

最大需要電力 豫測에 의한 電氣系統 設計에 관한 研究

A Study on the Electric System Design by
the Forecasting of Maximum Demand

黃奎泰* · 金漱石**

(Kyu-Tae Hwang · Soo-Suck Kim)

요 약

본 연구에서는 자가용 변전설비의 부하특성 및 운전상태에 대한 기술적 지표를 바탕으로 하여 최대 수요전력 예측에 의한 합리적인 전기계통 설계에 관한 기본방향을 제시하였다.

위의 방법을 이용하여 모델공장의 전기계통의 보완공사를 한후, 향후 증설 예비율, 초기투자비 및 운전경비의 절감 효과등을 분석하였다.

결론적으로 합성최대 수요전력의 예측에 의한 주 변압기의 용량을 계산한후 그 주 변압기로 부터 전원을 공급하는 것이 보다 더 효율적이고 경제적인 계통임이 입증되었다.

Abstract

In this paper, the basic idea of optimum electric system design by means of the forecasting of maximum demand is presented, and the load characteristics and practical operating conditions are based on the technical data.

After reconstruction of the model plant by use of above method, power supply reliability, future extension, initial cost, and running cost saving effects are analyzed.

As a result, it is verified that the systems wherein the power is supply to each load from main transformer whose capacity is calculated by forecasting are enconomic rather than the systems wherein the power is supply to each electric feeders from each corresponding transformer.

1. 서 론

공장 및 건물의 자가용 변전 설비 계통 설계

*正會員：一成綜合建設(株)

**正會員：서울産業大學 電氣工學科

接受日字：1991年 7月 2日

시 부하의 용도 별로 변압기군을 구성하여 전력을 공급하는 방법이 일반적이며, 정부에서도 에너지 절감 대책의 일환으로 특별 고압에서 저압으로 변성하는 직강식 변압기를 사용하여 2차 전압별 또는 부하별로 변압기군을 구성하여 전력을 공급하는 방식을 권장하고 있다. ¹⁾ 그러나 이 경우 전체 공급 전력을 다수의 변압

기로 분할하여 공급하기 때문에 전체 변압기 용량에 비해 변압기 이용률이 매우 낮아지게 된다. 또한 설비 확장으로 인한 변압기 용량 증설시 실제 부하 증설 용량보다 매우 높게 산정하는 경우가 많다. 이것은 빈번한 부하증설 작업으로 인한 정전 시간을 줄이고 변압기 용량의 여유를 확보하려는 의도로 이해할 수 있으나 지나치게 높게 책정 되었을 경우 시설 투자비 및 운전 경비의 과다지출을 필요로 하기 때문에 경제적인 측면에서 결코 바람직하다고 볼 수 없다. 또한 전력회사 변전소의 주 변압기는 공급받는 수용가의 계약용량을 확보하여야 하며, 일정규모 이상의 계약전력 수용가에 대하여는 변전소로부터 수용가까지 전용선로를 시설하여 공급을 받아야 하므로 2) 전력 설비 투자에 대한 낭비적인 요소가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 각 변압기의 최대 수요 전력을 합성한 최대 수요 전력을 예측하여 공장 및 건물등의 자가용 변전 설비의 경제적이고, 효율적인 전기 계통 설계에 관한 사례 연구를 통하여 고찰하고자 한다.

2. 최대 수요 전력

2.1 최대 수요 전력 산정 기준³⁾

수변전 설비의 최대 수요 전력은 일정 기간 동안 부하의 최대 전력 수요치를 의미하는 것으로서 전 설비 부하 용량과 수요율 또는 평균 수요 전력과 부하율에서 산출할 수 있다. 최대 수요 전력의 산출에 사용하는 수요율 또는 부하율은 연간 통계를 통하여 잡을 필요가 있다. 일반적으로 한국 전력 공사와 전력 수급 계약을 할 경우 최대 수요 전력을 기본요금 적용 전력으로 하며 다만 최대 수요 전력이 최저 계약전력 이하일 경우에는 최저 계약 전력을 요금 적용 전력으로 한다. 최저 계약전력은 계약 전력에 의해 정해지며 계약전력의 결정 기준은 변압기 설비에 의한 방법과 사용설비에 의한 방법이 있으나 일반적으로 고압수용가의 경우 현장 여건상 사용설비의 조사가 곤란하거나 전력회사 직원의 출입이 용이하지 않으므로 변압

기 설비에 의한 방법을 채택하고 있으므로 수전변압기 용량의 산출은 특히 신중히 해야할 필요가 있다.

2.2 설비 용량과 최대 수요 전력

표2.1은 설비 용량과 최대 수요전력에 관한 조사 결과 보고예이다.⁴⁾

아래 표에서 알 수 있듯이 최대 수요 전력이 전체 전력 부하 설비 용량의 약 60% 정도를 점하고 있다. 이것은 최대 수요 전력이 설비가동률이 최고일때 전체 부하 설비 용량의 60% 수준임을 의미하며 이것을 수요율이라고 한다.

또한 아래표2.1에서 최대 수요전력에 비하여 변압기 설비용량이 매우 크게 산정되어 있는데 이것은 자가용 변전 설비의 수전변압기의 이용률이 매우 낮다는 것을 의미하며 전기설비에 대한 과잉 투자 및 불필요한 운전 경비의 지출을 유발하게 된다.

