

技 術 動 向

세계 각국의 電力系統制御所(Ⅱ)

—이태리의 發·送電制御系統 계획—

尹 甲 求

〈韓電(株) 自動給電課長〉

目 次

머리말

1. 概要
2. 發送電制御의 階層構造
3. 制御機能
4. 制御所
5. 階層構造 要求事項
6. 結 言

머 리 말

이태리 電力廳(ENEL: Ente Nazionale Energia Elettrica)은 이태리 電力의 發·送電 系統을 制御하기 위하여 階層 컴퓨터 시스템(Hierarchical Computer System)을 1981—1982년까지 설치할 계획을 세웠다. 發·送電 制御(PGTC: Power Generation and Transmission Control)系統은 로마에 있는 中央制御所(NCC: National Control Center)와 여덟개의 地方制御所(ACC: Area Control Centers), 遠隔制御所(RCC: Remote Control Center) 및 遠隔所의 遠隔端末裝置(RTU: Remote Terminal Units)로 구성되어 있는 多階層構造를 가지고 있다.

이 보고서에서는 制御機能(Multi-level Structure)과 制御所 및 계통구조의 필요조건에 대하여 기술하였으며 특히 정상조건에서 사용되는 운전방법과 컴퓨터 시스템의 고장에 대처해가는 방법에 대하여 중점을 두고 있다.

1. 概要

ENEL은 이태리 전역의 80%에 해당하는 전력 에너지에 대한 발전과 송전 및 배전을 담당하고 있다. 1977년도의 주요사업 현황은 시설용량 33,400MW, 첨두

부하(尖頭負荷: Peak Load) 24,300MW, 연간 발전량 125,500 GWh, 수용가 2천 4백만이며 발전 구성비를 보면 화력 70%, 수력 26%, 지열 및 원자력 4%로 이루어져 있다. 송전 계통망은 약 280개의 마디(Nodes)와 400개의 380~220kV선로를 갖고 있으며, 130kV 계통은 주로 배전을 목적으로 사용되고 있다.

1975년에 ENEL은 PGTC 시스템에 요청되는 기능 사양을 쓰기 시작했으며 1978년 4월 정식 입찰을 통해 ENEL은 NCC와 ACC컴퓨터 시스템에 대하여 록웰(Rockwell International Operation)을 주계약자(Prime Contractor)로 낙찰 시켰으며, ACCs에 대해서는 부계약자(Sub-Contractor)로서 이태리의 국제자본 합자회사(Telettra and Data Control)가 낙찰 되었다. 그의 모든 RTUs와 통신설비 및 그리고 RCCs ACC와 NCC의 전원공급장치 등은 ENEL 자체에서 공급하게 될 것이다.

이 사업(project)은 여러 단계로 나누어져 있는데 1차 사업은 1981—82년에 NCC와 ACCs 및 RTUs를 시설하는 것이고 RCC의 계통구조성부터 NCC의 소프트웨어(Software)에 ENEL의 새로운 프로그램들을



그림 1. 制御所의 地理的 位置
Fig. 1. Geographical location of control centers

결합하는 것은 1982년부터 시작하는 다음 단계에서 이루어질 것이다.

2. 發送電制御의 階層構造 (PGTC Hierarchical Structure)

PGTC조직은 다음과 같은 級(Levels)으로 구성되어 있다.

(1) 中央級(National Level)에서는 다음과 같이 전력계통(National System)의 安全(Secure)과 경제운용에 관련된 모든 결정을 책임진다.

- 1차·단기 발전계획
- 부하주파부수제어(Load-frequency Control)
- 국가 380—220kv 전력망의 감시와 계통범위의 비상상태에 대한 종합적 조치.

(2) 地域級(Area Level)에서는 다음과 같은 책임을 진다.

- 주요 전력망과 130kv 송전망에 관련한 감시
- NCC로부터 받은 명령수행
- 局部地域事故(Local Area Accidents) 대비
- 하위계층급으로 보낸 명령에 의한 開閉(Switching) 감시

— 예상된 지역 수요(Demand)와 운용계획을 위한 발전소 稼働率(Availability)의 推定(Estimating)

— 물(水) 사용의 최적화에 의한 從屬水力發電所(Cascaded Hydro-plant)의 발전계획의 세부 조정

(3) 세번째級(Third Level)은 다음과 같다.

