

부하 추종형 실시간 변압기 손실감소운전시스템 개발과 시범운영 경제성 분석

The Development of an Operating System for Load-following Real-time Transformer Loss Minimization and Economic Analyses on its' Test Operation

이 옥 배* · 안 재 경†
(Okbae Lee · Jaekyoung Ahn)

Abstract - In this paper, for minimizing the real-time operating load losses of the power transformer, a SCADA optimum operating system was developed, and the economic analyses on the test operation were performed. Transformer loss DB which reflects the economic integration operation criteria was constructed by referring the transformer manufacturer's loss data(iron loss, copper loss). Based on the loss DB, each substation transformer real-time loss was calculated according to the size of the transformer loads, and if integration or separation transformer operating conditions minimizing the loss are met, then a window pops-up and the dispatcher performs the substation equipments operation according to the procedure provided by this system. With the existing SCADA main program, the relation database of the substation facilities and integration/separation operation algorithm were developed and applied to Auto MTR Processor and pconn Processor Task module. Seven stations test data for seven months were analyzed for the economic analyses, and the results showed that Cost-Benefit ratio was 2.64, and IRR(Internal Rate of Return), 36%, which asserted the economic justification of the proposed system.

Key Words : Power transformer, Loss minimizing, SCADA, Economic analysis

1. 서 론

최근 Smart Grid 건설을 위한 전력산업과 IT산업을 결합하여 고품질 고효율의 전력서비스 제공을 위한 움직임이 날로 치열하게 전개되고 있다. 지능형 전력망의 근간을 이루는 변전소 설비도 IEC 61850을 기반으로 개발되어 신설 변전소에 설치되기 시작하고 있으나, 이는 변전소 자체 설비에 한정된 것으로, 송변전설비를 전체적으로 감시·제어 관장하는 SCADA의 선진화는 IEC 61970과 IEC 61968에 기반하여 개발진행 중이다[1-2]. 현재 국내 송변전설비의 운전시스템은 재래식 설비 구성으로 실시간 능동적 부하추종 급전운영이 어려우며, 지난 10여년전 개발된 기존의 시스템을 부분적으로 개선 사용하고 있다. 현재 SCADA관련 분야의 기술은 사용자의 인식개선, 오조작 방지 등을 S/W적으로 접근하여 소기의 성과를 달성하기도 하였으나, 이러한 것들은 설비의 운전신뢰도를 향상하기 위한 방편이었으며, 전력망 자체의 효율을 향상하기 위한 개선이라고는 볼 수 없다. 지능형 전력망은 운전신뢰도뿐만 아니라 전력망의 손실을 최소화 하는 효율성에도 주목하여 이를 실현하기 위한 여러 방법이 개발 진행 중이나, 구체적으로 이를 실현하기 위한 접근은

H/W적 개선을 동반하여 막대한 비용이 수반되어 전체적으로 적용하기에 요원하다고 할 수 있으며, 또한 그러한 방법이 개발된다고 하여도 대부분 신뢰도에 치중하여 기존의 시스템을 기반으로 하는 대다수 변전소의 효율화를 기할 수는 없다. 이에 기존의 시스템의 H/W를 변형하지 않으며 설비 운영 측면에서의 효율화 방법으로서, 저비용 고신뢰도의 S/W적 시스템 개선으로 154kV전력용변압기의 운전손실감소를 위한 운전방법의 효율화를 연구하여 전력망의 효율적 운영안을 제기하고자 한다.

2. 154kV 전력용변압기 운전방식과 손실검토

2.1 전력용변압기 운전방식

전력용변압기의 운전방식은 모선통합운전방식, 뱅크별 운전방식으로 구분되며, 현재 국내 변전소 중 배전선로에 부하를 공급하는 154kV변전소의 전력용변압기 운전은 최고의 공급신뢰도를 기본 목표로 고장구간의 최소화와 정전시간의 최소화를 위해 변압기뱅크별 운전이 적용되고 있으며, 일반적으로 변압기 뱅크당 6~7개의 배전선로를 공급하고 있다. 154kV변전소는 대부분 3~4뱅크의 전력용변압기가 설치되어 있으며, 부하가 변압기 정격용량의 75~80%에 도달하면 변압기를 증설하며, 변전소 부지 협소 또는 배전선로의 인출 곤란과 같이 증설이 용이하지 않으면 변전소를 새로이 건설한다[3]. 그림 1의 단선결선도에서는 3뱅크의 154kV전력용 변압기가 23kV 모선의 구간별로 각각 6개의 배전선로(D/L)를 공급한다.