변압기 이용률이 낮은 원인을 고찰하여 보면

1) 여러대의 변압기로 부하에 전력을 공급하기 때문에 변압기군의 모선에 대한 부동률을 고려할 수 없다.

각 부하별 최대 수요 전력의 시간대가 상이한 경우 여러대의 변압기로 부하에 전력을 공급하는 계통에서는 각 부하별 최대 수요 전력에 상응하는 변압기가 설치되어야 하므로 전체 변압기 설치 용량 대비 수요 전력의 비율인 변압기 이용률이 매우 낮아지게 된다.

2) 적용 수요율 기준이 높게 설정되어 있다.⁵⁾

표 2.1. 전력 부하 설비와 변압기 설비 용량 및 최대 수요 전력에 관한 조사예.

Table2.1. Examples of an research into electric facility, transformer capacity and maximum demand.

항목	변압기 설비용량(kVA)			최대 수요 전력(kW)		
	전력부하 설비용량(kW)			[%]		
용도	중앙치	평균치	표준편차	중앙치	평균치	표준편차
사무소	1.08	1.08	0.29	59.9	60.6	15.9
호텔	0.99	1.02	0.25	59.0	60.0	15.6
백화점	1.11	1.13	0.24	59.7	61.7	12.6

최근 발표된 문헌⁵⁾에 의하면, 국내 전기설계 사무소에서 적용하고 있는 수요율의 기준은 외국의 수요율 기준을 그대로 적용하거나 설계 사무소 자체기준에 의한 수요율을 적용하고 있기 때문에 현실정보보다 수요율이 높게 적용되고 있다. 즉 최근 통계치에 의하면 향후 10년간 평균 수요증가율을 고려한 종합수요율 설정치는 대학교 40%, 호텔 60%, 병원 55%, 백화점 60%, 경기장 60%, 사무실 50%, 아파트 35%로서 이 수요율 설정치는 현재 각 전기설계 사무소에서 자체적으로 적용하고 있는 수요율 기준의 하한치에 속하고 있다. 일반적으로 수요율을 높게하여 설계하면 전기설비의 초기투자비가 상승하고 변압기용량의 과대산정으로 무부하손실의 증가를 초래하며 변압기 이용율은 상대적으로 떨어지게 된다.

3) 부하 증설시 변압기 용량의 과대 산정

부하 설비의 증설로 인한 변압기 용량 증설시 산업체에서 가장 우려하는 것중의 하나는 변압기 교체 및 증설 공사로 인한 정전에 의한 생산 가동률 저하이다. 그러므로 생산 관리자 및 전기 책임자들은 부하 증설시 되도록 넉넉히 변압기 용량을 확보하여 향후 부하 증설에도 대비하고 변압기의 부하에 대한 부담도 경감시켜 안정성을 확보하려는 것이 산업 현장에서의 일반적인 경향이다. 그러나 일반적으로 변압기 설계시 명판상의 출력 용량을 충분히 공급할 수 있을 뿐만 아니라 일시적인 과부하에 대한 내량까지 허용할 것을 제 규정에서 권장하고 있다.⁶⁾ 그러므로 지나친 변압기 용량 증설은 기업체의 투자비 및 운전 경비의 불필요한 부담을 추가 해야하며 전력 회사의 전력 공급 예비율의 과도한 확보를 필요로 하는등 경제적인 측면을 고려할 때 결코 바람직하지 못하다.

3. 예측 방법

3.1 예측 방법의 종류⁷⁾

1) 시계별 방법

과거의 실적 경향이 장래에도 계속된다는 전

제하에 예측하는 것으로 과거의 시계별 경향에 제일 잘맞는 곡선을 찾아내어 예측하는 방법이며, 본 예측방법의 장점은 설명 변수의 예측이 불필요한 것이며 단점으로는 여건 변동 및 수요구조 변동이 심할때 새로운 경향을 찾아내기가 매우 어려운 점이다.

그런데 실제 이 방법에 의하여 예측을 하는 경우 수요 성장 요인을 감안한다. 그러므로 자가용 수전 설비의 최대 수요 전력을 예측할 경우, 신규 설비에는 적용키는 어렵고 수년간 가동중인 설비에서 축적된 데이터에 의한 최적의 최대 수요 전력을 예측하는 곡선을 찾아내는 방법이다.

2) 회귀 분석법

전력 수요의 원인이 되는 지표와 전력 수요와의 수량적 상관 관계를 찾아내어 예측하는 방법으로 전력 원단위(부가 가치당 전력 수요) 추세 및 탄성치 추세를 이용하여 예측을 하게 되며 전력 원단위 추세와 탄성치 추세와는 밀접한 관계를 가지고 있으며 탄성치 추세에 의한 수량적 판단이 용이하다.

탄성치 추세에 의한 예측은 과거의 탄성치 추세와 장래의 탄성치 추세 전망에 적절한 탄성치 특성을 가지는 모형식을 찾아내어 예측하는 방법이다.

