

저비용 · 고품질의 High-Value 배전기자재 개발 사례



하동혁
KEPCO 경영선진화실 배전기자재TDR팀 팀장

실행 중심의 혁신활동으로
실질적인 성과 창출

I. TDR팀 소개

지난해 고유가 행진과 환율 상승 등의 영향으로

KEPCO(사장 김쌍수)는 창사 이래 처음으로 적자를 시현하였고, 공기업의 비효율적 경영에 대한 외부의 부정적 시각으로 충분한 전기요금 인상도 기대하기 어려운 상황이었다.

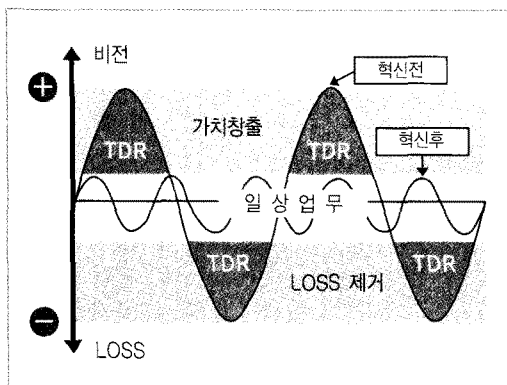
특히 재무상황 악화가 예상되는 2009년초 직원들의 역량과 열정을 집중하여 낭비요인을 없애고 새로운 부가가치 창출이 절실했었다. 알고 있으면서 실행을 하지 않으면 아무것도 바꿀 수가 없기 때문에, 구호에 그치지 않는 실행 중심의 혁신 활동으로 실질적인 성과를 창출하기 위하여 TDR(Tear Down & Redesign)을 도입하게 되었으며, 가장 먼저 만든 TDR이 배전기자재 혁신팀 『알짜配機』이다.

알짜配機팀은 Top과제 수행팀으로서 『High Value 배전기자재 Spec 개발』을 전 사의 핵심인재 8명으로 '09년 2월초에 구성되었다. 과제 수행기간은 1년으로 현재의 기자재수준과 비교해 Cost와 품질을 30%이상 개선한다는 도전적 목표(Stretch Goal)를 설정하고, 문제점을 근원적 수준으로 풀어 헤쳐(Tear Down) 해외 우수기자재를 벤치마킹하고 새로운 생각과 방법으로 재설계(Redesign)에 매진하고 있다. 그럼 KEPCO의 저비용 · 고품질의

High-Value 배전기자재 Spec 개발 TDR활동 사례를 소개한다.

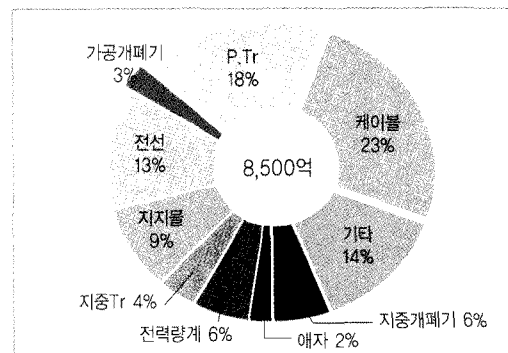
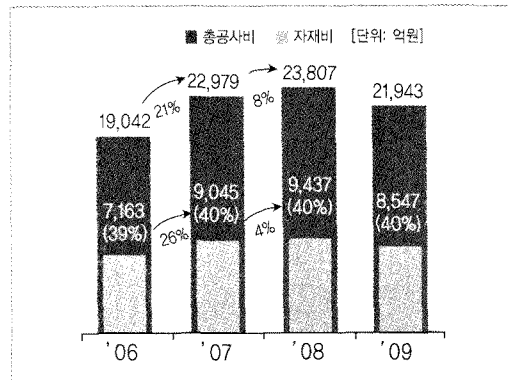
II. 현황

KEPCO의 배전분야 투자비는 2.2조원/연(KEPCO 전체 투자비의 52%점유)이며, 자재비는 8,500억원/년으로 배전투자비의 약 40%를 점유하고 있다. [그림2]에서 볼 수 있듯이 기자재별 구매비 점유율은 전력케이블 23%(1,990억원), 주상변압기(이하 P.Tr) 18%(1,500억원), 전선 12%(1,020억원), 가공용개폐기 2%(140억원)를 점유하고 있다. 주요 자재 구매비용의 20%인 1,000억원을 절감할 경우, 전기요금의 약0.3% 증가요인을 없애는 효과가 기대되고 있다.



