

많은 사용환경에서 시간의 경과에 따라 손상품이 발생되는 현실은 베타황동의 입계 상온크리프 강도가 특히 취약하다는 결론에 도달하게 하며 이와 같은 저응력 조건에서의 파괴는 탄성응력분포에서 최고응력 발생부위를 기점으로 균열이 발생하게 하여 나사산 부위가 아닌 볼트 홀 부위가 손상되게 한 것으로 판단된다. 본고에서 언급하지는 않았으나 고장력 재료의 피로강도를 가늠하기 위하여 적절한 하중으로 800만 사이클 정도의 가진력을 주었으나 파괴에는 실패하여 피로강도는 상당히 강한 것으로 평가되었다.

5. 결론

배전계통에 사용되는 활선용 클램프의 균열손상원인을 규명하기 위하여 기계금속학적 분석을 실시한 결과 볼트 손상은 베타기지조직 형태로 주조된 볼트에서만 발생하는 현상임이 확인되었다.

볼트의 손상위치와 인장시험결과는 볼트 손상시의 응력수준이 탄성한도 이내 것임을 추정하게 하였다.

이것은 베타조직으로 주조된 고장력황동 제품의 크리프강도가 낮음을 의미하는 것으로 생각된다.

고장력황동 주조재 볼트중 알파와 베타 혼상조직을 가진 제품에서도 손상 볼트와 마찬가지로 상당수준의 납 편석현상이 확인되었지만 손상된 것은 없었다.

베타황동이 보여주는 입계취약성의 본질이 저온크리프를 일으키는 납의 물성의 다른 표현인지 아니면 베타황동 결정립 구조 자체의 문제인지를 확인하기 위해서는 납 성분이 배제된 베타황동 시료를 제작하여 장기간의 저온크리프 시험을 해야 할 것으로 판단되었으나 조사기간의 제약으로 이 이를 포기 하였고 활선클램프 볼트의 손상원인이 재료의 입계강도 문제에 연유한 것이란 결론으로 본 조사를 종결하게 되었다.

세계무역센터빌딩의 Hybrid 발전시스템

* 본 자료는 일본 열병합발전센터자료에서 발췌·번역한 것임.

1. 머리말

세계무역센터빌딩은 昭和 45년(1970) 3월 가스미가 세키빌딩에 이어 일본에서 두번째로 탄생한 지상 40층, 연면적 약 15만4천㎡의 초고층빌딩이다(그림-1). 본빌딩은 JR 야마노데선 「하마마쓰」, 지하철 「大門」 및 하네다공항에의 Mono-Rail 시발역에 인접하고 별관 1층에는 도영(都營), 장거리버스의 발착장을 갖추고 터미널 기능을 하고있는 한편 결혼식장·레스토랑 등 약 80개 회사의 사무실, 40軒의 음식점이 입주한 인구 약 8천명, 평일 유동인구 10만명을 넘는 다목적 대형건물이다.



<그림-1> 건물전경사진

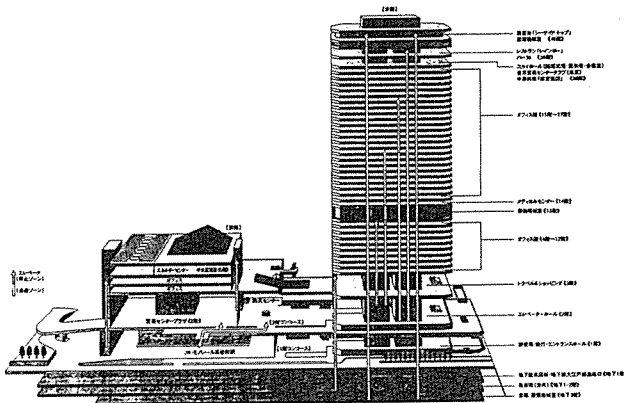
昭和50년대 후반부터 OA화의 물결은 전력사용량과 이에 수반된 공조부하를 증대시키고 이는 현재에 이르고 있다. 이와같은 경향은 장래에도 계속될것이 예상되고 준공 32년을 맞는 본 건물은平成5년부터 만 9년간 전기·공조설비를 중심으로 전 건축설비의 RENEWAL을 실시하였다. (총공사비 320억엔)

본고에서는 RENEWAL 등에서의 에너지절약과 에너지절약의 집대성인 태양광발전, 가스터빈발전에 의한 열병합발전을 조합한 Hybrid 발전시스템의 도입 등에 관하여 보고할 것이다.

