



병원 건축물의 부하 사용특성 분석

김 세 동
두원공업전문대학 교수



1. 머리말

최근 병원의 기능이 고도화되고 있고, 병원 기구의 복잡화, ME기기(의료용 전자기기)의 향상 등으로 특수 ME기기가 보급되고 있다. 따라서, 병원전기설비에 있어서는 일반 업무용 건축물과는 다른 전원설비의 신뢰성, 안전성, ME의 전격(電擊)방지 조치, 쾌적환경을 위한 조명환경 확보 등 종합적인 대책이 요구되고 있다.

또한, 순간정전도 허용하지 않는 ME기기의 사용 급증과 사무자동화기기의 급속한 보급, 쾌적한 환경 조성을 위한 냉방부하의 증가 등으로 전기에너지의 소비는 급속히 증가되고 있다. 특히 병원과 같은 전력다소비 건축물에서는 부하설비의 사용 특성에 적합한 효율적 전력관리에 의한 에너지절감은 물론 설계단계에서의 합리적인 전기설비 설계가 요청되고 있다.

본고에서는 조사대상 종합병원(19개소)의 수변전설비 현황을 검토하고, 가동 특성을 고려한 전력사용 부하특성을 실측, 분석하며, 전력관리 효율화 운용사례를 검토하고자 한다.

2. 수변전설비 현황 분석

가. 정전에 대비한 전원설비 구성특성

(1) 수전방식

병원에서 정전사고 발생으로 인하여 전력공급이 일시적 또는 계속적으로 중단될 경우에는 일반 사무소용 건축물과는 달리 매우 큰 위험을 가지고 있기 때문에 병원의 특수성을 고려하여 전원설비 계획단계부터 정전사고 발생에 대비한 안전대책과 신뢰도 높은 전원설비 구성이 요구된다.

일반적으로 전력회사로부터 전력을 공급받을 때에는 전력공급회사의 전기공급규정에 따라 시설하게 되며, 수용가에서는 병원시설의 중요성을 감안하여 전력공급 신뢰도와 경제성을 고려하여 수전방식을 결정하게 된다.

수전방식에는 1회선 수전방식(T 분기수전방식, 단독수전방식)과 2회선 수전방식(동계통 또는 뿔계통의 상용·예비선 수전방식, 루프수전방식, 스포트네트워크 수전방식 등)이 있으나, 병원의 특수성을 고려하여 공급신뢰도가 높은 2회선 수전방식을 채용하는 것이 바람직하며, 정전사고 발생으로 인한 영향을 최소화하여야 한다.

실태조사 결과, 조사 대상 병원의 58% 만이 2회선 수전방식을 채용하고 있었으며, 1회선 수전방식을 채택한 병원 중에서 600베드(Bed) 이상되는 종합병원이 5개소나 되는 것으로 나타났다.

(2) 비상전원설비

정전사고가 발생한 경우에는 비상용 전원설비에 의해 순시 대응이 가능하도록 설비구성이 이루어져야 하며, 비상용 전원설비로서 자가발전설비와 축전지설비를 설치하고 있다.

그러나, 최근에는 무정전상태에서도 전원공급이 가능한 무정전전원공급장치의 설치가 증가되고 있으며, 특

히 전산실과 수술실, 임상병리실, 중환자실에서 사용되는 의료기기용으로 설치되고 있다.

(3) 고압모선 및 변압기뱅크 구성 형태

대부분의 병원전기설비에는 배전계통의 공급신뢰도 면에서는 떨어지지만 가장 경제성 있는 단일 모선방식을 채택하고 있다. 또한 변압기 뱅크는 부하용도별로 구성하고 있고, Tie Bank는 구성하지 않고 있다.

(4) 정전 발생 실태

1995년도 기준, 순간정전은 연간 평균 12회 정도 발생한 것으로 나타났으며, 1분 이상 정전은 연간 평균 2.9회 정도 발생한 것으로 나타났다.

