2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

에너지 효율화를 위한 등급별 분류방법을 도입한 건축물전기설비의 최적설계 알고리즘 개발

김정훈*, 안덕우**, 양해원**
* 홍익대학교 전기과, ** 한양대학교 전자전기제어계측공학과

Development of a optimal design algorithm for building electrical installations introducing the energy conversation grade

Jung-Hun Kim*, Duck-Woo Ahn**, Hai-Won Yang**
*Hong Ik Univ , ** Dept. of Elec. Elec. Con. & Inst. Eng. Hanyang Univ.

Abstract - 현재 우리나라에서 수행되는 전기설계는 체계화가 되어있지 않고 기관, 단체 또는 개개인의 경험에 따라 주관적으로 설계가 되고 있다. 따라서 일관성이 없고 에너지 절약에 대한 강제성도 일부에 국한되어 효율적인 에너지 관리가 안 되고 있다.
이와 같은 전기설계체제를 객관화하여 이를 알고리즘화를 통하여 프로그램을 구축하고자 하는 시도가 필요하다. 기존의 전문가의 경험을 바탕으로 한 최적설계절차를 프로그램화하기 위하여 전기완련 기기를 에너지 절약별 등급화하여 등급화별 최적 수변전설비용량을 결정할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 프로그램 하고자 한다.

1. 서 론

2005년 2월 교토협약이 발효되면서 전력수요관리가 더욱 중요한 과제로 떠오르게 되었다. 건축물의 전기설비에 채용되는 부하를 고효율기기를 대체하여 방전, 송배전 등 전력설비의 크기를 줄여야 할 필요성이 증대되고 있다. 건물 내의 주요 전력설비 중 가장 큰 전력소비를 하는 것이 전동기부하이고 그 다음이 조명부하라 할 수 있다. 현재 공공건물 등에는 고효율기기들이 잘 도입되나 일반 건물에서 도입이 부진하자 정부는 급기야 기존 조명기기의 생산을 중단하기에 이르렀다. 이와 같이 보급이 어려운 이유는 건축물 전기설계에 변화가 필요하다는 것을 보여준다고 할 수 있다.
한편 에너지 관리공단은 효율등급 및 각종 고효율기기 라벨링제도를 도입하여 절약기기 보급에 노력하고 있다.
전기설계에서 주로 다루는 분야는 수배전설비와 부하설비 중 조명이라고 할 수 있다. 즉, 부하의 용량을 산정하고 미래 용량의 크기도 예측하여 변압기 용량을 결정하게 된다. 그런데 우리나라의 건축물 전기설비의 실태를 보면 관련 법규의 틀 안에서 설계자들의 경험적 지식으로 설계가 행해지고 있으며 변압기용량이 과 설계되어 건축물 전기설비가 효율적으로 행해지고 있지 않음을 볼 수 있다. 본 논문에서는 현제 실 설계자들이 사용하는 수변전 설비의 설계방법을 조사 정리하고 이 경험적인 것을 객관화 하여 표준화하였다. 이 방법으로 변압기 등급설계 자료를 정형화하여 건축물의 등급화 방법을 위한 자료를 제시하였다.

2. 수변전 설비

2.1 실제설계자의 설계 방법

2.1.1 사전조사

전력인입, 통신인입, 변전실의 위치 선정 등을 위하여 현장조사가 필요하다. 또한 비슷한 사례조사를 통하여 TR, 계산서, VA/m2를 알아본다, 그리고 부하와 사용전압에 따라 인입방식을 선택하게 된다.

1. 154kV -> 22.9kV -> 분할
2. 22.9kV -> 6.6kV ->600V 변압기분할방식 (2스텝방식)
3. 22.9kV -> (600V,1000V등) 변압기 분할방식(1스텝방식)

2.1.2 배전방식과 수전방식

일반적으로 우리나라에서는 3상 4선식 사용하게 되는데 3상380V와 단상220V를 많이 사용하기 때문이다.
수전방식은 설계자의 경험에 의하여 결정하고 주로 건축물의 중요도에 따라 선택한다.((예) 공항:loop회선, 일반 오프스 빌딩; 평행2회선)

2.1.3 변압기 용량 추정 고려사항

변압기 용량이2000KVA이상일 경우 보편적으로 케이블 규모가 커짐을 고려하여 1500KVA이하 용량의 변압기로 분할 배치하게 된다. 특별히 건축주의 요구가 있을 경우에는 필요에 따라서 2000KVA용량 이상의 변압기를 사용하기도 한다. 또한 용량 증설의 가능성을 고려하여 학교나 할인매장 같은 용량 증설의 가능성이 높은 경우는 변압기 용량을 더욱 크게 잡는다. 그리고 부하용량이 결정되면 그때 생산되는 변압기용량 중 큰 것을 선택하여 잡는다.