- 화력발전소와 원자력발전소
- RCC들은 變電所와 수력발전소의 기기 개폐나 遠隔制御(Remote Control)를 위한 ACC의 명령을 수행한다. RCC들은 가까운 장래에 컴퓨터화 될 것이며, 그후 PGTC의 資料取得系統(Data Acquisition)에 결합될 것이다. 현재 50%이상의 변전소가 원격운전되고

있으며, ENEL은 모든 변전소에 자동장치를 설치하여 RCC로부터 모든 변전소들을 원격제어 할 방침이다. 궁극적으로는 원격제어와 給電機能(Dispatching Functions)들은 서로 다른 두가지 운전개념을 고려하여 적절히 취급하여야 되겠지만 RCC기능들은 ACC급으로 집중시킬 수 있다.

그림 1은 NCC와 ACC들의 지리적 위치를 나타내고, 그림 2는 PGTC와 RCC시스템의 階層構造(Hierarchical Structure)를 나타내고 있다. PGTC사업이 모든 제어기능에 대하여 철저한 분석에 근거를 두어 왔다는 것은 큰 가치가 있다고 말할 수 있다. 그 결과로 ENEL의 운용조각에 약간의 개편을 가져왔다.

3. 制御機能(Control Functions)

제어기능은 제어되는 과정그림 3에 운전원이 참여하는 정도에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

가. 情報機能(Information functions)

운전원에게 전력계통이 어떻게 운전되고 있는가를 알려 준다. 구체적으로 그 기능들은 다음과 같다.

가-1) 간략제산에 의해서 얻어진 정보나 基本資料(Elementary Data)를 적당히 집약하여 표시하는 監視機能(Supervision Functions)들로서 중요한 것은 다음과 같다.

- 測定(Measurement)과 表示取得(Indication Acquisition) 有効性點檢(Validity Checks: More Measurements Jointly 포함), 限界直點檢
- 측정량 또는 계산치의 표시
- 계통도와 원격소 결선도
- 瞬動豫備力(Spinning Reserve) 평가
- 제어계통의 감시와 진단

가-2) 계통의 현재 상태 또는 평가 또는 사고시에 대비한 能力(Ability)에 대한 정보를 준다. 보통 이런 기능들은 복잡한 演算法(Algorithms)과 전력계통의 模型化(Modelling)가 필요하며, 기본적인 정보로부터 출발된다. 중요한 것은 다음과 같다.

- 狀態推定(State Estimation)과 불량자료의 抑制(Suppression)
- 예측되는 靜態安全度分析(Static Security Analysis)
- 短絡回路(Short-Circuit) 조건의 점검
- 需要豫測(Demand Forecasting)
- 예측되는 動態安全度分析(Dynamic Security Analysis)

가-3) 나중에 사용할 수 있도록 자료를 파일(File)

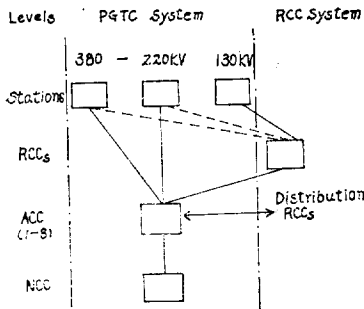


그림 2. PGTC와 RCC시스템의 階層構造
Fig. 2. Hierarchical structure of the PGTC and RCC Systems (data flow)

에 저장하는 기능으로서 중요한 것은 다음과 같다.

- 사고 전후에 즉시 모든 정보를 보존해 둔다.
- 각 발전기의 출력 또는 각 부하로 공급된 전력 또는 다계층과의 融通(Exchanged)된 전력을 기록해 둔다. 이것들이 계획을 세우는데 가장 기초 자료가 된다.

나. 運轉員案内機能(Functions for Operator Guidance)

이 기능들은 정상상태와 비상상태의 두 경우에 운전원으로부터 하여금 가장 적절한 조치를 하도록 유도한다. 중요한 기능들은 다음과 같다.

- 한개의 선로 또는 그 이상의 선로 과부하시 안전도를 회복시키기 위한 복구조작을 알려준다.
- 비상상태에서 부하를 脫落(Shed)시켜야할 때에 탈락시킬 최소 부하를 산정(Evaluation)한다.

다. 自動制御機能(Automatic Control Functions)

이 기능은 다음과 같이 발전소들을 직접 제어하는 것이다.

