

“水資源 開發을 爲한 電子 計算機의 應用例”

金 修 三 譯

〈正會員·水公·第二開發部〉

본 報告는 시드니(Sydney)의 給水를 爲하여 貯水池 系列化를 模擬操作키 위한 계수형 계산기(digital computer)의 사용 例를 記述하였다.

廣域의 操作 條件에 대한 流量 記錄에 의하여 貯水池 機能 研究에 의한 파이프 라인의 規模, 댐의 높이, 그리고 주어진 施設에 대한 經濟的인 分析이 可能하여 왔다.

本論과 같은 종류의 일 에 있어서, 操作 方法과 프로그램의 構成 및 人力의 절약이 계산기 사용에 의해서 보다 간단하고, 有益함을 보여주기 위해 서술하였다.

§ 1. 序 論

水力 發電과 給水 計劃의 研究과 設計에 있어서 Snowy Mountain 水力 發電部는 貯水池 系列化 및 最適案을 선택하기 위하여 계수형 計算기를 使用하여 人力의 절약과 費用을 淸목할 만큼 減少시켜왔다.

이와같은 研究에는 보통 貯水池 機能을 試驗하기 위한 計算기 에 의한 貯水池의 模擬 操作(Simulated Operation)과 記錄된 流量에 의해 流域 變更하는 水量까지를 포함한다.

水力 發電部는 最近 오스트레일리아의 시드니시 의 水道 및 下水處理局에 대해 向後 40年間 要求되는 給水 계획의 開發을 協助해왔다.

계산기 에 의한 研究은 最近에 적용된 方法의 一例를 보여주고 있고, 本 報告에서는 方法을 例示하기 爲해 最終的으로 적용한 研究의 一例와 특수한 경우에 있어서 操作의 有益함을 나타냈다.

譯者 註

本 報告는 1969年 6월호 ICE (The Institution of Civil Engineers)의 Proceedings에서 번역한 것입니다.

§ 2. 프로그램 條件 (Program Requirement)

시드니와 Greater Wollongong의 南部 海岸지역은 3 個의 主要한 河川의 流域을 調節하는 總貯水量 $574 \times 10^9 \text{gal}$ ($2,296 \times 10^6 \text{m}^3$)의 6個의 主要 貯水池에서 現在 給水받고 있다(fig-1)

JAMES

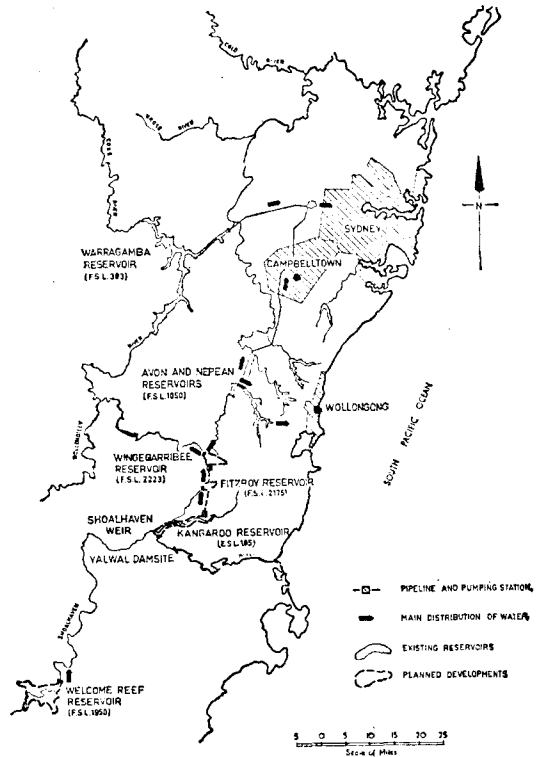


Fig 1. General map of water supply system

約 355m · g · d(18.6m³/s)의 安全 引水를 갖는 이 貯水池들은 1970년 중간까지 충당될 것이고 人口 500 만명에 이르고, 總 容수 수요량이 약 810m · g · d(42.62m³/s)에 이를 2010년까지 기대되고있다.

適當한 계획의 개발은 利用할 수 있는 多數의 水源과 각기 다른 經濟性 및 流域 變更를 포함하는 操作費用等 때문에 복잡해진다.