2. 건물·설비개요

2.1 건물개요(그림-2)

<그림-2> 빌딩의 조감도



부지면적	16,081㎡	층 수	본관40층 지하3층
건축면적	9,573㎡		옥상높이 152m
연상면적	3,841㎡		별관 5층 지하3층
기준층면적	2,458㎡	구조	본관 RC·SRC 및 S조 별관 RC구조

2.2 설비개요 (주요전기설비)

(1) 전원설비

계약전력 6,500kW

(중전 10,000kW·8000kW)

- 66kV 루프수전·컴팩트형 SF₆Gas 절연수전방식 (CGIS)
주 Gas Tr 66/6.6kV 12.5MVA×2대,
고압부변전소 4개소 Tr17.2 MVA
처음 66kV 가스식 MOF에 의하여 저압까지 Oil

less화

66kV계부터 전관 2계통 급전방식

(상용전원상실시 이외 전정전발생지역 없음)

- 비상용발전기 6.6kV 1,500kVA×2대 10시간 이상 대응

(회복시 상용연계운전에 의한 무정전차단방식)

- 데이터센터용 발전기

6.6kV 750kVA×1대. 상기 비상용과 병렬운전 가능

- OA 대응전원 기준층 사무실 55VA/㎡이상 (중전 12VA/㎡이상)

- IT 대응용 전관 무정전전원간선

단상 3선 100/200V 350kVA

- 아크데이브필터 150kVA×2대.

- 무정전전원장치 (UPS)

중앙감시+공조자동제어 40kVA+25kVA

데이터센터 100kVA×4대

- 축전지 UPS용, 제어·조작용, 비상등용 계 2,450Ah

데이터센터용 1,000Ah

(2) 중앙감시설비

- 제어용 32bit CPU×4대 광LAN용+메탈LAN
- CRT×4대 (설비계+방재계), 감시·제어점수 약 15,000점
- 채널컨트롤러×4대 (공조계 제어용)

3. 태양광발전·열병합시스템 도입경위

3.1 광열비의 삭감

2차의 유류파동(昭和58년, 수도·광열비 3.5배 상승, 7할이 전력량요금)의 체험을 하고 여하히 광열비를 저감할것인가, 전력절감화를 꾀하는것이 테마로 되었다. 결정적인 해결책이 나온 요인은 인버터의 출현과 그의 염가화였다. 전동기의 8할 이상을 점하는 「카고형 유도전동기의 회전수를 자유롭게 변경할 수 있다」고 하는것은 당세대에서는 꿈과 같은것이 었다. 또한 펌프·팬 등의 유체부하기에 있어서 입·출력은 회전수의 "3승"에 비례한다. 4계절·시간변동 등에 대응하여 변화하는 건물의 공조설비의 전력절감효과는 크다.

초기의 인버터는 아직까지 적절한 파워트랜지스터가 없는 시대로서 자이리스터에 의한 PAM(전류형) 방식이었다. 당연히 고조파가 많으므로 PWM(전압형)방식이 안정되기를 기다렸다.

昭和60년 건물내 공조환기동력 약 450대 · 모터출력 합계 약 11,000kW중 가변속운전이 유리한 냉온수펌프 · 환기팬 등 73대 계 2,408kW에 대하여 VWV(가변수량제어) · VAV(가변풍량제어)의 도입을 꾀하였다. 당시 기존기와 크기가 동일한 풀체인지모터가 함께 상품화 되었으므로 인버터 설치 공간이 없는 주차장에 환기 20대에 458kW를 적용하였다. 상기의 VWV · VAV화에 의하여 연간 삭감전력량 360kWh를 달성하였다. 이것은 총 사용전력량 2,750 kWh의 13%, 전 공조전력량의 35%강이고 당시 입주자가 사용하는 OA 연간사용전력량은 대략 동량을 삭감한 것으로 된다.

