

<技術報文>

Rhône 江의 多目的 河川開發事業 (I)

李 元 煥*

<註>

本稿는 筆者가 漢江開發計劃樹立에 있어서의 資料蒐集과 開發實態把握을 目的으로 去年11월에 歐羅巴 河川을 巡回해서 얻어진 一部分을 紹介하는 內容이다. 約 20日間の 旅程으로 4大河川(Seine 江 Rhône 江 Rhine 江 및 Thames 江)의 開發計劃과 實態를 듣고 보았으며 關係河川 當局者들로부터 도움이 될 資料를 相當히 많이 蒐集하여 持參할 수 있었다. 이 가운데 佛蘭西의 Rhône 江 開發計劃이 興味가 있을듯 하여 그 切半을 이에 紹介키로 하고 後半은 다음 號에서 紹介코저 하는 바이다.

<序 言>

스위스 國境과 地中海를 連結하는 Rhône 江의 開發은 1921년 5월 27일의 法令에 의하여 水力發展의 利用 舟運의 改善, 灌溉 및 다른 農業利用에의 開發等の 3가지 機能을 中心으로 하여 開發되도록 規定하고 있다. 이러한 開發計劃은 Rhône formula로 불리우며 水力發展으로부터의 利益으로 全體的인 開發에 必要한 費用을 充當한다. 1934년부터는 CNR(Compagnie Nationale du Rhône)이라는 기관에 위임되어 2次世界大戰 末期까지 大規模의 事業이 수행되었고 현재는 Lyon 市에서 地中海 河口까지의 開發이 完了되었다. 現在 본기관은 Lyon 市의 上流인 Rhône 江 上流部에 對한 開發을 進行하고 있다.

1980년 1월 4일 法令에 의하여 Rhône 江과 Rhine 江을 연결하는 全水路의 運營뿐 아니라 Saône 江과 Rhine 江을 連結하는 大規模 運河의 建設도 展望하도록 그 任務가 擴張되었다. 그림 1.은 Rhône 江 開發計劃의 概要圖를 나타내고 있다.

1. CNR의 機構組織 및 運營

1-1. 歷史的 背景 및 現況

1933년 5월 27일 공공기관으로서 設立된 CNR은 당시 2,400만프랑이던 資本金이 1981년도에는 3,600만프

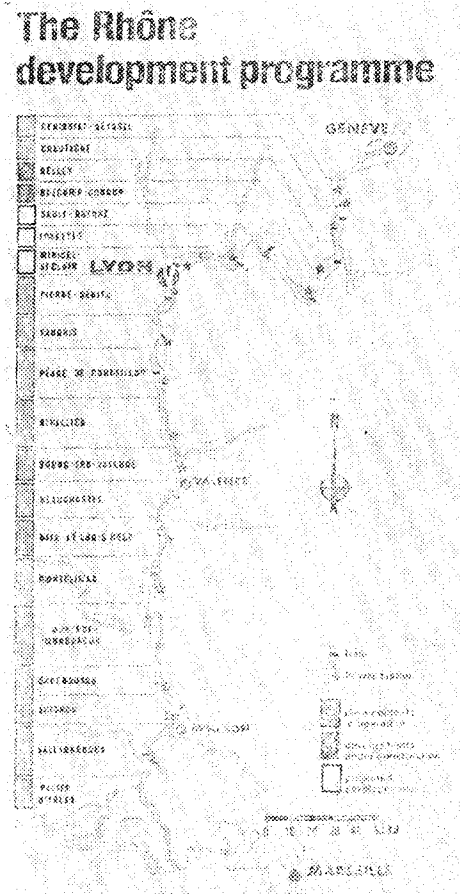


그림 1. Rhône 江 開發計劃

* 延世大 工大 教授 工博

량으로 增資되었다.

創立當時에는 資本金의 半은 公共團體의 所有分이고 나머지 半은 民間團體의 所有分이었으나 1937년 프랑스 鐵道會社가 國有化되고 1946년 電氣 또한 國有化됨으로써 全體 株式所有分 모두가 公營기관에 이관되어 現在는 6개의 主要기관들이 主要 資本主로 나뉘어져 있다.

