

電力系統計劃의 綜合機械化에 관한 研究

論 文

27~1~3

Study on the Computer Method for Power System Planning

宋 吉 永*
(Kil Yeong Song)

Abstract

This paper describes a computer method for power system planning. Power system planning was usually studied through individual programs. Because of the laborious work involved in data preparation, the increase of task for power system planning and the time required for the detailed analysis of results, the available time for assessment and decision making has been sacrificed. In order to improve the above situation, the use of data base techniques and the simplified evaluation of the presented programs were newly developed.

This program has been used successfully for the routine of power system planning in Korea Electric Company. In addition, this paper describes some results of analysis and evaluation of power system planning in KECO.

1. 머리말

電力系統計劃을 策定함에 있어서는 一般의 程度로 膨大한 量의 技術計算이 必要하게 된다. 종래에는 이들 電力系統計劃의 業務機械化를 電子計算機를 使用해서 個別的으로 나누어 個個의 프로그램으로 處理해 왔다.

그러나 오늘날 系統規模가 擴大, 복잡화되어 計劃의 高精度化가 한층 더 요청됨에 따라 이들의 技術檢討에 필요한 業務를 통합한 보다 효율적인 계산기의 活用方式이 필요하게 되었다.⁽¹⁾⁽²⁾

이번에 개발하게 된 「系統計劃計算시스템」은 提案된 系統計劃에 잠재하는 技術的 問題點을 計算機로서 抽出해서 計劃代替案의 作成 및 그 選擇에 필요한 技術上的 데이터를 용이하게 그리고 精確하게 提供하도록 한다는 것을 目的으로 한 시스템이며 이를 통해서 系統計劃에 있어서의 策定業務의 效率化를 촉진하고자 시도되고 있는 것이다.

本論文에서는 電力系統計劃 綜合機械化의 一環으로서

1. 데이터 뱅크(Data bank) 시스템의 導入.
 2. 既開發 解析프로그램의 高速化改良.
- 을 중심으로 해서 새로히 개발한 시스템과 실제로 이

것을 系統計劃面에 適用하는데 있어서의 問題點 등을 검토한 내용을 要約整理하였다.

2. 系統計劃 計算시스템의 概要

電力會社에 있어서 실시되는 設備計劃의 策定은 그림 1에 보이는 바와 같이 대략 다음과 같은 順序를 踏고 있다.⁽³⁾

곧 需要想定→電源開發計劃→輸送設備計劃→綜合評價
이중 輸送設備計劃에 있어서는 제안된 計劃案에 대해서 計劃擔當者로 부터 다음과 같은 2段階의 순서로 취해진다.

제 1단계는 제안된 計劃案에 技術的인 문제점이 포함되어 있는가 어떤가를 所定의 基準에 비추어서 체크하여 計劃案의 可否를 定한다는 순서이고 제 2단계는 기술적인 측면에서 합쳐된 여러 計劃案에 대해서 다시 信賴性, 經濟的인 측면에서 평가하여 최종적으로 가장 적절한 案을 결정해 낸다는 순서이다.

이번에 開發한 「系統計劃 計算시스템」은 輸送設備計劃中 上記의 제 1단계의 技術的 檢討를 대상으로 한 것으로 구체적으로는 다음의 세가지를 체크하도록 하고 있다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

1. 系統事故時의 遮斷容量(短絡容量 計算)
2. 送電線, 變壓器의 潮流容量(過負荷 計算)