* 시니어회원 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원
산업정보시스템전공 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 서울과학기술대학교 기술경영융합대학 교수
E-mail : jkahn@seoultech.ac.kr

접수일자 : 2012년 2월 16일

최종완료 : 2012년 5월 25일

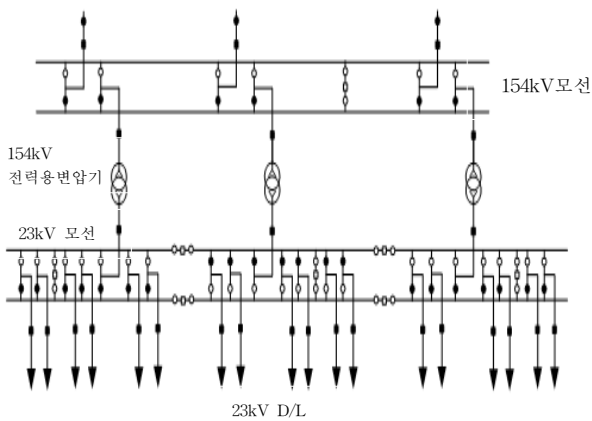


그림 1 154kV 변전소 단선결선도
Fig. 1 154kV substation single line diagram

2.2 154kV전력용변압기 손실 검토

154kV전력용변압기는 삼상형과 상분리형이 설치되어 운전중이며, 1994년 이후에는 대부분 상분리형을 설치 운전하여 변압기의 손실이 증가하였다. 변압기의 손실은 무부하손실과 부하손실이 있으며, 상분리형의 경우 무부하손실이 삼상형보다 커 손실 증가의 원인이 되고 있다. 삼상형이 손실이 적으나 운반시 교량통과중량의 제한에 따라 교량 보강비의 과다로 설치되는 경우가 극히 제한적이며, 이를 개선하기 위한 고가의 경량화 변압기가 개발되어 있으나 이는 부하손이 기존의 변압기보다 커지는 단점이 있어 널리 보급되지 않고 있다[3]. 본 논문에서는 주로 상분리형을 적용하여 변압기의 손실을 검토하였다.

부하에 따른 변압기 손실전력 계산은 다음과 같다.

$$LT = \left[LI + \left\{ \frac{L1[MW]}{C[MVA] \times PF} \right\}^2 \times LC \right] \times n \quad (1)$$

- LT : 총 손실[kW]
- LI : 무부하손(일정, 변압기 제작사별 고유치)[kW]
- L1 : 총부하[MW]
- C : 변압기 용량[MVA]
- PF : 운전역율
- LC : 부하손(부하전류 I²에 비례)[kW]
- n : 운전 뱅크 수

위의 조건에 따른 154kV전력용변압기 손실은 다음과 같이 2 종류로 분류한다.

(1) 45/60[MVA], 3상분리형, 자냉식, 전부하 기준, 무부하손 60~66[kW], 부하손 264~270[kW]

(2) 45/60[MVA], 3상형, 자냉식, 전부하 기준, 무부하손 24~42[kW], 부하손 150~230[kW]

뱅크별 운전방식에서 표 1은 표준변전소(154kV, 4Bank)의 경우 부하크기에 따른 #1, #2Bank의 운전방식별 변압기 운전손실을 계산한 것으로서 무부하손 66[kW]와 부하손 267[kW]의 손실조건하에 역률을 99%로 가정하여 총 부하의 증가에 따른 손실 비교하면 #1, #2Bank의 부하가 31[MW] 이하에서는 2뱅크의 변압기에 의한 뱅크별 분리운전공급보

다 1뱅크의 변압기에 의한 23kV 모선 통합운전이 보다 경제적인 변압기 운전임을 알 수 있다.

표 1 운전뱅크 수 별 변압기 손실(자냉식 45[MVA])

Table 1 Power transformer losses by operating banks(OA 45[MVA])

총부하 [MW]	총손실 [kW]	무부하 손[kW]	부하손 [kW]	단위부하 [MW]	운전 뱅크수
31	195.28	66	129.28	31	1
31	196.64	132	64.64	15.5	2
32	203.76	66	137.76	32	1
32	200.88	132	68.88	16	2
33	212.50	66	146.50	33	1
33	205.25	132	73.25	16.5	2

3. 154kV전력용변압기 실시간 손실감소운전을 위한 SCADA 시스템 개선

효율적인 변압기 운전을 위해 급전원이 해당변전소의 변압기별 부하상태를 파악하고 해당 변압기별 손실을 계산하여 수동으로 제어할 수 있으나 대상 변압기가 25~30뱅크 이상으로서 인적감시제어가 곤란하며, 이를 실시간으로 인지하여 다양한 급전업무 수행 중에 실행하기는 불가능하여 SCADA 시스템에 의한 자동 운전을 추진하게 되었다.

SCADA 시스템은 변전소 내 전력설비를 “급전조작에 의한 원격 제어”가 가능하도록 설계되어 전력설비의 감시, 제어, 계측, 및 보호계전기동작 통보 기능 등을 처리하는 시스템이다. 그림 2는 현재 운영 중인 SCADA 시스템의 제어블록 다이어그램을 나타낸다[4].