주요 원인은 전력공급회사측의 돌발적인 선로사고 파급으로 인한 정전이 가장 많이 지적되었고, 수용가내에서는 변전소 설비공사, 변전소 지락, 안전점검, 변류기의 소손, 태풍 등으로 인한 지락사고, 자동차에 의한 전기설비 손상 등이 지적되었다.

나. 변압기 시설용량의 변경현황

조사대상 종합병원 19개소 중 준공 당시보다 변압기 시설용량이 증가 또는 축소된 병원이 9개소나 나타났다.

위의 결과로 보아 조사된 병원중 약 16%에 해당하는 병원에서 설계 당초의 정확한 부하계산 자료에 근거하지 않고 설계가 이루어졌음이 지적되고 있다.

그리고, 변압기 용량의 증가 원인을 살펴보면, 건물의 증축으로 인한 전기설비의 확장과 아울러 하절기 냉방부하의 증가가 가장 큰 원인으로 지적되고 있고, 또한 최근 각종 특수의료장비의 사용이 급증함으로써 전력소비가 증가되고 있다.

다. 변압기의 강압방식과 1차/2차 변압기의 용량비

(1) 변압기의 강압방식

변압기의 강압방식에는 직접강압방식과 다단강압방

식이 있으며, 단일 건축물의 경우 변압기의 자체 손실을 경감시키기 위하여 직접강하방식을 채택하고 있는 경향이다.

그러나, 실태조사 결과, 10개소의 병원에서 다단강압 방식의 변압기를 시설하고 있었다.

(2) 1차/2차 변압기의 용량비

일반적으로 2차 변압기의 용량은 1차 변압기의 110~130% 범위가 바람직하다. 만약 1차 변압기 용량에 비해서 2차 변압기 용량이 작을 경우에는 실제 사용 부하설비용량에 비하여 과용량 변압기를 설치하는 결과가 되므로 많은 전력손실을 초래하게 된다.

실태조사 결과, 100% 이하의 구성비를 이루고 있는 시설은 1개소로 나타났고, 140% 이상의 구성비를 이루고 있는 시설은 5개소로 조사되었으며, 보다 적절한 2차 변압기의 구성비를 확보하여야 할 것으로 지적된다 (표 1 참조).

〈표 1〉 1차/2차 변압기용량의 구성 분포

구성비	80% 이하	100% 이하	120% 이하	140% 이하	160% 이하	160% 초과	계
병원수	—	1	1	1	3	1	7

라. 변전시설밀도 분석

(1) 연면적 기준 종합 변전시설밀도

종합 변전시설밀도는 수용가에 시설된 전체 변압기 시설용량에 대하여 단위면적당(총 연면적을 기준) 변압기 시설용량을 표시하는 지수를 나타내며, 표 2에서 보는 바와 같이 실태조사 결과 평균 종합 변전시설밀도는 72.6VA/m²으로 분석되었다.

(2) 베드 기준 종합 변전시설밀도

종합 변전시설밀도는 수용가에 시설된 전체 변압기 시설용량에 대하여 베드당 변압기시설용량을 표시하는

〈표 2〉 연면적 기준 종합변전시설밀도의 적용실태

변전시설밀도(VA/m ²) (연면적기준)	건물수	평균 종합변전시설밀도
100 이상	7	- 조사대상 총연면적 : 1,224,227m ²
80 ~ 100 미만	2	- 조사대상 총변압기 시설용량 : 88,875kVA
60 ~ 80 미만	5	- 평균 종합변전시설밀도 : 72.6(VA/m ²)
40 ~ 60 미만	5	

지수를 나타내며, 표 3에서 보는 바와 같이 그리고, 베드당 평균 종합변전시설밀도는 6,091VA로 나타났으며, 대형 병원일수록 변전시설밀도가 높은 것으로 분석되었다.

