정자 : KORAIL 왜관전기사업소
선임장 김 영일
계측기 : 전력분석계측기
FLUKE 434 이용 계측

3. 핵심 원인


Y (CTQ)
y (사유)
X (주요 원인)
x (핵심 원인)
분로리액터 용량 적정산정률
공단
설계
시공, 감리
철도공사
노- 하우가 축적된 공단 설계기준이 없음
특고케이블 제조사의 콘덴서 작용 용량 안내 값을 적용 설계
특고케이블의 콘덴서 작용용량 값의 100% 상쇄토록 용량 설계
분로리액터를 실내에 설치토록 설계
22,9/22,9kV 수배전 설비 운영경험 부족
특고케이블의 콘덴서 작용 용량 활용 시 유리한 점 미 인식
22.9kV 케이블의 콘덴서 작용 용량 값 미 실측
분로리액터의 전력손실 규모 미 인지
대용량의 분로리액터 개폐 시 상당 폭의 전압 상승/하강 미 인식

3. 핵심 원인

케이블 제조사 카다로그에서 안내한 정전용량 값(한전 구매 규격값)을 설계에 반영

케이블 제조사 카다로그

22.9kV-y 동심중성선 수밀형 전력케이블(CNCV-W)

용 도 22.9kV-y 중성선 직접접지 또는 다중접지의 3상 4선식 배전선로에 사용되며, 옥외 수직입상부 장소에 적합함.

구 성 수밀컴파운드를 충전한 연동연선 도체에 X-PE로 절연하고 연동선을 동심원형으로 꼬아 붙인 중성선 상·하구에 부풀음 테이프를 감고 PVC로 압출시스한 전력케이블

적용규격 한전 구매규격, 대한전선 표준사양

제품인증 한전 60mm², 200mm², 325mm², 600mm²

도체 공칭단면적 (mm²)	구성	바깥지름 (약) (mm)	절연두께 (mm)	중성선 소선경×소선수 (mm × No.)	시스 두께 (mm)	완성품 바깥지름 (약) (mm)	최대 도체저항 (20℃) (Ω/km)	최소 절연저항 (20℃) (MΩ·km)	시험 전압 (kV/5min)	최대 정전용량 (μF/km)	개산중량 (kg/km)	표준 주장 (m)
38	C.C	7.3	6.6	1.0×17	3.0	34	0.481	3,000	52	0.18	1,330	300
60	C.C	9.3	6.6	1.2×18	3.0	36	0.305	3,000	52	0.21	1,680	300
100	C.C	12.0	6.6	1.6×17	3.0	39	0.183	2,500	52	0.25	2,290	300
150	C.C	14.7	6.6	1.6×20	3.0	43	0.122	2,500	52	0.28	3,020	300
200	C.C	17.0	6.6	2.0×21	3.0	45	0.0915	2,000	52	0.32	3,710	300
250	C.C	19.0	6.6	2.3×20	3.0	48	0.0739	2,000	52	0.34	4,390	200
325	C.C	21.7	6.6	2.3×26	3.0	51	0.0568	2,000	52	0.36	5,500	200
400	C.C	24.1	6.6	2.6×25	3.2	55	0.0462	1,500	52	0.39	6,600	200

제조사 별 정전용량 표시 여부

케이블 제조사	정전용량 표시 값 [㎌/km]	비고
대한전선	최대 0.21	
JS전선	최대 0.21	
가온전선	최대 0.21	
LS전선	-	
대원전선	-	

케이블 제조사 정전용량 표시 값은 한전 구매 규격과 일치함

3. 핵심 원인

대량 발열설비인 분로리액터를 배전실 내에 설치

[분로리액터 설비]

분로리액터 전력 손실

22.9kV 분로리액터 규격	손실 [kW]	비고
3 Ø 500 kVA	9.551	한국전기 연구원 시험성적서 확인
3 Ø 800 kVA	12.350	
3 Ø 900 kVA	17.313	
3 Ø 1,200 kVA	19.404	
3 Ø 1,200 kVA	25.005	