- ▶ "Tear down" : 문제를 손에 잡히거나 눈에 보이는 수준까지 풀어 헤쳐서 근본적인 원인을 분석하고,
- ▶ "Redesign" : 새로운 생각과 방법에 따라 경영 시스템과 서비스를 새롭게 구성하여 탁월한 성과를 창출하는 것

[그림 1] KEPCO의 TDR



[그림 2] 배전투자비와 자재비 현황

주상변압기, 케이블, 가공개폐기 등 3개 기자재 개발대상 선정

세계의 전력기기 시장규모는 국내시장의 50배가 넘는 거대한 규모로 추정되고 있으나 국내 전력기기 제조회사는 규모가 영세한 내수의존형 구조로서 국제경쟁력이 취약한 상황이며, 최근 3년간 전력기 자재의 수출실적은 국내시장의 2배 규모인 약 6조 원으로, 전선 3조원, 개폐기 1.5조원, 케이블 1조원 이고 기타 자재의 수출은 거의 없는 실정이다.

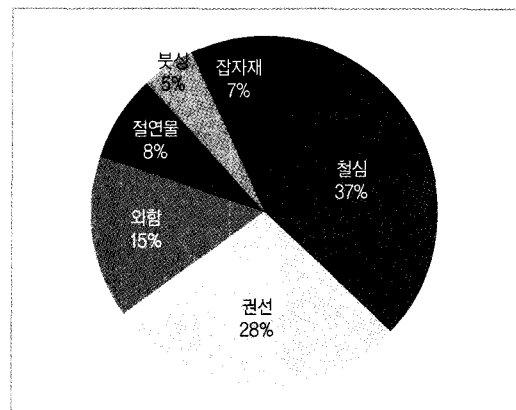
또한, FTA 확대로 전력시장 개방과 경쟁가속은 피할 수 없는 환경이 되었으며 기후변화 협약에 따른 친환경소재의 사용은 더 이상 '선택이 아닌 필수' 조건이 되었다. 아프리카와 동남아시아 같은 개발도상국의 전력설비는 앞으로 확장일로에 있다. Global기업의 국내진출에 대비하고 해외 전력시장의 신규 개척을 위해서는 가격과 품질이 우수한 기자재를 개발하여 국내 전력기기 회사의 해외수출 촉진이 절실히 필요한 실정이라 하겠다.

TDR팀은 Cost의 절감효과, 개발의 용이성, 해외 수출 가능성 및 현재의 품질수준을 토대로 평가하여 높은 점수를 받은 주상변압기, 케이블, 가공개폐기 등 3개 기자재를 개발대상으로 선정하고, 중소기업협력과제로 수행기업을 공모하여 '09년 7월부터 12월까지 6개월 동안 Compact P.tr, Neo-Cable(고·저압), Eco-개폐기 3개 기자재의 시제품을 개발완료하고 공인기관 시험 및 현장에서 실증Test를 진행 중에 있다.

II. Compact P.Tr 50kVA 개발

1. 개발 방향

주상변압기는 약 33개 부품으로 구성되어 있고 체적이 0.34m³, 중량은 290kg정도이며, 제조사별로 종류 및 크기 등 외형과 내부구조가 다양하다. 2008년 기준 동권선변압기의 원가구성 요소를 보면 재료비가 62%를 점유하고 있으며, [그림3]에서 볼 수 있듯이 부속품 중에는 철심(37%) → Coil(28%) → 외함(15%) → 절연물(8%) 순으로 점유율이 높게 나타난다.



[그림 3] P.Tr 50kVA 재료비

개발방향은 'Slim화'를 위해 Size/중량 축소 및 저활용 부품을 제거하고 크기와 형상을 표준화하였으며, 'High-Tech화'를 위해 변압기의 철손 및 동손을 줄여 효율을 높이고 외관은 Smart Design과 Sweet Color를 적용하였다. 또한, 'Green화'를 위해 무독성, 난연성 및 재사용이 가능한 재료를 사용하고, 'Global Standard화'를 위해 국제기준인 IEC/IEEE 기준과 DOE(미국에너지부, Department of Energy)의 기준에 부합화 시켰다.