〈표 3〉 베드 기준 종합변전시설밀도

병원 베드 기준	건물수	베드 기준 종합 변전시설밀도(kVA)	평균 종합변전시설밀도
400 이하	3	5.6	- 조사대상 총베드수 : 14,592
400 ~ 700	5	5.02	- 조사대상 총변압기 시설 용량 : 88,875kVA
700 ~ 1000	8	6.506	- 베드당 평균 종합변전 시설밀도: 6.091kV
1000 이상	3	6.183	

3. 수용률과 최대수요전력 발생 실태 분석

가. 수용률 적용실태

수용률은 수용가에 시설된 전부하설비 용량에 대하여 실제로 사용되고 있는 부하의 최대수요전력의 비율을 표시하는 지수로서 설비부하에 대하여 최대로 걸리는 부하량의 정도를 나타내는 값이며, 전기설비설계시에 수전설비의 용량이나 간선 등을 결정하는데 필요한 지수이다.

따라서, 수용률이 너무 높게 책정되면 변전설비와 배전선로의 투자가 과대하게 될 뿐만 아니라 변압기의 손

실도 대단히 커져서 전기에너지의 낭비를 초래하게 된다. 반면에 수용률을 너무 적게 계상하면 변압설비와 배전선로에 과부하가 걸릴 염려가 있다.

이와 같이 수용률의 적절한 적용은 전기에너지 절약 및 설비의 효율적 이용에 있어서 매우 중요하다.

표 4는 1996년도에 발생된 최대수요전력의 실측자료를 기초로 하여 병원별 수용률 적용 현황을 분석하였으며, 조사대상 병원의 평균 수용률은 40% 정도로 나타났다. 본 실태조사에서는 병원별 부하설비용량을 정확히 조사할 수 없어 부하설비용량 대신에 변압기 시설용량에 설계수용률 80%를 감안하여 부하설비용량을 추정하여 수용률을 산정하였다.

실태조사의 결과에서 보는 바와 같이 조사대상 병원의 대부분이 합리적인 설계가 이루어지지 않았음을 지적할 수 있다.

나. 연간 최대수요전력의 발생실태

표 5는 조사대상 병원의 연간 최대수요전력의 현황을 나타낸 것이며, 건물 준공당시보다 2배 이상 최대수요전력이 증가한 병원이 3개소로 나타났다.

증가 원인으로는 병원의 증축으로 인한 전기설비 용량의 확장과 하절기 냉방부하의 급증, 특수 의료장비의 도입 급증으로 분석된다.

그리고, 건물 준공당시보다 최대수요전력의 발생이 거의 변화가 없는 병원이 5개소로 분석되었는데, 이의 원인으로서는 당초 설계상의 변압기뱅크가 합리적으로 구성되어 있어 효율적인 전력관리가 이루어지고 있기 때문인

〈표 4〉 수용률 적용현황

수용률 실태	건물수	평균 수용률
20 ~ 30%	4	- 조사대상의 최대수요전력의 합 : 38,433 kVA - 조사대상(17개소) 총변압기 시설용량 : 76,775kVA - 설계수용률(80%)을 고려한 부하설비용량 : 95,968.75kVA - 평균 수용률 : 40%
30 ~ 40%	5	
40 ~ 50%	5	
50 이상	3	

것으로 판단된다.

4. 전력소비형태 및 부하특성 분석

가. 월부하특성

표 6은 1995년도 기준 지역별 월별 최대수요전력의 분포를 나타낸 것이며, 표에서 보는 바와 같이 대구지

〈표 5〉 최대수요전력의 발생현황

[단위: kW]

연도 \ 건물명	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	17
'83		1024		720								
'84	1228	1040		840								
'85	1305	1076		840								
'86	1243	1033		960								
'87	1305	1054		840	1454							
'88	1396	1069		900	1461							
'89	1440	1084		1350	1454							2716
'90	1459	1039		1350	1540							3811
'91	1857	854		1566	1553					2150		3744
'92	1829	856	776	1454	1411	309	2167	785	874	2150	733	3912
'93	1795	814	665	1771	1357	357	2074	763	900	1890	738	3672
'94	2131	920	705	1857	1501	519	2246	817	925	2250	753	7661
'95	1953	960	737	2083	1840	780	2239	835	1325	2520	759	8889
'96	1994	1002	717	2083	2328	780	2239	892	1407	2550	925	8800
준공이후 증가율 [%]	162.4	97.9	92.4	289.3	160.1	252.4	103.3	113.6	161.0	118.6	126.2	324.0

