

技 術 解 說

加壓輕水型 原子力發電所의 制御

千 熙 英* · 朴 貴 泰**

繼 承

繼 承

- 5. 原子爐 制御系統에의 最適制御 應用
 - 5.1 全體出力制御
 - 5.2 原子爐의 始動 및 運轉停止 制御
 - 5.3 爐心出力分布制御
- 6. 最近의 研究動向

- 6.1 프로세스 컴퓨터 利用
- 6.2 多變數 制御루우프의 設計
- 6.3 爐心出力分布制御
- 6.4 온라인 監視 및 診斷
- 7. 結 論

<第31卷 第2號 p.13 에서 계속>

5. 原子爐 制御系統에의 最適制御應用

原子力 에너지는 産業에너지源으로서 확고한 자리를 잡고 있으며 原子力 産業도 크게 發展하고 있다. 原子力發電所는 건설하는데 막대한 投資가 必要하므로 그 投資에 대한 효과를 極大化하기 위해서 設計餘裕를 줄이고 運轉節次를 改善하며 安全性 向上을 期하기 위해 最適制御理論과 여러가지 最適化技法을 原子爐分野에 適用하고자 하는 연구가 오래전부터 試圖되었다.

原子爐分野의 最適制御應用에 대한 조사는 몇사람에 의해서 실시되었다. Lipinski는 1968년도까지의 문헌에 대해서 조사한 적이 있다.⁽¹¹⁾ 그후 Cummins와 Butterfield에 의해서도 조사 발표되었으며⁽¹²⁾ 또 최근에 Frognier 등에 原子爐 制御에 대해서 發表했다.⁽¹³⁾ Sage와 Mohler 등은 原子爐 系統의 最適制御에 사용되는 計算技法 및 分析에 대해서 발표했다.^{(14), (15)} 여기서는 여러가지 最適制御問題중 發電所 制御에 관한 부분에 대해서만 記述하겠다.

5.1 全體出力制御

全體出力制御란 負荷要求에 따라 發電所의 出力準位를 制御하는 것을 意味한다. 이것은 制御棒 反應度, 中性子束, 壓力, 冷却材 流量, 蒸氣流量, 給水流量,

터어민 증기밸브등 여러가지 變數들이 서로 밀접하게 얽혀 있는 대단히 複雜한 問題이다.

60年代 後半부터 最適制御理論의 한 方法인 LQG理論(Linear dynamic model, Quadratic performance index, and Gaussian stochastic noise assumption theory)에 의한 最適制御系統의 設計方法이 體系化 되었으며^{(16), (17)} 一般産業分野의 直接디지탈制御 設計에 많이 應用되어 그 有用성이 立證되었다.⁽¹⁸⁾

노르웨이의 Halden Reactor Project는 이 LQG理論과 Kalman필터 및 最適피드백 制御를 利用해서 原子爐의 出力과 壓力을 制御할 수 있는 直接디지탈制御系統을 設計하여 試驗爐에 適用하였다.^{(19), (20)} 그러나 그 性能은 在來의 PID制御器보다 월등히 좋지는 않았다.⁽²⁰⁾

Tsai는 加壓輕水爐에 最適制御理論을 적용하여 制御系統을 設計했다.⁽²¹⁾ 그는 最適制御理論에 의한 設計方法은 實際系統에 적용하기에는 아직 미흡한 단계에 있으나 그 잠재적인 가능성은 충분히 갖고 있다고 결론짓고 있다. 그 후 여러사람들에 의해서 LQG 方法에 의한 發電所 制御系統의 設計에 대한 연구가 계속적으로 遂行되어 왔다.^{(22)~(28)}

또 다른 方法을 利用해서 간단한 原子爐 모델에 적용한 경우도 있다. Malan과 Koen는 非線型計劃法 出力피드백과 入力制限을 갖는 간단한 모델에 적용했으며⁽²⁹⁾ Stacey는 溫度피드백을 갖는 一點爐 모델에