- 부하—주파수제어
- 이차 電壓—無効電力(Voltage/Reactive Power) 調整(Regulation)
- 自動經濟給電(Automatic Economic Dispatching)
- 三次(Tertiary) 전압조정
- 특정의 비상 상황과 관련한 자동조치

이 사업은 다음의 두 단계를 기준으로 추진토록 착수되었다.

— 첫째 단계 : 線上制御系統(On-line Control System)을 주문하고 설치하는 단계로서 가-1)항과 가-2)항에 분류된 모든 기능과 LFC를 계약자에게 위임 하였다.

— 둘째 단계 : PGTC시스템이 운전된 후에 착수될 것으로 기대되는 것으로써 가-2)항과 나항 및 다항의 기능을 결합시키는 것이다. 이것은 ENEL자체에 의해 완성될 것이다.

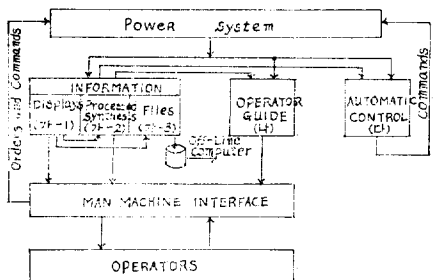


그림 3. 制御機能 構成圖

Fig. 3. Control function block diagram

4. 制御所(Control Centers)

컴퓨터 시스템의 資源(Resources)과 구성은 PGTC 계통의 수명 기간 동안 수행할 모든 기능을 근거로 선정 되었다. 그 결과로서 NCC에는 자료취득용 前端 컴퓨터(Front-end Computer)와 조합된 매우 강력한 二重(Dual) 컴퓨터를 포함하는 구성으로 선정되었으며 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

— 두 대의 메인 컴퓨터 (MC), DEC시스템 10, 모델 1090, KL 10-B CPU, 이들은 각각 다음 특성을 가졌다.

- 384 kwords, 36bits core memory
- 3 Mwords fixed-head random access disk(RAD)
- 2×40 Mwords moving-head disks
- 1 magnetic tape to interface with the off-line system

1 Line Printer, and other peripherals

두 대의 전단 컴퓨터(FEC), PDP 11/70, 이들은 각각 다음 특징을 가졌다.

- 128 kwords, 16bits core memory
- 2×1.2Mwords RAD (both FEC's have access to both MCs)

— 세 대의 給電指令臺(Dispatcher Consoles), 이들은 각각 일곱 색깔(Colour)의 陰極線管(CRTs) 세 대씩을 가졌다.

— 세 대의 制御臺(Consoles)를 갖추어 計劃員(Schedulers)과 프로그래머(Programmers) 및 資料取得員(Data Acquisition Operators)들이 이용토록 했다.

— 한 대의 動的模擬盤(Dynamic Mimic Board)을 설치하여 緊要한 資料(Indispensable Data)를 표시토록 했다.

二重 PDP 11/70시스템이 ACCs들에 설치될 것이다. 大陸地方制御所(Continental ACCs)에는 각각 256 kwords, 島嶼地方制御所(Island ACCs)에는 각각 192 kwords의 컴퓨터에 512 kwords RAD와 44 Mwords 디스크팩(Disk Pack) 및 한대의 磁氣테이프(Magnetic Tape) 그리고 그외의 주변장치 들을 구비시킬 것이다. 각각의 ACC에는 일곱 색깔의 CRTs세대를 구비한 급전지령대 두대와 프로그래머와 자료취득원을 위한 특수 제어대 한 대씩을 구비한다. 동적모의반은 진요한 자료를 표시 시킨다. 자료취득은 完全二重(Full Duplex)의 多段(Multi-drop) 구성으로 最適化(Optimize)하기 위해서 ENEL의 표준화된 RTUs에 적합한 마이크로 컴퓨터화된 장치에 의해서 관리된다.

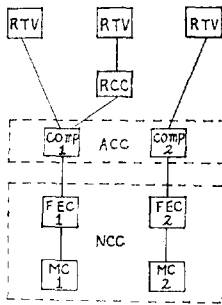


그림 4. 分割型式 1番 構成圖
Fig. 4. Split-mode No. 1 configuration

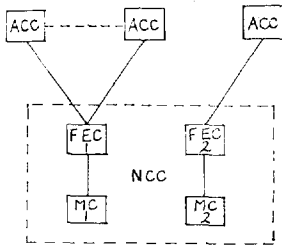


그림 5. 分割型式 2番 構成圖
Fig. 5. Split-mode No. 2 configuration

5. 階層構造 要求事項(Hierarchical Structure Requirements)

ENEL의 多階層(Multi-level) 컴퓨터 시스템의 올바른 운용을 위하여 다음의 요구사항 들에 대하여 특별한 주의가 요구되었다.