〈표 6〉 지역별 월부하특성

[단위: kW]

월 별	지역 별	서울(17)	대전(12)	대구(2)	광주(19)	부산(9)
1		6086	600	1248	1200	1649
2		5962	637	1243	1200	1649
3		6029	622	1195	1250	1570
4		6077	572	1147	1250	1548
5		6566	504	1214	1250	1785
6		7949	572	1728	1600	1903
7		8889	1267	1953	1872	2023
8		8765	1325	1824	1973	2239
9		8285	1307	1651	1680	1980
10		6182	540	1742	1105	1476
11		6220	619	1156	1110	1576
12		6480	666	1161	1200	1620
동절기의 최대치		6480	666	1248	1200	1649
하절기의 최대치		8889	1325	1953	1973	2239
동·하절기의 증가율		137.2%	198.9%	156.5%	164.4%	135.8%

비고 : ()의 번호는 병원명을 나타냄.

방과 부산지방의 경우에는 냉방기간이 5월부터 시작하여 10월까지 지속되는 것을 알 수 있다. 따라서, 이에 대응한 에너지절약형 냉동기 시스템을 구축하여야 할 것이다.

그리고, 냉동기 부하로 인하여 냉방기 계절 동안에는 중간기 계절과 난방기 계절보다 최대 수요전력이 훨씬 높게 나타나고 있다. 반면에 중간기 계절과 난방기 계절에는 최대수요전력의 변화가 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

나. 일부하특성

표 7은 하절기의 1일 부하특성을 나타낸 것이며, 일반 사무소용 건물과는 달리 오전 8시부터 부하 가동이 급속하게 증가하기 시작하여 오후 6~8시까지 최대전력을 나타내고 있으며, 피크 발생시간대는 오전 11시부터 오후 4시까지 계속되고 있음을 알 수 있다.

또한, 병원의 특성상 야간시에도 계속적으로 일정 부하(조명부하 및 냉난방부하) 이상이 가동되고 있음을

알 수 있다.

5. 전력관리 효율화 운용사례

가. 발전기에 의한 피크컷(Peak Cut) 제어

최대수요전력을 적절하게 제어하기 위한 방식에는 ① 피크컷(Peak Cut) 제어, ② 피크시프트(Peak Shift) 제어, ③ 자가용 발전설비의 가동에 의한 피크 제어, ④ 설비부하의 프로그램제어 방식 등이 있다.

최근에는 피크컷제어 및 피크시프트제어에 의한 최대수요전력 제어가 곤란한 경우에는 자가용발전설비를 이용하여 목표전력을 초과하는 피크전력에 해당하는 부하를 분담하게 하는 방식이 적극 검토되고 있다. 일반적으로 일정 규모 이상의 건물에 있어서는 자가용발전설비의 설치는 의무화되어 있으므로 부하특성을 면밀히 검토하여 자가용발전설비를 이용한 피크전력

〈표 7〉 일부하특성

[단위: kW]

시 간	병원명	종합병원 (2) 96. 8. 6(화)	종합병원 (7) 96. 8. 6(화)	종합병원 (19) 95. 7. 10(화)
02		1000	1100	790
04			1100	1130
05		1000		
06			900	1100
08		1700	1450	1600
10			1900	1600
11		1850		
12			2000	1640
14		1850	2090	1620
16			2000	1620
17		1700		
18			1600	1900
20		1300	1400	1900
22			1200	1130
23		1150		
24			900	830

을 분담하게 하는 것도 바람직하다.

표 8에서 보는 바와 같이 실태조사대상 19개소 중에서 4개소에 해당하는 병원에서 비상용발전설비를 이용하여 최대수요전력을 분담하고 있는 것으로 나타났다.