2. 개발내용

(1) Core : 0.23mm 신소재 규소강판

Posco와의 협력연구를 통해 기존 규소강판 대비 철손은 23%(1.05W/kg → 0.85W/kg), 두께는 23%(0.30mm → 0.23mm)를 줄일 수 있는 신소재 규소강판을 적용한 결과, 50kVA 개발제품의 중량은 약 12%, 손실은 100W이하로 줄일 수 있다.

구분	기존Core	개발Core
두께(mm)	0.3	0.23
밀도(g/cm ³)	7.65	7.65
철손(W/kg)	1.05	0.85

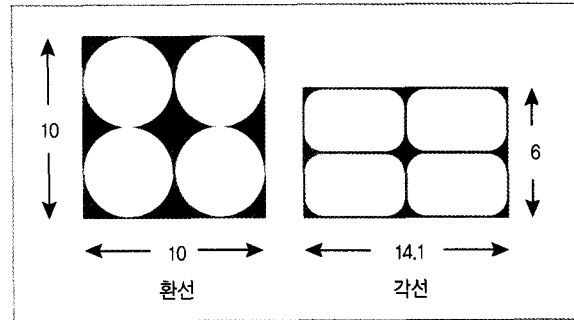
[표 1] 규소강판 비교

(2) Coil : Al 각선(1차/ 2차)

[그림4]에서 볼 수 있듯이 각선은 기존의 환선 대비 점적율이 15%(78.5% → 93.5%) 향상되어 부피를 줄일 수 있고, 접촉면적을 증가시켜 단락강도 증대효과가 기대된다. 하지만 국내여건상 Al각선 제작에 한계가 있어 권선작업 공정 중에 환선을 각선으로 변환하여 적용하였다.

(3) 절연유 : 식물성 절연유

미국의 123개 전력회사에서 적용 중인 식물성 절

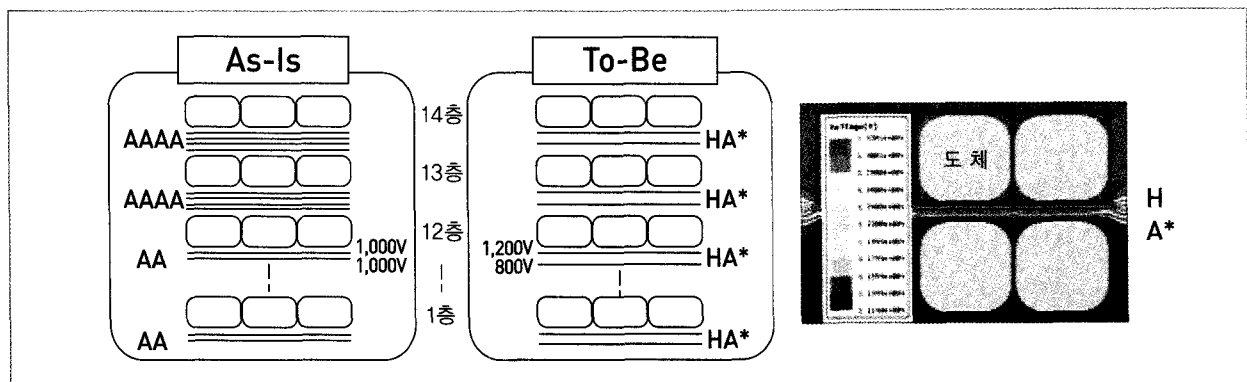


[그림 4] 환선 및 각선 비교

연유는 기존 광유에 비해 절연파괴전압은 약 2배, 생분해도는 약 4배, 인화점은 약 2.2배로 획기적으로 향상시킬 수 있는 재료이다. 그러나 식물성 절연유는 유동점이 높아 Cold Weather Issue가 있어 미국에서 처음으로 식물성 절연유를 채택한 Xcel Energy의 실증사례와 국내에서 가장 추운 철원지역의 과거 10년간 최저기온 분포를 비교한 결과 절연특성 및 기계적 동작에 문제가 없는 것으로 분석되었다.