* 正 會 員 : 高麗大學校 理工大學 教授 · 工博(當學會理事)
接受日字 : 1977年 11月 28日

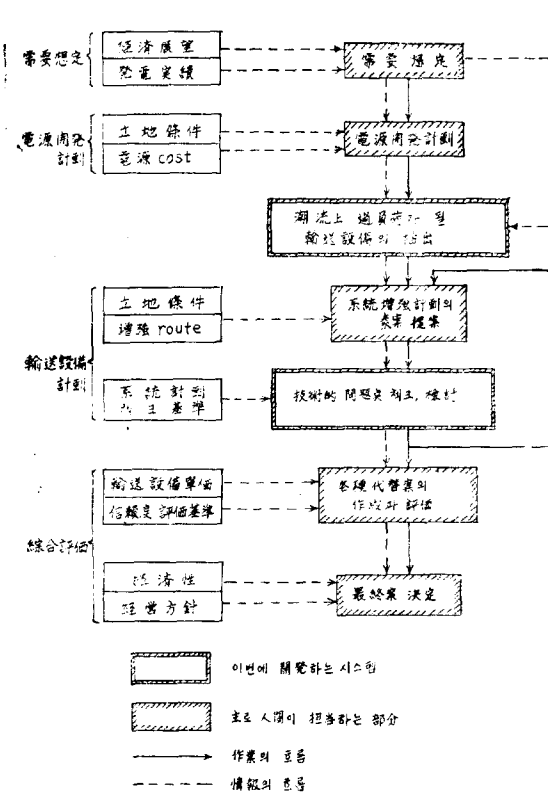


그림 1. 設備計劃의 策定順序

Fig. 1. Procedure of power system development planning

3. 過渡安定度 解析

本 시스템의 概要는 그림 2에 보이바와 같이 (1) 데이터 베이스 設定 프로그램 (2) 系統解析 프로그램部分의 두가지로 構成되고 있다.

3. 데이터 뱅크 시스템

電力輸送設備의 擴充計劃을 수립하는데 있어서는 각종의 技術計算을 필요로 한다는 것은 앞서 설명한 그대로이다.

이 때문에 소요되는 諸 데이터는 현재 業務單位마다 個個의 樣式으로 준비하고 있기 때문에 프로그램 相互間에서의 互換性이 없고 統一性도 없어서 데이터 作成部分의 비중이 계획업무의 상당부분을 차지하고 있는 實情이다. 이러한 단점을 없애고 計劃業務의 省力化, 正確化를 꾀하면서 綜合機械化에의 移行을 촉진하기 위하여 데이터 뱅크 시스템을 導入하였다. 먼저 데이터 뱅크 시스템의 構成을 그림 3에 보인다.