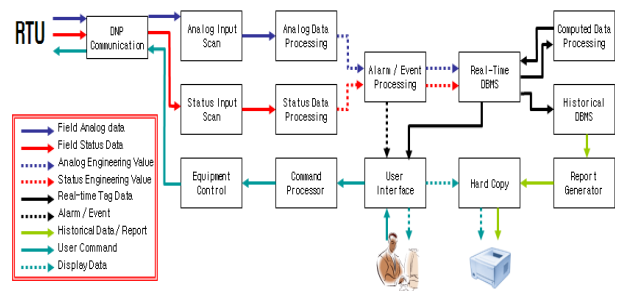


그림 2 SCADA 시스템 블록 다이어그램
Fig. 2 SCADA system block diagram

본 논문에서는 SCADA에 사용되는 여러 종류의 H/W와 변전설비에 대한 변경이나 추가없이 S/W적 개선에 의한 접근을 목표로 하고 있으며, 이는 주로 데이터베이스의 개조와 추가되는 제어모듈을 개발 적용하는 것이다.

사용자의 기기제어 시 사용하는 HMI의 제어대상과 이를 사용자에게 편리하게 제공하기 위함이 개선의 요체이다. 급전분소 제어그래픽 화면이 중요한 이유는 제어화면에서 사용자가 제어 포인트를 선택하여 제어를 실행하며 각 설비의 연관성을 나타내고 있다. 현재의 SCADA에서 각 제어 포인트

트는 각각의 변전설비를 의미하며, DB에서 하나의 주소가 주어지며 이 하나의 주소에 또 설비의 다양한 상태 값을 추가하여 편집할 수 있는 구조로 되어 있다. 사용자는 이미 알고 있는 어드레스를 기본으로 각 기기를 화면에 나타내기 위해 제어용 단선결선도를 그리게 되나, 실제로 각각의 기기 제어포인트는 DB적으로는 아무런 연관성이 없는 상태이며, 프로그램의 내부 S/W에서는 변전기기별 상호 연결 관계를 알 수 없다[5].

변압기 통합/분리 운전은 변압기와 관련 기기들이 전기회로적으로 연결되어 있는가를 인지하는 것이 매우 중요한 요인이다. 따라서 표 2와 같이 SCADA 포인트정보를 저장하기 위한 DB 구성정보(Analog & Digital Point 상태)를 작성하였다. 이렇게 작성된 기기조작 DB구성정보를 바탕으로 전력설비 연결관계 데이터베이스(DS, T/L, M.Tr, BUS, CB, D/L)를 구성하여 상호 Mapping하여 실시간으로 변화된 값을 지속적으로 업데이트하고 시스템이 변압기를 중심으로 상위 하위의 연결된 기기(차단기, 모선, 선로 등)를 인식할 수 있도록 하였다[6].

표 2 변전설비 연관관계 DB 테이블

Table 2 Relation DB table for substation equipments

변전설비 상호 연관관계	변전소 SCADA 입력정보			
	Analog 현장 Point 값	Analog 연산	Digital 현장 Point 값	Digital 연산
단로기(DS)	✓	✓	✓	✓
송전선로(T/L)	✓	✓	✓	✓
변압기(M.Tr)	✓	✓	✓	✓
모선(BUS)	✓	✓	✓	✓
차단기(CB)			✓	✓
배전선로(D/L)	✓	✓	✓	✓

변전소는 대부분 그림 1과 같이 3~4뱅크의 변압기가 설치된 표준화변전소들이므로 변전소의 운전조건과 기기연결은 대동소이하여 통합/분리운전을 위한 기기조작 DB는 3뱅크 변전소용, 4뱅크 변전소용을 작성하게 되면 약간의 수정을 거쳐 타변전소에서도 범용적으로 사용할 수 있다.

3.2 실시간 변압기 손실감소운전시스템 개발

그림 3은 변압기 운영손실 최소를 위한 실시간 변압기 손실감소운전시스템 개발의 개요를 나타낸다. 개발 S/W는 급전분소 급전원이 사용하는 사령원 콘솔(HMI : Human and Machine Interface)의 모니터 상에서 제어가 이루어지도록 설계하였다. 실시간 변압기 손실감소운전시스템의 구성은 각 변전소별 현장데이터를 RTU가 수집하고 FEP과 DATA 변환을 거쳐 SCADA 입력정보로 사용되며, 본 시스템에서 구축된 SCADA 시스템 연관관계 DB를 변전설비별 객체화 및 단선도 연계기술을 통하여 지능형 운전이 가능하다[7].