* 正會員 : 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

** 正會員 : 高麗大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博

變分法를 利用했다.⁽³⁰⁾ Monta는 Pontryagin의 最大原理를⁽³¹⁾ 그리고 Oguri는 動的計劃法을 적용했다.⁽²⁵⁾

5.2 原子爐의 始動 및 運轉停止 制御

原子爐를 運轉停止狀態에서 일정한 遲기로 혹은 最小時間에 임의의 出力狀態로 가져가는 것이 原子爐 始動問題이다. 이때 評價指標로서는 最小時間, 最小 冷却材 消費등이며 反應度 注入, 爐心內의 中性子束, 出力 등에 物理的인 制限條件이 포함될 수 있다. Shen과 Haag는 動的計劃法을 利用하여 일정한 出力準위에 따르는 一定週期增加를 求했으며⁽³²⁾ Moon과 Mohler는 注入되는 反應度率에 제한이 있는 경우의 最小時間 始動問題를 다루었다.⁽³³⁾ 또한 Mohler와 Shen는 變分法과 Pontryagin의 原理를 利用해서 여러가지 制限이 있는 原子爐 始動問題를 다루었으며 그 결과들을 책으로 발표했다.⁽³⁴⁾ Stacey는 2點 境界值 問題를 피하기 위해 積分方程式을 導入하는 다른 方法으로 같은 문제를 해결했다.⁽³⁵⁾

原子爐 運轉停止후 發生하는 最大 제어濃도를 最小化하는 反應度の 最適 運轉停止 사이클스를 찾는 問題는 상당한 주목을 받아왔다.^{(36), (45)} 制御時間을 最小化하는 것에서부터 喪失 中性子束 時間을 最小化 하는데 까지 여러가지 評價指標가 使用되었다. 運轉停止 問題에 있어서 中性子束은 制御變數로 그리고 제어과 오오드의 濃도는 狀態變數로 取級되며 狀態變數들에는 制限條件이 부과된다. 이 問題에는 주로 Pontryagin의 原理⁽³⁶⁾⁻⁽⁴¹⁾와 動的計劃法⁽⁴²⁾⁻⁽⁴³⁾이 사용되며 Lewin과 Babb 그리고 Ash는 여러가지 方法에 대한 결과를 정리 발표했다.^{(44), (45)}

5.3 爐心出力分布制御

原子爐 爐心內의 出力分布는 제어의 空間振動, 非對稱 核燃料 燃焼, 非對稱 制御棒 位置 등에 의해서 變하게 된다. 이런 상황이 일어나면 運轉者나 自動制御系統에 의해서 補償되어야 한다. 따라서 爐心出力分布의 最適制御에 대한 연구가 여러 사람들에 의해서 행해졌다.

앞에서도 말했지만 제어는 時定數가 대단히 크며 또 中性子 吸收斷面積이 넓다. 爐心出力을 變化시킬때는 制御깡크를 放射型對稱으로 움직인다. 이때 제어의 遲延된 毒作用으로 말미암아 爐心出力의 空間分布가 振動하게 되며 그대로 방치해 두면 系統全體가 不安定하게 될 정도로 그 振幅이 增加하게 된다. 이것을 보통 제어振動이라 한다. 이러한 제어振動을 억제하기 위해 制御棒 驅動메탄을 最適化하기 위해 여러가지 연구가 시도되었다.

Wiberg는 變分法을 利用해서 이 문제를 처음 시도

했다.⁽⁴⁶⁾ 그는 空間 中性子束을 자연적인 모우드(mode)로 전개하여 動特性方程式을 線型化시켜서 사용했다. Stacey도 역시 變分法을 利用해서 中性子束과 制御變數의 決定的 汎函數를 最小化 했다.^{(35), (47)} 그는 또한 動的計劃法을 利用해서 制御棒의 驅動메탄을 求했으나⁽⁴⁸⁾ 간단한 모델에 적용했기 때문에 실제 응용하기에는 부족한점이 많다. Love는 1次元의 제어問題를 數式化했으며 여기서 유도되는 非線型 最適化問題를 線型計劃法을 사용하여 解를 구했다.⁽⁴⁹⁾ Poncelet 등은 運轉者가 쉽게 사용할 수 있는 制御方法을 모색했다.^{(50), (51)} 그들은 제어振動問題에 대해 Pontryagin의 原理를 利用하여 最小時間 깡-깡 制御(bang-bang control)를 얻었으며 특히 加壓輕水型 原子爐에 적합함을 보였다. 또 Tsai와 Grigsby는 線型모델과 2次評價指標를 利用해서 제어振動에 대한 補償器를 設計했다.⁽⁵²⁾ Suda는 1次元의 모델을 利用하여 可制御性에 입각해서 制御棒의 位置와 그 數에 대해서 論했다.⁽⁵³⁾ 또한 Fonseca는 같은 方法을 利用해서 可制御性에 대한 充分條件을 수립했으며 全體出力制御로부터 空間分布制御를 分離한 피드백 法則을 求했다.⁽⁵⁴⁾