4. 개선 방안

▣ 개선 절차

건설 · 운용 비용 절감

특고케이블 배전선로의 콘덴서작용 용량을 활용하는 방향으로

설계기준 정립, 공단 설계편람에 반영

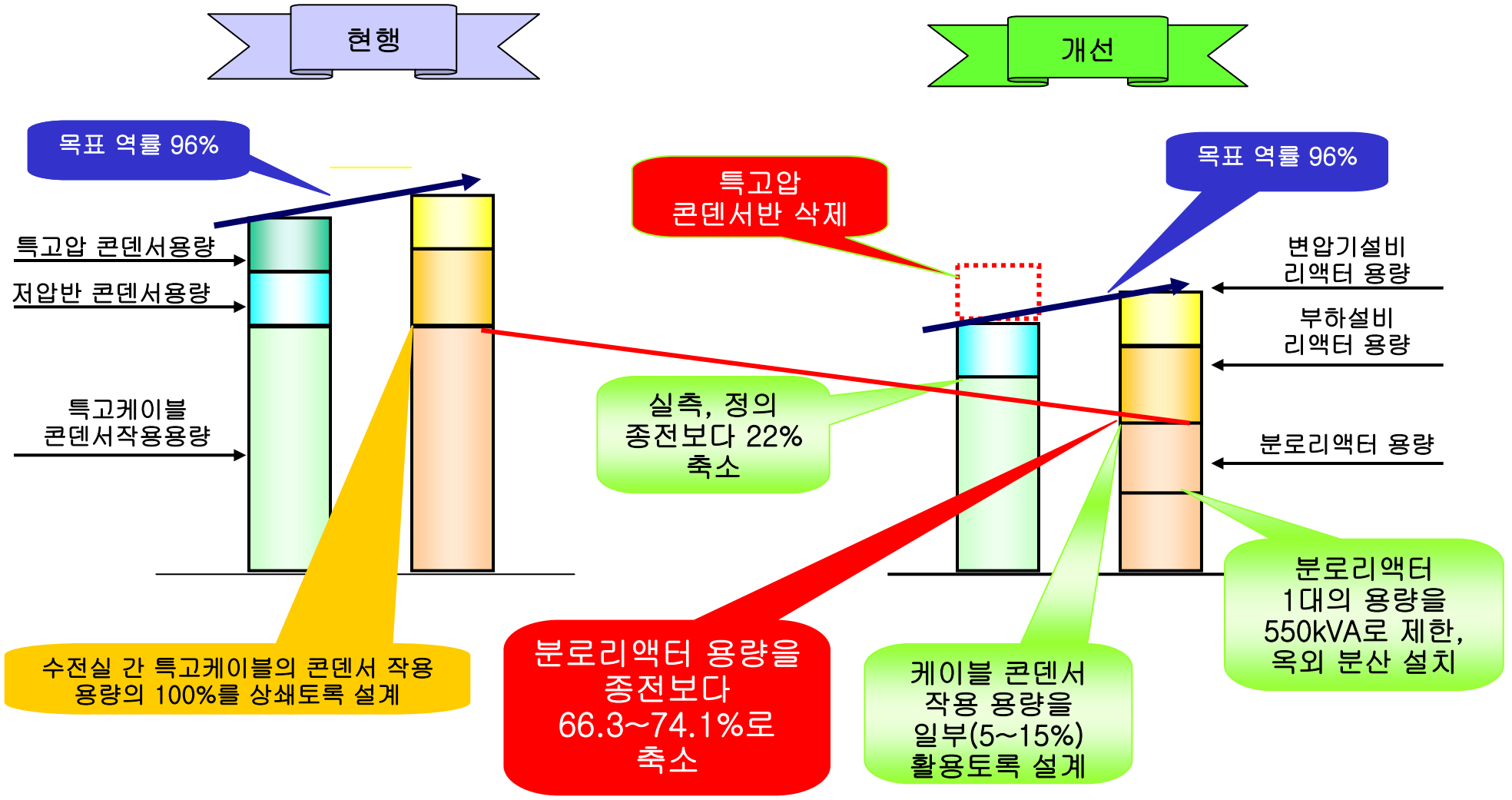
-분로리액터 용량 산정 및 설치 기준을 신규 반영

- 22.9/22.9kV 수배전설비 결선도 개정 반영

22.9kV 케이블 배전선로의 콘덴서 작용 용량 실측,
설계 기초 데이터 정의

4. 개선 방안

▣ 개선 Concept



4. 개선 방안

핵심 원인

- 22.9kV 케이블의 콘덴서작용 용량 값 미 실측
- 분로리액터의 전력 손실 규모 미 인지 실내 설치
- 대용량 분로리액터 개폐 시 상당 폭의 전압 상승/강하 미 인식