2.1.4 수용율

일반적으로 적용하는 수용률 수치
- 일반 전등 수용율 (부하계산서 확인가능)
- 동력부하 수용율 - 60% (여유율 적용 시에80%)
- 소방부하 수용율 - 0% or 20%
- 동력부하 중 승강기 수용률은 승강기 대수에 따라 고려한다.

< 표1. 승강기 대수에 따른 수용률 >

대수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
수용율(%)	100	91	85	80	76	72	69	67	64	62
대수	11	12	13	14	15	17	20	25	30이상	
수용률(%)	60	59	58	57	57	55	53	49	47	

2.1.5 부하용량과 변압기용량 공식

조명부하용량[VA] = 조명부하밀도[VA/㎡] * 총 연면적[㎡]

동력부하용량[VA] = 동력부하밀도[VA/㎡] * 총 연면적[㎡]

전등 콘센트용 변압기 용량
= Σ설비용량[kVA]×수용률[%] + 예비 용량[kVA]

동력 변압기 용량
= Σ설비용량[kVA]×수용률[%] + 예비 용량[kVA]

2.1.6 변압기종류 결정

변압기의 용량이 결정되면 변압기의 종류를 결정해야하는데 이는 부하의 중요도에 따라서 결정하게 된다. 일반적으로는 몰드 변압기를 많이 쓰지만 좀더 좋은 아몰퍼스 변압기나 제로인 변압기를 사용한다. 아몰 퍼스를 선택할 경우 비용이 증가함으로 건물등급을 높게 평가한다. 그리하면 에너지 효율도 좋아진다.

2.1.7 보호기기

VCB(고압반 보호)
ACB(저압반 보호)
PF(일반 퓨즈)
MCCB(저압 전동기용 퓨즈)

각 보호기기의 일반적인 모델: 표준형

보호기기를 알고리즘에 넣을 경우 고려할만한 점
-종류별, 사용 수량별 가격(등급화에 고려 가능), 변전실 면적 선정 시 고려
-종류별 가격은 한국물가정보사이트(www.kpi.or.kr)를 통하여 알 수 있다.

각 보호기기의 일반적인 모델: 표준형

보호기기를 알고리즘에 넣을 경우 고려할만한 점
-종류별, 사용 수량별 가격(등급화에 고려 가능), 변전실 면적 선정 시 고려
-종류별 가격은 한국물가정보사이트(www.kpi.or.kr)를 통하여 알 수 있다.

구체적인 부하선정 및 계산, 변압기 용량 계산
-동력부하는 설비 쪽에서 선택(고효율기기 파악 안 됨)
-조명부하(고효율기기 파악 가능)

2.1.8 변전실 면적 산정

-인입방식의 선택과 고압반, 저압반, MCCB의 블록범위, 내선규정법규에 따라 결정된다.

구체적인 부하선정 및 계산, 변압기 용량 계산
- 동력부하는 설비 쪽에서 선택(고효율기기 파악 안 됨)
- 조명부하(고효율기기 파악 가능)

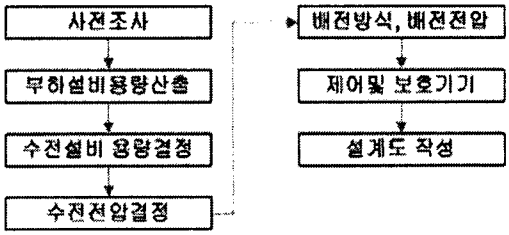
변전실 면적 산정

- 인입방식의 선택과 고압반, 저압반, MCCB의 블록범위, 내선규정법규에 따라 결정된다.

2.2 설계방법 객관화

2.2.1 설비용량 추정법

설비 용량 추정법은 아래의 그림1의 순서에 따라 행해진다. 조명부하 밀도는 건축물의 용도별, 규모별, 등급별 부하밀도 표 이용하거나 비슷한 사례의 설계 사례를 조사하여 이를 바탕으로 정한다.