이 방법을 자가용 수전 설비에 적용시 신규 설비의 전력 설비 용량을 예측하는 방법으로 응용될 수 있다. 그러나 이 방법을 적용할 경우의 전제 조건으로 각 부하의 종류별 전력 원단위 또는 부하 상정 근거 자료가 얼마만큼 신뢰성을 가지고 있는지가 관건이다. 현재 국내 전기 설계 사무소에서 적용하는 부하 상정 예측 데이터를 수정하여야 한다는 이론이 제기되고 있으며⁸⁾ 각 공장 부하 설계시 적용되는 전력 원단위 산출자료도 현 실정에 맞지 않거나 외국 자료를 인용하여 사용하고 있는 실정이므로 부하 상정 예측데이터 및 전력 원단위 산출 자료의 보완 작업이 필요하다고 사료된다.^{8), 9)}

왜냐하면 수요 예측의 방법이 아무리 정도 높은 수요 예측을 보장한다 하더라도 그 예측 방법을 적용하기 위한 예측자료가 없거나 있어

도 신뢰성이 없다면 수요 예측 방법의 효용가치는 크게 떨어지기 때문이다.

3. 2 부하 상점 예측 데이터^{5), 10)}

1) 수요율

수용가의 최대 수요 전력은 설비 용량의 합계보다도 작은 것이 보통이며 수요의 증별, 기간 등에 따라 다르다. 수요율은 이 최대 수요 전력 [kW]과 설비 용량의 합계 [kW]와의 비이다.

$$\text{수요율} = \frac{\text{최대 수요 전력 [kW]}}{\text{설비 용량의 합계 [kW]}} \times 100[\%] \quad (3.1)$$

2) 부하율

전력 사용은 시각과 계절 등에 따라서 차이가 있다. 어떤 기간중의 평균수요 전력과 그 기간중의 최대 수요 전력과의 비를 부하율이라고 한다.

$$\text{부하율} = \frac{\text{어떤 기간중의 부하 평균 전력}}{\text{동일 기간중의 부하 최대 전력}} \times 100[\%] \quad (3.2)$$

3) 부동율

어느 전력 계통에 소속된 각 부하군들의 최대 전력 합계와 그 계통에서 발생된 합성 최대 전력의 비를 말하며 통상 단위법으로 표시된다.

$$\text{부동율} = \frac{\text{각 최대 전력의 합계}}{\text{합성 최대 전력}} [P. U] \quad (3.3)$$

3. 3 합성 최대 수요 전력의 예측¹¹⁾

최대 수요전력을 P_m , 접속 부하률 P_s , 수요율을 F_{de} , 부동율을 F_{di} 로 나타내면,

$$\text{식 (3.1) 에서} \quad P_m = P_s \cdot F_{de} \quad (3.4)$$

$$\text{식 (3.3) 에서} \quad F_{di} = \frac{\Sigma P_m}{P_{mi}} \quad (3.5)$$

(여기서 P_{mi} 는 합성 최대 수요 전력)

식 (3.4) 에서

$$\Sigma P_m = F_{de1} \cdot P_{s1} + F_{de2} \cdot P_{s2} + \dots + F_{den} \cdot P_{sn}$$

$$= \sum_{k=1}^n F_{dek} \cdot P_{sk} \quad (3.6)$$

로 된다.

ΣP_m 을 식 (3.5)에 대입하면

$$F_{di} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{dek} \cdot P_{sk}}{P_{mi}} \quad (3.7)$$

$$P_{mi} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{dek} \cdot P_{sk}}{F_{di}} \quad (3.8)$$

여기서 전체 부하군에 대한 합성수요율을 F_{de} 라고 하면

$$\therefore P_{mi} = \frac{F_{de}}{F_{di}} \cdot \Sigma P_s \quad (3.9)$$

이다.

따라서 수요율 및 부동율을 알면 전 접속 부하에서 식 (3.8) 및 식 (3.9)를 이용하여 수용가 1군에 대한 합성 최대 수요전력을 알 수 있다.

3. 4 변압기 용량 계산

1) 변압기 용량결정시 검토사항

일반적으로 변압기 용량의 결정요인은 부하의 용량, 종류등의 부하측 요인과 변압기 설치장소의 설치조건 및 변압기 사용방법에 의하여 영향을 받는다. 따라서 변압기 용량 계산시 사전에 검토해야할 사항은

- ㉠ 부하조사
- ㉡ 향후 증설 가능성
- ㉢ 전압변동, 전압강하 및 순시 정전시의 대책

㉣ 주위 온도와 발열량의 검토, 냉각방식

㉤ 부하 균형, 시간대 정격

등을 고려하여야 한다.

2) 계산식

수용가의 합성 역율을 P_r 라 하고, 추후 부하 증설시를 고려한 변압기 예비율을 S_r 라 할때 식 (3.9)에 의하여 주변압기 용량(C_{tr})은

$$C_{tr} = \frac{F_{de}}{F_{di}} \cdot \Sigma P_s \cdot \frac{(1+S_r)}{P_r} [kVA] \quad (3.10)$$

가 되며, 여기서 1)항의 ㉢~㉤까지의 영향요

인을 추가로 검토하여 변압기 용량에 대한 증감을 배려하여야 한다.

4. 자가용 변전 설비의 전기 계통 설계의 요점

4.1 급전 방식과 변압기 수량 검토

4.1.1 개별부하 급전방식

1) 현재 각 전기설계사무소에서 많이 채택하고 있는 방식으로 부하를 종류, 2차전압 및 중요성등에 의해 세분하여 각 부하군별로 여러대의 변압기로 전력을 공급하는 방법으로 다음과 같은 특징이 있다.