개선안

- 22.9kV 케이블의 콘덴서작용 용량 실측 정의
- 분로리액터 옥외 설치
- 리액터 제작 최대 용량 제한 및 분산 설치

구 분		현 행	개 선	비 고
분로리액터 용량산정 및 설치기준		공단설계편람에 명시 없음	공단설계편람에 신규 반영	- 2009.9.10. 실측 실시 실측값 : 0.1634[㎌/㎞] - 2009. 7. 3. 2009. 9.15. 2009.10.22. 총 3차례 추진 단계별 기술자문회의 실시 후 정의
세구분	22.9kV XLPE 절연 60SQ1C의 콘덴서작용 용량 값	전력설비 설계용역사가 케이블 제조사의 안내 값 0.21[㎌/㎞]를 적용 설계	IEC규정 산출식에 의한 값 0.1639[㎌/㎞]를 적용 설계	
	분로리액터 설치장소	전력설비 설계용역사가 옥내에 설치 설계	옥외에 설치 설계	
	분로리액터 1대의 최대용량	전력설비 설계용역사가 1대의 용량을 대용량으로 설계	분로리액터 개폐할 경우 케이블배전선로 부무하 시 전압 변동폭이 4.36%이내가 되도록 용량 산출 설계	

IEC : International Electrotechnical Commission