自動出力分布制御를 위한 또 다른 方法으로 原子爐 爐心을 몇개의 結合된 領域으로 分離해 생각한 경우도 있다. Raju와 Fabra는 爐心을 3개의 領域으로 나누고 각 領域間에 相互作用이 없다고 본 상태에서 爐心出力分布의 最適制御設計를 제시했다.⁽⁵⁵⁾ 그들은 각 領域마다 하나의 運發 中性子 그룹과 溫度檢環을 갖는 一點爐 原子爐 모델을 利用했다. 또한 狀態推定器로는 Luenberger 觀測子를 사용했다. Weaver와 Vanasse는 多領域 爐心에 대한 狀態變數 피드백 制御의 設計方法을 例示했다.⁽⁵⁶⁾ 여기서는 線型모델이 사용되었다. Grumbach도 역시 多領域 爐心을 생각하여 제어이나 核燃料 燃焼와 같은 完만한 영향에 대한 爐心出力分布 制御를 設計했다.⁽⁵⁷⁾

原子爐內에서의 出力尖頭(power peaking) 問題는 核燃料 安全 및 爐心壽命 등에 많은 영향을 미치므로 出力尖頭를 最小化 하는 問題가 많은 주목을 받게 되었다. Haling과 Crowther는 원하는 出力分布를 選定하여 原子爐 壽命동안에 出力分布가 이 分布를 따르도록 制御棒를 調節함으로써 出力尖頭를 最小化시키는 方法을 제시했다.⁽⁵⁸⁾⁻⁽⁶⁰⁾ Terney와 Fenech는 原子爐 壽命동안 出力尖頭를 最小化하는 問題를 多段決定問題로 取級하여 여러가지 決定點에서의 制御行爲의 最適 사이클스를 定했다.⁽⁶¹⁾ 여기서는 動的計劃法이 사용되었다. Wades와 Terney는 出力尖頭的 最小化 問題를 Pontryagin의 原理를 利用해서 求했으며, 出力尖頭, 原子爐 壽命時間등을 고려한 一般화된 評價指標를 사용했

다.^{(62), (63)}

이들 最適制御問題들 外에도 初期 核燃料 裝填問題, 燃料費 最小化를 위한 核燃料 管理問題, 放射能의 影響을 最適化하기 위한 遮蔽材의 分布 및 濃度 決定問題, 經濟的 利得을 最大化 하기 위한 原子力 發電所 擴張問題등 많은 最適化 問題들이 관심을 갖고 연구되고 있으나 여기서는 생략했다.

6. 最近의 研究動向

이 절에서는 原子力 發電所의 制御에 關係되는 主要 分野에 있어서 最近의 研究 및 開發傾向에 대해서 간략히 記述하고자 한다.

6.1 프로세스 컴퓨터 利用

컴퓨터 産業의 급속한 발달로 大容量 高速의 컴퓨터가 製作 可能해 졌고 또 지금까지 연구된 最適制御理論을 實現하기 위해서는 컴퓨터가 必要하게 됨에 따라 컴퓨터에 의한 原子力 發電所의 制御設計에 관한 연구가 계속되고 있다.

우리나라에 導入된 月城 1, 2號機의 原子力 發電所는 2대의 컴퓨터에 의해서 制御되는 雙컴퓨터系統을 가지고 있다.⁽⁶⁴⁾ 制御機能은 全體出力, 爐心出力分布, 壓力 및 터빈 速度등이며 制御方法은 古典的인 制御理論에 기초를 두고 있다. 컴퓨터는 이 制御機能 外에도 警報 및 監視機能도 함께 遂行하며 그 性能은 대단히 양호하다고 Smith는 發表했다.⁽⁶⁵⁾

영국의 가스冷却 原子爐에도 프로세스 컴퓨터를 온라인으로 利用하여 많은 閉루우프 制御, 原子爐 始動 制御, CRT 原子爐 狀態表示, 警報指示등의 機能을 수행한다.⁽⁶⁶⁾ 그러나 制御理論은 역시 古典的이다.