- ㉠ 변압기 고장시 해당부하군만 정전되므로 고장 파급 범위가 좁다.
- ㉡ 2차측 단락전류가 적어 차단기의 차단용량을 작게 할 수 있다.
- ㉢ 부동률, 부하율, 수요율 등과같은 부하의 특성이 정확하지 않을 경우에 간편하게 각 부하별로 대응하는 변압기를 설치함으로써 설계할 수 있다.
- ㉣ 향후 증설 예비전력이 각 변압기별로 분산된다.
- ㉤ 변압기 이용율이 매우 낮다.
- ㉥ 변압기 및 차단기의 설치 개소가 증가하여 초기투자비가 높다.
- ㉦ 설치면적이 크다.

2) 변압기 용량

그림 4.1과 같이 여러대의 변압기로 부하에 전력을 공급할 경우 변압기 용량 (CTR')은 각 변압기 용량의 총합이다.

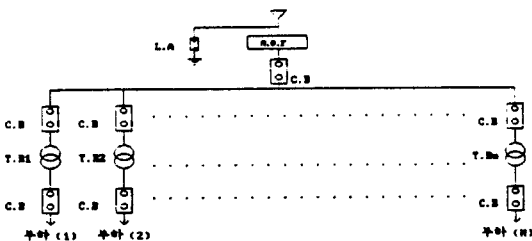


그림 4.1 여러대의 변압기로 전력을 공급하는 계통.
Fig. 4.1. Electric system that supplying power by several transformers

$$CTR' = C_{U1} + C_{U2} + \dots + C_{Urn} \sum_{k=1}^n C_{Urk} \quad (4.1)$$

$$= P_{s1} \cdot F_{de1} \cdot \frac{1+S_{f1}}{P_{f1}} + P_{s2} \cdot F_{de2} \cdot \frac{1+S_{f2}}{P_{f2}} + \dots + P_{sn} \cdot F_{den} \cdot \frac{1+S_{fn}}{P_{fn}}$$

$$= \sum_{k=1}^n P_{sk} \cdot F_{dek} \cdot \frac{1+S_{fk}}{P_{fk}} \quad (4.2)$$

4.1.2 전부하 급전방식

전체 부하를 종합하여 수전변압기를 1군으로 구성 급전하는 방식으로 변압기 1대에 의해 급전하는 방식과 여러 대의 변압기를 병렬로 구성하여 급전하는 방식이 있다.

1) 1대의 변압기에 의한 급전방식

- ㉠ 부하율이 높은 부하에 적합하다.
- ㉡ 초기투자비가 가장 적다.
- ㉢ 운전경비가 적다.
- ㉣ 설치면적이 가장 작다.
- ㉤ 변압기 보호계전방식을 다중으로 설계할 필요가 있다.
- ㉥ 2차측 단락전류가 크다.
- ㉦ 주 변압기 고장시 정전범위가 전부하에 파급된다.

2) 병렬 급전방식

- ㉠ 변압기 고장시 정전시간 및 고장범위가 작다. (정전시 공급신뢰도가 크다.)
- ㉡ 부하율이 낮은 부하에 적합하다.
- ㉢ 변압기 대수 제어에 의한 에너지 절감효과가 크다.
- ㉣ 향후 증설에 대한 여유가 크며 부하변동에 따른 수급 조절 능력이 크다.
- ㉤ 변압기 이용율이 크다.
- ㉥ 운전경비가 저렴하다.
- ㉦ 초기투자비 및 설치면적이 비교적 적다.
- ㉧ 2차측 단락시 단락전류는 병렬회로수(n) × 1대의 변압기 단락전류이다. (차단기의 차단용량이 커야한다.)

㉠ 변압기의 특성 (%임피던스, 각변위, 1차 및 2차 전압, 권선비, 상회전 방향)이 동일하여야 한다.

3) 변압기 용량

그림 4.2 및 그림 4.3 과 같이 부하에 1대의 변압기 또는 병렬로 접속된 1군의 변압기군으로 전력을 공급할 경우의 변압기 용량은 그림 4.1 의 여러대의 변압기로 공급하는 각 부하군의 상호 부동율로 나눈 값이 된다. 즉, 부하군의 최대 수요 전력의 합계는

$$P_{m1} = P_{s1} \cdot F_{de1}, P_{m2} = P_{s2} \cdot F_{de2}, \dots, P_{mn} = P_{sn} \cdot F_{den} \quad (4.3)$$

이며

최대 수요 전력을 합성한 최대 수요 전력 P_{mi} 는 각 부하군의 최대 수요 전력의 합계를 상호 부동율을 F_{di} 로 나눈 값이다.

$$P_{mi} = \frac{P_{s1} \cdot F_{de1} + P_{s2} \cdot F_{de2} + \dots + P_{sn} \cdot F_{den}}{F_{di}} = \sum_{k=1}^n \frac{P_{sk} \cdot F_{dek}}{F_{di}} \quad (4.4)$$

그러므로 변압기 용량은

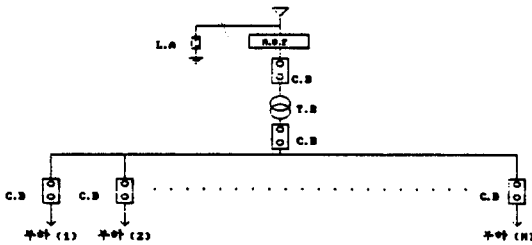


그림 4.2. 1대의 변압기로 전력을 공급하는 계통
Fig. 4.2. Electric system that supplying power by one transformer