그림 4에서와 같이 기존의 SCADA 시스템에 pconn Processor(변전소 MTR 운전정보)에 의한 SCADA point 정보와 RT(Real Time)-DB의 현장정보를 바탕으로 전력계통

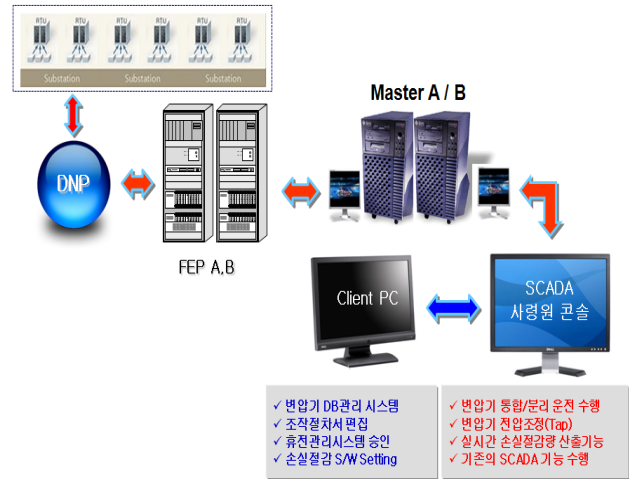


그림 3 실시간 변압기 손실감소운전시스템 개요

Fig. 3 System scheme for minimizing real-time transformer loss

의 연결 관계를 정의하고, Auto-MTr Processor에 의하여 실시간으로 손실절감을 위한 변압기 운전시스템의 지능형 변압기 통합/분리 운전에 대한 의사결정이 가능하게 된다.

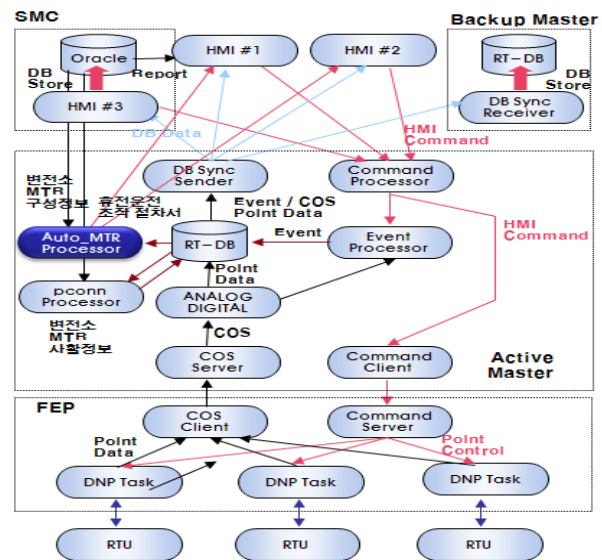


그림 4 SCADA 시스템 모듈 구성도

Fig. 4 SCADA system module diagram

변압기 손실절감을 위한 23kV 모선의 통합/분리 운전은 변압기별로 실시간 부하변화에 따라 연산된 손실값을 바탕으로 그림 5와 같은 알고리즘에 의해 통합/분리여부를 실시간으로 연산하여, 통합/분리 조건이 발생되면 그림 6과 같이 자동으로 통합/분리 Pop-up창을 발생하며(찾은 Pop-up 발생의 방지와 찾은 기기조작에 의한 차단기 정비비용 발생 방지를 위해 지연시간의 설정이 가능함), 각각 변전소 설비들의 실시간 정보와 최신 운전데이터를 바탕으로, 통합/분리 운전에 대한 운전지침 및 제어절차를 SCADA 급전제어콘솔의 순차적인 제어Pop-up창에서 급전조작을 수행한다.

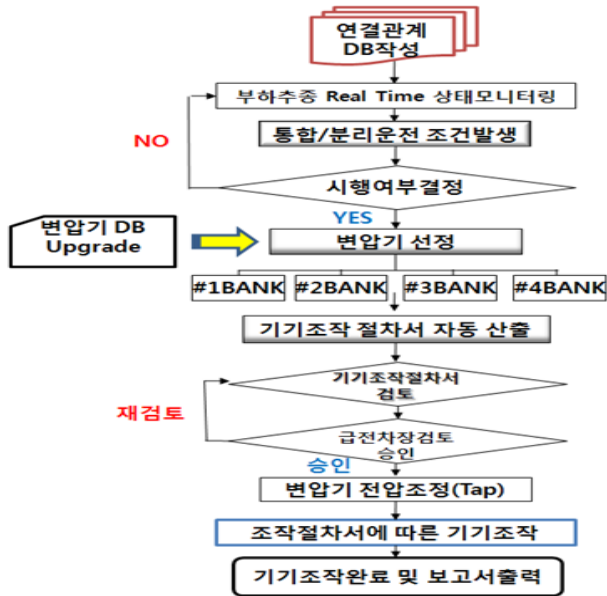


그림 5 변압기 통합/분리운전 S/W 알고리즘
 Fig. 5 S/W algorithm for Transformer integration / separation operations