계산기 프로그램을 작성하기 위한 여러가지 계획들 중에서 同一한 基礎에서 比較 될 수 있는 條件들이 本論에서 쓰였다. 본 프로그램은 이미 記錄된 流量에 의해 各 計劃을 模擬 操作할 수 있도록 짰다.

그러므로 펌핑이 필요한 곳에서 에너지 비용의 추산과 저수지 費用 및 주어진 需要를 충당기 위한 流域變更 施設等이 포함되어야 한다.

일찍이 조사한 계산기에 의한 事前 研究와 現場 作業에 의하여 시드니 남쪽 약 80마일 떨어진 캉가루강 支流와 Shoalhaven강이 가장 경제적인 水源으로 밝혀졌다.

貯水池 系列化를 위하여 Shoalhaven강 유역으로부터 大量的 送水는 파이프 라인에 의한 1,500~2,000ft (457~609m)사이의 水頭를 펌핑하는것과 보다 직접적으로 높은 펌핑 수두를 포함하는 터널에 의한 방법을 포함한다.

계산기에 의한 이미사용중인 Shoalhaven강 유역의 提示된 貯水池의 연결 操作의 처리에서 各 계획에 대한 연간 개략적인 펌핑 비용이 비교적 적게 나타났고 約 2,000 ft(609m)의 펌핑 揚程을 갖음에도 불구하고 다른 계획들보다 경제적이고 가장 짧은 또 적은 비용이 드는 계획으로 나타났다.

앞으로 서술할 본 계획(fig-1)은 Shoalhaven강 유역의 水資源의 단계적인 開發과 Warragamba Avon-Nepean와 저수지에 대한 單純 變更 施設을 통한 配水 까지를 포함한다.

§ 3. 計算機에 의한 計劃의 模擬 操作 (Simulated operation of the scheme by computer)

(1) 操作 法則(Operating rules)

계산기에 의한 저수지 系列化를 위한 模擬 操作은 시스템(System) 各 部分의 기본적인 操作 法則의 完成에 의하며, 이 法則은 가능한 시스템의 最終의 操作

에 가깝게 작성되어야 한다.

본 계획에서 새로운 給水는 Warragamba 저수지에서 시드니로, 또 Avon-Nepean 저수지에서 Campbelltown과 Wollongong지역으로 송수하게 될 것이다(Fig-1). 그러므로 프로그래밍의 장래의 조작 간단화를 위하여 개개의 安全 引水에서 一定量의 給水로서 고려되어 왔다. 장래 시스템의 操作은 처음에 Warragamba와 Avon-Nepean저수지로 부터의 給水와 처음에 Shoalhaven강 유역으로부터 給水하는 문제의 선택에 봉착할 것이다. 이것은 Fig-2에 圖表로 나타나 있으며

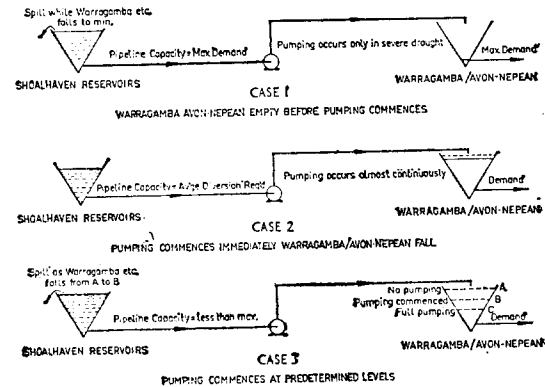


Fig 2. Alternative methods of operation

Case-1은 Warragamba와 Avon-Nepean저수지로 自然 流入量의 最大 사용량과 주어진 安全 引水를 제공하기 위하여 Shoalhaven강 유역으로부터 流域 변경하기 위한 最少量이 주어져야 한다.

그러므로 펌핑 비용이 最小 라야 하지만 파이프 라인 시설을 위한 비용은 既存 貯水池가 비어있을때의 最大 需要量에 맞추기 위해 最大가 되어야 한다.

Case-2는 두 저수지에서 同時에 送水되는 경우 최소 펌프 용량과 最大 펌핑 비용 중에서 선택할 것을 가르켜주고 있다.

계산기에 의한 저수지 模擬 操作(Simulated operation)을 위해 프로그램의 기초를 이루는 Case-3은 最大 용량의 파이프 라인은 필요 없지만 펌핑은 自然 流入을 규칙적으로 개선하기 위한 어떤 수위까지 떨어 뜨리는 것을 결정할 것이다.