미국의 加壓輕水型 原子爐에도 컴퓨터가 온라인으로 設置되어 있으나 制御에는 사용되지 않고 다만 데이터 준비, 데이터 입력기록, 熱水力學的 計算, 出力分布計算, 發電所 性能監視, 警報發生등 수동적인 業務에만 이용되고 있다.⁽⁶⁷⁾ 컴퓨터를 이용한 原子爐 最適制御의 實現을 미국의 設計會社들이 꺼리고 있으며 그 대표적인 理由는 認許可 問題, 發電所 信賴度의 不確信, 經濟的 利益에 대한 의심등으로 생각된다.

그러나 運轉者의 誤動作이 原子爐事故에 미치는 영향에 대한 Rasmussen 등의 보고⁽⁶⁸⁾와 최근의 Three Mile섬의 原子力 發電所의 事故등으로 말미암아 컴퓨터에 의한 原子爐의 自動制御問題가 다시 크게 주목을 받고 있다. 또한 2000~4000개의 信號가 존재하는 原子力 發電所는 그 運轉이 점점 복잡해 지고 있으며 보다 改善된 情報體系가 절실하게 되었다. 따라서 컴퓨터

에 의해서 驅動되는 보다 改善된 CRT表示系統에 관한 연구가 한창이며 또 發電所와 運轉者간의 意思傳達을 신속히 할 수 있는 通信系統의 開發이 연구되고 있다.

6.2 多變數 制御루우프의 設計

앞에서도 언급했듯이 加壓輕水型 原子力 發電所의 制御系統은 週波數 領域에서 古典的인 方法으로 設計되었다. 最適制御를 利用한 原子爐 最適制御系統의 設計에 대한 연구가 많이 遂行되었으나⁽¹⁹⁾⁻⁽³¹⁾ 이들 연구는 대부분 시뮬레이션 연구로서 古典的인 制御系統과 그 性能을 직접 비교할 수 없었다. 그러나 우주선이나 군사장비의 設計에서 最適制御理論은 그 眞價를 유감없이 발휘하고 있으며 머지 않아서 原子力 發電所의 設計에도 널리 이용될 것이 확실시 된다. 原力爐系統에는 수많은 制御루우프가 복잡하게 얽혀서 서로 영향을 미치고 있으며 따라서 이들 系統들을 最適으로 制御하기 위해서는 最適制御理論에 의한 多變數 制御루우프의 設計가 必要하다. 왜냐하면 多變數 制御法則은 긴밀하게 相互作用을 하는 루우프들의 應答特性을 改善할 수 있으며 計測器와 驅動器의 故障에 대한 制御系統의 感度를 줄일 수 있고 나아가서 制御系統의 同調를 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 이 方法이 實際設計에 채택되지 않고 있는 이유는 아직까지 實際 設計方法이 確立되지 않았고 또 多變數 制御루우프 設計方法을 實現하려면 컴퓨터가 반드시 必要한데 制御系統에 컴퓨터를 使用하려면 미국의 경우 發電所의 認許可에 따르는 法的問題가 先決되어야 하기 때문이다.

多變數 制御루우프 設計方法으로서로는 주로 앞에서 이야기한 LQG方法이 크게 주목을 받고 있으나 適應制御⁽⁶⁹⁾⁻⁽⁷²⁾ 및 階層制御^{(73), (74)}도 앞으로 크게 利用될 분야라고 본다.

6.3 爐心出力分布制御

原子爐의 負荷追從制御時에 制御棒의 調節 시퀀스를 運轉者가 미리 計算하여 決定한다는 것은 現實的이 못된다. 따라서 核燃料 破損을 방지하고 安全한 出力을 얻기 위해서는 原子爐 運轉중에 온라인 制御棒 調節에 관한 方法이 必要하며 이에 관한 연구가 시도되고 있다.^{(75), (76)}

5.3에서 말한 것처럼 제어制御에 관한 研究가 많이 수행되었으나 아직까지 加壓輕水型 原子爐의 경우 閉루우프 制御가 實現되지 않고 있다. 그것은 아직까지 컴퓨터화된 空間제어制御의 必要性을 절실하게 느끼지 못하고 있을뿐 아니라 온라인 實現할 수 있는 좋은 方法이 나오지 않고 있기 때문으로 본다. 그러나 이에

관한 연구는 꾸준히 시도되고 있으며⁽⁷⁷⁾⁻⁽⁷⁹⁾ 原子爐의 負荷追從制御가 더욱 必要해져 감에 따라 제논問題에 關한 연구는 앞으로도 계속될 전망이다.