데이터 뱅크는 문자 그대로 系統計劃 計算의 기초가 되는 設備, 需要, 系統構成에 관한 原始데이터를 통일

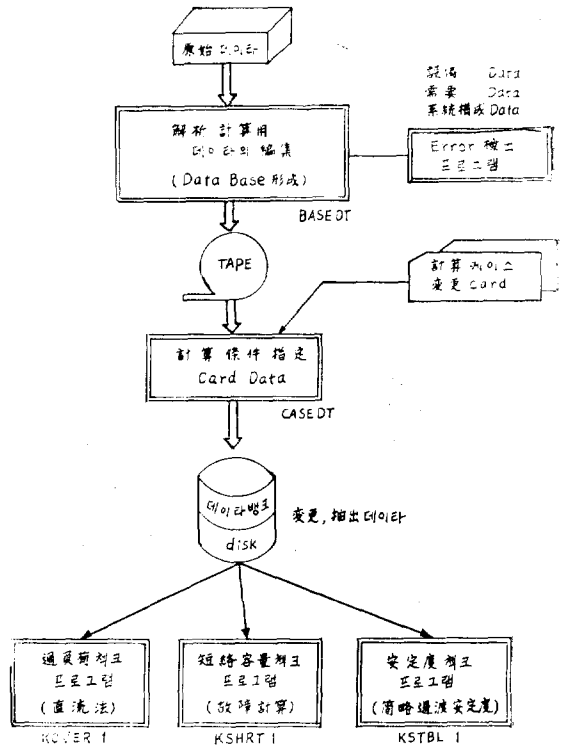


그림 2. 系統計劃 計算 시스템의 概要

Fig. 2. Outline of power system planning

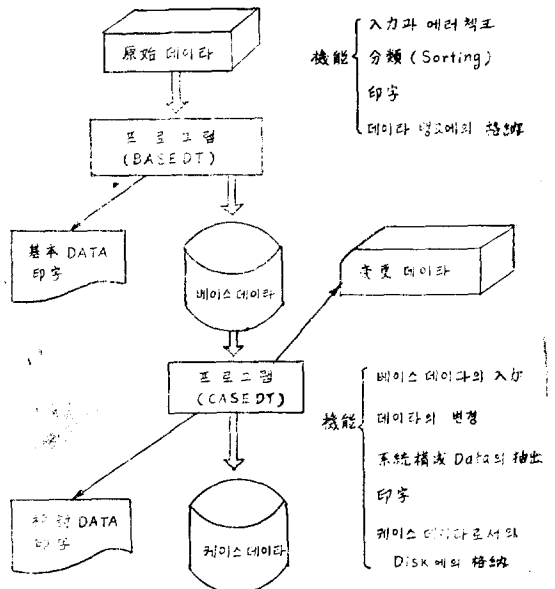


그림 3. 데이터 뱅크 시스템의 概要

Fig. 3. Outline of data bank system

된 樣式으로 編集해서 一括蓄積하는 것으로서 이 시스템 맨 원비되면 계획담당자는 번거로운 데이터 作成業務에 일체 신경을 쓰지 않아도 되게 된다. 본 시스템에서는 데이터의 폭주를 피하기 위해서 그림 3에 보인바와 같이 데이터뱅크를 베이스데이터와 케이스데이터의 둘로 나누고 있다.

곧 베이스데이터 부분은 計劃策定에 必要한 모든 데이터를 一括해서 格納해 두어 가지고 每年 정기적으로 실시하는 長期計劃案 樹立時에만 부분적인 수정을 하도록 한다. 한편 케이스데이터 부분은 系統解析을 위한 기술계산을 실시코자 할 때 사용하는 것으로 하고 計算의 種別, 斷面, 케이스數 등에 응해서 베이스 데이터 가운데 변경을 필요로 하는 것만을 輸出하고 修正해서 提供케 하는 것이다. 따라서 技術計算 프로그램은 最小限의 計算實行用 데이터(計算條件 提供 등)와 케이스데이터에서 제공되는 데이터만 使用해서 計算을 實行하게 된다.

본데이터뱅크에 格納될 데이터內容 및 規模는 다음과 같다(韓電 電子計算所에서 運用中인 FACOM230/45S, 362 KB 基準).

設備데이터

- 1. 母線數—300
- 2. 發電機數—100
- 3. 送電線數—200
- 4. 變壓器數—200
- 5. 調相設備數—70
- 6. 負荷數—210

需要데이터

- 1. 負荷數—210
- 2. 年度斷面數—10
- 3. 需要時點數—4
- 4. 出水데이터數—60

系統構成(接續)데이터

設備데이터의 Dimension과 같음.

4. 系統解析 프로그램

本시스템을 구성하는 系統解析 프로그램은 각종의 系統計劃案을 체크하기 위한 것으로서 1次的으로 다음과 같은 3가지 프로그램을 具備하고 있다.

- 1. 故障電流 체크計算 프로그램
- 2. 過負荷設備 체크計算 프로그램
- 3. 安定度 체크計算 프로그램

이들의 각 프로그램은 독립된 機能을 수행할 수 있도록 module化 되어 있기 때문에 간단한 Job control card에 의해서 자유자재로 指定(呼出)할 수 있으며, 또 필요한 데이터는 系統構成斷面과 負荷需要 斷面 기타 計算條件을 指定하는 1枚의 데이터카드만으로 충분하게 되어 있다.

이들 系統解析프로그램은 系統計劃을 檢討한다는 것

을 目的으로 하는 것이며 多케이스에 걸친 체크計算을 高速으로 處理한다는데 重點을 두고 있다. 이 때문에 각 체크計算은 어느 정도의 簡略計算을 베이스로 하고 있다. 이하에 각각의 系統解析프로그램의 概略 Flow chart에 의거해서 각 프로그램의 構成과 機能에 대하여 설명하여 본다.

4.1 故障電流 체크計算 프로그램

이 프로그램이 구비하고 있는 機能은 다음과 같다.

- 正相 및 零相回路에 대한 임피던스 行列要素의 計算
- 全母線에 있어서의 3相地絡 故障時의 短絡容量과 故障電流(分流)의 計算
- 全母線에 있어서의 1線地絡 故障時의 電流分布 계산

그림 4에 이 프로그램의 概略의인 Flow chart를 보인다.