〈표 8〉 자가용발전설비의 가동현황

병원명	병원 (2)	병원 (7)	병원 (8)	병원 (18)
발전기용량	2515 kW	1500 kVA	400 kVA	155kVA×2대
가동기간	'96.6.20~8.30	'96.8.1~8.14	'96.7.1~8.30	'96.7.18~8.22
가동일수	70일	4일	40일	35일
가동시간	07~18시	13~17시	10~17시	09~17시
총가동시간	470시간	16시간	320시간	260시간

나. 디맨드컨트롤러에 의한 최대전력 제어

특정시간대의 최대수요전력 발생시간대에서 ① 피크컷(Peak Cut) 제어, ② 피크시프트(Peak Shift) 제어에 의한 피크제어를 하지 않고, 부하기의 수가 많이 있는 동일기기(예를 들어, 공조기기) 등을 그 기기의 제품성능, 빌딩의 쾌적 환경유지에 영향을 주지 않는 범위내에서 단기간 정지, 기동운전을 시켜 피크시간대에서의 사용전력량을 감소시키며, 최대전력을 제어하는 방법으로서 디맨드컨트롤러(Demand Controller)를 이용한다.

디맨드컨트롤러는 디맨드제어에 의한 피크전력을 억제하기 위하여 마이크로프로세서를 내장시킨 고도의 감시제어기능을 가진 최대수요전력 감시제어장치이다. 이 장치는 항시 전력부하 상태를 감시하고 있다가 부하가 대맨드 시한인 15분 내에 사전에 설정된 목표전력을 초과할 것 같으면, 경보를 발생시킴과 동시에 일시적으로 차단가능한 부하부터 순차적으로 최대 8개 회로까지 차단시켜 최대수요전력을 억제하는 장치이고, 부하가 떨어지면 다시 순차적으로 사전에 입력된 프로그램에 의해 부하를 투입시킨다.

본 실태조사대상 19개소 중에서 3개소에 해당하는 병원에서 디맨드컨트롤러를 설치하여 최대수요전력을 제어하고 있는 것으로 나타났다(표 9 참조).

〈표 9〉 디맨드컨트롤러를 이용한 최대수요전력 제어현황

병원명	병원 (2)	병원 (17)	병원 (18)
96년도 최대전력	1994kW	8889kW	3415kW
목표전력의 억제가능전력	650kW	1000kW	300kW

다. 2승저감 토크부하의 인버터제어에 의한 전력절감

일반동력의 70% 이상을 차지하고 있는 펌프, 팬, 블로어 등은 일반적으로 부하토크가 속도 저하와 더불어 감소하는 2승저감토크 특성을 가진 부하이다. 다시 말해서, 2승저감토크 부하는 회전수가 낮아지면, 부하를 구동시키기 위한 토크도 작아지는 부하로서, 부하의 토크가 회전수의 2승에 비례하고($T \propto N^2$), 동력은 회전수의 3승에 비례하는($T \propto N^3$) 특성을 가지고 있으므로 이러한 부하에 인버터를 적용하면, 에너지절약 효과가 크다.

종래에는 전동기를 일정속도로 운전하고, 댐퍼나 밸브로 풍수량을 제어하였으나 인버터 적용시에는 필요한 풍수량에 따라 전동기의 회전속도를 제어함으로써 큰 전력절감의 효과를 얻을 수 있다.

본 실태조사대상 19개소 중에서 1개소에 해당하는 병원에서 VVVF를 적용하고 있는 것으로 나타났으며, 적용 대상부하는 VAV(변풍량제어)이고, 전력소비 절감량은 300kWh 정도로 추산되는 것으로 분석된다.

라. 빌딩자동화시스템에 의한 전력절감

빌딩자동화시스템(Building Automation System)

은 제어용 컴퓨터에 의하여 빌딩설비 전체를 자동으로 감시, 제어, 확인, 조정, 통제할 수 있는 최신의 빌딩에너지관리시스템으로서, 컴퓨터 그래픽처리가 가능하므로 운전자가 눈으로 보고 감시제어 및 원격조작이 가능하며, 또한 사용자의 요구에 따라 설비관리 결과를 일간, 월간, 연간의 보고서 형태로 자동 기록된다.