1-2. 財政狀況

Rhône formula 에 基礎를 둔 1921년도 法令은 Rhône 강 開發에 必要한 資金은 다른 어느 기관의 財政의인 도움을 받지않고, 水力發展所의 運營을 통하여 充當하도록 되어 있었다. 1965년까지는 電氣消費로 인한 資金으로 모든 開發計劃에 必要한 資金이 充當되었는데 Rhône 강 상류부의 Genissat 開發計劃이 그것이다.

1966년부터 1973년까지는 石油값의 계속적인 下落과 大規模 火力發電所에서의 높은 生産性으로 因하여 水力發展에 의한 에너지 供給의 경쟁력어 弱化되었다. 이 時期에는 電氣料金の 收益은 水力發電과 關聯된 分野에만 投資되었고 나머지 費用은 州政府의 분담금에 의존하였다. 1979년 以後에는 1973년 말 부터의 石油값 폭등으로 인하여 水力發電所의 收益性이 增加되어 NCR初期의 財政狀況과 유사하게 되었으며 不足한 資金은 장기용자에 의한 資金으로 충당하고 있다. 또한 1980년 法令은 Saône-Rhine 運河建設에 必要한 費用은 Rhine-Mediterranean 舟運水路計劃에 關心이 있는 各團體의 기부금과 특별예산분담금 및 國家에서 保證하

는 용자에 依存하도록 되어 있다.

1-3. 目的

2次 世界大戰 以後 Rhône 강 開發事業이 本格的으로 始作되었을 때 主要開發目的은 戰後復舊 및 經濟成長에 긴급하게 要求된 電源開發事業이었다.

오늘날에는 水路를 통한 운송의 重要性이 인식되어, Saône 江과 Rhine 江을 연결하는 大規模 運河事業과 Rhine 강과 地中海를 통하여 西유럽지역에 建設되는 舟運水路網이 주요관심사가 되었다. 이제 CNR은 國內뿐 아니라 海外에서도 그 engineering design service 能力을 認定 받고 있다.

2. Rhône 강의 開發現況

2-1. 構造設計

(1) 開發概要

河川은 20km씩 區間을 나누어 開發하였는데 各 區間의 目標은 河川의 河床傾斜를 줄이는 作業과 任意의 區間의 一個 地點에서 上流 및 下流端의 落差를 充分히 두고 發電所와 閘門等의 시설물을 設置하는 것이었다.

河床傾斜를 줄이는 作業은 斷面積을 넓히고 流速을 減少시켜야 하는데 自然河床보다 깊고 넓은 人工貯水池를 건설하거나 大型 方向轉換 運河의 建設 및 河床을 준설했으로써 이루어진다. 이러한 開發計劃은 江의 河口에서 上流地域까지의 各 區間에 對하여 준설했으로써 完結된다. 河川의 流量이 發電所의 使用水量보다