Shoalhaven강에서의 필요한 저수량이 2個의 저수지 조작 방법에 의해 영향 받는다는 것을 주의해야 한다.

예를들면 Case-1과 Case-3에 있어서 Shoalhaven 저수지로 부터의 流入은 Warragamba와 Avon-Nepean 저수지의 수위가 하강하는 동안 放流에 의해 손실될 것

이며 거대한 전체 저수량에는 이와같은 손실을 추가해야 한다.

그러므로 저수량의 적절한 조화와 操作 基準 및 특별한 條件下에서 주어진 安全 引水를 提供할 流域 變更 水量이 Case-3에서 주어졌다.

본 연구에서는 기록된 지난 60년간의 流入이 미래에도 반복될 수 있다고 봤고 이것들이 세스텔 처리에 필요한 특수한 유입조건이다.

(2) 計算의 進行(Process of Computation)

單一 저수지의 기능을 分析함에는 자연 流入·증발·放流量 등을 계산하는 日末, 週末, 月末에서의 저수량을 통상 포함한다.

다른 水源에서 揚水해야 하는 경우의 日末, 週末, 月末 저수량은 펌프의 필요성 여부를 결정하고, 계산 과정에 첫 저류를 위한 펌프량을 포함할때 사용된다.

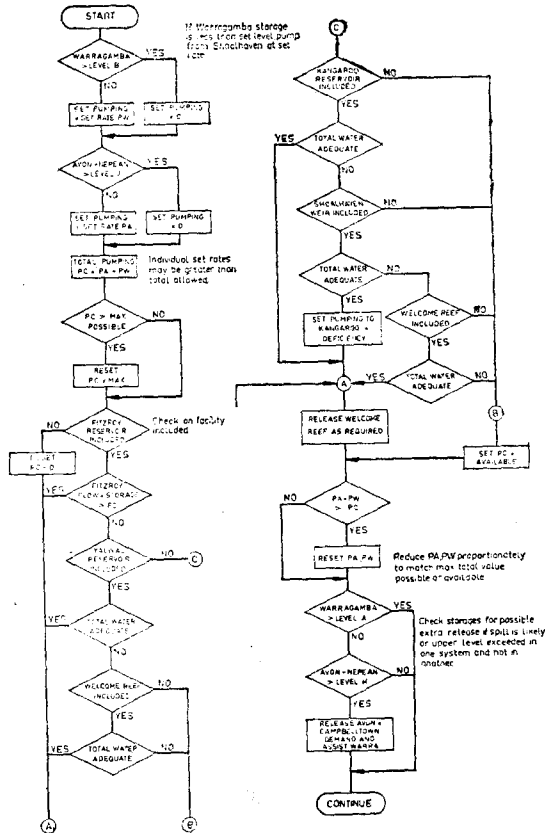


Fig 3. Flow diagram for part of schemes operation

충분한 물의 이용을 확실히하기 위하여 揚水量을 결정한 후 새로운 水源을 再檢討해야 한다.

各 部分別 操作은 모든 分析을 위한 單純한 계산의 연속으로 점차 이룩할 수 있고, 각각의 계산은 주어진 시간에 보통 사람에 의해서 수행될 수 있다. 계산기는 어떤 간섭도 없이 수 많은 계산들을 매우 정확하게 할 수 있고, 이러한 계산의 절차를 나타내는 프로우 다이어그램(Flow diagram)이 필요하게 된다.

적용된 계획의 操作을 예로들면 Fig-3에서 보여주는 것과 같이 월별로 짜였다.

이것을 본 報告를 위하여 原案에서 簡略化 했지만 계산에 필요한 중요 단계는 나타났다.

실제 계획의 每日 操作에서 많은 계산의 결과를 하천의 유량과 수요량을 사전에 알아내는데 축진될 수 있었다.

(3) 프로그램의 배열

(Program arrangement)

이러한 프로그램의 치밀함은 기계의 기억 용량의 크기와 계산에 요구되는 속도 및 正確度 그리고 作成에 필요한 시간에 의해 좌우되며, 정확한 계산은 정확한 기록의 사용 여부에 의해 좌우된다.