< 그림1. 수변전 설비 순서도 >

조명부하용량[VA]=조명부하밀도[VA/㎡]*조명연면적[㎡]
동력부하용량[VA]=동력부하밀도[VA/㎡]*동력연면적[㎡]

변압기용량=Σ(부하종류별 합계)*수용율*예비율/부등율

2.2.2 부하목록 작성법

부하 목록 작성법도 위의 그림1과 같은 순서로 행해진다. 부하목록 작성법은 설비용량 추정법과 비교했을 때 보다 자세히 부하목록을 작성하여 부하용량(부하종류별 설비용량)을 자세히 계산하여 적용하는 방법이다. 그러므로 조명, 동력 등의 부하 종류별 설비용량을 자세히 조사하여야한다.

전등콘센트용변압기용량
=Σ설비용량[kVA]×수용률[%]+예비 용량[kVA]
동력변압기용량
=Σ설비용량[kVA]×수용률[%]+예비용량[kVA]

조명콘센트용량[VA]은 건물 용도별 조도 표를 참고하고 고정 부하용 콘센트역시 고려하여야한다. 그리하여 조명기기 중에서 고효율 조명부하의 선택을 고려하여야한다. 동력부하용량[VA]또한 자세히 조사하여야하는데 우리나라에서 동력부하는 설비파트에서 담당하므로 전기설계자 입장에서는 파악하기가 어려운 난점이 있다.

수전전압
100kW미만 - 220V/380V
100~500kW - 3.3 kV / 6.6 kV (고압)
13.2kV / 22.9kV (특별고압)
500kW이상 - 22.9kV / 154kV / 345kV

2.3 최적화 설계 알고리즘의 구성

최적화 기법은 일반적인 목적함수가 주어지고 어떤 변수에 대하여 그 목적 최적화하도록 하는 것이다. 그러나 앞에서 상세한 실제 방법을 보면 이러한 기법을 수용하기에는 하나의 것이 결정되면 그 다음이 결정되어 버리는 것이 많고 선택은 몇 가지에 지나지 않는 특징이 설계과정에 있음을 알 수가 있어 일반 최적화 이론이 적합하지 않다. 즉, 등호제약조건이 많은 최적화 문제는 모델링 및 해법이 어려워져 대체로 풀 수가 없다. 따라서 에너지 관리 공단의 효율등급과 일관성을 유지하면서 건물설계자나 소유주가 선택할 수 있도록 하는 등급별 최적화 알고리즘을 새로이 제안한다. 규모별, 용도별, 등급별로 설계 중간에 몇 가지 선택을 가능하게 함으로써 궁극적으로 에너지 효율화정도가 계량되고 또한 기존기기 및 효율화 정도에 따른 기기에 대한 투자비용에 대한 계산 및 총 비용을 산출하여 건물주나 설계자의 본인의 상황에 알맞은 선택, 즉 최적화 설계를 가능하게 하는 방법론을 의미한다. 이를 위하여 전기설비 각각을 등급화 시켜야 할 필요가 있게 된다.