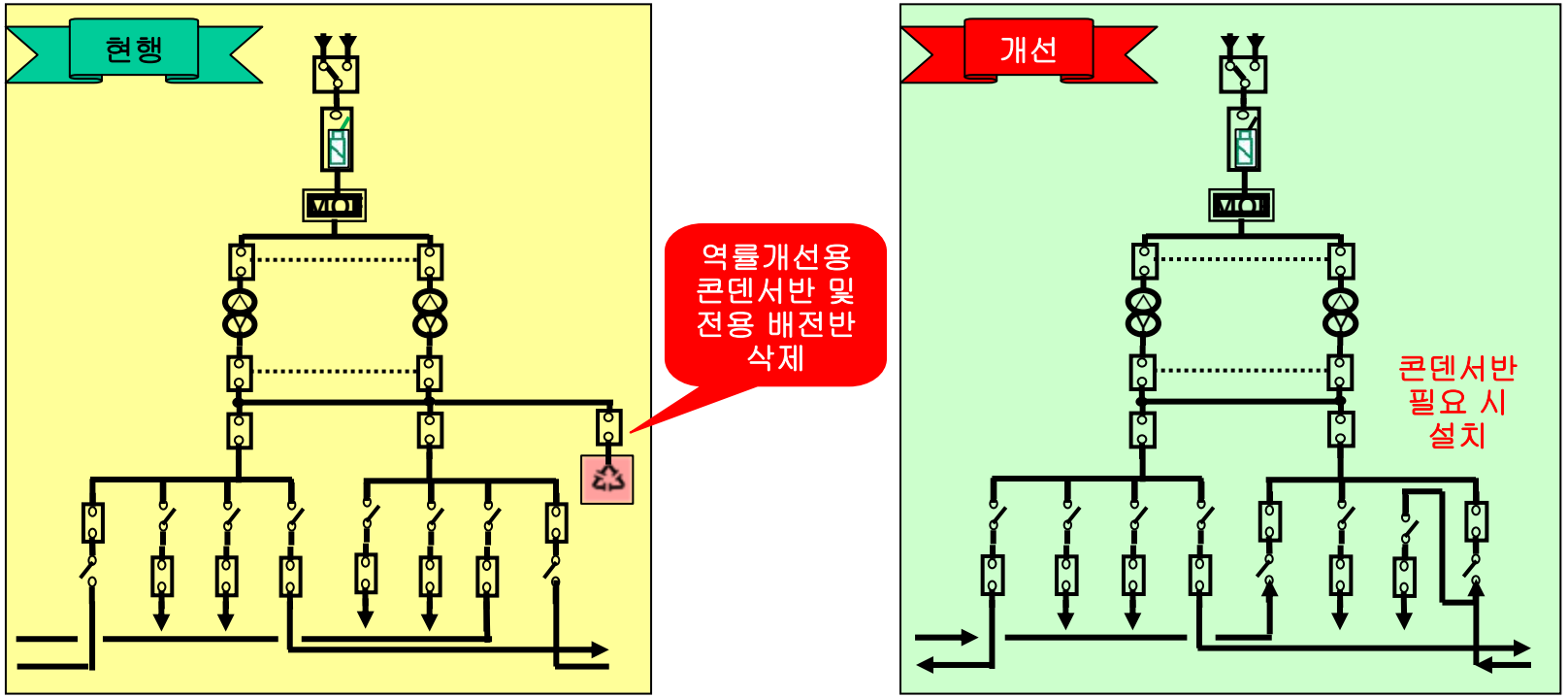
4. 개선 방안

핵심 원인 특고케이블의 콘덴서작용 용량 값 활용 시 유리한 점 미 인식

개선 안 특고케이블의 콘덴서작용 용량 일부를 활용, 특고 콘덴서반 설치 삭제

구 분		현 행	개 선	비 고
분로리액터 용량산정 및 설치기준		공단설계편람에 명시 없음	공단설계편람에 신규 반영	상 동
세 구분	분로리액터의 용량 산정 기준	전력설비 설계용역사가 특고케이블의 콘덴서작용 용량 값의 100% 상쇄 설계	특고케이블의 콘덴서작용 용량 값의 85~95% 상쇄 설계	

공단 설계편람 22.9kV 수배전설비 결선도 개정



5. 현수준 및 목표 설정

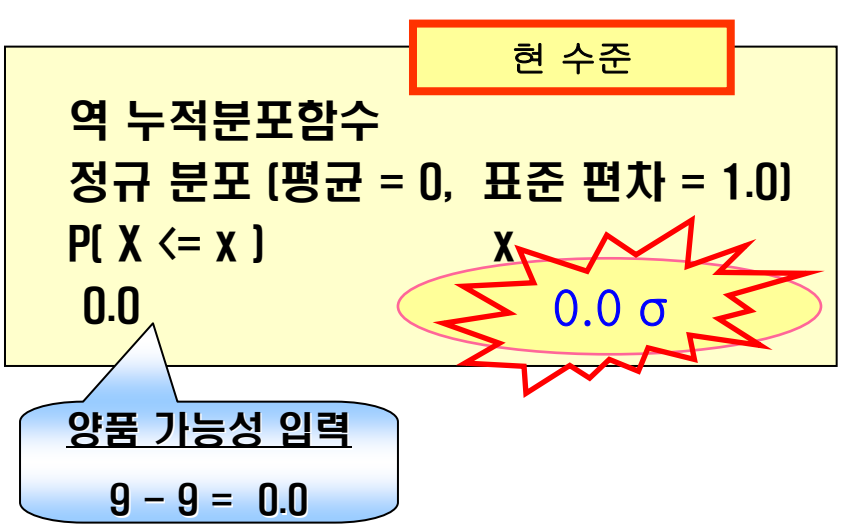
■ 측정지표 : 분로리액터 용량 적정 산정률[%]

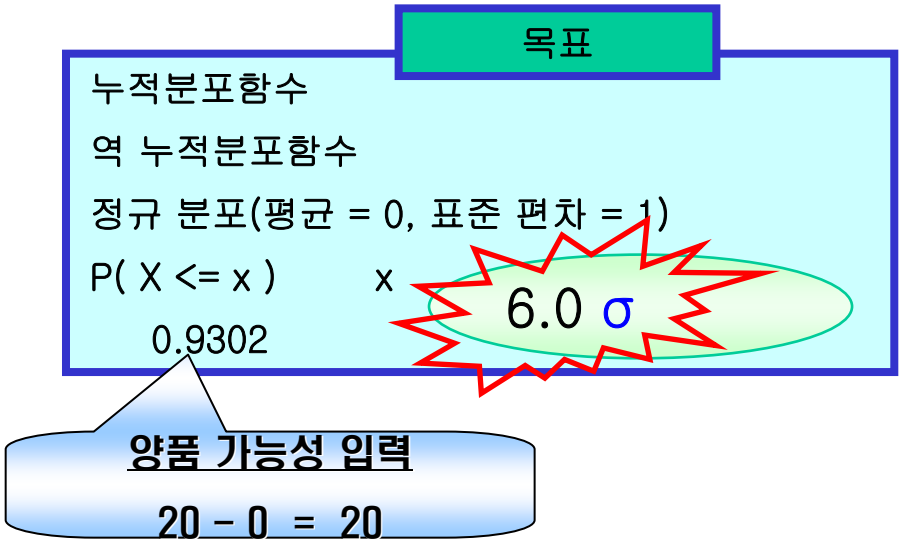
■ 측정대상 : 22.9/22.9kV 수배전설비를 적용하여 최근 건설 운용 중인 경부선 옥천~왜관 간 분로리액터 8대 및 장항선 복선전철 및 선형개량구간 분로리액터 1대 설비 총 9대 설비