월별 계산의 처리는 다음과 같은 특수한 경우, 즉 연중 계절에 따른 지역적인 수요량이 변할때 표면적 체적(Surface Curve) 곡선에 의한 저수지의 증발량 계산과 순 손실 계수 및 총 수두에 의해 허용되는 펌핑 에너지의 계산, 다른 곳의 부족량을 충당하기 위한 물의 방류와 그 시설, 저류량의 계산과 그 분배를 포함한다 앞서 말한 계산들은 모두 간단한 형태의 操作이고 그것들이 模擬 操作을 위해 組合할때 복잡해진다.

그러므로 이러한 프로그램은 일련의 마디마디로 분리하여 쓰면 편리하고 그 각각은 操作과 관계되며 쉽게 검토와 변화가 가능하다. 이때 쓰여진 전체적인 調整 프로그램은 각각 分離된 것들 사이에 要求되는 순서와 변경된 결과에서 操作을 시작한다.

이와같은 방법으로 전체 프로그램은 쉽게 검토되고, 계산기의 主記憶 裝置가 制限된 경우에는, 실제 사용에 있어서 단지 프로그램 區分(program Segments)만이 有用한 스페이스(Space)를 차지하도록 배열하는 것이 보다 쉽다.

사용하지 않은 프로그램의 일부는 예로들면 磁氣 테이프 같은 補助 記憶裝置에 보관하고 필요할 때 主記憶裝置로 갖어갔다.

YEAR	STORAGE NAME	INFLOW MG	SPILL MG	EVAP MG	STGE MG	MAX-STGE-MIN MG	PUMPG VOL MG	ENERGY MWH	RELEASE MG
1944	WARRA	16706.	0.	5125.	276925.	428814.	276925. KW	0.	WP 179254.
	AV-NEP	5487.	0.	1065.	31897.	31897.	31808. KA	101554.	AM 0.
	DEVINS	1535.	0.	87.	1348.	1359.	1344. KC	101832.	972074. AUC 71933.
	WINGEC	993.	726.	607.	13131.	13192.	13103. DUM	0.	ASC 33952.
	YALWAL	49518.	0.	3159.	238401.	272537.	238401. DUC	1448.	AD 0.
	WEL RF	40759.	20593.	14626.	331216.	333800.	322215.		WNG 0.
	TOTALS	114998.	0.	24669.	892919.	1066366.	892919. TOT	103280.	973370. TOT 285140.
1945	BALANCE	0.022					ACCUM	32580061.	
	WARRA	164527.	0.	4337.	305784.	364930.	254986. KW	38000.	WP 174694.
	AV-NEP	38382.	0.	1075.	31883.	57691.	28157. KA	58225.	AM 0.
	DEVINS	24960.	8523.	90.	1348.	2720.	1344. KC	96463.	915575. AUC 61594.
	WINGEC	5771.	5364.	607.	13169.	13192.	13117. DUM	4560.	ASC 33952.
	YALWAL	215762.	19770.	3731.	466468.	488820.	196202. DUC	16347.	15937. AD 0.
	WEL RF	148220.	132268.	14736.	332432.	333800.	326860.		WNG 0.
TOTALS	597622.	28293.	24576.	1151085.	1254778.	824384. TOT	112811.	931512. TOT 270240.	
BALANCE	0.018					ACCUM	33511573.		

Fig 5. Example of annual print-out

빠른 계산 능력과 조작을 위한 세밀한 부분에 대하여 最終 계획을 선택하기 위한 많은 守則이 제공되었다. 또한 저수지 機能 圖表에서 結果의 記入은 各各의 操作 形態의 確實한 그림으로 주어진다. 예를들면, 두 계획에 대한 概略의인 揚水 費用은 서로 相異한 단계에서 開發에 必要한 安全 引水量(Safe

draft requirements)의 고려와 記錄流量에 대한 시스템의 操作을 위해 每月 요구되는 揚水, 즉 이때의 安全 引水線에서 요청되는 주어진 一定量을 고려하여 계산 되었다. 이와같은 基礎에서 適用한 계획의 操作例는 2010년 에 필요한 810m·g·d(42.62m³/s)의 安全 引水量을 Fig