6.4 온라인 監視 및 診斷

現在의 原子力 發電所 自動制御系統은 發電所內의 모든 外亂을 다 制御할 수 없다. 특히 檢出器 및 制御器의 故障, 運轉者의 誤動作등이 대표적인 例이다. 이 때마다 發電所의 安全을 위해서 保護系統이 自動으로 動作한다. 물론 警報發生器, 프로세스 計器 및 프로세스 컴퓨터로 부터 얻은 情報에 근거해서 發電所의 非正常 狀態을 監知할 수는 있으나 運轉者가 그 많은 情報을 評價해서 適期에 적절한 조치를 取하기란 용이한 일 이 아니다.

따라서 여러가지의 故障監視系統에 대해서 最近에 연구되고 있다. 그 중 한 분야는 여러가지 事故 패턴을 認識해서 보다 精確한 情報內容을 決定할 수 있는 온라인 系統設計이다.⁽⁶⁰⁾⁻⁽⁶²⁾ 또 다른 분야는 프랜트 測定의 雜音解析에 關한 것이다.⁽⁶³⁾⁻⁽⁶⁵⁾ 雜音解析은 安全성과 經濟的인 面에서 많은 각광을 받고 있다. 왜냐 하면 實試을 하기 위해서 外部에서 注入하는 入力擾動이 따로 必要없고 또 計測器가 부가적으로 必要하지 않기 때문이다. 그 동안 雜音解析에 關한 연구가 많이 진척되어 爐心 배럴(barrel)운동, 核燃料棒, 制御棒 및 檢出器 유도 튜브등의 振動등에 상당한 效果를 얻고 있다. 그러나 아직도 發電所의 非正常 狀態을 檢出할 수 있는 온라인 法技, 原子爐 雜音源의 精確한 모델링 과 特性化등에 많은 문제가 해결을 기다리고 있다.

7. 結 論

지금까지 加壓輕水型 原子力 發電所의 制御系統과 이들 制御系統들의 動作原理에 의해서 살펴 보았다. 또한 原子力 發電所에서 야기되고 있는 制御問題를 살펴보고 이 問題들을 解決하기 위한 最適制御理論의 適用과 最近의 研究開發傾向에 대해서 간단히 記述했다.

보다 改善된 原子力 發電所의 自動制御系統을 設計 하려면 最適制御理論을 適用해야 할것으로 믿는다. 이 理論의 長點은 多變數 制御루우프의 設計에 대한 可能性을 보여주는 것이다. 最適制御理論에 의해서 設計된 原子爐 自動制御系統은 發電所의 여러 外亂에 대해서 最適制御를 할 수 있을 것이며 따라서 發電所의 運轉 停止 現象은 줄어들고 保護系統의 必要性도 감소할 것으로 본다.

끝으로 本 拙稿가 관심있는 분들에게 도움을 주었으면 한다.

參 考 文 獻

- [11] W.C. Lipinski; Argonne Nat. Lab. Report ANL-7530, 1969.
- [12] J.D. Cummins et al.; Proc. 1973 IAEA Conf.; Nuclear Power Plant Control and Instrumentation.
- [13] B. Frogner et al.; IEEE Trans. on Auto. Control, Vol. AC-23, No. 3, 1978.
- [14] A.P. Sage and J.L. Melsa; Elec. Eng. Trans., Inst. Eng., Aust., EE5 : pp.61~72, 1969.
- [15] R.R. Mohler and C.N. Chen; Optimal Control of Nuclear Reactors, New York Academic Press, 1970.
- [16] M. Athans; IEEE Trans. on Auto. Control, Vol. AC-16, No. 6, pp.529~511, 1971.
- [17] J.M. Mendel and D.C. Gieseking; IEEE Trans, on Auto. Control, Vol. AC-16, No. 9, pp.847~869, 1971.
- [18] T.M. Stout; Proc. IFAC 5th World Congress, Paris, Vol. 1, p. S-1, 1972.
- [19] T.J. BJORLO et al.; Nucl. Sci. & Engin. Vol. 39, pp. 231~240, 1970.
- [20] T.J. BJORLO et al.; Halden Project Report, HPR-131, 1971.
- [21] T.Y. Tsai; Trans. Am. Nucl. Soc., Vol., 16, p. 20.
- [22] C. Karpeta et al.; IAEA-PL-431/11, pp.179~195, 1972.
- [23] R. Josetsson et al.; Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 17, p. 435, 1973.
- [24] B. Blomsnes et al.; Halden Project Report, HPR-164, 1973.
- [25] K. Oguri et al.; J. Nucl. Sci. Tech., Vol. 12, No. 7, pp.391~401, 1975.
- [26] B. Frogner et al.; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 58, pp. 265~277, 1975.
- [27] L.F. Miller et al.; Nuclear Tech., vol. 36, pp. 93~105, 1977.
- [28] G.T. Park and H.G. Chun; Sci. & Tech., Korea Univ., Vol. 22, pp.1~15, 1981.
- [29] G.F. Malan and B.V. Koen; Nucl. & Engin., Vol. 46, pp.385~393, 1971.
- [30] W.M. Stacey; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 33, pp. 257~260, 1968.
- [31] K. Monta, J. Nucl. Sci. Tech.: Vol. 3, No. 6,