■ Defect 기준 : 특고압 케이블 전선로 콘덴서 작용 용량의 95 [%]를 초과하거나 85% 미만으로 분로리액터 용량 설계 시 결함

■ Defect 수집기간 : 2009. 5. 6.~9.10.

■ 측정결과 : 전체 결함(9개소)





5. 현수준 및 목표 설정

▣ 최근 건설 운용 중 22.9/22.9kV 수배전설비 분로리액터 설치 용량의 결함 여부

설치 장소		설계 대상 수전실 간 및 노선 거리[km]	회선 NO	특고케이블 콘덴서 작용 용량 산출값 A [kVAR]	분로리액터 설치 용량 B [kVAR]	B/A 비율 [%]	설계 만족 기준 B/A 비율 [%]	결함 여부	비 고
경부선	심천역 (실내)	옥천 ~ 영동 간 29.1	1	942	1,200	127.4	85 ~ 95	결함	+ 32.4 %
			2	942	1,200	127.4		결함	+ 32.4 %
	추풍령역 (실내)	영동 ~ 김천 간 42.2	1	1,367	1,800	131.7		결함	+ 36.7 %
			2	1,367	1,800	131.7		결함	+ 36.7 %
	아포역 (실내)	김천 ~ 구미 간 22.9	1	742	900	121.3		결함	+ 26.3 %
			2	742	900	121.3		결함	+ 26.3 %
	사곡역 (실내)	구미 ~ 왜관 간 19.3	1	625	900	144.0		결함	+ 49.0 %
			2	625	900	144.0		결함	+ 49.0 %
장항선	예산역 (실내)	신창 ~신성 간 44.3	1	1,434	900	62.8		결함	-22.2 %

측정 대상 9 개소 전체 결함

6. 개선효과

가. 지표 부분

지표(CTQ)	개선 전		개선 후		향 상	
	품질지표	시그마수준	품질지표	시그마수준	품질지표	시그마수준
분로리액터 용량 적정 산정률	0.0 %	0.0 σ	100 %	6.0 σ	100 %	6.0 σ

나. 재무성과 부분

[단위 : 천원]

구분	구분	절감금액	비 고
현 시행 중 사업	수전실 역률개선용 특고 콘덴서반 및 전용 차단기반 설치 삭제 절감 비용	160,699	
	분로리액터 용량 축소 절감 비용	88,400	
	합 계	249,099	
3년 이내 발주 예정 사업 (실시설계 완료)	수전실 역률개선용특고 콘덴서반 및 전용 차단기반 설치 삭제 절감 비용	706,222	
	수전실 건축 면적 축소 절감 비용	373,807	
	분로리액터 용량 축소 절감 비용	144,600	
	합 계	1,224,629	
총 계		**1,473,728**	

다. 체질개선 부분 : 분로리액터 운전에 따른 전력 손실 25.9 ~ 33.7% 축소

7 실행계획(Action Plan)