(4) 절연지 : H + A*종

온도상승한도는 국제표준(IEC)과의 부합화를 위해 권선은 65℃(기존 55℃), 절연유는 60℃(기존 50℃)로 상향 조정하였고, [그림5]에서 볼 수 있듯이 내열특성이 우수한 A*(Thermal Upgrade Kraft Paper)와 H종의 복합절연방식을 적용하였다.



[그림 5] 절연설계 도면 및 Maxwell 전계해석

50kVA, Neo-Cable, Eco-개폐기 630A 개발

(5) 외함 : 방열기 Corrugate Type 적용 등

방열기는 Pannel Type에 비해 체적감소(약 12%) 및 경량화가 가능한 Corrugate Type을 적용하였고, 뚜껑은 평면형에서 15° Slope Type으로 개선하고 볼트 조임방식은 밴드 조임방식으로 변경하여 탱크용적은 3% 크게 하는 효과와 I볼트 등의 불필요한 부품을 줄일 수 있었다. 또한, 색상은 노랑 락



[그림 6] Compact P.Tr

회색(Munsell No 5Y 7/1)에서 환경과의 조화성, 친근감 및 안정감을 고려하여 밝은 회색(Munsell No N9.0)으로 바꾸었으며, 탭체인저의 위치는 내부조작형에서 외부조작형으로 변경하여 작업자의 편의를 도모하였다.

3. 기대효과

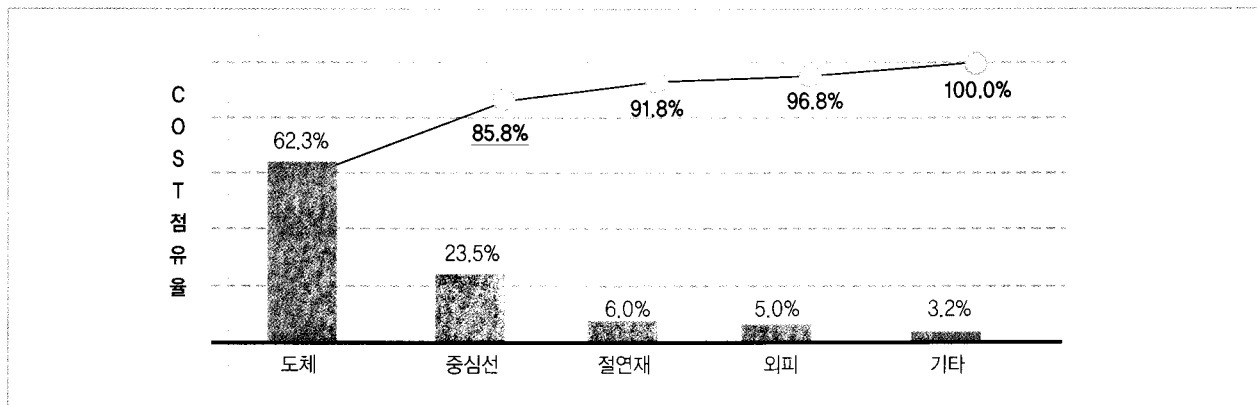
Compact P.Tr개발은 변압기효율(50%부하) 0.19%(98.89 → 99.08%) 향상, 중량 및 체적 12% 감소, 자재비 15% 절감효과가 예상되며 효율증가에 따른 배전선로의 손실 전력량 감소, CO₂ 배출억제, 수명 연장의 부수적인 효과가 기대된다.

III. Neo-Cable(고·저압) 개발

1. 개발방향

배전선로에 사용되는 전력케이블 TR CNCV-W 325mm²는 7개 재료로 구성되어 있고 1m의 중량은 약 5.4kg이다. 2008년 기준 원가의 구성요소를 보면 재료비가 73%를 점유하고 있으며, [그림7]에서 볼 수 있듯이 부속품 중에는銅도체(62%) →銅중성선(24%) → 절연체(6%) 순으로 점유율이 높게 나타난다. 주요원인은 재료비의 86%를 점유하고 있는銅(Cu)의 원자재 가격이 2000년 대비 3.8배가 상승, 자재비 급증의 원인이 되고 있다.