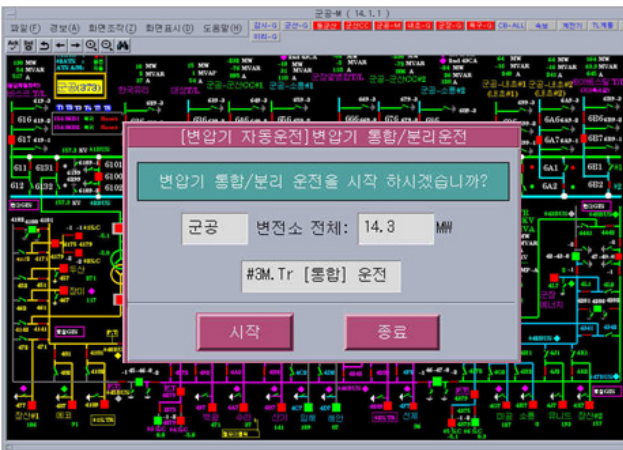


그림 6 변압기 통합운전 조건 발생 pop-up
 Fig. 6 Transformer integration operation pop-up

휴전/환원 변압기 선정은 시스템에 의해 주로 이루어지나, 급전원의 판단에 의해 통합/분리대상 변압기의 변경이 가능할 수 있도록 하였다. 또한 시스템 지시에 의한 기기 조작절차서 적용 검토 시 조작절차서 미리 보기 기능을 추가하여, 선택된 변압기의 조작절차 검토 및 최소 조작횟수를 사전에 검토 할 수 있도록 기능을 부여하였다. 적용된 조작절차는 급전원의 Client PC에서 1차 검토 후 급전차장의 승인을 거쳐 기기조작절차를 진행하게 된다.

또한 급전원의 판단을 위한 보조 자료로 변압기 특성(무부하손, 부하손, 절연역률 등)과 운전이력(고장 및 수리 등을 반영)에 의한 가중치를 변압기 운전 선정에 참고할 수 있도록 그림 7과 같이 변압기 DB관리 시스템을 개발하여 적용하였으며, 통합운전변압기 선정 시 보조자료로 사용할 수 있도록 하였다.



그림 7 변압기 DB관리 시스템
 Fig. 7 Transformer DB management system

통합 변압기가 최종으로 선정되면 루프운전을 위한 변압기 전압조정을 수행하고, 전압조정이 완료되면 승인된 기기 조작절차서에 의한 변압기 통합/분리 운전이 진행된다.

운전 또는 휴전중인 변전설비의 현재 SCADA Point상태 값을 기준으로 변압기운전을 위해 조작이 필요한 차단기의 순차적 제어가 표시된 변압기 통합/분리운전 기기조작절차화면을 통해 시스템과 급전원과의 대화형식인 양방향 커뮤니케이션을 통하여 시스템 지시 값 및 현장설비 상태를 바탕으로 조작절차를 진행하게 된다. 기기조작 종료 후 완료 보고서에 시스템 지시와 SCADA 이벤트를 같이 출력하도록 설계하였다.

4. 시범운영 결과

4.1 시스템 영향

추가 개발된 모듈과 연산에 의한 CPU States를 측정결과 CPU는 86.7% idle 상태이고, 추가된 프로그램의 용량은 12MB(SCADA프로그램 401MB, 하드용량 300GB로서 시스템에의 부담은 문제가 없는 것으로 나타났으며, RTU를 통한 현장 데이터 취득은 기존 시스템의 데이터 스캔에 의해 행해지므로 변전소와 SCADA 시스템간 통신 데이터 트래픽의 증가는 고려할 필요가 없으며, 시범운영 결과 SCADA 전체 시스템 또는 메인 시스템의 오동작을 발생하는 등의 부작용은 없었다.

4.2 효과 측정

시범운영 대상 7개 변전소의 부하특성과 변전소별 변압기 손실과 기준부하는 표 3과 표 4와 같다. 변압기에 연결된 차단기를 실제어하지 않고 실시간 자동운전모드로 통합운전 신호의 발생과 발생당시의 부하를 기록하고, 분리운전 신호의 발생과 발생당시의 부하를 기록하여 절감 전력량을 계산하였으며, 시범운영은 2011. 1. 10 ~ 7. 31까지 시행하였다.

시범 측정 데이터 분석을 위해 구입전력단가는 81.59[원/kWh]을 적용하였고, 뱅크당 차단기 점검비용은 23kV VCB는 2대*910,335[원], 170 GIS 정밀점검비용은 1대*11,681,293[원]이며, 변전소별 뱅크당 손실과 기준부하는 표 4와 같이 적용하였다[8].