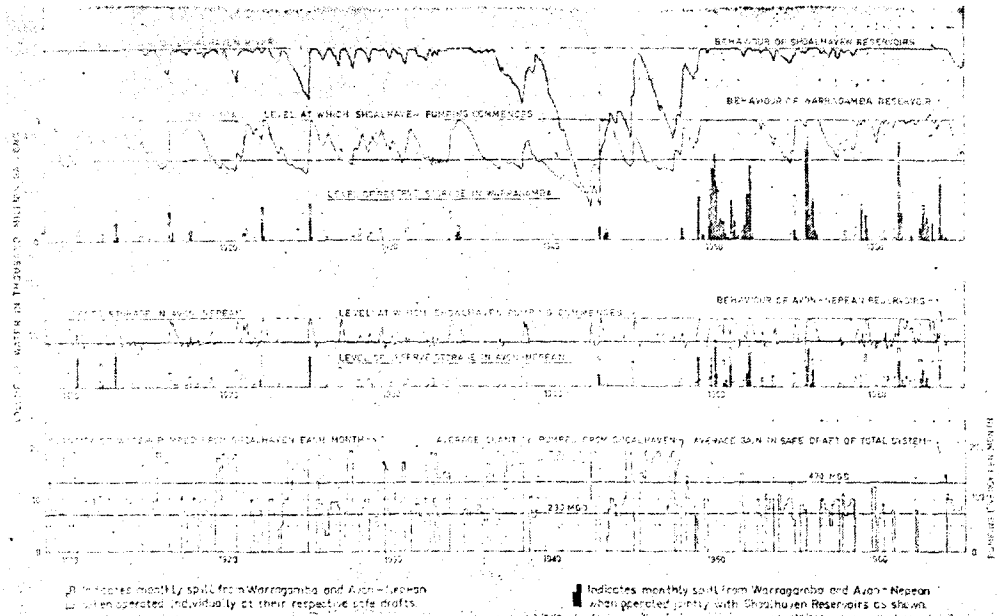


Fig 6. Simulated storage behaviour and pumping requirements in 2010

—6에 나타났다.

數個月에 걸쳐서 揚水하든, 揚水하지 않든, 最大容量이, 要求되는 것보다 적다는데 注意해야 할 것이다.

810m.g.d(42.62m³/s)의 供給量中, 約 470m.g.d(24.73m³/s)는 Shoalhaven강의 이용에 의해서 充당된다.

實際로 Shoalhaven강으로부터 轉用되는 平均量은 단지 230m.g.d (12.10m³/s)에 불과하지만, 나머지는 Warragamba와 Avon-Nepean 저수지를 보다 效果的으로 使用하므로써 가능하다.

既存 貯水池의 效果的인 利用이나 보다 큰 貯水池들의 設計와 보다 낮은 水位에서 그들을 유지할 수 있도록 만들어진 放流時 減少로 인한 改善은 주어진 流域 變更容量에 대한 操作 能率의 측정이고 放流量對 펌핑 에너지를 도표에 作成하므로 인하여 操作 기준이 갈짜여 질 수 있다.

본 예에서든 2010년에 대한 얻어진 平均 에너지 要求量은 만약 操作 條件이 流量이 記錄된 기간동안의 流量의 平均인 경우, 주어질 에너지라는 것이 매우 중요하다.

年別 적용한 계획에 대한 概略的인 에너지 요구량의 증가와 安全 引水 요구량에 해당되는 것이 Fig-7에 나타나 있다.

이 曲線은 한쪽으로 떨어지는 작은 曲線과 작은 曲線 끝에서 약간 上昇하는 曲線의 連續이고 各 段階의 開發 容量과 새로운 貯水池 開發을 위한 操作基準의 上昇에 해당된다.

새로운 저수지의 건설을 지연 시킴으로 인해 발생하는 보다 큰 에너지 비용과 資本 投資의 지연으로 인한 損失을 비교하여 時期에 알맞는 적절한 經濟的인 條件에 도달하게 될 것이다.