개발방향은 지중용 전력케이블에銅이 아닌 알루미늄(이하 Al) 도체를 적용하고 저압 4심케이블을 '새롭개(New)' 개발하며, 도체 규격은 유효성 검토



[그림 7] 고압케이블 325mm² 재료비 점유율

구분	Cu	Al	비고
도전율(%)	100	61	Cu대비 61.0%
인장강도(kg/mm ²)	24	16	" 66.7%
신장율(%)	38.5	6.0	" 15.6%
비중(kg/m ³)	8,940	2,700	" 30.2%
가격(\$/ton)	4,130	1,410.5	" 34.1%

[표 2] 도체 재질 비교

→ 최적화 → 적합성 검증, 접속재는 호환성 검토
 → 국내외 제품선정 → 시공성 검증을 통하여 'Redesign' 하고 국제규격인 IEC와 IEEE에 부합하는 'Global Standard화' 하는 것으로 설정하였다.

2. Neo-Cable(고압) 개발내용

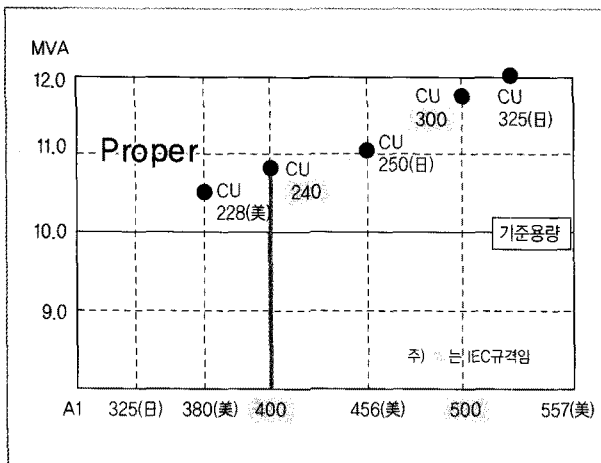
(1) 도체 재질 : Al

[표2]에서 볼 수 있듯이,銅대비 Al은 중량은 30% 수준으로 가볍고, 가격은 34%수준으로 낮아 동일한 도전율로 제품화 할 때 중량 52%, 가격은 84% 절감이 가능하여 중량과 경제성 측면에서 우수하다. 또한, EDF, ENEL 등 유럽의 메이저 회사에서는 Al도체 케이블을 주로 사용하고 있으며, Nexans,

Eupen의 전선회사에서는 다양한 규격의 알루미늄 케이블을 생산하고 있어 Al을 적용하는데 문제점은 없을 것으로 판단되었다.

(2) 도체 단면적 : 400mm²

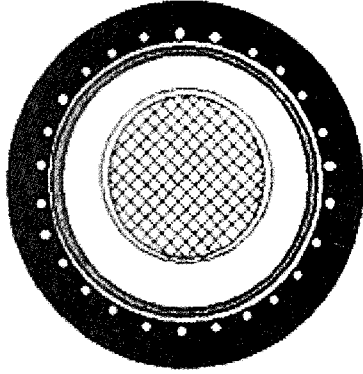
[그림8]에서 볼 수 있듯이, KEPCO의 배전선로 기준용량은 10,000kVA이며, 지중배전 선로의 최악 조건인 3단3열의 5번 관로에 적합한 케이블규격은銅도체 228mm², Al도체 380mm²이상으로써, IEC규격과의 부합화를 위하여 400mm²로 선정하였다. 단시간 허용전류는 전기연구원의 Ampacity 프로그램으로 검증한 결과, 운전조건인 10시간, 14,000kVA을 만족하였고, 고장시 허용전류는 37.7kA로 운전조건인 12.5kA를 초과하였다.