일평균 차단기조작횟수가 많이 나타난 변전소는 B, C, F,

표 3 시범운전 대상 변전소의 주요 부하
Table 3 Main loads on pilot test substations

구분	A	B	C	D	E	F	G
변전소 형태	옥내 GIS	옥외 GIS	옥내 GIS	옥외 철구	옥내 GIS	옥내 GIS	옥외 GIS
변압기 Bank수	4	3	3	2	4	3	3
주요 부하	공단	공단 도시	공단	도시 군부대	공단	도시	공단 농촌

표 4 변전소별뱅크별 손실과 통합/분리 기준부하
Table 4 Substation load and integration/separation reference load by bank [손실 단위 : kW]

구분	A		B		C		D		E		F		G		
	손실	부하	손실	부하	손실	부하	손실	부하	손실	부하	손실	부하	손실	부하	
# 1	철손	41	29	24	26	42.1	28	18.4	10	41	29	66	32	42.1	28
	동손	206		150		229		102		206		270		229	
# 2	철손	24	26	24	26	42.1	28	18.4	10	41	29	66	32	42.1	28
	동손	150		150		229		102		206		270		229	
# 3	철손	42.1	28	66	24	66	32	-	-	42.1	28	60	31	66	32
	동손	229		480		267		-		229		264		270	
# 4	철손	66	32	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-
	동손	267		-		-		-	264		-		-	-	-

표 5 지연시간과 차단기 정비비용을 반영한 시범운전기간의 경제성 분석(7개 변전소)
Table 5 Economic analyses of the test operation(7 substations) reflecting delay time and Breaker maintenance costs

구분		A	B	C	D	E	F	G	비고
통합/분리 횟수	전체	2	78	44	13	1	118	57	7개월
	일평균	0	0.37	0.2	0.06	0	0.57	0.27	"
차단기 조작횟수	전체	16	888	352	52	8	944	456	"
	일평균	0	4	1.67	0.25	0	4.45	2.15	"
뱅크통합지속시간[h]		2519	12	13	241	12	12	63	"
발생빈도[회/일]		0.01	0.38	0.21	0.09	0.005	0.56	0.33	"
절감전력량[kWh]		146,264	56,179	17,074	26,979	336	16,489	186,188	"
절감금액[원]		11,933,652	4,583,624	1,393,068	2,201,253	27,130	1,345,308	15,191,037	"
절감전력량[kWh]		250,738	96,307	29,270	46,250	576	28,267	319,179	1년 환산
절감금액[원]		20,457,689	7,857,641	2,388,117	3,773,577	46,509	2,306,242	26,041,778	"
차단기정비횟수[회/년]		0.0034	1.522	0.603	0.089	0.0017	1.618	0.781	"
차단기정비비용[원]		-	23,325,425	9,246,114	-	-	24,796,398	11,977,921	"
차단기정비비용을 반영한 절감금액[원]		20,457,689	-15,467,784	-6,857,997	3,773,577	46,509	-22,490,156	14,063,857	"
지연시간반영 절감금액[원]		20,457,689	0	0	3,773,577	46,509	0	14,063,857	38,341,632

G변전소가 해당되며, 이는 해당 변전소 부하가 통합/분리운전의 기준값에 접근하는 상황이 자주 발생하는 일체적 현상으로 인한 것이며, 통합운전과 분리운전 신호가 자주 발생한다는 것을 의미한다.

B, C, F변전소의 경우 통합운전에 의한 절감전력량이 매우 작아 절감금액이 차단기 정비비용을 상쇄하지 못하여 비경제적으로 나타났으며, 이러한 경우에는 차단기 정비비용이 추가됨을 감안하여, 변전소의 부하특성을 반영한 통합운전 지연시간을 60분을 설정하여 적용하면 통합운전 시그널의 발생을 억제하여 차단기 다빈도 조작을 하지 않음으로써 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, A변전소는 2뱅크의 부하가 통합운전 기준에 매우 미달되어 통합운전이 지속됨으로서 차단기 조작횟수가 작은 것으로 나타났고, E변전소는 변압기들의 부하가 대부분 통합운전 기준부하 이상으로 뱅크분리운전이 지속된 것으로 나타났다.

차단기 정비비용을 반영하여 A, D, E, G 4개 변전소에 손실감소운전시스템을 적용하여 운전효과를 계산한 결과 표 5와 같이 손실절감액은 연간 38,341,632[원]이다.

4.3 시범사업의 경제성 분석

경제성 분석을 위한 본 사업의 실제운전 시행의 시작년도를 2012년으로 가정하고 현재의 SCADA 시스템이 향후 10년 정도 사용되면 대체될 것으로 예상되므로 종료시점을 2020년까지로 하였다. 또한 보다 보수적인 분석을 위해 2020년도에 본 사업이 가지는 잔존가치를 0으로 하였다.