longitudinal profile of the rhône after development

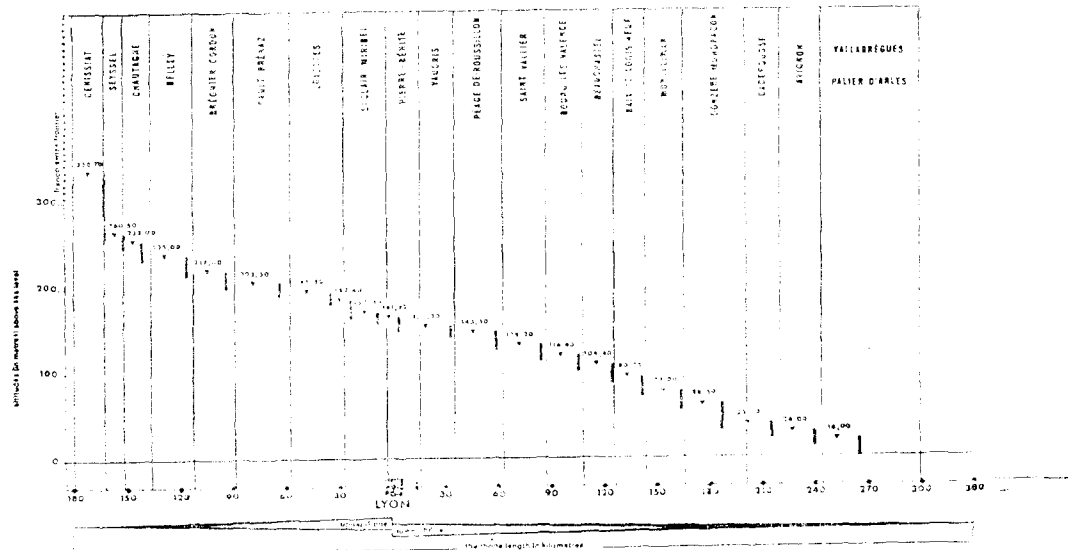


그림 2. 河川開發以後의 Rhône 강의 종단면도

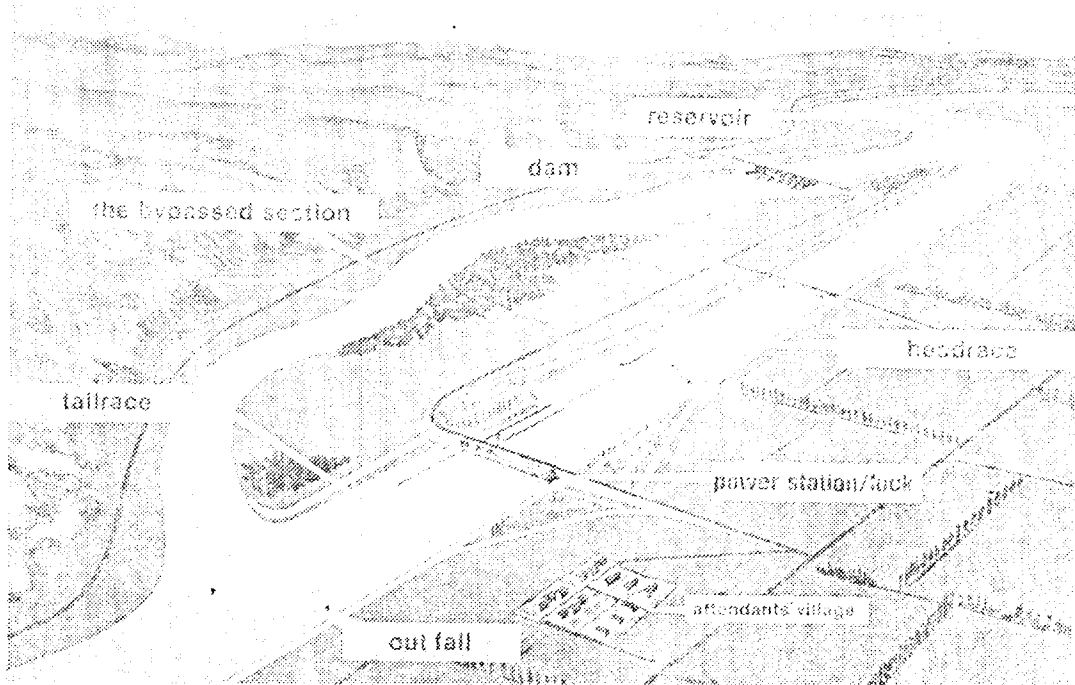


그림 3. 河川開發計劃의 概要圖

작을때에는 最低流量만이 河川의 補助流路(bypassed section)를 통하여 維持되고, 洪水時에는 댐의 水門을 서서히 열게 되면 수문을 통하여 流量이 補助流路로 流出된다. 그림 3은 典型的인 河川開發計劃의 概要圖를 나타내고 있다.

(2) 使用된 技術과 方法

Rhône 강은 모두 저낙차 發電所이고 Genissiat 發電所만이 약 70m의 고낙차를 가졌으며 프랑스 터빈으로 設備되었다. 대부분의 발전소는 낙차 6m에서 26m 사이에 있다. Rhône 강의 감문은 자기 추진력식 화물선 1,500톤급과 예인선 3,000~5,000톤급을 수용할 수 있는데 감문 내에 물을 流出시킬 때 발생하는 교란 작용을 없애도록 水理學的 設計研究를 통한 새로운 시스템을 開發하였다.

Rhône 강 개발공사에 투입된 흙의 量은 약 4억m³이었는데 2차 세계 대전 이후에 개발된 현대 장비의 덕택으로 낮은 단가와 공기 단축을 이룩할 수 있었다. 또한 공사중 계속되는 洪水의 위협과 실트(silt)질 흙의 나쁜 조건, 공사인접지역의 農事에 被害를 주지않도록 지하수 지층을 避하는 등으로 인하여 어려움이 있었다.