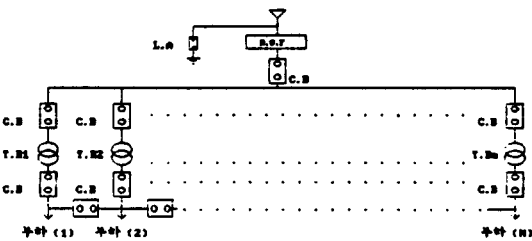


그림 4.3. 병렬 변압기로 전력을 공급하는 계통
Fig. 4.3. Electric system that supplying power by parallel transformer

$$CTR = P_{mi} \cdot \frac{(1+S_f)}{P_f} = \sum_{k=1}^n \frac{P_{sk} \cdot F_{dek}}{F_{di}} \cdot \frac{1+S_{ft}}{P_f} \quad (4.5)$$

$$\therefore CTR = \frac{CTR}{F_{di}} \quad (4.6)$$

즉, 1대로 전력을 공급할 경우가 여러 대로 공급할 경우보다 $1/F_{di}$ 배 만큼 변압기 용량이 작아지므로 변압기 이용률을 높이고 전체 변압기 손실 및 제약 용량을 줄일 수 있다.

4.2 강제 풍냉식(OA/FA) 변압기 사용

현재 대부분의 자가용 변전 설비에서 사용되는 변압기의 냉각 방식은 합체내에 절연유를 채운뒤 그 속에 코일 및 철심을 담그어 자연 냉각시키는 유입 자냉식이다. 이러한 방식은 소·중형 변압기에 적용되는 냉각 방식으로 구조가 간단하고 가격이 저렴한 이점을 갖고있는 반면 장래 부하 변동시 자체내에서 용량 가변이 불가능하다. 그러므로 부하 증설시 증설분에 해당하는 변압기를 신설하든지 보다 큰 용량의 변압기로 교체하여야 하는 단점이 있다. 이러한 경제적 손실 및 번거로움을 해소하는 방안으로 강제 풍냉식 변압기 사용을 채택하는 것이 바람직하다. 일반적으로 변압기의 출력

표 4.1. 유입 자냉식과 강제 풍냉식의 비교
Table 4.1. Comparison of the oil-immersed natural air cooling type to the forced-air cooling type

순	비 교 내 용	유 입 자 냉 식	강 제 풍 냉 식	비 교
1	최대용량	1배	1.33배	유입 자냉 식 기준
2	구입가격	1배	약1.15 배 ~1.2배	유입 자냉 식 기준
3	냉각방식	자연냉각	강제냉각	
4	구 조	간 단	복 잡	라 디 에 이 터에 송풍 기부착
5	자체 용량 가변	불가능	가 능	
6	부하변동시운전경비	높 다	낮 다	

용량은 변압기의 자체 온도 상승에 따라 크게 제한되므로 동일한 유입 자냉식 변압기에 강제 냉각 송풍기를 설치할 경우 출력 용량을 유입 자냉식 변압기의 1.33배까지 증가시킬 수 있다. 또한 빈번하게 설비 증설을 하는 산업체에서는 증설시 마다 변압기를 신설하거나 교체할 것이 아니라 위와같은 강제 풍냉식 변압기를 사용한다면 변압기 교체 공사로 인한 정전시간을 최소한으로 줄일 수 있고, 변압기 이용률도 최대로 올릴 수 있으며 초기시설 투자비 및 운전 경비의 절감 효과도 기대할 수 있다. 표4.1은 유입 자냉식과 강제 풍냉식의 비교표이다.

5. 사례 연구를 통한 분석

5.1 모델 공장의 부하 특성

본 사례는 어느 식품 음료 공장을 모델로 하여 해당 공장의 1989년 8월 부터 1990년 7월 까지의 부하 사용 특성에 관한 기술적 자료를 바탕으로 3장 및 4장에서 이미 언급한 최대 수요 전력 예측을 응용한 전기 계통 설계의 일례이다.

여기서 발췌한 자료는 모델 공장에서 1년간 작성한 변전 일지 및 부하 설비 목록표를 기준

으로 하였고, 연간 최대 수요 전력은 한국 전력(주)의 요금 산정용 자료에 근거하였다. 실제로 상기 공장의 수전 설비 보완 공사를 1991년 2월에 완료하였으며 보완 공사 전후의 2개의 전기 계통에 대한 장단점을 비교하여 최대 수요 전력 예측에 의한 전기 계통 설계 방식의 장점을 고찰하였다.

여기서 표5.1은 위의 자료에 의해 산출한 부하율, 수요율, 부등률 및 수전변압기군의 구성이며 그림5.1은 모델 공장의 최대 수요 전력 곡선을 나타낸다.

5.2 전기 계통의 수정

1) 소요 변압기 용량

표 5.2와 같이 총 16대의 변압기로 9,800kW를 12개의 부하군에 전력을 공급하고

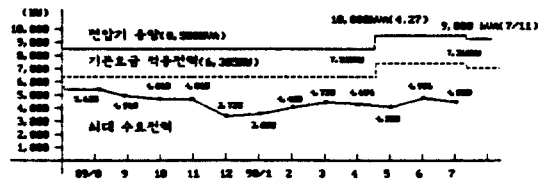


그림 5.1 모델 공장의 월별 최대 수요 전력 곡선
Fig. 5.1 Monthly maximum demand curve of the model plant

표 5.1. MODEL 공장의 부하 특성

Table 5.1. Load characteristics of the model plant

a) 부하율(Load factor)