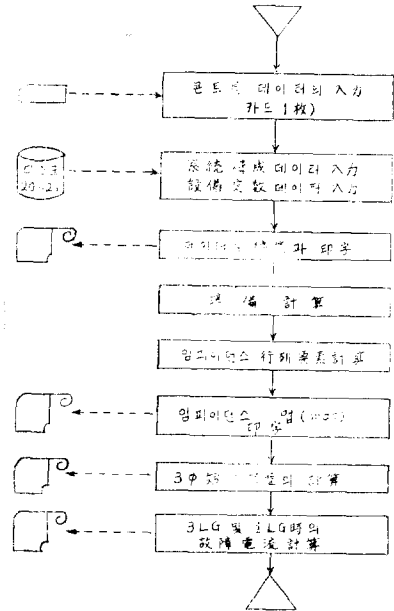


그림 4. 故障電流計算 Flow chart

Fig. 4. Flow chart of fault current calculation

4.2 過負荷 체크計算 프로그램

이 프로그램에 포함되어 있는 주요한 機能은 다음과 같다.

- 優先順位에 의한 發電機의 經濟的인 負荷配分(但, 優先順位는 入力데이터로 指定함)
- 直流法에 의한 有効電力 潮流計算
- 正常時 및 系統事故時에 있어서의 送電線路 및 變壓器의 過負荷狀態(또는 設備) 檢出
- 送電損失 計算

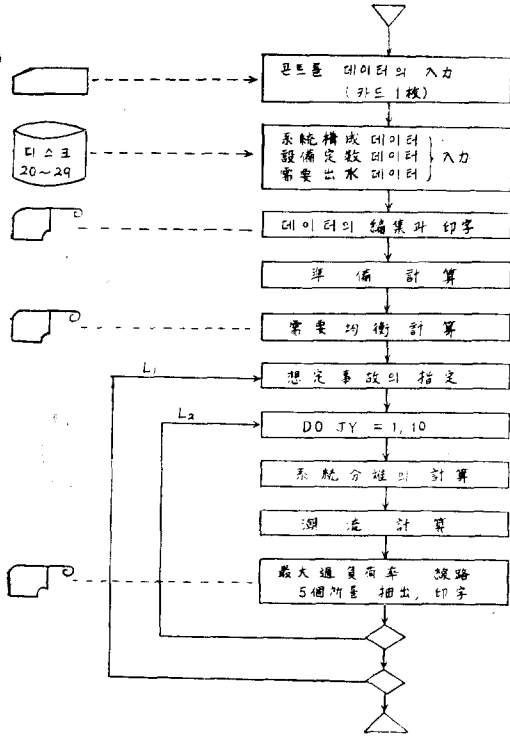


그림 5. 過負荷計算 프로그램 Flow chart
Fig. 5. Flow chart of over load calculation

그림 5에 이 프로그램의 概略인 flow chart를 보인다.

여기서 3번재의 過負荷設備 檢出은 系統內의 發電機를 1Unit씩 또는 主要送電線을 1回線씩 차례로 停止시켜 보았을 때의 設備의 短時間過負荷를 체크하는 것으로서 만일 送電線이나 變壓器에 過負荷가 생겼을 경우에는 그것을 輕減시키기 위한 對策도 아울러 세울 수 있겠음 各年度別로 5개씩 過負荷率이 큰 順으로 그 內容을 印字시키도록 하고 있다.

4.3 安定度 체크計算 프로그램

安定度 체크計算 프로그램의 目的은 多케이스에 대한 安定度체크를 개략적으로 高速處理한다는 것이며 그 主要한 機能은 다음과 같다.

- 指定된 送電線 및 母線에서의 각종 故障發生時的 過渡安定度 체크
- 計算結果의 圖形出力

그림 6에 이 프로그램의 概略인 flow chart를 보인다.