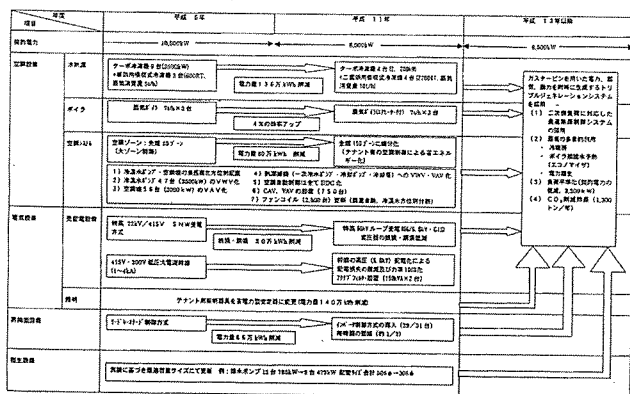
또한 보일러 등유 370kl/년의 1/3, 수도량 57만m³에서 약 절반인 32만m³를 절감하였다.

3.2 RENEWAL의 주요한 실시내용 · 에너지 절감대책

설비의 노후화와 새로운 시대의 대응을 위하여 앞에서 언급한 바와 같이平成5년부터 전 건축설비에 대한 RENEWAL을 실시하였다. 본 건물은 열공급사업법 제정(1972년)전의 건물로서 열원설비 등이 갖추어져 있다.

RENEWAL에 있어서 20 수년간의 운용실적을 토대로 원점부터 계획을 검토하였다.

에너지절약대책의 주요내용을 그림-3에 표시하였다. 이 내용은 후술할 NEDO 평가대상으로 인정을 받았다. RENEWAL의 주축인 전원설비의 경신개념(更新概念)을 기술한다.



<그림-3> Renewal시의 에너지절약계획

昭和40년대 초 전기사업자는 도심부에 건립되는 건물에 새로운 전원공급방식인 미국의 22kV/415V 스파트네트워크방식을 적용할 계획이었다. 그의 축진 모델케이스로 본건물에 重電 3사 제품을 4개소(B3 · 13 · 40층, 별관5층 · 15,000kVA)에 분산설치하는 형태로 도입하였다. 이 결과가 금일의 주요 도시에 있어서 동방식(同方式)의 진화발전예에 연계되어 있다.

RENEWAL시에 필자는 경신시의 시공성 · 공간의 절약화 및 경제성을 고려, 다음을 CONCEPT로 하였다.

- ①터미널적인 초고층빌딩으로서 높은 신뢰도를 보증한다.
- ②약 8만m²의 사무실에 과부족이 없는 OA 전원대응과 불가결한 발열냉각용 전원을 확보한다.
- ③大短絡電流 (100kA) · 큰 라인손실이 발생하고, 저압대전류모선 · 간선방식 (1~4kA)은 채용하지 않는다.
- ④열병합 도입시에 계통연계가 용이하다.

검토 결과 저압배전에 의한 상기 스파트네트워크방식의 역할은 끝난것으로 보고 RENEWAL후의 대규모 초고층빌딩에 걸맞는 66kV 수전, 6.6kV 빌딩내 고압배전방식을 채용하였다.

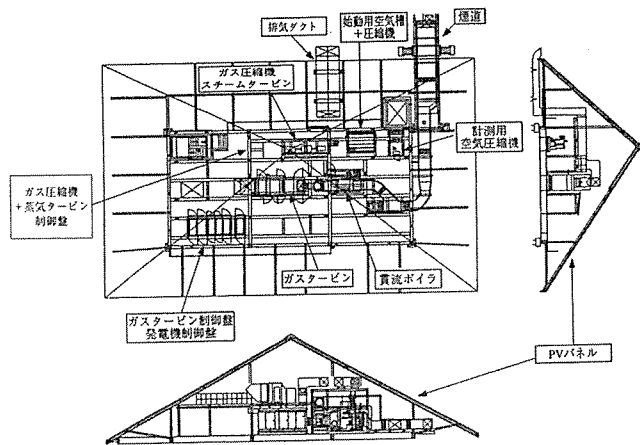
이로인한 전관의 고압배전화는 소전류 · 소규모의 간선에 의한 신뢰도가 높은 골격을 구축, 라인손실의 저감화, 또한 입주자의 요구에 따라 임의 용량의 OA 전원의 공급을 가능하게 하여 유치조건에 기여하였다. 입주자의 OA전원의 임의 요구용량 공급을 가능하게 하였다.