년간 전력 사용량(kWh)	최대 수요 전력(kW)	평균 전력(kW)	부하율(%)
24,774,000	5,635	2,828	50.2

b) 수요율, 부등율(Demand factor, Diversity factor)

부하설비 용량(kW)	합성최대수요전력(kW)	개별 최대 수요전력의 합계(kW)	수요율	부등율
12,560	5,635	5,636	44.9	1,152

c) 연간 전력요금(The electric power cost for one year)

기본요금	사용요금	합계	전력원단위
251,334,046원	978,710,164원	1,230,044,210원	49.81원/kWh

d) 모델 공장의 변압기 군(Transformer banks of the model plant)

변압기 용량 총합계 또는 최대 계약 전력(kW)	최저 계약 전력 또는 기본요금적용전력(kW)	변압기 수량(대)	공급 부하군의 수량
9,800	7,360	16	12

있다. 그러나 실제로 1년간 최대 수요 전력이 5,635kW에 지나지 않고 더구나 겨울철 비수기에는 현저하게 전력 수요가 줄어든다는 것을 그림 5.1에서 알 수 있다. 그러므로 3장 및 4장에서 검토한 최대 수요 전력에 의한 적정 변

압기 용량은 식(3.10)에 의하여 구하면

$$C_{tr} = \frac{F_{de}}{F_{di}} \cdot \Sigma P_s \cdot \frac{(1+Sf)}{Pf} \text{ [kVA]}$$

부하 역률 Pf를 95%로 가정하고 향후 증설을 대비한 예비율 Sf를 15%로 확보하고 이를

표 5.2. MODEL 공장의 변압기 사양

Table 5.2. Transformer specification of the model plant

부하 NO	전 압	상 수	용량[kVA]	수 량	계	결 선 방 식	비 고
NO 1	22.9kV/3.3kV	1 ∅	500	3	1,500	Δ-Δ	
NO 2	22.9kV/3.3kV	3 ∅	300	1	300	Δ-Δ	
NO 3	22.9kV/220V	1 ∅	500	3	1,500	Δ-Δ	
NO 4	22.9kV/3.3kV	3 ∅	1,500	1	1,500	Δ-Δ	
NO 5	22.9kV/3.3kV	3 ∅	750	1	750	Δ-Δ	
NO 6	22.9kV/220V	3 ∅	750	1	750	Δ-Δ	
NO 7	22.9kV/220V	3 ∅	200	1	200	Δ-Δ	7/11TR철거
NO 8	22.9kV/220V/110V	1∅ 3W	200	1	200	Δ-Δ	
NO 9	22.9kV/220V	3 ∅	400	1	400	Δ-Δ	
NO 10	22.9kV/220V	3 ∅	400	1	400	Δ-Δ	
NO 11	22.9kV/220V	3 ∅	750		750	Δ-Δ	
NO 12	22.9kV/220V	3 ∅	1,000	1	1,000	Δ-Δ	
NO 13	22.9kV/220V	3 ∅	750	1	750	Δ-Δ	
합 계				17	10,000		

* 7월11일 이후 총 12개의 부하군을 16대의 변압기로 9,800(kW)의 전력공급

1총 13개 부하군을 17대의 변압기로 10,000(kVA)로 시설하여 급전하였으나 90년 7월 11일 자로 NO7 부하에 접속된 변압기를 제거하여 총 12개 부하군을 16대의 변압기로서 계약용량 9,800(kW)로 부하에 전력을 공급하고 NO2, NO3, NO4 변압기의 2차측은 고압전동기 간선 또는 부 변전실 배전 간선으로 접속됨.

표 5.3. 수정도면상의 변압기 사양

Table 5.3. Transformer specification of revised drawing

부하 NO	전 압	상 수	용량[kVA]	수 량	비 고
수전용변압기	22.9kV/3.3kV	3∅	5,000/6,600	1	수정도면 I의 주변압기 OA/FA타입, Y-Δ
수전용변압기	22.9kV/3.3kV	3∅	2,500/3,300	3	수정도면 II의 주변압기 OA/FA타입, Y-Δ
NO1 NO2					주변압기 2차측이 부변전실 및 고압전동기용 간선으로 직접접속 되므로 기존변압기 불필요
NO3	3.3kV/220V	3∅	1,000/1,300	1	Y-Δ OA/FA타입
NO4	3.3kV/220V	3∅	1,000/1,300	1	Y-Δ OA/FA타입
NO5	3.3kV/220V	3∅	750	1	Y-Δ
NO6	3.3kV/220V	3∅	500	1	Y-Δ
NO7	3.3kV/220V	3∅	500	1	Y-Δ
NO8	3.3kV/220V	1∅3W	200	1	

한대의 변압기로 급전할 경우 필요한 주 변압기의 최소용량은

$$C_{tr} = \frac{0.449}{1.152} \times 12,560(\text{kW}) \times \frac{(1+0.15)}{0.95}$$

≃ 5,921(kVA)가 된다.

따라서 변압기 용량은 6,000kVA가능하지만 그림 5.1의 부하특성 및 3.4절 1항의 변압기 용량 결정의 영향요인을 고려하여 5,000[kVA]/6,600[kVA](OA/FA)의 변압기로 설계하였다.

2) 전기 계통도 검토

아래 그림 5.3, 5.4는 모델공장의 전기설비 및 부하특성을 검토한후 수정 설계했을때의 기본도면이다. 2개의 계통을 비교했을때 그림 5.4의 계통이 보다 유리하나 현장여건상 그림 5.3의 계통으로 수정하였다.