- (1) ACCs와 NCC간의 제어기능의 적절한 협조
- (2) 遠隔通信網(Telecommunication Network)의 높은 稼動率(Availability)
- (3) 컴퓨터 시스템의 높은 가동률
- (4) RTUs에서 NCC로 통하는 계통의 중요한 제어 기능에 대한 高速應答時間(Fast Response Time)
- (5) 다음 사항에 대한 높은 融通性(Flexibility)
 - (i) 운전 시작 후 적어도 십년 동안 자료나 제어기능의 증가 요구에 만족되는 裝置構成(Equipment Configuration)과 소프트웨어 構造(Software Structure)
 - (ii) 제어계통 구성요소의 장기간 유희 또는 고장이 있을 때 계통과 제어기능 들은 재 정비하는 운전조작 절차는 물론이고, 제어계통이 정상운전되고 있을 때 각 계층의 하드웨어(Hardware)와 소프트웨어 모듈(Modules)을 효율적으로 변경 처리할 수 있는 운전조

작 절차

위의 각 항목들은 모두 중요하지만 마지막 항이 보통 과소 평가되고 있으나 실질적으로 제어계통의 妥當性 또는 無價値性(Validity or Invalidity)을 인식할 수 있는 것이니 만큼 이 점에 주목해야 한다. 가동률과 응답시간 및 컴퓨터 자원들이 불량한 운전조작 절차에 의해서 손상을 받게 된다. 보통 나머지 요구사항과 관련되는 설계로는 전혀 새로운 제어계통의 정상운전에 서의 합정을 고찰하기란 매우 어렵다.

가. 地域制御所와 中央制御所 간의 制御機能 協調 (ACC and NCC Control Function Coordination)

PGTC시스템의 기본적 구상은 ACC운용은 NCC에 의해서 부분적으로만 영향 받도록 하는 것이다. 다시 말해서 NCC는 ACCs들이 정확하게 운전되고 있다는 조건에서만 올바르게 운용할 수 있다.

자료취득, 자료의 기본적 점검, 測定點數(Measurands)의 減少定理(Reduction)와 표시 및 기타 NCC로 보내 질 자료는 ACCs에 의해서 처리되고, 그 출력이 NCC로 전송 된다. 또 중요한 자료가 NCC에서 ACC로 전송되고 있으나 이것은 非致命的(Non-vital)기능(예를 들면 발전력 예측, NCC에서 이용되는 ACC의 부족 자료 등)이 이에 속하며 전력계통운용의 협조(예를 들면 380—220kV 송전선의 한계치 점검, 매개변수 등)에 목적을 두고 있다. 이런 자료들의 흐름은 장차 NCC에서 새로 개발된 프로그램들이 運用(Running)되어 그 출력이 ACCs로 전송될 때에는 증가될 것이다.

컴퓨터 시스템 뿐만 아니라 ACCs와 NCC간의 제어기능의 협조는 전력계통의 現行運用(Current Operation)을 수행하기 위하여 媒介體(Media)의 公同화를 의미하고 있다. 지적할 주요 항목은 다음과 같다.

- (1) 동일한 人間-機械(Man-machine) 장치와 프로그램 및 운전조작 절차(예를 들면 경보표시, 380—220kV 변전소 결선도 등)
- (2) 동일한 데이터 베이스(Data Base)의 구조와 유지보수용 관리공구

나. 稼動率 目標(Availability Objectives)

ACC의 通信網(Communications Network)은 無線連結(Radio Links)과 電力線搬送(PLC: Power Line Carrier) 계통들로 병렬 되었고, 0.99이상의 가동률성취를 목표로 구성되었다.

각 제어소는 다음 가동률을 목표로 설계되었다.

- 치명적 기능 : 0.9995
- 비치명적 기능 : 0.995

이 특성들은 장기운전 목표로서 검토 되어야 하나 계통운전의 초기(2000시간 시운전 가동률) 목표는 각각 0.998과 0.99이다.