이 프로그램의 計算手法로서는 우선 直流法에 의한 簡略潮流計算을 취하고 段段法의 計算過程에서 發電機間 相差角動搖曲線의 動向으로 부터 系統의 安定,

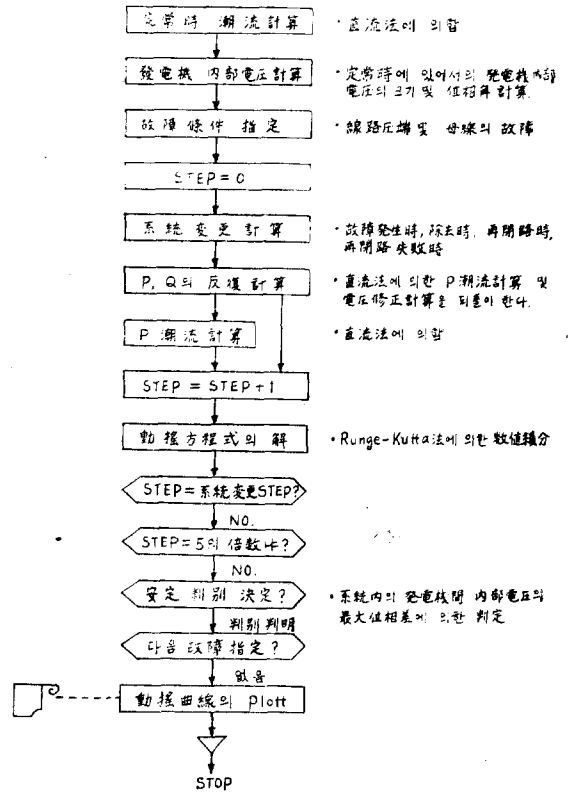


그림 6. 過渡安定度의 簡略計算
Fig. 6. Outline of transient stability

不安定을 豫測, 判斷하는 機能을 갖도록 해서 이 安定判別 Rule에서 벗어날 경우에는 計算을 停止시키도록 하고 있다.

그림 7은 참고로 이 프로그램의 出力結果의 一例를 보인 것이다.

5. 우리나라 電力系統計劃에의 適用例

5.1 系統計劃案의 概要

韓電 系統規模는 1976年 現在의 最大負荷水準 3307 MW에서 1986년에는 약 3배가 넘는 수준으로 增加될 것으로 豫상되고 있으며 이에 따라 電源設備도 앞으로 10年동안에 15000MW 정도나 開發하여야만 하게 되어 있다.

더욱이 앞으로의 電源設備는 대부분이 火力과 原子力이 될 것이며 그 單位機容量도 대부분이 500~900 MW에 이르는 大容量의 것이 되고 또한 이들이 發電所 立地關係上 同一地域에 集中的으로 開發될 전망이 크다. 따라서 앞으로의 系統擴張은 이들 大容量出力을 需要地點에 供給하는 大量輸送이라는 面과 一部特定