3.3 에너지절약의 집대성(集大成)

근년에 있어서 세계적규모의 지구환경보전문제, 신변 가까이 하계절 전력피크의 억제, 심야 잉여전력 대책 등 피할 수 없는 큰 과제들을 안고 있다. 이와같은 상황에서 21세기 새로운 시대의 에너지절약화를 꾀하기 위한 RENEWAL 에너지절약 대책을 검토하였다.

그 결과 별관옥상 공간을 활용한 에너지절약 효과를 갖는 열병합시스템 (이하 CGS라 함)과 지구환경보전에 공헌하는 청정에너지 태양광발전시스템(이하 PVS라 함)을 조합한 「환경조화형 하이브리드발전시스템」의 도입에 이르렀다. 시스템의 배치 · 구성은 그림-4, 그림-5와 같다.

또한 현재 심야전력에 의한 기설 터보냉동기(550USRT)를 이용한 냉수축열조(지하3층, 유효수량 2,200m³)를 금년 5월 완성을 목표로 공사중이다. 아래에 PVS, CGS에 관하여 설명한다.



<그림-4> 시스템의 전체배치도 (별관 옥상)

4. 하이브리드(Hybrid)발전시스템

4.1 태양광시스템의 개요

별관 옥상공간(약 2,000m², 지상공 30m)은 일출부터 일몰까지 음지가 발생하지 않으므로 PVS 설치에 적합한 공간이다. 또한 PV모듈 가대(架臺)의 내부에 CGS 기기를 수납, 본관 창으로부터의 경관을 배려하여 가대의 형상을 피라미트 형태로 하였다. 각 기기에 관하여 다음과 같이 검토 하였다.

(1) 피라미트형 가대

피라미트형 가대에 관해서는 많은 건물에서 볼 수 있는 라멘구조로서는 중량이 많고 내부기기와의 간섭 문제가 있으므로 이를 해결할 수 있는 경제적인 트라스구조를 채용하였다. 이보다 중량을 약 2/3까지 저감할 수 있고 내부기기도 용이하게 배치할 수 있었다.

(2) PV모듈의 설치

피라미트 형상에 관해서는 남면(南面)의 경사를 도쿄에서 발전효율이 최고 높은 경사 32도에 가까운 35도로 하였고 동·서면의 경사를 약 28도, 북면을 49도로 하였다. 이로 인하여 효율이 좋은 남면: 440매, 동·서·북면: 각 324매 계 1,412매의 구조로 하였다. 총

중량은 13톤강, 설치면적은 25m×40m, 높이 약 12m, 발전능력은 80kW 이다. 모듈설치에 있어서 10mm의 간격으로 건축기준법상의 지붕에 저축되지 않게 하고 CGS의 양호한 급기·환기를 겸하였다.

모듈을 설치할 수 없는 능선부분은 실물과 유사한 폴리카보네이트제의 모조품을 사용하였다. 반투명 마감재로서 예상외로 내부조명에 기여하였다.

북면은 경제성·의장성, 약간의 전력발생을 기대하여 실물로 하였다.