Control

개선항목	실행방안	일정	실행부서
○ 22.9kV 케이블의 콘덴서작용 실측 정의 ○ 분로리액터 옥외 설치 ○ 리액터 제작 최대 용량 제한 및 분산 설치 ○ 특고케이블의 콘덴서작용 용량 일부를 활용, 특고 콘덴서반 설치 삭제	○ 공단 설계편람(전력)에 "분로리액터" 장을 신설하여 다음사항을 규정 - 특고케이블 종별로 IEC규정에 의하여 산출한 콘덴서작용 용량 값 [㎌/㎞]을 명시 - 분로리액터의 용량을 산정 시는 부하설비 특성을 고려, 특고케이블의 콘덴서작용 용량의 85~95%를 상쇄하는 용량을 산정토록 명시 - 분로리액터 설비는 전철전원설비 장소(S/S, SP,SSP) 구내 등 옥외에 분산하여 설치토록 명시 - 분로리액터 1대의 최대 용량은 분로리액터 개폐 시 상용전압의 전압변동 폭이 5% 이내가 되게 산정 설계토록 명시 - 22.9/22.9kV 수배전설비 결선도 개정 특고콘덴서반 표시 삭제	2009.11.16 ~ 2009.11.30	KR연구원 - 신기술개발처: 방안작성, 기준심사처에 제공 (2009.11.16까지) - 기준심사처: 공단설계편람 개정(안) 작성, 방침 결재 및 전기사업단에 배포 (2009.11.30까지) 전기사업단 -전철전력처: -현 계약 시행 중인 사업은 개선 실행 방안을 반영 설계변경 조치
	○ 과제 성과 보고회 실시 , 당 개선 항목에 대한 홍보 실시	2009. 11월 중	KR연구원 - 신기술개발처

개선방안	관 리 점		관리 주기	샘플링	관 리 자	
	대상구분	관리기준			관리부서	담당자
○ 22.9kV 케이블의 콘덴서작용 실측 정의 ○ 분로리액터 옥외 설치 ○ 리액터 제작 최대 용량 제한 및 분산 설치 ○ 특고케이블의 콘덴서작용 용량 일부를 활용, 특고 콘덴서반 설치 삭제	공단설계편람 (전력)	"분로리액터" 장 신설 개선방안 명시	1회 2009.11.16 ~ 2009.11.30	-	KR연구원 기준심사처	전철전력팀장
	- 설계용역 준공 시 - 지급자재 제작 구매 또는 공사 발주 시 - 시행 중인 사업은 제작도 승인 시	특고케이블의 정전용량 값의 85~95%를 상쇄시키는 분로리액터 용량 산정 여부	2009.12.1. ~ 2012.12.31 기간 중 관리대상 발생 시 마다	전수	전기사업단 전철전력처	전력팀장
		분로리액터 옥외 분산 설치 여부				
		분로리액터 1대의 제작 최대용량 초과 설계 여부				
		케이블 배전선로 경우 특고콘덴서반 설치 설계 여부				

감사합니다

▣ 22.9kV 케이블의 콘덴서작용 용량 값 계산/실측 개요

No.	적용	산출식 및 값	비고
1	○ IEC 규정에 의하여 XLPE절연츠의 유전율 값을 2.5를 적용, 산출한 XLPE 22.9kV 60SQ 1C케이블의 대지 캐피시턴스 C	$C = \frac{\varepsilon}{18\ln\left(\frac{D_1}{do}\right)} 10^{-9}[F/m]$ $= \frac{2.5}{18\times\ln\left(\frac{24.5}{10.5}\right)} 10^{-9}[F/m]$ **= 0.1639[[㎌/km]**	Do : 도체의 외경 + 반도전층의 두께 D_1 : 절연층의외경 (반도전층 두께 제외)
2	○ 현행 케이블 제조사의 카다로그에서 안내하고 있는 XLPE 22.9kV 60SQ 1C 케이블의 대지 캐피시턴스 C	최대 0.21[㎌/km]	※ 설계용역사 적용 설계값
3	○ 2009.09.10 경부선 구미-왜관간 XLPE 22.9kV 1회선 케이블 안에 대한 충전전류 측정 후 환산 XLPE 22.9kV 60SQ 1C 케이블의 대지케피시턴스	IC=16.2[A] V=13,360[V] L=19.3[km] $C = \frac{IC}{2\pi f V L}$ C = 0.1634[㎌/km]	IEC규정에 의하여 산출한 값과 -0.3[%] 오차
4	○ IEC 규정에 의한 대지캐피시턴스 적용시 XLPE 22.9kV 60SQ 1회선(3C) 케이블의 1km 당 콘덴서 작용 용량값	$=2\pi fCV^2$ =32.388[kVAR]	※ 기존 설계값 대비 22 % 감
5	○ 케이블 제조사 카다로그 안내값 적용시	=41.487[kVAR]	