2-2. 開發計劃의 特徵

Rhône 강 舟運計劃의 特徵은 20개의 區間으로 나누어 Lyon市상류부를 Upper Rhône의 8개, Lyon市하

류부는 Lower Rhône의 12개로 나누어 開發하였다.

(1) Upper Rhône

Rhône 강 상류에 이미 완료된 계획은 Genissiat, Seyssel, Chautagne 사업이다.

Genissiat 사업은 Rhône 강에서 유일한 高水落差 개발 사업으로서 여기에 콘크리트 重力댐을 세우고 최대 시설용량 400MW를 생산한다. 담수량은 1,200萬m³이고 이 발전소는 일반적으로 尖頭負荷때에만 作働한다.

Seyssel 사업은 Genissiat의 補助物로서 후에 設置된 Genissiat의 댐에서 흘러나오는 流量을 下流部流量의 調節에 크게 寄與할 수 있게 하였다. 또한, 그 後에 하류부에 건설된 Chautagne는 落差 15m로 年間出力 435GWH를 발생한다. 이러한 事業들은 發展으로 인한 利點以外에도 洪水調節, 地下水層 安定, 交通手段, 餘暇善用, Le Bourget 湖水의 安定維持等에 이바지한 것이다.

(2) Lower Rhône

Pierre-Benite 개발 사업은 가장 중요한 계획이고 이것은 Lyon市에 커다란 영향을 미치게 되었다. Lyon市남쪽에까지 舟運이 可能하게 한 광역사업인 Pierre-Bénite는 Rhône 江과 Saône 江 사이의 원활한 舟運을 提供하였다.

Rhône 강 하류의 개발사업은 크게 세가지로 나누어 지는데, 그 자세한 내용은 표 1에 자세히 수록되어 있

MAIN CHARACTERISTICS OF THE RHÔNE DEVELOPMENTS															
Developments	Annual production (GWh)	Rated characteristics (for utilisable discharge)		Number of units F Francis K Kaplan B Bulb units	Development length (km)				Number of power-stations, locks and dams P L D	Commencing year of development under construction or projected development	Earth moving (m ³ × 10 ⁶)	Concrete (m ³ × 10 ⁶)			
		Head (m)	Power (MW)		pool	Head race	Tail race	Total length (km)							
UPPER RHÔNE	GÉNISSIAT - SEYSSSEL	1 820	74.35	440	6 F 13 K	28.0	—	—	28.0	2	—	2	1948-54	1.5	560
	CHAUTAGNE	405	15.00	90	2 B	5.7	5.4	3.1	14.4	1	—	1	1950	8.0	100
	BELLET	440	15.05	90	2 B	5.0	13.0	1.7	19.7	1	—	2	c 1960	10.0	100
	BORGNIER GORDON	310	11.45	74	2 B	11.5	5.0	2.7	19.2	1	—	1	c 1963	8.0	60
	SAULT-BRENAZ	210	7.60	40	2 B	28.0	1.6	1.4	31.0	1	—	1	p 1965	4.0	70
	LOYSETTES	275	8.90	47	2 B	20.2	1.7	2.4	24.3	1	1	1	p 1964	9.0	160
	COUSSET (E.D.F.)	425	12.20	107	16	(4.5)	(15.8)*	(3.0)*	(23.3)*	1	(3)	2	1890	—	—
	MIRIBEL - SAINT-CLAIR	—	—	—	—	26.0	5.0	1.0	32.0	—	2	1	p after 1960	8.0	200
	Total UPPER RHÔNE	3 935	140.3	894	35	124.4	35.7	11.4	171.5	8	3	11	—	48.9	1 620
	LOWER RHÔNE	PIERRE-DÉRITE	525	8.00	81	4 B	4.0	—	—	11.0	1	1	1	1905	20.0
VAUGRIS		335	5.70	72	4 B	19.0	—	0.5	19.5	1	1	1	1950	9.4	100
PIEZ-DE-ROUSSELON		680	12.25	159	4 B	15.7	9.4	1.0	27.0	1	1	1	1937	19.0	440
SAINT-YALLIER		700	9.60	120	4 B	19.5	3.3	0.7	23.5	1	1	1	1971	18.0	470
BOURG-LES-VALENCIS		1 035	10.10	180	6 K	11.1	7.6	2.3	21.0	1	1	2	1959	26.0	570
BEAUCHASTEL		1 210	11.40	192	6 K	11.1	4.4	2.0	17.5	1	1	1	1953	15.0	350
WAIX-LE LOGIS NEUF		1 190	10.10	192	6 K	8.8	7.4	1.8	18.0	1	1	1	1960	20.0	420
MONTÉLIMAR		1 640	15.05	270	6 K	8.6	11.7	1.7	22.0	1	1	1	1957	30.0	670
DONZÈRE-MONDORAGON		2 000	20.70	330	6 K	4.0	17.0	11.0	32.0	1	1	3	1972	12.5	720
CADROUSSE		650	8.30	150	9 B	11.5	2.4	2.1	16.0	1	1	1	1975	30.5	470
AVIGNON	935	9.00	180	6 B	10.6	4.2	5.2	20.0	2	1	2	1973	30.0	450	
VALLABRÈGUES - ARLES	1 235	10.50	210	6 B	18.0	3.0	57.5	78.5	1	2	1	1970-74	60.0	570	
Total LOWER RHÔNE	12 575	131.90	2 174	64	141.9	70.4	97.7	310.0	13	13	16	—	347.4	5 581	
Total UPPER RHÔNE and LOWER RHÔNE	16 510	272.20	3 068	99	266.3	106.1	109.1	481.5	21	16	27	—	399.9	7 201	