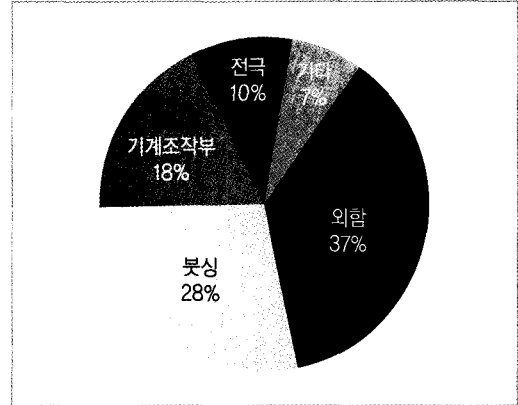
[그림 8] 도체 단면적 선정

(3) 중성선 : 재질 Cu, 단면적 82mm², Encapsulating Type

중성선은 완성품의 외경감소와 접속개소 등 외부 노출부위의 부식방지를 위해 Cu를 선정하였고, 단면적은 도체의 1/3인 82mm²(2.0mm 26가닥)을 선정하였다. 또한, 중성선은 수분침투 방지와 외경감소 효과가 우수한 [그림9]의 Encapsulating Type을 적용하여 케이블의 최대외경을 기존 TR CNCV-W 325mm²과 같게 개발하였다.



[그림 9] 케이블 형상



[그림 10] 개폐기 재료비

3. Neo-Cable(저압) 개발내용

저압케이블의 도체 재질은 고압케이블과 동일한 Al을, 단면적은 300mm²를 중성선은 150mm²를 선정하였으며, 형상은 단심에 대비 시공비가 24% 절감 가능한 4심 케이블을 추가로 개발하였다.

4. 기대효과

Neo-Cable(고압) 개발은 중량 35% 감소와 자재비 52% 절감이 예상되고 Neo-Cable(저압) 개발은 중량 47% 감소와 자재비 76% 절감이 예상되며, 중량 감소로 인한 자재운반비 및 시공의 편의성 등 부수적인 효과가 기대된다

IV. Eco-개폐기 630A 개발

1. 개발방향

가공개폐기는 118개 부품으로 구성되어 있고 체적이 0.36m³, 중량은 215kg정도이며, 제조사별로 종류 및 크기 등 외형과 구조가 다양하고 2013년부터는 기후변화협약 참여에 따라 절연매체로 사용하고 있는 SF₆ 사용규제가 예상되고 있다. 2008년 기준 가스절연부하개폐기의 원가 구성요소를 보면 재

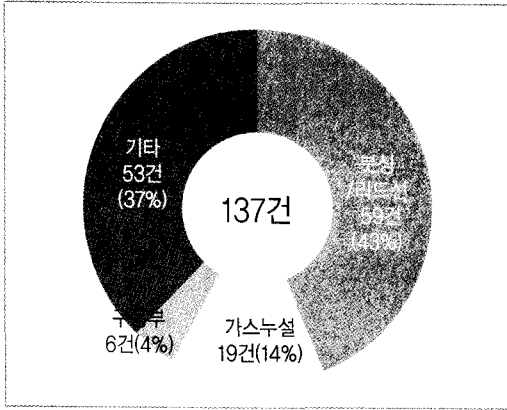
료비가 76%를 점유하고 있으며, [그림10]에서 볼 수 있듯이 부속품 중에는 외함(37%) → 붓싱(28%) → 기계조작부(18%) → 전극(10%) 순으로 점유율이 높게 나타난다.

개발방향은 SF₆사용을 하지 않고 외관은 Smart Design과 Sweet Color를 적용하여 'Eco-Friendly' 하며, 고장발생요인을 사전제거하고 무보수/ 장수명 부품을 적용하여 'Zero-Defect'를 달성하는 것이다. 또한, Size/중량 축소 및 저활용 부품을 제거하고 크기와 형상을 표준화하여 'Slim화' 하였으며, 계측정밀도 향상으로 'Smart Grid' 기능 구현이 가능하도록 설정하였다.

2. 개발내용

(1) 절연재/ 소호재 : Epoxy/ Vacuum

SF₆가스는 온난화지수가 23,900으로 매우 높고 폭발위험이 있으며 가스의 누설관리가 필요하나, Epoxy는 무독·무해하며 Slim화가 가능하여 SF₆ 대비 해당 자재비를 20% 줄일 수 있으며 수명연장 및 유지보수가 불필요한 장점이 있다. 또한 SF₆의 대체절연재로 각광을 받고 있는 Epoxy는 ABB, Cooper 등 메이저 전력기기 제조사에서 이미 사용 중인 친환경 물질로 알려져 있다.