- pp.227~236, 1966.
- [32] C.N. Shen and F.G. Haag; IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-1 No. 2, pp.1~9, 1974.
- [33] S.F. Moon and R.R. Mohler, Nucl. Sci. & Engin.; Vol. 36, pp.125~128, 1968.
- [34] R.R. Mohler and C.N. Shen; Optimal Control of Nuclear Reactors, Academic Press, New York, 1970.
- [35] W.M. Stacey; Jr., Nucl. Sci., & Engin., Vol. 39, pp.226~230, 1970.
- [36] Z.R. Rosztocz et al.; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 20, pp.318~323, 1964.
- [37] J.J. Robertz and H.P. Smith; Jr., Nucl. Sci. & Engin., Vol. 22, pp.470~478, 1965.
- [38] J.J. Robertz and H.P. Smith; Jr., Nucl. Sci. & Engin, Vol. 23, pp.397~399, 1965.
- [39] J.J. Robertz and H.P. Smith; Jr., Nucl. Sci. & Engin., Vol. 24, p.95, 1966.
- [40] J. Lewins et al.; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 31, pp.272~281, 1968.
- [41] S. Salo; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 50, pp.46~52, 1973.
- [42] M. Ash. Nucl. Sci. & Engin., Vol. 24, pp.77~86, 1966.
- [43] M. Ash et al.; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 6, pp.152~156, 1959.
- [44] J. Lewins and A.L. Babb; Optimum Nuclear Reactor Control Theory, Academic Press, New York; 1968.
- [45] M. Ash; Optimal Shutdown and Control of Nuclear Reactors, Academic Press, New York, 1966.
- [46] D.M. Wiberg; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 27, pp.600~604, 1967.
- [47] W.M. Stacey; Jr., Nucl. Sci. & Engin., Vol. 38, pp.229~243, 1969.
- [48] W.M. Stacey; Jr., Nucl. Sci. & Engin., Vol. 33, pp.162~168, 1968.
- [49] C.G. Love, IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-18, No. 1, pp.408~411, 1971.
- [50] C.G. Poncelet and A.M. Christie; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 51, pp.10~24, 1973.
- [51] C.G. Poncelet and D.C. Bauer; Nucl. Tech., Vol. 21, 1974.
- [52] T.Y. Tsai and L.L. Grigsby; Joint Autom. Cont. Conf., Stanford, pp.255~260, 1971.
- [53] N. Suda; IFAC Symposium on Multivariate Control systems, Vol. 2, 1968.
- [54] G.M.B. Fonseca; Ph. D. Thesis, Stanford Univ., 1972.
- [55] G.V.S. Raju and U.G. Fadra; IEEE Trans, Nucl. Sci., Vol. NS-20, No. 1, pp.668~674, 1974.
- [56] L.E. Weaver and R.E. Vanasse, Nucl. Sci. & Engin., Vol. 29, p.264, 1967.
- [57] R. Grumbach; Proc. IFAC 5th World Congress, Paris, 1972.
- [58] R.K. Haling; Proc. ANS Topical Meeting on Nuclear Performance of Power Reactor Cores in San Francisco, Calif., pp.205~210, TID-7672, 1963.
- [59] R.L. Crowther; Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 6, p.276, 1963.
- [60] R.L. Crowther; Argonne National Lab., ANL-7050, pp.487~502, 1965.
- [61] W.B. Terney and H. Fench; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 39, pp.109~114, 1970.
- [62] D.C. Wade and W.B. Terney; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 45, pp.199~217, 1971.
- [63] D.C. Wade and W.B. Terney; Proc. Am. Nucl. Soc. National Topical Meeting, New York, COFN-720901, 1972.
- [64] Preliminary Safety Analysis Report for 600MWe CANDU-PHW Wolsung-1 Nuclear Generating Station.
- [65] J.E. Smith; IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-20, pp.724~735, 1973.
- [66] B.R. Welch; Nucl. Engin. International, Vol. 13, No. 200, p.25, 1973.
- [67] J.M. Gallagher et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-20, No. 1, pp.736~739, 1973.
- [68] "Reactor Safety Study. An Assesment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants." USAEC WASH-1400, 1974.
- [69] G.T. Bereznai; IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-20, pp.72~82, 1973.
- [70] R.L. Moore and F.C. Schweppe; Automatica, Vol. 9, pp.309~318, 1973.
- [71] G.T. Bereznai et al.; Proc. IFAC 5th World Congress, Paris, pp.12~17, 1972.
- [72] Y.D. Landau, Adaptive Control, Marcel Dekker, Inc., 1979.
- [73] M.D. Mesarovic et al.; Theory of Hierarchical,