5.3 계통 비교

모델 공장의 전기 계통 설비의 수정전과 수정후의 장단점에 관하여 분석하면 다음과 같다.

1) 공급 신뢰도

그림 5.2의 경우 각 배전선별로 전용의 분기 변압기를 접속하여 부하에 전력을 공급하고 있는 반면 그림 5.3 및 그림 5.4는 주 변압기에서 1차 강압하여 고압 부하 또는 2차 변압기로 접속되어 있다.

그림 5.2에서는 다수의 소용량 변압기가 여러 대로 접속되어 있어 대용량전동기의 기동때와 같은 충격 부하 발생시 전압 강하가 크고 충격 흡수력이 적다. 그러나 그림 5.3 및 그림 5.4의 계통에서는 1차변압기의 용량이 크므로

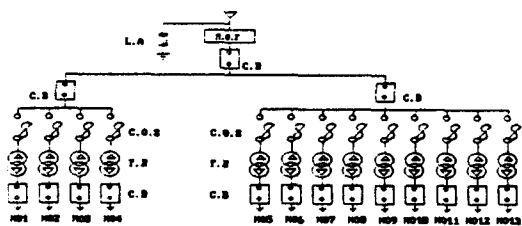


그림 5.2. 모델 공장의 단선 결선도
Fig. 5.2. One line diagram of the model plant

대용량 전동기의 기동부하 등으로 인한 전압 강하를 최소화할 수 있고 충격 흡수력이 크므로 보다 안정적으로 전력 공급이 가능하다.

특히 그림 5.4의 계통에서는 변압기의 소손과 같은 대규모 전기사고일 경우에도 즉시 예비 변압기를 운전할 수 있으므로 정전 시간을 최소화하여 생산성을 높일 수 있으므로 매우 이상적이다.

2) 향후 증설 대비

그림 5.2의 계통에서는 부하 증설로 인한 변압기 용량 증설시 각 변압기별로 예비율(Sf)이 분산되어 있기 때문에 소규모 부하의 증설 이외에는 대처 능력이 없다. 즉 일정 규모를 초과하는 용량 증설시에는 한전계약전력을 갱신하고 변압기를 신설 또는 교체하여야 하므로 전력 요금도 상승하고 작업도 번거롭다. 그러나 그림 5.3 및 5.4의 계통에서는 수전 변압기군이 하나로 구성되어 있으므로 증설부하에 대한 예비율이 크다. 예를 들어 변압기 예비율(Sf)을 15%로 확보하고 있다고 가정했을 때 그림 5.2의 계통에서는 계약용량의 변동을 고려할 수 있는 1,000(kW)의 변압기의 예비전력은

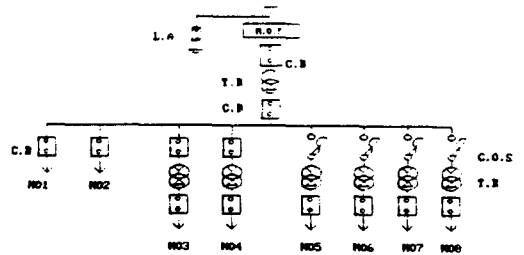


그림 5.3. 단선결선도 (수정도면 I)
Fig. 5. 3. One line diagram (Revised drawing I)

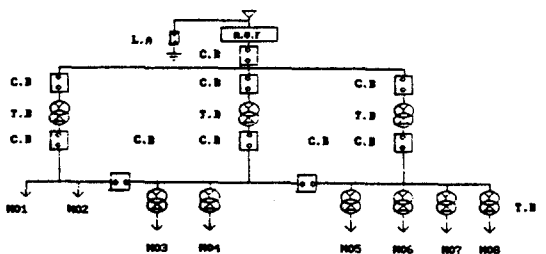


그림 5.4. 단선결선도 (수정도면 II)
Fig. 5.4. One line diagram (Revised drawing II)

계약전력에 대한 변압기의 부동률을 1로 보아야 하기 때문에 $(1,000/1) \times 0.15 = 150(\text{kW})$ 이다. 그러나 그림 5.4의 계통에서 주변압기 용량이 6,600[kVA]이므로 예비전력은 부동률이 1.15이므로 $(6,600(\text{kW})/1.15) \times 0.15 = 860(\text{kW})$ 이다.

그러므로 그림 5.2의 계통에서는 150[kW]까지만 계약 용량의 변경없이 부하증설이 가능하나 그림 5.3 및 5.4의 계통에서는 860[kW]까지 계약용량의 변경없이 부하 증설이 가능하므로 매우 경제적인 계통 설계가 된다.

3) 전력설비 투자비의 절감

신규 설비에 대한 투자를 고려했을때 그림 5.2와 그림 5.3 및 그림 5.4를 비교하면, 그림 5.3의 계통이 신규투자비가 가장 저렴하고 그림 5.4의 경우는 그림 5.3보다도 투자비가 높으나 그림 5.2보다는 낮은것이 대부분이다.

4) 변압기 손실 감소

표 5.4에서 알 수 있듯이 대용량 변압기는 소용량 변압기에 비해 일반적으로 효율이 높게 제작이 가능하다.