(3) 태양광발전 모듈본체

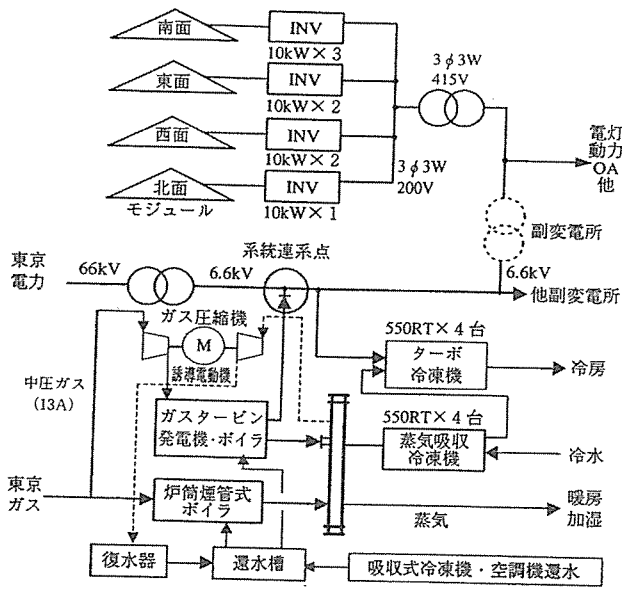
PV모듈은 투자 대 효과면에서 최상품인, 나가사키 중공업(주)에서 국내 독점판매권을 갖고있는 미국의 Ever Green Solar사 제품 60W형을 선정하였다. 본 모듈들은 String Ribbon이라 불리는 특수한 제법으로 제작되어 고액인 실리콘재료의 생산 득율(得率)을 높여 비용절감을 실현하였다.

(4) 인버터·계통연계보호장치

4방위에 PV모듈을 설치하였으므로 각방위 마다 제어할 수 있는 인버터를 배치하였다. 남면: 3대, 동서면: 각 2대, 북면: 1대, 계 8대의 표준형 200V·10kW 인버터로 구성되고 출력은 결선 9권선(券線)변압기에 의하여 절연되고 415V로 승압하여 연계(連系)하였다.

각인버터(日新電氣(株) 제품)는 집중제어방식으로서의 특징은 다음과 같다.

- PV 설치방위방향에 따라 제어하기 때문에 발전 효율이 높다.
- 인버터의 발전상황 일괄감시가 가능하다.
- 인버터내의 지락(地絡) 등의 트러블이 타기에 파급되지 않는다.
- 인버터·상용측(常用側) 쌍방이 태양전지의 대지정전용량(對地靜電容量)에 기인하는 고주파의 영향을 받지 않음.
- 예측불가의 정전시, 도시가스가 공급되고 햇볕이 있으면 PV출력에 의하여 가스터빈의 시동이 가능.



<그림-5> 태양광발전·열병합시스템의 FLOW도

4.2 열병합의 개요

상용전원과 병렬운전하는 CGS 전원계에 GVT(零相電壓檢出器) 설치의 생략설은 이전부터 이를 주장해온 필자에게 있어서平成10년의 가이드라인 개정은 낭보였다. RENEWAL에 의하여 지하3층의 22kV설비의 설치장소에 66kV 설비로 경신(更新)하므로써 상기 GVT 설치공간이 없는 본건물도 CGS 도입이 가능하게 되었다.

과거의 전기·가스·증기의 사용실적에 의거 엔진의 전기적 출력 1,500kW, 배열회수로 약 5t/h의 증기를 생산하는 가스터빈으로 하였다. 그림-2와 같이 본체가 설치된 하층에는 사무실이 있으므로 저진동·저소음 등의 관점에서도 우수한 특성을 갖는 본 방식을 선정 하였다. 기중선정에 있어서는 고 가동율 등을 기대하여 우수기종인 나가사키중공업(주)의 GP1500D를 선정하였다. 구성·Flow는 그림-5와 같다.

4.3 본 열병합의 특징

아래에 증기의 다원적 활용 등이 포함된 본 시스템의 특징을 기술하였다.

- ①그림-5와 같이 당연한것이지만 옥상설치의 최대 이점은 건물보강이 없으면 가스터빈 특유의 큰 급기덕트·연도공사비가 경제적으로 구축(構築)된다. 또한 본건은 보조기기가 모두 본체와 동일 면상에 놓이므로써 유지관리에 유리하다.

- ②열원설비는, 증기를 사용하는 흡수식냉동기에 의한 냉수를 전동식 터보냉동기로 재냉각시키는 시스템 구성이다. 냉방부하가 작은 동절기·중간기에는 흡수식을 우선 운전하고 부하가 큰 하절기에는 양기 모두 운전하여 항상 고효율운전을 하므로써 에너지절약을 도모하였다. 이로 인하여 연간 44만kW의 터보냉동기 전력사용량을 흡수식의 운전으로 이전시켰다.