< 표2. 변압기 종류별 등급표 >

	등급	등급기준	A	B	C	점수 A	B	C
제품 SIZE	1등급	일반변압기110%이내	100% 기준	약 130%	약 110%	1	3	1
	2등급	일반변압기120%이내						
	3등급	일반변압기130%이내						
	4등급	일반변압기130%초과						
C O R E	1등급	국내생산,재활용가능	방향성 규소강판 국내생산, 재활용 가능	아몰퍼스 비정질코아 수입 재활용 곤란	자구미세 화강판, 국내생산, 재활용 가능	1	4	1
	2등급	국내생산,재활용불가						
	3등급	수입생산,재활용가능						
	4등급	수입생산,재활용불가						
생산 가능성	1등급	무제한 생산	무제한	1250K 초과 곤란	5000K 까지 확대	1	4	3
	2등급	10MVA까지 제작						
	3등급	5MVA까지 제작						
	4등급	1.25MVA까지 제작						
소음	1등급	49dB 이하	약 58dB	일반 +3~7dB	40dB, 는 600K, 50dB, 는 1000K,	3	4	1
	2등급	51~55dB이하						
	3등급	56~60dB이하						
	4등급	61dB~이상						
제품 가격	1등급	일반변압기120%이내	100%기준	약200%~ 220%업체마다다름	약160%~180%	1	5	3
	2등급	일반변압기140%이내						
	3등급	일반변압기160%이내						
	4등급	일반변압기180%이내						
	5등급	일반변압기200%이내						
	6등급	일반변압기220%이내						
납기 대응	1등급	당일 출하 가능	코아수급 원활 자체제작 가능 재고생산	코아수급 문제 완제품구매	코아수급 원활 자체제작 가능 재고생산	2	3	2
	2등급	10일 후 출하 가능						
	3등급	20일 후 출하 가능						
	4등급	30일 후 출하 가능						
	5등급	30일 초과 가능						
톤당 CORE 가격	1등급	146만원이하	G-9급 146만원/톤	아몰퍼스 290만원/톤	자구미세 화강판 190만원/톤	1	3	2
	2등급	147~190이하						
	3등급	191~290이하						
	4등급	291~이상						
무부하 손/콘	1등급	490W이하	1650W	490W	630W	5	1	3
	2등급	491~630W이하						
	3등급	631~1200W이하						
	4등급	1201~1650W이하						
	5등급	1651W~이상						
포화 자속 밀도	1등급	1.5이하	2.03	1.52	2.03	1	2	1
	2등급	1.51~1.6이하						
	3등급	1.61~1.7이하						
	4등급	1.71~1.8이하						
	5등급	1.81~이상						
변압기 수리	1등급	전체 수리가능	가능	곤란	가능	1	4	1
	2등급	전체수리(권선제외)						
	3등급	외부 부품 교체 수리						
	4등급	수리 불가						
CORE 경도	1등급	170이하	170~190	900 (가공성 저조)	170~190	1	4	1
	2등급	171~190이하						
	3등급	191~600이하						
	4등급	601~이상						
적용 범위	1등급	산업용(대용량)적용	산업용(대용량) 전체산업 계적용	소용량 전체산업 재효과 미비	산업용(대용량) 전체산업 계적용	1	4	1
	2등급	산업용(중용량)적용						
	3등급	산업용(소용량)적용						
	4등급	산업용 미비						
열처리	1등급	자구재 열처리 가능	500도이상에서	결정화온도:550도 Curie온도:415도	500도 이상에서 철손열화	1	2	1
	2등급	자구재 열처리 불가						
CORE 재활용	1등급	철심으로 재활용가능	가능	불가	가능	1	2	1
	2등급	다른용도 재활용가능						
	3등급	재활용불가						

2.4 변압기 등급분류

왼쪽 표 2는 수배전설비 중 가장 고가인 변압기를 등급화를 시도한 결과를 도출한 것이다.
A는 일반 변압기 B는 아몰퍼스 변압기 C는 자구미세화 변압기를 나타낸다.

3. 결 론

본 연구에서는 등급별 전기설계를 수행하여 이들 중에 가장 적합한 것을 선택하는 최적화 설계 방법론을 제안하였고 이를 위하여 현재 설계사무소에서 행하는 설계과정을 표준화하였고 변압기에 대하여 등급화를 시도하였다.

향후 설비의 등급화에 대한 시도와 경제적 평가 방법을 개발하여야 할 것이다. 본 연구 수행 중 우리나라에서 건축물 전기설비의 동력기기는 전기전문가가 아닌 설비전문가에 의하여 행해지고 있다. 동력기기는 전체 부하의 60%를 차지하고 있는데 이 부분이 전기 전문가에 의하여 설계되지 않으므로 고효율 동력기기의 적절한 선택이 힘든 현실적 문제가 있다. 앞으로 우리나라 건축물 전기설비가 더욱 효율적으로 행해지기 위해서는 개선이 요청되는 부분이다.

[참 고 문 헌]

[1] 최홍규,"전원설비 및 설계", 성안당, 2001
[2] 김세동 외, 사무소용 건물의 변전시설 밀도 및 수용률 기준 설정에 관한 연구, 조명전기설비 학회지, 1992
[3] 김세동, 업무용빌딩의 전력소비 특성을 고려한 수용률/부등률의 적용에 관한 연구, 조명·전기설비 학회 논문지, 2002
[4] 김정훈 외,"소형 열병합발전 시스템을 포함한 건물용 종합에너지 시스템의 운전모형 및 설계한계비용 산정에 관한 연구", 대한전기학회, 1998.
[5] 전기연구원(산업자원부), 자가용 수전계통 최적화 설계방안에 관한 연구, 1997