같은 方法으로 流域 變更 施設에 대한 資本 費用과 資本化한 에너지 비용을 도표에 표시하면 주어진 安全

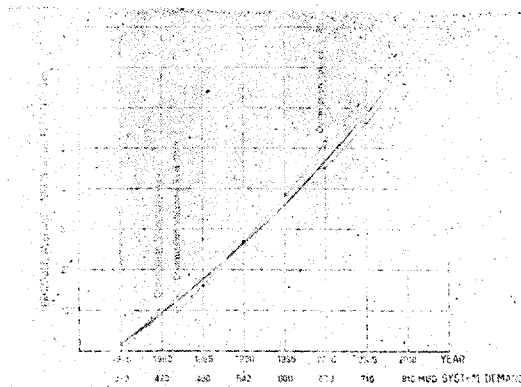


Fig. 7. probable average energy requirements

引水 要求量에 대한 절충안이 만들어질 것이다.

fig-6은 예에서 보여준 470m.g.d(24.03m³/s)의 安全引水量중 월 평균 약 230m.g.d(12.1m³/s)의 流域變更에 의한 量이 강조되었다. 왜냐하면 앞서 말한 것처럼 비교적 소량의 펌핑 요구량은 두 貯水池의 系列化에 의해 可能하고 그 결과 일반적인 감소부에서 概略的인 操作費用은 파이프라인과 펌프 시설에 보다 낮은 資本投資를 갖는 계획들이 유망했다.

操作의 또다른 一面은 Fig-6에서 볼 수 있는 것처럼 1935년부터 1942년 사이에 發生한 극심한 가뭄이다. 이 경우에 있어서는 시스템에 있어서 총저수량의 50% 이상을 더 끌어 올릴 필요가 있다.

이러한 계획에 맞추자면 給水設計에 있어 經濟적 또 정치적인 討論이 전개 되지만 本論에서는 취급치 않는다. 그렇지만 프로그램이 存在하면 보다 많은 유량기록이 장래에 有用될 수 있고 乾期 또는 雨期의 非定常的인 一面이 評價될 수 있을때 시스템의 규칙적이고 合理的인 再 評價가 이루어진다.

물론 이 경우 各단계의 개발을 위한 설계의 최우선 조건이 될 것이다.

§ 4. 操作의 다른 形態와 프로그램의 應用(Other aspects of operation and program application)

給水와 尖頭 發電의 可能한 한 共同 使用은 能動的으로 고려중에 있고 여기에서 또 다시 프로그램은 매우 큰 펌프 용량의 효과와 尖頭가 아닌 경우의 操作을 算定하기 위해 사용되었다.

이와같은 目的으로 본 연구는 每日 操作을 포함하여 확장해 갈 수 있을 것이다. 小規模 시스템들이나 乾期가 週別 또는 日別 관측되는 지방에서의 每日 操作은 아마도 바람직한 것이 될 것이다. 이런 경우 調查 研究된 河川의 대부분은 流域과 貯流量이 流量에 있어 日變化가 별로 重要하지 않을 만큼 비교적 크다. 즉 開發 初期 단계라 할지라도, 주요 저류를 위한 건설의 重要성과 흐르는 강물에 펌핑을 의존하였을 때, 月別操作下에 轉用된 물의 90%가 每日記錄에서 유용됨이 계산되어야 한다.

操作의 또 다른 面은 各各의 새로운 水源을 도입하기 위한 일반적인 時機의 結果와 需要가 特別한 開發의 安全 引水가 되는 자료로서 주어질 수 있는 것이다. 需要가 상승하는 시스템에서 지금까지 중요한 기간 동안 물을 빼내는 것은 安全 引水線보다 적을 것이다.

결과적으로 乾期동안 저수되어 절약된 물이 向後의 수요에 대응하는 安全引水와 需要量 사이의 不足을 배부기 위하여 사용될 수 있다.

그러므로 計算되어온 安全引水에 의하여 安全引水와 需要가 일반적으로 가름의 약 반에 해당하는 기간 내에서 새로운 水源의 개발은 연기되어야 할지 모른다

그러나 現存하는 施設과 連結하는 새로운 水源으로부터의 연속적인 흐름이 고려되어야 하고 실제의 需要는 오랜기간의 平均보다 매우 높을지 모르는 乾期에 체험하였고 시드니에 있어 문제가 된 乾期는 8년이었던

비교적 짧은 乾期를 갖는 系列은 平均需要以上에서 영향을 거의 미치게 되는데 이는 수년에 걸친 여름·겨울의 변화에 대한 평균으로는 충분한 시간이 못되기 때문이다.

예를들면 月需要量이 人口처럼 강우에 관계가 있고, 문제의 乾期가 11個月부터 18個月까지인 경우에 시험된 두 계획에서 처음 경우는 자본의 소비가 평균 13%까지 증가했고, 또다른 경우는 원래 계획한 3년 더 나아가서 需要량을 포함한 全體期間에 있어서는 17%가 증가했다.