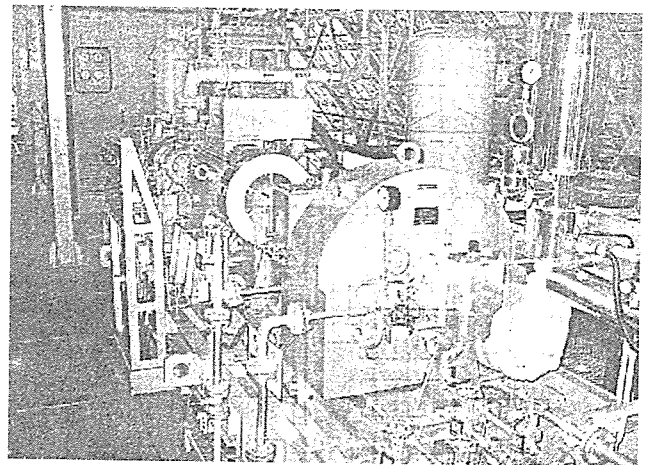
- ③가스터빈·발전기 및 배열보일러는 상시 정격운전을 한다.

중간기 등 증기의 여유가 있을시에는 가스압축기와 동일축상에 있는 증기터빈을 클러치로 자동 연결시켜 소요전력을 저감시킨다. 또한 증기터빈을 나온 포화증기를 공냉식 복수기 경유(90℃) 기존 환수조에 집수하여 기설 보일러를 포함 보급수의 절탄기로 이용하므로써 종합에너지효율의 향상을 도모하였다. 즉 방열·증기손실이 없는 시스템을 구축하였다.

- ④가스압축기용 전동기는 위와 같은 회생형(回生型) 인버터로 전력절감, 또한 예측하지 못한 전원의 상실시에는 PVS 출력으로 가스압축기를 Soft Start 시켜 가스터빈의 시동을 가능하게 하였다.

- ⑤터빈의 NOx 삭감은 물·증기분사의 필요가 없는 Dry Low Emission이다. 희박에혼합 멀티버너 연소방식을 적용, 종합효율의 향상을 도모하였다.

- ⑥하절기의 가스터빈발전기의 출력저하대책으로 1년중 정격출력으로 운전이 가능하도록 기 설치된 냉수사용에 의한 흡기냉각기를 설치하였다.



<그림-6> 증기터빈 구동 가스압축기

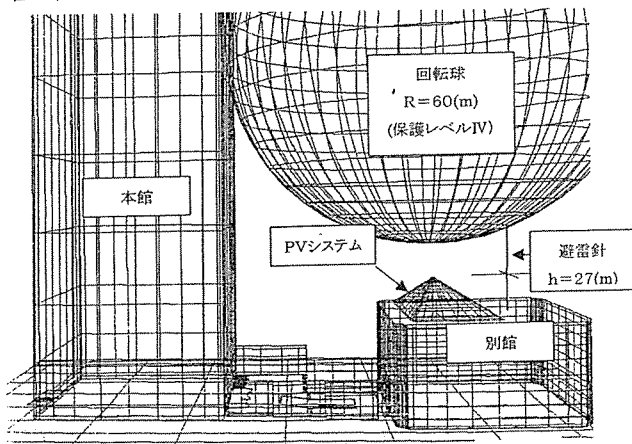
이와같이 전력·동력·열의 동시생산을 가능하게

하는 시스템을「Triple Generation」이라고 명명하고 배 열로부터 회수한 증기를 난방·흡수식냉동기·동력·급수여열 같은것 등을 Cascade 이용이라 하고 종래형보다 새로운 에너지절약화를 도모한 열병합시스템을 실현하였다.