그림 5.2의 계통에서 소용량 변압기가 여러 대로 구성되어 있고 그림 5.3 및 그림 5.4의 계통에서는 수전용 대용량 변압기가 1대 또는 3대 및 2차 변압기 6대로 계통 구성이 되어 있다. 따라서 그림 5.3 및 그림 5.4의 계통이 그림 5.2의 계통보다 변압기 효율 증대로 인한 동손 및 철손의 감소를 기대할 수 있으므로 그 감소분 만큼의 변압기 손실이 줄어 에너지 절감 효과가 있다.

6. 결 론

상기에서 검토한 바와 같이 자가용 변전설비의 계통 설계시 각 부하군의 부동율을 감안한 합성 최대 수요전력을 기준으로 한 주 변압기 용량을 먼저 결정한 뒤 각 부하별 또는 각 전압별 2차 변압기에 접속시켜 부하에 전력을 공급하는 계통 설계 방식이 현재까지 일반적으로 전기 계통 설계시 검토되고 있는 각 부하별 별도의 수전변압기 군으로 공급하는 설계 방식

표 5.4. 유입 변압기의 전기적 특성¹²⁾

Table 5.4. Electric characteristics of oil-immersed transformer.

번호	제 작 사 양				특 성		
	용량[kVA]	1차전압/2차전압	상 수	결 선 방식	효율(%)	철손(W)	동손(W)
1	1,500	22.9kV/3.3kV	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.8	3,140	14,300
2	500	22.9kV/3.3kV	1 ϕ		98.45	1,370	6,500
3	1,000	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.6	2,360	11,900
4	750	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.53	1,780	9,400
5	500	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.45	1,450	6,400
6	400	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.4	1,280	5,200
7	300	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.2	1,070	4,400
8	200	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.15	870	2,900
9	400	22.9kV/220V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.4	1,280	5,300
10	200	22.9kV/440V	3 ϕ	$\Delta-\Delta$	98.15	870	2,900
11	200	22.9kV/220V	1 ϕ		98.4	670	2,600
12	5000/6600	22.9kV/3.3kV	3 ϕ	Y- Δ	98.96	7,900	44,500
13	1000/1300	3.3kV/220V	3 ϕ	Y- Δ	98.5	2,250	13,000
14	750	3.3kV/220V	3 ϕ	Y- Δ	98.54	1,850	9,300
15	500	3.3kV/220V	3 ϕ	Y- Δ	98.37	1,350	6,950
16	200	3.3kV/220V	1 ϕ		98.4	600	2,650
17	500	3.3kV/220V	3 ϕ	Y- Δ	98.3	1,300	7,300

보다 매우 경제적인 계통 설계임이 입증되었다.

그러므로 공장 및 건물에서의 변전 설비 계통 설계시, 기존설비의 증설일 경우 3.1절에서 언급한 과거의 실적경향이 장래에도 계속된다는 전제하에 예측하는 시계별 방법에 의한 최대수요전력 예측을 이용한 전기계통 설계방식을 도입하고 신규 설비일 경우 전력 원단위 추세 및 탄성치 추세를 이용하여 예측하는 회귀분석법에 의한 최대 수요전력을 예측함으로써 보다 안정적이고 경제적인 전기설계를 도모하여야 할 것이다. 또한 신규 전기 설비설계시 정확한 최대 수요 전력 예측을 위하여 각 부하별 생산 제품별 전력 원단위에 관한 자료를 현실정에 맞도록 보완되어야 한다고 사료되며, 건축허가용 전기 계통 도면의 검토시 각 부하별로 변압기를 분할하여 공급하는 방식을 권장토록 하는 현재의 관련 법규의 개정도 필요하다고 판단된다. 아울러 본 연구는 년중 무휴로 가동되는^{1), 13)} 사업장을 기준으로 하였다. 그러므로 계절별 또는 시간대에 따라 부하상태가 변하는 경우에 대한 보다많은 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1) 에너지 합리적 이용기준, 건설부고시 제464호,

- 1986.
- 2) 영업 업무 처리지침, 한국전력공사 영업처, pp. 83~84, 1991.
 - 3) 전기공급규정, 한국전력공사, p. 25, p.72, 1989.
 - 4) 池田榮 一外共著, 전기공사 설계 시공핸드북, 대광서림, p.10, 1990.
 - 4) 지철근, 박희로, 강원구, "건물의 수요율 및 부동물 기준 설정에 관한 연구", 한국 조명·전기 설비 학회지, 제4권 제1호, pp. 54~55, 1990.
 - 6) ANSI C 57 91. LOADING GUIDE TABLE 2a, 2b, 2c.
 - 7) 南廷一, 徐完錫, "先進國의 電力 需要 想定技法 및 우리나라의 適應性 檢討, 大韓電氣協會, 第4輯, pp. 146~151, 1981.
 - 8) 電氣設備 工學會, 電氣設備 事典, 圖書出版 한미, pp. 285~288, 1989.
 - 9) 池田榮一, 山本昇, 電氣工事 設計 實務데이터북, 大光書林, p.10~2, 1989.
 - 10) 電氣設備 設計 硏究會, 最新 電氣 設備 設計, 淸文閣, pp. 2-21~22, 1985.
 - 11) 백용현, 이광우, 배전공학, 형설 출판사, pp.75~84, 1976.
 - 12) Design Manual, 효성중공업, SD 1301.01~SD 1301.04, 1990.
 - 13) 李慶植, 金寧直, 宋秉權, 最新 電氣關係 法規集, 圖書出版 技多利, p. 131, 1989.