물가상승률은 생활물가 상승률을 지난 10년간의 평균값인 3.8%를 적용하였으며, 할인율은 ‘제5차 전력수급기본계획’에 따라 7.5%로 하였으며, 2011년 전기요금인상률은 9.63%로서 이를 2010년 판매전력단가인 86.12[원/kWh]에 반영하고, 2012년부터의 전기요금인상률은 2008년부터 2011년 8월까지의 전기요금 평균인상률인 4.2%를 적용하여 판매전력단가를 계산하였다[8-9].

비용의 항목은 표 6과 같다. 시스템 유지보수비는 대리급

1인의 경공업무에 포함하며 경공업무의 5%를 반영하고, 본 개발과 관련하여 H/W의 유지보수는 없으며, DB관련 유지보수만을 반영하였다.

표 6 물가상승률을 반영한 비용항목과 값
Table 6 Costs with the inflation

년도	시스템 개선비용	개발 관리비	시스템 유지보수비	계[원]
2008	82,854,500	13,087,282	2,653,289	98,595,071
2012	-	-	2,754,113	2,754,113
2013	-	-	2,858,770	2,858,770
2014	-	-	2,967,403	2,967,403
2015	-	-	3,080,164	3,080,164
2016	-	-	3,197,211	3,197,211
2017	-	-	3,318,705	3,318,705
2018	-	-	3,444,815	3,444,815
2019	-	-	3,575,718	3,575,718
2020	-	-	3,711,596	3,711,596

“제5차 전력수급기본계획”에 따른 연간 전력소비량 증가율이 점차 증가할 것으로 예측되어 이에 따른 부하의 증가로 변압기 통합운전이 감소하는 것으로 판단되어 편익 항목의 통합운전율에 이를 반영하였고, 전기요금상승률 4.2%를 반영한 2012년부터 2020년까지의 절감전력량과 전력절감비는 표 7과 같다.

표 7 편익산정을 위한 각 요인과 편익 값
Table 7 Benefit factors and values

년도	전력소비량 증가율[%]	통합운 전율[%]	절감전력량 [kWh]	전력절감비 [원]
2011	4.3	100	616,743	50,320,061
2012	3.5	96.5	595,157	53,766,412
2013	3.2	93.41	555,948	55,060,879
2014	2.8	90.80	504,781	52,093,051
2015	2.4	88.62	447,324	48,102,347
2016	2	86.85	388,478	43,529,012
2017	1.8	85.28	331,301	38,681,459
2018	1.6	83.92	278,019	33,823,768
2019	1.4	82.74	230,040	29,162,049
2020	0.9	82.00	188,627	24,916,540
계			3,519,675	379,135,517

4.4 경제성 분석 결과

경제성 분석은 연도별 비용과 편익을 현금흐름으로 환산하고 할인율 7.5%를 반영하여 2011년을 기준으로 2020년까지 당해 연도의 현금흐름의 현가를 계산하였다[10].

$$\text{현가} = \text{현금흐름} / (1 + \text{할인율})^n \quad (2)$$

n : 기준년도 이후의 경과 연수
2011년을 기준으로 편익 비용 비율은 2.64로 일반적인 사

업에 비해 경제성이 있는 것으로 나타났으며, 내부수익률 IRR(Internal Rate of Return)은 36%로서 할인율을 훨씬 상회하며 대부분의 기업에서 요구하는 수준보다 매우 양호하게 나타났다.

표 8 연도별 편익과 비용의 현금흐름
Table 8 Annual cash flows of benefits and costs

년도	편익(원)	비용(원)	현금흐름	현가
2011	0	98,595,071	-98,595,071	-98,595,071
2012	53,766,412	2,754,113	51,012,299	47,453,301
2013	55,060,879	2,858,770	52,202,109	45,172,187
2014	52,093,051	2,967,403	49,125,648	39,544,209
2015	48,102,347	3,080,164	45,022,183	33,712,634
2016	43,529,012	3,197,211	40,331,801	28,093,464
2017	38,681,459	3,318,705	35,362,754	22,913,704
2018	33,823,768	3,444,815	30,378,953	18,311,063
2019	29,162,049	3,575,718	25,586,331	14,346,313
2020	24,916,540	3,711,596	21,204,944	11,060,148
2012년 ~ 2020년 현가 계				260,607,023

5. 결 론

본 논문은 154kV 전력용변압기 운전손실 최소화를 위한 실시간 변압기 운전 시스템 개발하여 그 경제적 타당성에 관하여 설명하였다. 개발된 시스템은 상시 운전중인 변압기의 부하를 실시간으로 감시하여 시스템의 지시에 따라 기기 조작을 시행하면 변압기 운전손실을 최소화 할 수 있다. 또한 급전원의 변전기기 조작에 따른 휴먼에러를 Zero화 할 수 있도록 대화형 SCADA 시스템으로 개발되었으며, 기기 조작대상과 순서를 변압기 DB에 근거해 자동으로 제시해주며 이를 검토하여 행할 수 있도록 하였다. 따라서 본 개발을 통하여 능동적 운전 알고리즘을 적용한 소프트웨어기술을 전력용변압기 운전에 적용함으로써 변전소운전자동화 기술향상 및 능동 운전에 의한 시스템적 운전방법을 구현하였으며, 현재까지 세계적으로 이러한 방법에 의해 전력용변압기를 운전하는 SCADA 시스템이 개발된 사례는 없는 것으로 파악되었다.