5. 피뢰침의 설치

5.1 피뢰침

본관 옥탑에 건축기준법에 의하여 피뢰침 (지상으로부터 180m. 보호각 60도)은 설치되어 있으나 IEC1024-1의 회전구체법(回轉球體法)에서는 본 피라미트의 피격은 피할 수 없었다. 내부에는 Sequencer를 구사한 CGS가 운전되고 있다. 따라서 번개의 피격에 의한 PV모듈의 파괴, 써지에 의한 CGS운전 트라블을 방지하기 위하여 피뢰침(27m)를 설치하였다.(그림-7)



<그림-7> 피뢰설비의 검토 (회전구체법에 의함)

5.2 피뢰침 도선의 접속에 관하여

昭和43년 (1968년)에 건설한 별관은 압접공법(壓接工法)을 사용하지않은 철근콘크리트 구조물이다. 피뢰도선을 가장 가까운 주 철근에 용접 접속한바 지하 3층의 피뢰침 접지극용단자 (接地極用端子)까지가 (電線부설 길이로 약 200m) 전기적으로 연결되어 있어 낙뢰시의 전류를 문제없이 흘려보낼 수 있는지를 확인하였다.

상용전원에 의한 전압강하법에 따라 구체(驅體)간에 전류를 100~500A까지 흘려 인피던스 0.086Ω(일

정)을 얻었으므로 문제가 없는것으로 되었다. 또한 용접 접속점을 기초로 CGS·PV 가대의 동전위화(同電位化)를 도모하였다.

6. NEDO의 조성제도

PVS·CGS를 도입하는데 있어서 NEDO(신에너지·산업기술종합개발기구)의 조성제도를 이용, 하기와 같이 2안을 공히 인정 받았다.

PVS는 NEDO와의 공동연구「産業用 태양광발전 현장시험사업」의 신형태 이용형(新形態利用型) 시스템으로 인정되어 사업비 1/2씩의 공동연구로 되었다. 도심의 옥상을 이용, CGS를 포함하는 시스템으로서의 신규성이 평가되었다.

CGS 도입사업에 있어서 NEDO가 에너지절약 추진에 적극적인기업에 대하여 제정한「平成12년도 선도적 에너지이용 합리화설비도입 모델사업」으로 인정되어 사업비의 1/3 상당의 보조금이 교부되었다.

본건 인정의 평가포인트를 아래에 열거한다.

- 이제까지의 에너지절약에 대한 활동과 금후의 에너지절약효과를 충분히기대할 수 있다.
- 도입되는 시스템이 종래에는 없는 선도적인 것이다.
- 금후 타 사업장에서의 에너지절약 설비도입 보급 촉진효과가 있다.

7. 운전실적과 광열비 절감효과

PVS는平成13년 2월말, CGS는 동년 6월말에 각각 완성하여 양 설비 공히순조로운 가동을 하고있다. 하이브리드시스템의 발전전력량은 전관의 연간소비전력의 20%를 감당할 예정이다. 또한 연간에너지절약량 약 650kl (원유환산), CO₂ 삭감량 1,300톤이 목표이다.

7.1 태양광발전시스템

그림-8은 3월부터 11월까지의 전체발전량, 그림-9는 4월23일(월)의 발전량 411kWh의 곡선이다. 동·서·남 3면의 데이터에 주목하기 바란다. 동서의 모듈 440매를 동서면과 같이 324매로 보정(補正)한것이

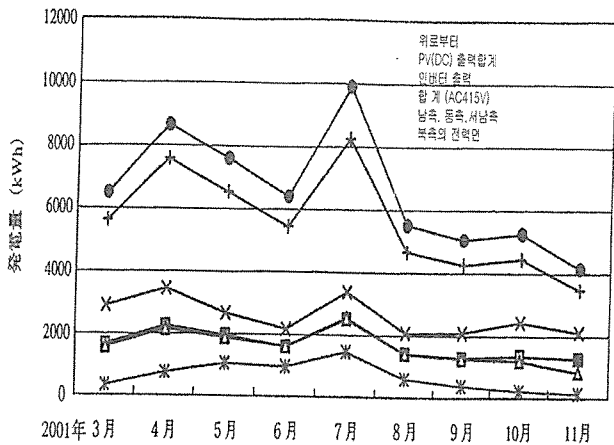
파선이고 발전전력량은 방위에 그다지 관계되지 않는다는 것을 알게 된다.