(*) The Cousset power plant is located on the side of the Rhône but is not a navigable development, so that the bypassed development lengths and the Cousset locks have not been taken into account.

표 1. 河川開發計劃의 主要特徵

고 그림 4는 Rhône 강의 각지점별, 유량등급별 하천 유량을 나타내고 있다.

2-3. 構造物의 作働과 維持管理

水力發電을 위한 水資源의 合理的인 管理는 國家的인 시스템으로서 다루어져야 하며 分配, 調節을 위한 중앙센터에 의해 相互連絡體制로서 구성되어야 한다.

국가에서는 Rhône 강에 세워진 各種 構造物의 作働과 維持管理權能을 CNR에 일임하였다. CNR은 EDF와 相互協助下에 EDF가 Rhône江에 있는 發電所에 대하여 責任을 맡았고 CNR은 제방, 댐, 갑문, 운하시설등의 구조물의 管理와 維持를 責任지게 되어있다.

이 모든 施設들을 統制하고 管理하기 위하여 自動시스템을 사용하였다.

그리고, 20개 區間別 事業에 대하여 河川의 흐름과 河床의 特性資料를 包含하여 모든 水文資料 모든 構造物에 對한 資料가 Chateauneuf-du-Rhône 발전소에 있는 Hydraulic Center에 수집, 보존되어 있다.

3. Rhône 강의 多目的 計劃으로부터 얻어지는 經濟的 效果

3-1. 에너지

Rhône 강 開發計劃이 수행됨에 따라 CNR의 電力生

產量은 1954년의 3.1 Twh(thousand millionkwh)에서 1979년에는 14.6Twh로 增加되어 프랑스 全體 電力量의 6~7%에 달하고 있다.

1973年度末에 프랑스의 에너지 政策은 에너지의 海外依存度가 큰 石油消費를 줄이기 위한 完全한 再評價를 실시하여 水力發電에 의한 에너지 공급량을 增加시키기 위해 努力하고 있다.

Rhône 강에서 Lyon 市の 下流部의 開發計劃은 完了되었고 現在의 目標은 Lyon 市上流部의 水力開發에 있다. Lower Rhône의 연간 電力生産量은 12.7Twh에 달하는데, 여기에 Genissiat-Seysssel-Chantagne의 電力量 2.2Twh가 追加되어 15.3Twh에 달하며 Upper Rhône의 開發이 完了되면 16.6Twh에 이를 것이다. 1969년 以來 CNR이 프랑스의 全水力發電量에서 차지하는 比率은 20%를 維持하고 있는데 그림 5는 CNR의 年間 電力生産량을 나타내고 있다.