이와 같이 빌딩자동화시스템을 도입하여 빌딩설비 전체를 유기적으로 연계 운용함으로써 각 설비기기를 조작하는데 있어서 인력 절감을 도모할 수 있고, 또한 에너지 절약제어에 의한 설비관리의 경제성과 효율성의 향상을 기하며, 생활공간으로서의 안전성과 관리성의 확보, 쾌적환경의 유지, 긴급시의 신속정확한 조치 등 최소의 관리인원으로 에너지절감을 도모하면서 빌딩 전체의 최적화의 추구를 가능하게 하고 있다.

본 실태조사대상 19개소 중에서 9개소에 해당하는 병원에서 빌딩자동화시스템을 도입하여 전력절감을 도모하고 있는 것으로 나타났다.

6. 검토 및 결론

종합병원과 같은 전력다소비 건축물 19개소를 조사한 결과, 전반적으로 효율적인 전력관리가 이루어지지 않고 있는 실정이며, 수변전설비, 조명설비, 전동력설비, 공조설비, 반송설비 및 심야전력 활용부문에서 초보적인 전력관리 방법을 사용하고 있는 것으로 분석되었으며, 조사 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 조사대상 종합병원(19개소) 중 58%만이 2회선 수전방식을 채용하고 있으며, 병원시설의 중요성을 고려하여 공급신뢰도가 높은 수전 및 배전방식을 채택하는 것이 바람직하다.

(2) 병원의 종합 변전시설밀도는 $72.6\text{kV}/\text{m}^2$ 로 나타났다, 베드당 평균 종합 변전 시설밀도는 $6,091\text{VA}$

로 분석되었으며, 대형 병원일수록 변전시설밀도가 높은 것으로 나타났다.

(3) 전력다소비 건축물에서 수용률의 적용은 설비의 효율적 이용면에서 매우 중요하며, 실태조사 결과, 평균 수용률은 40%로 분석되었다. 그리고, 조사대상 병원의 연간 최대수요전력의 분석결과, 건물 준공당시보다 2배 이상 최대수요전력이 증가한 병원이 3개소로 나타났다. 증가 원인으로는 병원의 증축으로 인한 전기설비 용량의 확장과 하절기 냉방부하의 급증, 특수 의료장비의 도입 급증으로 분석된다. 이와 같이 병원시설의 특성을 고려한 합리적인 전기설계 및 전력관리가 이루어지지 않고 있음이 지적된다.

(4) 월부하특성 분석결과, 대구 및 부산지방의 경우에는 냉방기간이 5월부터 시작하여 10월까지 계속되는 것으로 나타났고, 이에 대응한 에너지절약형 냉방시스템의 구축이 요구되며, 아울러 냉방부하를 효율적으로 제어하기 위한 관리기법의 개발이 요청된다.

(5) 일부하특성 분석결과, 최대수요전력의 발생시간대는 11시~16시까지 계속되는 것으로 나타났고, 또 일부 병원의 경우에는 오후시간대보다 저녁시간대에 최대수요전력이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

(6) 전력관리의 효율화 운용사례 분석결과, 비상발전기를 이용하여 전력관리를 하고 있는 병원이 4개소, 디맨드컨트롤러를 이용하여 최대전력을 제어하고 있는 병원이 3개소, VVVF를 이용한 전동력설비를 제어하고 있는 병원이 1개소, 빌딩자동화시스템을 이용한 종합적인 전력관리를 도모하고 있는 곳이 9개소로 나타났다.

조사결과, 효율적인 전력관리를 도모하기 위한 관심과 검토가 이루어지고 있는 것으로 분석되었으나, 보다 적극적인 전력관리기법의 도입을 유도하기 위해서는 전력관리기술의 보급과 제도적인 지원이 이루어져야 할 것으로 사료된다. ■