마이크로웨이브(Microwave) 무선연결에 의해서 ACC·Cs와 NCC를 잇는 國家通信網(National Communications Network)은 적어도 0.9999의 가동률을 갖고 있다.

다. 應答時間(Response Time)

처리될 자료의 양이 증가 된다는가 진보된 제어기능들이 단계 II에서 개발되었을 때 일지라도 제어계통의 만족한 수행을 위하여 응답시간에 있어서는 다음과 같이 부분별로 단계 I에 엄격한 제약을 부과했다.

—원격소들과 ACCs들 간의 자료교환

—ACCs들과 NCC간의 자료교환

—컴퓨터 서브시스템과 인간-기계 서브시스템 간의 응답시간 등에 대하여 다음 특성들이 목표로 되어야 한다.

—경보 메시지에 대한 응답시간은 RTUs에서 ACC 운전원 들과 NCC운전원에게 3초와 4초 정도

—380—220kv 계통 측정점 들에 대한 更新時間(Updating Time)은 4초

—도형 표시에 대한 응답시간은 보통 4초 이하

단계 II의 기능들이 수행된다 할지라도 위에서 언급한 충분조건이 저하되어서는 안된다.

일차 컴퓨터(Primary Computer)에서 이차 컴퓨터(Secundary Computer)에로의 전환은 수초 이내에 자동적으로 이루어져야 한다.

라. 制御系統의 融通性(Control System Flexibility)

전체 制御系統에 餘裕(Margins)가 있도록 하였다. 특별히 컴퓨터의 선택과 ACC와 NCC의 구성 및 실제 CPU(Central Processing Unit) 負荷(Load)에 주의하였다. 최종 목표는 ACC와 NCC의 컴퓨터 자원과 계통 擴張力(Expandibility)을 50%와 30% 이내로 하는 것이다. 이 한도는 다음을 지원하기 위해 필요로 된다.

—이 사업의 제이단계 과정중 NCC에서 진보된 프로그램의 개발

—자료의 증가

—ACC급의 PGTC계통내 RCC의 결합운용의 融通性(Flexibility)은 ENEL에 의해서 명시된 부분과 기타 부분이며 기타 부분은 경험있는 계약자에 의해서 마련되는 제어계통의 고유 특징들이다. ENEL仕様(Specifications)을 인용해 보면 운용특성은 다음의 두

가지 범주로 분류된다.

(1) 정상적 조건에서 사용되는 운전조작 절차

(2) 컴퓨터 시스템(Back-up and Emergency Systems)의 고장 대비를 위해 마련된 측정 방식

라—1) 正常條件(Normal Conditions)에서 새로운 표시나 측정점 및 表(Tables) 등을 수정하고 추가시키는 것과 같은 매우 빈번한 조작들은 완전히 資料管理系統(DMS: Data Management Systems: batch DMS 포함)에 의존되고 있다. 또다른 기본적 조작은 ACC의 데이터 베이스와 조화된 NCC의 데이터 베이스를 유지보수 하기 위해 사용하는 多段操作節次(Multi-step Procedure)이다. 부가적으로 ACCs들과 NCC간의 제어기능 분담은 PGTC계통의 수명기간을 통하여 문제점 없이 관리될 수 있어야 한다.

장차 소프트웨어의 개발은 물론이고 하드웨어나 소프트웨어 모듈의 수정으로 인한 전력계통제어의 현행 운용상의 부작용은 다음 사항에 의해 감소된다.

—일반적으로 豫備役制(Reserve Role)을 하고 있는 이차 컴퓨터(Secundary Computer)상에서 하드웨어와 소프트웨어 모듈을 수정한다.

—일차 系統(Primary System)이 정상적으로 가동하고 있으면서 새로운 제어기능을 시험하기 위한 二次線上系統(Second On-line System)을 만들기 위해서 NCC의 이차 컴퓨터와 하나(또는 그 이상)의 ACC의 이차 컴퓨터를 연결시킨 그림 4에 보여 주는 分割型式 1番(Split-mode No. 1)의 구성을 定立(Setting up)한다.