또한, 본 논문을 통하여 향후 전력손실 최소화를 위한 지능형 변전설비 운전시스템의 개발 방향을 제시하였고, 시범운영에 의해 산출된 결과를 근거로 실적용시 2012~2020년까지의 경제성분석 결과 타당성이 있는 것으로 나타났다.

전력 1[kWh] 생산에 요구되는 에너지의 효율은 40.2%로 매우 낮아 타 에너지 가격에 비하여 생산비용이 가장 높음을 감안하고, 전력 1[kWh] 생산시 발생하는 CO₂는 424[g]으로 향후 온실가스 영향을 줄이기 위한 탄소배출권거래가 시행될 것을 고려하면, 이러한 설비운전의 효율화를 통한 전력손실 절감은 매우 중요하므로 확대 시행이 절실하다 하겠다.

확대 시행시 전국 각 급전본소의 시스템을 개선하기 위한 투입비용은 본 연구의 투입비용에 비해 대폭 축소됨에 따라 경제적 타당성이 더욱 크게 나타날 것으로 예상된다.

향후 각 변전소별로 차단기 조작을 최소화하며 손실감소 최대화를 위한 운전기준을 내장한 경제적 효과를 산정할 수 있는 모듈의 추가와 일정기간 운영을 통해 신뢰성이 입증되

면 급전원의 기기조작이 아닌 시스템 자동운전방식에서의 전환, 변압기의 과거 운전 부하이력을 근간으로 기상조건을 반영한 자동화운전을 위한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 의 일부 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Jun-Ho Hong, Il-Hyung Lim, Seung-Jae Lee, Tae-Wan Kim, Myeon-Song Choi, Bok-Nam Ha, Sung-Woo Lee, "A Restoration Automation Algorithm on a Fault in Substation of SCADA-coordinated Distribution Automation System", Trans. KIEE. Vol. 589, No. 11, pp2107~2114, NOV, 2009

[2] Il-kueon Yang, "Conceptual design of applying IEC 61970 in SCADA pilot system", KIEE Power Society Fall Conference, pp 233 ~ 235, NOV, 2010

[3] KEPCO, "Glossary of T&S technical terms", 2001

[4] KEPCO, "TADCOM SCADA", 2008

[5] LS Industry, "TADCOM/X SCADA," 2008

[6] Dong-Hoon Jeon, Tae-Won Kim, Jeong-Woon Shim, Kern-Joong Kim, "Development of Automatic Judgement System of Radial T/L System for Preventing Power Devices Wrong Control in SCADA", Trans. KIEE. Vol. 57, No. 1, pp 1~7, JAN, 2008

[7] Ok-Bae Lee, Si-Seon Son, Seok-Jin Park, Jong-Kwang Park, Gun-Suk Lee, Im-Gil Yang, "The Development of Real-time Transformer Operating system for operating loss Minimization in Power Transformer", KIEE Power Transformer Working Group Seminar, No. 15, pp 1~5, NOV, 2009

[8] KEPCO, "www.kepco.co.kr"

[9] Ministry of Knowledge Economy, "The 5th Electric Power Supply Basic Plan", 2010

[10] Ilgeun Yoo, "New Engineering Economy", Hyungseul, 2011

저 자 소 개



이 옥 배 (李 玉 培)

1958년 11월 27일생. 1982년 단국대학교 전기공학과 졸업. 1998년 연세대학교 산업대학원 졸업(전기공학 석사). 2008년 ~ 현재 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템 전공 박사과정. 1985년 ~ 2010년 한국전력공사 2010년 ~ 2011년 SK C&C Tel : 02- 973-7295 E-mail : leeokbae@korea.com



안 재 경 (安 載 慶)

1961년 12월26일생. 1985년 서울대학교 산업공학과 졸업. 1987년 서울대학교 공과대학원 졸업(산업공학 석사). 1991년 미국 아이오와주립대학교 졸업(Industrial Systems Eng. Ph.D.). 1991년 ~ 현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수. 관심분야: 경제성 분석, 기술평가, 위성통신응용 등. Tel : 02-970-6479 E-mail : jkahn@seoultech.ac.kr