3-2. 舟運

Rhône강에 舟運을 위한 새로운 水路가 開發됨으로서 길이 180~190m, 폭 11.40m인 push-tow가 最小有 効水深 3m를 維持하면서 運航이 可能하게 되었다. 橋梁下部의 有効높이는 7m이나 Lyon과 Fos 간의 일부 구간에서는 6m인 곳도 있으며 流速은 거의가 2m/sec 以下로서 일반적으로는 0.5~1m/sec 이고 改修된 水路

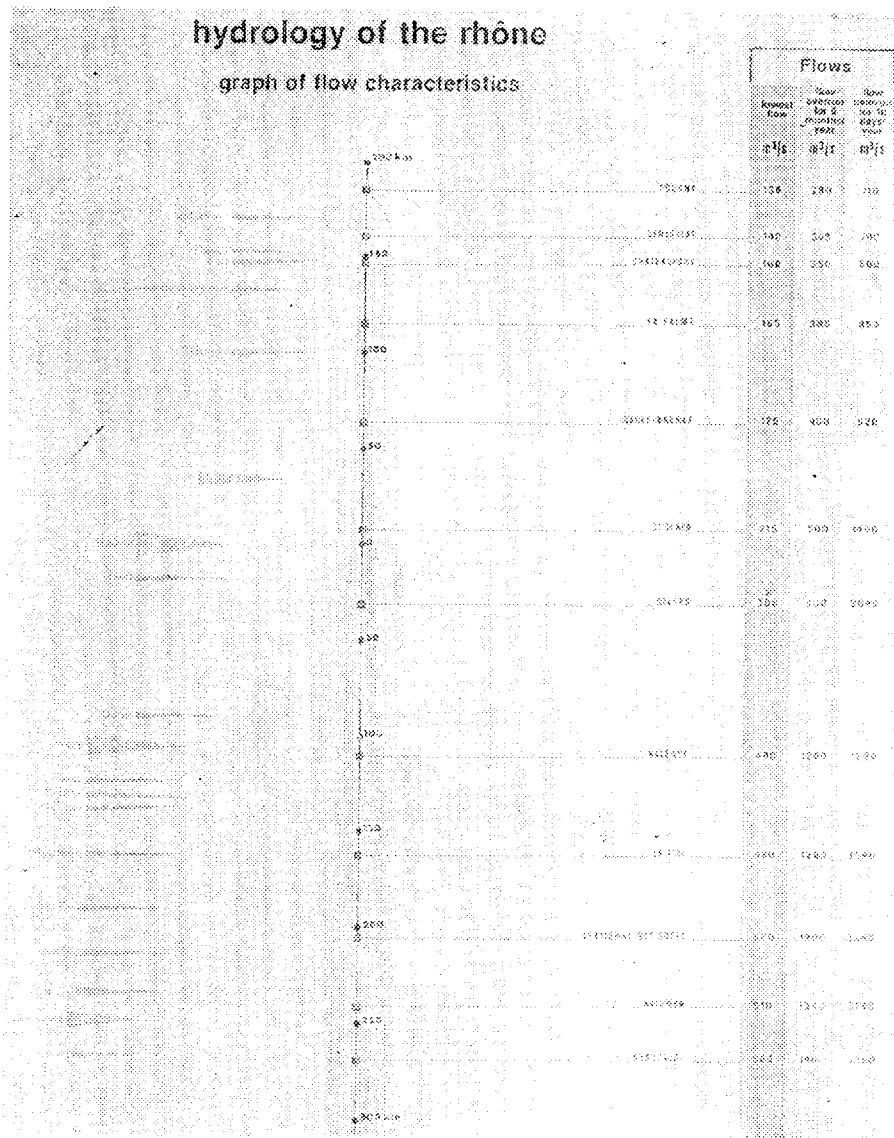


그림 4. Rhone 강의 하천유량도

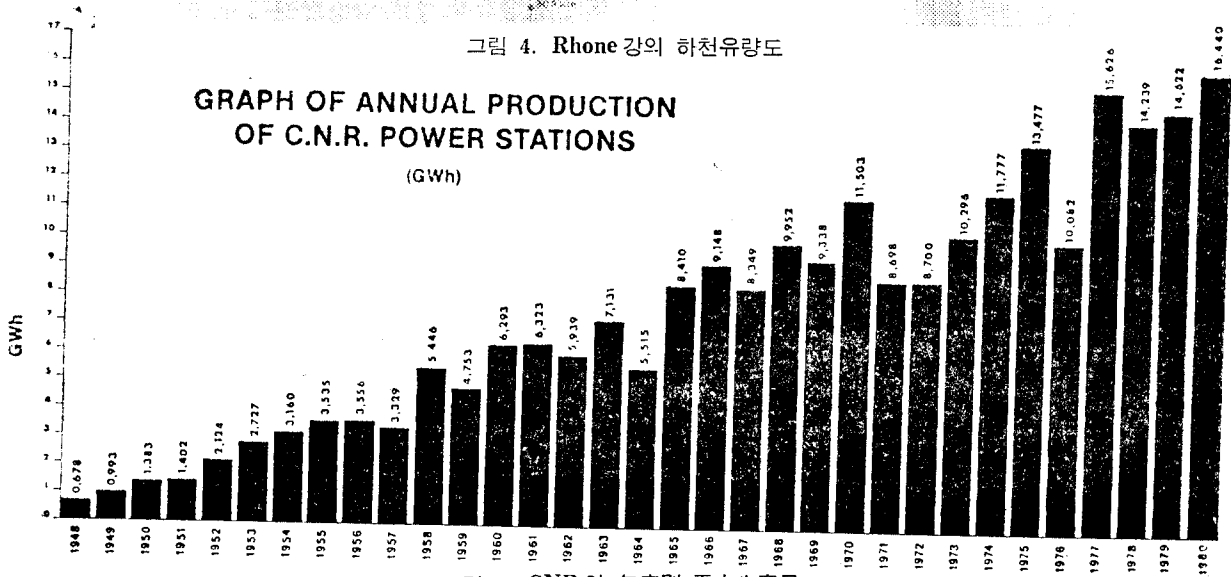


그림 5. CNR의 年度別 電力生産量

는 3,000~5,000ton의 貨物을 push-tow로 운반가능하게 한다.

Rhône 강은 現在 l'Est 운하, Bourgogne 운하, Centre 운하와 같은 小規模 運河와 連結되어 프랑스의 內陸水路網을 이루고 있고 Seine, Rhine, Moselle. 