[그림 11] 개폐기고장 현황

VI(Vacuum Interrupter)의 Vacuum은 짧은 극간에서 절연능력이 우수하여 절연간격을 12mm로 축소가 가능하고, 개폐기의 Size를 줄일 수 있으며 기계적 개폐수명을 5배(2,000 → 10,000회) 증가시키는 효과가 있다.

(2) 붓싱인출구조 : Clamp

[그림11]에서 볼 수 있듯이 최근 3년간 개폐기 고장원인을 분석하면, 붓싱 · 리드선 고장이 전체의 43%를 점유하고 있고, 이중 몰드콘에 의한 붓싱크랙 및 접합부 수분침투가 주요원인으로 나타났다. 따라서 몰드콘에 의한 접합부를 제거하고 붓싱과 도체, 클램프를 바로 연결하는 구조인 Clamp Type로 개선하여 고장요인을 사전에 제거하고, 제조비를 74% 감소하는 효과를 얻을 수 있었다.

(3) 붓싱의 구조 설계

붓싱은 VI의 중력방향과 일치하여 기능구현이 용이하고 아크 · 절연 특성이 우수한 수직형을 적용하였고, 전계해석 프로그램을 활용하여 최적의 절연 두께 및 거리를 설계하였다. 설계결과로는 표면누설 거리(Creepage Distance)는 645mm이상, 도체간 거리(Arc Distance)는 260mm이상, 부싱상간 거리는

310mm로 국제규격에 부합시킴으로써 신뢰성을 향상시켰다.

(4) 설치가대/ 전압센서 : 밴드형/ RVD

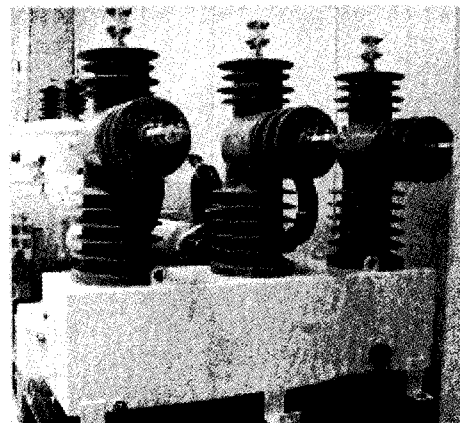
설치가대는 프레임형을 밴드형으로 개선하여 중량 및 부품수를 줄임에 따라 경량화 및 시공성을 향상시켰다. 또한, 전압센서는 정밀도가 ±1.0%로 높고 안정적인 저항분압방식(RVD, Resistance Voltage Divider)을 적용하여 Smart Grid의 배전 지능화 기능을 구현토록 하였다.

3. 기대효과

Eco-개폐기 개발은 중량 35%와 체적 24% 감소되고 자재비 15% 절감효과가 예상되며, 탄소배출권 추정거래가격 연간 약 50억원의 절감 및 수명연장 등의 부수적인 효과가 기대된다.

V. 전망

KEPCO는 High-Value 배전기자재(Compact P.Tr, Neo-Cable, Eco-개폐기)를 조기에 확대 사



[그림 12] E-co 개폐기

용하기 위해 지난 10월에 KEPCO SRM(기자재 공급업체 포털)을 통해 개발방향을 공개하였으며, 11~12월중에 시공성에 대한 실증 Test와 공인기관의 시험을 시행하고, '10년 1월에는 기자재 구매규격서를 공개할 예정이다. 또한, '10년 상반기 사업소의 시범운영을 거쳐 하반기에 본격 사용할 수 있도록 추진할 계획이다.

High-Value 배전기자재가 본격 사용될 경우 연간 1,100억원 자재비 절감이 예상되며, 기자재의 품질관리 핵심요소를 체계적으로 관리하고 신기술·신소재를 지속적으로 적용함으로써 품질 업그레이

연간 1,100억원 자재비 절감 예상

드가 기대된다. 또한, 배전기자재 협력회사의 기술을 선도하여 가격과 품질측면에서 세계 최고수준의 전력기자재 생산기반을 구축하여 전력시장의 개방에 대비하고, 국제경쟁력을 확보하여 전력기자재 수출을 촉진할 수 있을 것으로 기대된다. KEA