Multilevel, Systems, New York, Academic Press, 1970.

[74] W. Findeisen et al.; Control and Coordination in Hierarchical systems, John Wiley & Sons, 1980.

[75] J.T. Roberts et al.; Nucl. Technol., Vol. 35, pp. 131~144, 1977.

[76] F. Gelhaus et al.; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 64, pp. 684~693, 1977.

[77] B. Blomsnes and R. Espefalt; Proc. Joint Automat. Contr., San Francisco, CA, Vol. 1, pp. 367~374, 1977.

[78] O. Yokomizo et al.; Nucl. Technol., Vol. 29, pp. 191~199, 1976.

[79] J. Karppinen, Nucl. Sci. & Engin., Vol. 64, pp. 657~672, 1977.

[80] R. Grumbach et al.; Proc. IAEA/NPPCI, Meeting on Use of Computer for Protection System and Automatic Control, Neuherbery/Munich, Germany, 1976.

[81] B. Frogner et al.; Proc. 3rd Sysmp. Power Plant Dynamic, Control and Testing, University of Tennessee, Knoxville, Sept. 1977.

[82] H.E. Lambert. et al.; Nucl. Sci. & Engin., Vol. 62, pp. 20~34, 1977.

[83] M.M.R. Williams; Random Process in Nuclear Reactors, Oxford, England; Pergamon, 1974.

[84] Proc. NEACRP Specialist Meeting on Reactor Noise, Rome, Italy, 1974; Published in Annals of Nucl. Energy, Vol. 2, 1975.

[85] Proc. 2nd Specialist Meeting on Reactor Noise, Gatlinburg, TN, Sept., 1977.

科學의 날 記念講演會開催案内

1982年度 科學의 날 記念 講演會를 아래와 같이 開催하오니 會員여러분의 많은 參席을 바랍니다.

아 래

1. 日 時 : 1982年 4月 23日(金) 오후 1:30
2. 場 所 : 中央大
3. 講 演 : 5원

研究會春季學術發表會案内

아래 日程과 같이 研究會의 春季學術發表會를 개최할 예정이오니 會員여러분의 많은 發表를 바랍니다.

研 究 會	日 時	場 所	連 絡 處
電氣材料研究會(12回)	5. 15(土)	光 云 工 大	中央大 崔元銀교수 (829—5031)
電力系統研究會(12回)	5. 22(土)	漢 陽 大	漢陽大 金俊鉉교수 (292—2111)
電氣機器研究會(15回)	5. 22(土)	中 央 大(예정)	中央大 尹炳道교수 (829—5031)
放電·高電壓 研究會 (11回)	5. 15(土)	仁 荷 工 專	光云工大 徐國哲교수(988—7821)
計測制御시스템 研究會 (15回)	5. 22(土)	電氣會館(예정)	延世大 朴相禧교수 (323—0031)

※ 連絡處 : 當學會(267—0213)이나 各 研究會 幹事長에게 연락.