운하와 같은 大規模의 운하와는 연결이 되어 있지 않았으나 Saône 강의 機能을 높이기 위하여 Lyon과 Auxonne를 연결하는 工事が 運行中이며 이 工事が 完了되면 두개의 河川은 프랑스의 中央部를 貫通하는 500km의 水路가 形成되게 될 것이다. Rhône 강 上流部의 開發은 Lyon市 바로 上流部에 두개의 閘門과 댐을 建設함으로써 廣대한 Ain 工業團地에 커다란 도움을 주게 되었고 Rhine-Rhône를 연결하는 水路計劃은 이 地域의

産業開發計劃에 必須的인 先決事項이 되었다. Rhône-Saône 시스템은 Fos와 Sète 항을 연결함으로써 海上交通의 公有領域을 차지하게 되어 地中海沿岸의 主要港口의 直接的인 交流가 可能하게 되었다. 그림 6은 1980년 現在 프랑스의 舟運水路網을 나타내고 있다.

內陸舟運의 開發은 에너지 消費의 節減과 값싼 輸送單價 등의 利點뿐아니라 環境汚染의 問題 또한 줄일 수 있다. 그림의 1928년부터 1980년까지의 Rhône강의 수송량은 1954년에서야 비로소 연간 100만톤에 이르렀고, 그후 1970년도까지 急速한 增加를 보여 350만톤에 이르게 되었다. 또한 1980년 Rhône 강 하류의 마지막 閘門인 Vaugris가 建設됨으로써 Lyon市 하류부는 低流量 條件에서도 現代的인 航海가 可能하게 되었다.