이와같은 시기에 알맞은 고찰과, 수요가 증가하는 짧은 기간에 試驗하기 위하여 프로그램은 Fig-6에서 보여준 것처럼 수년간의 기록에 대한 일정한 需要量에서 操作을 첨가한 연간 수요량의 상승에 대한 操作을 위해 배열되었다.

예를들면 이것은 1935년의 유량을 1975년에, 1936년에 대한 것을 1976년에 기타 등등을 서로 대응되게 배치시킨 날자에 있어서 새로운 저수지와 송수시설에 적용할 수 있다는 것을 의미한다.

이와같은 배열에 의하여 만약 어떤 시간에 가장 좋지 못한 乾期 기록이 되풀이 된다 할때 각단계의 개발을 위한 失敗한 資料(failure data)의 합리적인 算定이 가능하게 된다.

또한 여러 저수지들이 하나의 유역에 이미 건설되었을때 매우 중요한 要素인, 새로운 저수지의 滿水에 소요되는 시간의 산정이 가능하다.

§ 5. 프로그램의 개발과 操作 시간 (Program development and operating time)

프로그램을 완성하는데 합계 약 5인·월(man·months)이 소요되었고 6개의 계획을 비교하여 그 결과를 찾아내는데 합계 140시간의 기계 사용시간이 필요했다.

이 작업은 現場과 內業을 합쳐 9개월 동안에 이루어졌고 총 개발시간은 약 16개월이 소요되었다.

12개월 주기의 조작을 완성하고 인쇄하는데 평균 45초가 걸렸고 매 60년 주기 기록을 읽고, 완성을, 한시간에 할 수 있었다.

만약 이 계산이 사람에 의해 이루어졌다면 12개월 주기를 완성하는데 적어도 2시간 30분이 소요되었을 것이고 6개의 계획에 대하여 같은 정확도 및 범위에서 인력으로 계산한다면 10명·년(man-years) 이상이 걸릴 것이다.

§ 6. 계산기 사용의 경제성 (Economics of Computer Usage)

모든 경비를 포함하여 계산기의 프로그램 개발에 필요한 비용이 7,000파운드 (약 7,224,000원)였고 같은 조건에 대하여 人力으로 실시 할때는 약 42,000파운드 (약 43,344,000원)가 필요하며, 계획의 전체 사업비는 74,000,000파운드 (약 86,688,000,000원)이다.

그렇지만 계산기의 사용에 의한 유리함이 외형적으로만 비교되어서는 않된다.

즉 가장 重要な 이익은 制限된 時間과 人力의 범위 내에서 가능한한 자세하고 정밀한 결과를 얻으므로 인한 사업비의 절약이다.

왜냐하면 계산기가 쉽게 손으로 변경되고 그 운영에서 계산할 수 있는 대단히 많은 변수들이 어떤 결정의 최대 기초 지식으로 주어질 수 있기 때문이다.

예를 들면 Shboalhaven강 유역으로부터 Wauagamba와 Avon-nepean유역으로 유역 변경을 위한 주요한 송수 시설 계획에서 약 3마일(5.4km) 떨어져 있고 약 2,000ft(609m)의 수두차를 갖는 2조의 직경 5ft6inch/7ft6inch(167.6cm/228.5cm)의 철관을 통하여 도수되는 25MW펌프장과 연결되었다.

프로그램은 펌핑과 파이프 용량의 선택을 허용하였고 대략적으로 펌핑 비용을 15% 감소시키는 것이 최종적으로 적용한 610m·g·d(32. m³/s) 대신 810m·g·d(42.62m³/s)의 계획에 대한 합계 안전 인수량과 같은 용량을 설치하므로써 가능 하였다.

이거서 15%의 절약은 사업비 1,400,000파운드 (약 1,444,800,000원)의 절약을 가져왔지만 여기서 투자사업은(Capital Work) 3,000,000파운드(약 3,096,000,000원)의 비용을 더 추가하여 포함 되었다.

이와같은 것을 비교하기 위한 소요시간은 4~5 시간 이면 가능하고 이것은 선택된 단계별 개발에 있어서

<p. 26 에 계속>