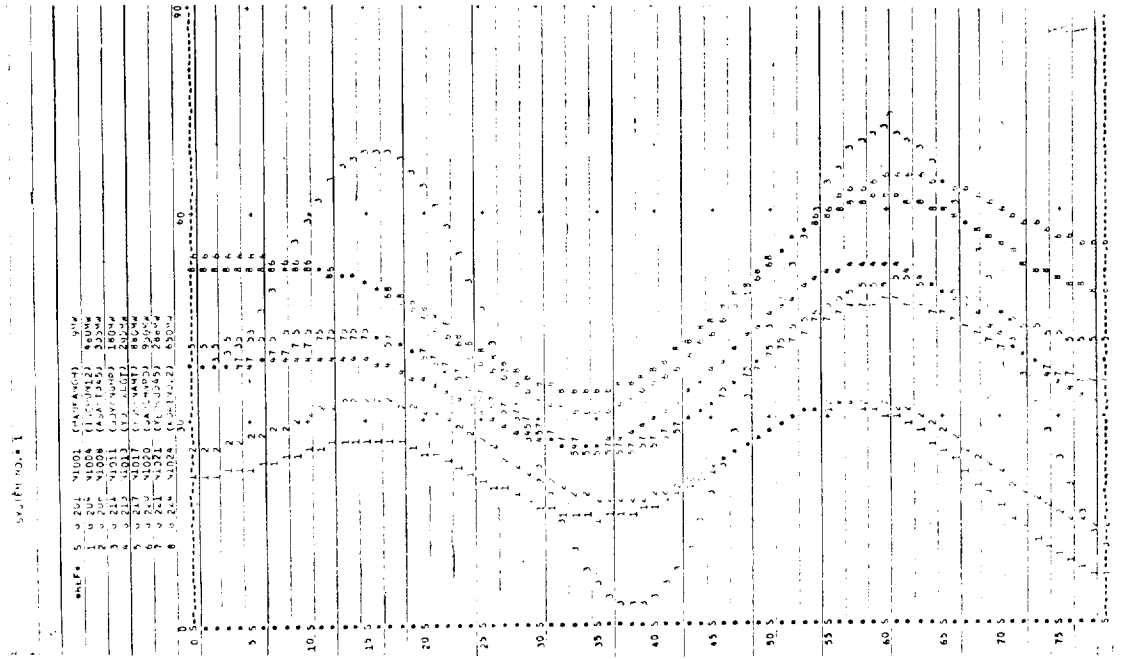


그림 7. 過渡安定度 計算結果 Output例
 Fig. 7. Output example of transient stability calculation

地區 등에 偏在하는 引擎 전력을 他地域에 供給한다는 地域間 電力融通問題 그리고 供給信賴도를 한층 더 높여야 한다는 여러가지 要請을 바탕으로 해서 系統構成의 根幹은 어디까지나 345KV 超高壓 送電網의 擴充에 두어져야 할 것이다. 현재 이러한 基本方向에 따라 345KV 超高壓 送電電施設의 長期計劃이 立案推進되고 있다. 이 計劃에 따르면 1981年末까지는 總 2677C-KM의 345KV 線路和 總 10,000MVA의 變電設備을 갖게 될 것이며 86년까지는 훨씬 많은 超高壓設備가 建設될 전망인데 이상의 計劃案을 우선 技術的 側面에서 檢討하기 위하여 금번 開發한 系統計劃 計算프로그램을 適用하여 보았다.

1986年末 基準에서 準備한 Input資料(곧 計算規模)를 소개하면 다음과 같다.

系統規模	母線數	143
	發電機數	46
	線路數	154
	變壓器數	67
	調相設備數	47
	負荷地點數	57

1977~1986년까지 10年間に 걸친 系統計劃案을 短絡容量計算, 過負荷체크計算, 過渡安定度 체크計算의 順序로 技術檢討하였는데 그 結果를 計劃最終年度인 19

86年 時點에서 要約整理하면 다음과 같다.

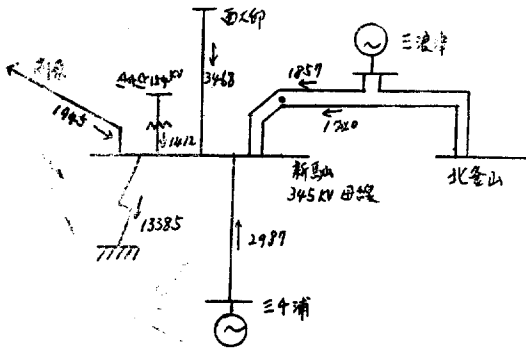
5.2 短絡故障 체크結果

本計劃案이 完成될 1986年末 系統狀態는 施設容量 19740MW水準으로 그 規模가 상당히 커서 우선 短絡容量面에서 問題點이 있을 것으로 豫想되었으나 실제로 計算해 본 결과에 의하면 대부분의 母線에서의 三相短絡容量은 10000MVA 以下로 억제되고 있으며, 그 값이 10000MV를 넘는 母線은 모두가 345KV 主要母線으로서 그중 主된것만 열거하면 다음과 같다(그림 8 참조).