—NCC의 일차 컴퓨터에 연결되어 있는 n개소(8개소 이내)의 ACCs들과 NCC의 이차 컴퓨터에 연결되어 있는 하나의 ACC를 그림 5에 보여 주는 분할형식 2번의 구성으로 정립한다. 이 운전 형식은 여러 ACCs들이 NCC와 점진적으로 하나씩 결합될 초기에는 매우 실용적이며 또한 NCC와 이미 연결된 ACCs들의 정상운전에 아무런 영향을 미치지 않기 때문에 편리하다.

라—2) 後備資料取得系統(BUDAS: Back-up Data Acquisition System)이 ACC와 NCC의 컴퓨터의 가동 불능 또는 ACCs와 NCC간의 고속자료연결(High-speed Data Link)의 불가능에 대비하여 각 ACC와 NCC에 마련될 것이다. BUDAS 장치는 컴퓨터 시스템 고장시 자동적으로 운전되며 특별한 조작 절차가 필요없다. 만약 두 컴퓨터 시스템이 명령 불능 일지라도 高電壓網(HV Grid)의 감시를 위해 필요 불가결한 자료를 수신하여 模擬盤(Mimic Board)상에 표시할 수 있는 각 ACC가 포함된 固定結線된 裝置(Hardwired Equipment)를 설치한다. 후비 자료는 NCC에도 전송

된다. NCC에서 BUDAS는 만약에 복부의 ACCs들이 지령 불능 일지라도 부하주파수제어(LFC)가 수행될 수 있도록 모의반과 컴퓨터 시스템에 연결될 것이다. (그림 6 참조)

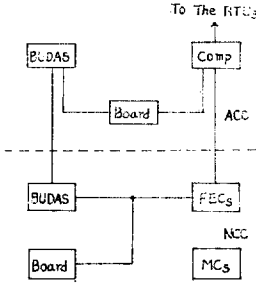


그림 6. 後備資料取得系統
Fig. 6. Back-up data acquisition system

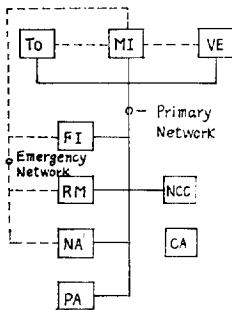


그림 7. LFC를 위한 一次 및 非常通信網
Fig. 7. Primary and emergency communication network for LFC

이때 BUDAS를 위한 專用(Dedicated) RTUs들은 필요치 않다.

라-3) 非常系統(Emergency System)이 LFC를 위해 정립될 것이다. 치명적 기능들이 NCC에서 어떤

이유(예를 들면 컴퓨터 혹은 통신회선의 가동 곤란)로 인하여 수행될 수 없을 때 미란(Milan) ACC는 자동적으로 LFC기능을 인수하여 제어신호를 대륙의 ACCs들에 보낸다. 이 목적을 위하여 그림 7처럼 전용통신망이 구비되었다. 비상계통에 대한 연속적인 점검절차뿐만 아니라 LFC 媒介變數(Parameters)들의 자동전송이 NCC에서 미란(Milan) ACC로 전력계통의 실제 운용상 아무 영향없이 수조대로 LFC전송이 허용된다.

6. 結 言

본인이 78년 10월에 ENEL을 방문하였을 때 담당 부장 Mr. Antonio Schiavi (Automation & Telecontrol System Manager)의 설명에 의하면 PGTC계통은 사업의 규모와 내포된 문제점들의 특성 때문에 公開事業(Open Project)으로 간주되었고, 특히 미국의 크리브랜드 전력회사의 주임 기술자 Dr. T.E. Dy Liacco(우리회사에서도 79년 8월과 80년 7월에 초청하여 제어소 설계등에 대한 기술강연회를 갖은 바 있음)의 도움이 컸으며 세계에서 가장 훌륭한 제어소로 추진하고 있음을 강조하고 있었다. 부디 ENEL이 제어단계의 제어기능까지 성공적으로 완성하기를 바라며 이 보고가 우리의 전력계통운용 자동화를 추진하는 데에도 크게 기여 되기를 바란다.

참 고 문 헌

1. F. Galli, L. Marzio, A. Schiavi; "ENEL Power Generation and Transmission Control System", Power Industry Computer Application Conference, Cleveland, May, 1979
2. F. Galli, G.; "Quazza' Hierarchical Computer Control for ENEL Electric Power System, World Electrotechnical Congress, Moscow, June,

謹

吊

故 石晚基 諮問委員의 逝去를 眞心으로 哀悼합니다

大韓電氣學會 任·職員 一同