이 결과는 남면에 집착할 필요가 없다는 것을 의미하고 건재형(建材型) PVS에 기여하는 것으로 되어 그 결과를 반감해 생각한다. 다만 인버터의 효율을 주시하여야 할 것이다.

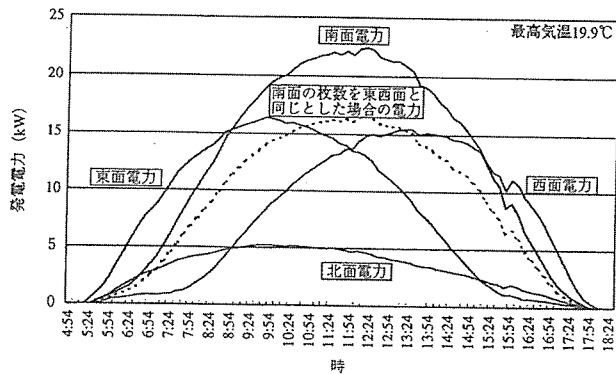
7.2 열병합시스템

출력 1,500kW의 본 CGS는 연간 4,000시간의 운전, 약 600만 kWh의 발전전력량을 목표로 하고 있다. 그림-10은 금년 7월~11월 5개월간의 운전실적이고 가스 13A의 사용요금을 입력, 100%로 하고 출력은 약 180%, 광열비의 절감은 순조로웠다.

증기터빈의 운전결과도 양호하여 방열·증기손실이 발생되지 않아 기대한 것과 같은 시스템이 완성되었다.

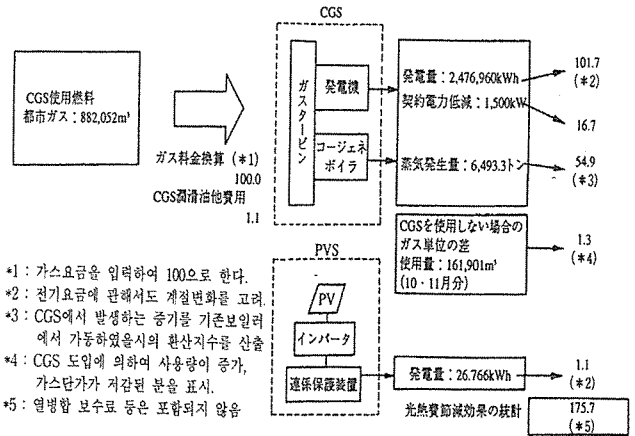


<그림-8> 태양광 발전실적



<그림-9> 개인날의 발전전력 (2001년4월23일)

계약전력은 빌딩 준공시의 10,000kW 부터 RENEWAL 후 8,000kW로, 금회 CGS의 도입으로 6,500kW로 3,500kW의 피크전력 억제를 실현하였다.



<그림-10> 환경조화형 하이브리드 발전시스템의 수치 (2001.7~11)

8. 금후의 전망

양 설비의 운전은 지금 막 시작한 것으로서 계절적인 변동 등을 포함하여 데이터를 분석, 시스템의 평가를 하고자 한다.

공간의 제약을 받는 도시의 건물은 옥상에 설비기기를 설치하는 경우가 많고 이들 기기를 자연환경으로부터 보호하고 또한 옥상의 미관이 훼손되지 않도록 하여야 한다. 본 하이브리드시스템은 옥상에 설치한 가스열병합시스템을 덮은 피라미트상의 태양광발전모듈로 구성하였다. 이로 인하여 광열비의 삭감과 더불어 옥상의 설비기기 보호, 미관의 유지, 또한 지구환경의 보전에 공헌하고 있다. 이와같은 하이브리드화에 의하여 태양광시스템의 투자를 단기에 회수하는 것이 가능하다.

한편 근년의 IT화라고 하는 큰 사회적조류는 전력수요를 착실히 밀어올려 신뢰도 만을 요구하고 있다. 이 해결책에 기여하는 본건 분산형 전원의 설치 금후의 세계 각 도시의 건물옥상 유효활용의 모델케이스로서 참고가 되면 다행으로 생각하겠다.