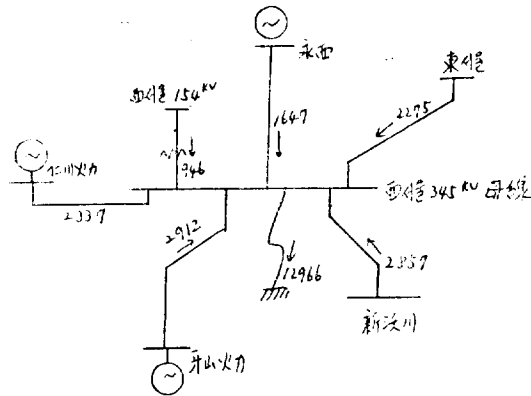
新馬山 345KV 母線	13,385MVA
西서울 " "	12,966 "
西大邱 " "	12,754 "
北釜山 " "	12,288 "
東서울 " "	11,727 "
新蔚山 " "	11,506 "

한편 154KV系統에 있어서는 345KV 系統이 擴充整備됨에 따라 送電機能面에서의 重要性이 점차적으로 低下되어 短絡容量도 아래와 같이 8000~9000MVA 수준에 머물게 된다.

新蔚山 154KV 母線	9682MVA
永西 " "	9553 "



(a) 新馬山 345KV 母線の 3相短絡容量(MVA)



(b) 西서울 345KV 母線の 3相短絡容量(MVA)

그림 8. 短絡容量 計算例

Fig. 8. Example of 3-phase short circuit capacity

富平	"	"	9169MVA
新馬山	"	"	8625 "
西서울	"	"	8011 "

이결과 現在 設置運用中인

154KV-15000MVA

345KV-25000MVA

의 遮斷能力을 가진 遮斷器로도 앞으로 系統을 擴張해 나가는데 아무 問題가 없다는 것을 알 수 있다.

5.3 過負荷 check計算

現在 推進中인 系統擴張計劃案으로서 向後 10年間 電力潮流(곧 電力融通) 面에서의 Bottle neck 有無를 check하여 보았는데 一時的인 電源脫落 또는 送電線의 事故停止 케이스를 除外하고는 특별히 問題가 될 送電線路(區間)는 없었다. 다만 이 期間동안에 富平-朱安間 154KV線路가 1980~1983년에 걸쳐 146~179%의 過負荷狀態로 되지만 1980년에 新仁川 345KV變電所가

建設된다면 이는 쉽게 回復될 것이다. 또 1986년에 가서는 鳴藏-北釜山間 154KV線路가 약간(122%정도) 過負荷될 것이나 이것도 이 區間을 開放하고 東釜山負荷를 직접 北釜山 變電所를 통해서 受電하도록 조치한다면 過負荷는 解消될 것이다. 그밖의 線路나 變壓器에 있어서는 別 問題點이 없었다.

5.4 過渡安定度 check結果

系統計劃 最終年度(1986)에 있어서의 過渡安定度를 check하기 위하여 다음과 같은 몇가지 代表的인 Case에 대해서 安定度 計算을 실시하였다.

安定度 解析條件

- 西大邱-新馬山間 345KV線路
 - 1線地絡故障 5사이클後 故障 除去
 - 2線地絡故障 " " "
 - 3線地絡故障 " " "
- 新蔚山 345KV 母線
 - 1線地絡故障 5사이클後 故障 除去
 - 3線地絡故障 " " "
- 西大邱 345KV 母線

3線地絡故障 5사이클後 故障除去 檢討結果에 의하면 어느 케이스이건 故障發生 即時 遮斷器가 신속하게(5 사이클 정도) 作動해서 故障를 제거해줄 수 있다면 系統은 安定運轉을 계속할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이때 漢江系水力(等價發電機)을 基準으로 해서 본 各

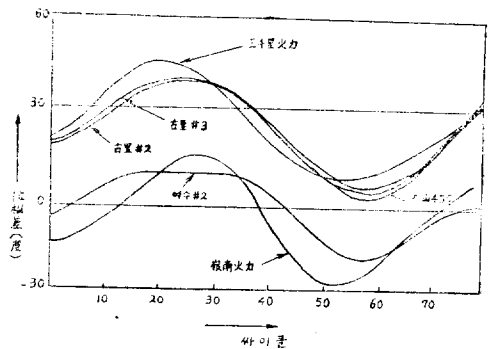


그림 9. 發電機內部 相差角 變動曲線 西大邱-新馬山間 345KV Line 3線地絡故障<5사이클 遮斷>

Fig. 9. Transient stability swing curves

발전기간의 內部 相差角 變動은 모두 60° 이내의 범위에서 變動하고 있어서 아무런 問題가 없을 것으로 判斷된다(그림 9, 10 참조).

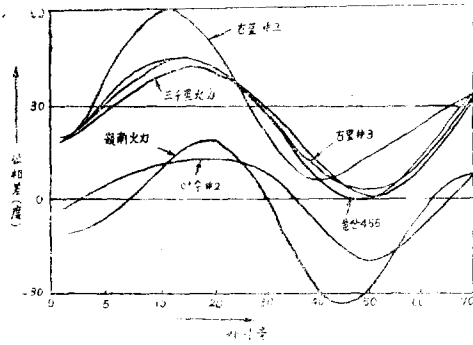


그림 10. 發電機內部 相差角變動曲線 新蔚山 345KV 母線 3線地絡故障<5사이클遮斷>

Fig. 10. Transient stability swing curves

5.5 檢討結果 要約

이상 1977年~1986년에 이르는 今後 10年間의 系統計劃을 1次的으로 제안된 計劃案을 對象으로 해서 系統計劃 計算 시스템을 適用해본 결과 短絡容量面이나 過渡安定度面에서 別問題가 없다. 다만 過負荷 檢査計算面에서 一部 151KV送電線 區間에 限에서 약간 過負荷가 發生하는 곳이 있었으나 이는 Loop系統의 開放運轉, 또는 345KV 變電所를 計劃보다 약간 앞당겨 早期建設함으로서 쉽게 過負荷를 解消시킬 수 있을 것으로 생각된다. 또한 系統計劃案의 對象規模라던가 所要 計算時間面에서 볼때 本計劃計算시스템은 충분히 그 適用이 가능한 것으로 判斷된다.

6. 結 論

本 研究의 목표는 電力會社에 있어서의 經營計劃 시스템의 一環으로서 電力 系統計劃 策定시스템의 開發에 있었던 것이며 이번에 완성한 「系統計劃 計算시스템」은 어디까지나 立案者가 作成한 系統計劃案에 대한 技術의 問題를 檢査하기 위한 시스템으로서 最適의 系統計劃案을 自動적으로 선택 決定해주는 그런 시스템

은 아니다. 그러나 本 시스템은 「利用의 便利」에 유의해서 데이터베이스 系統을 導入함과 아울러 計算의 高速化를 中心으로 設計한 것이므로 이 特徵을 살려서 活用한다면 系統計劃 策定業務의 有力한 手段으로서 그 效果를 발휘할 수 있을 것으로 생각된다. 앞으로 情報處理技術은 더욱더 發展되어 나갈 것으로 예상되고 있으며 이에따라서 本 시스템도 특히 信賴性 및 經濟的인 側面에서의 評價機能을 追加시켜서 보다 완벽한 送配電施設計劃을 위한 「最適化시스템」으로 補完, 發展시켜 나갈 計劃이다. (4)(7)

끝으로 本 시스템을 開發함에 있어서는 日本電力中央研究所의 高橋一弘博士 및 韓電技表開發部의 金仁燮 主務로 부터 貴重한 助言과 많은 協力을 얻었다. 이 자 리를 빌려 깊이 感謝드리는 바이다.

參 考 文 獻

1. C.J. Baldwin, C.A. Desalvo外: "A Model for Transmission Planning by Logic", AIEE. Trans. Pt. III-B Vol. 78 1959.
2. J.L. Whysong, C.A. Desalvo外: "Computer Program for Automatic Transmission Planning" IEEE 1963 pp. 774~781.
3. 日本火力開發研究會 報告書 1966: "火力開發에 關한 研究(系統편, 同附錄)"
4. J.C. Dodu, A. Merlin: "A Model for Estimating Operating and Failure Cost in the Planning of Electric Power Transmission Systems," EDF Report 1975.
5. 日本電力中央研究所: "電力系統의 設備計劃을 위한 技術計算手法" 技研報告 #73094 1974.
6. 日本電力中央研究所: "電力系統計劃 計算시스템의 開發", 技研報告 #175525 1976.
7. T. Minakawa, K. Takahashi, Y. Tamura: "Practical Assessment and Strategy for Improvement of Dynamic Performance of Power Systems," CIGRE Report 32-03 1976.