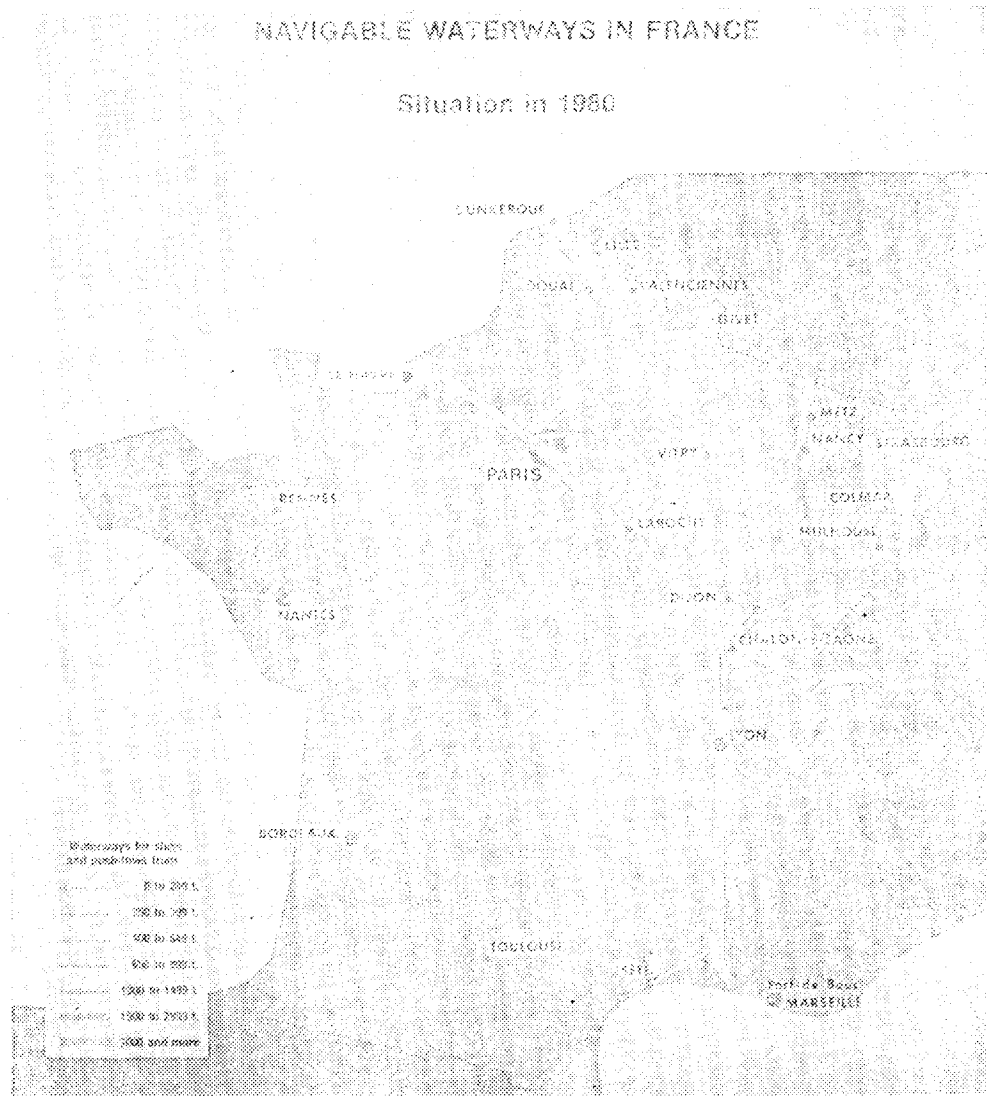


그림 6. 프랑스의 舟運水路網

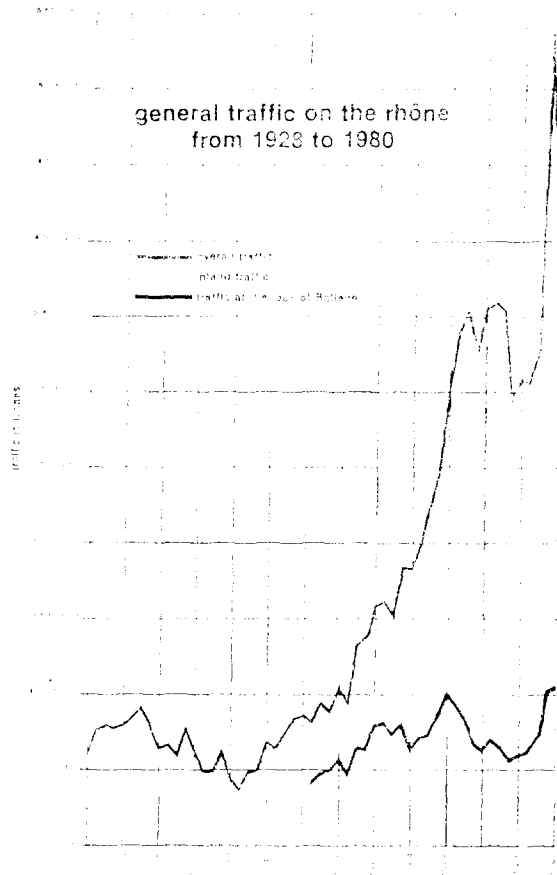


그림 7. Rhone 강의 운수량 추이도

3-3. 農業

Rhône 강 流域은 기름진 平野와 좋은 氣候條件을 가지고 있었으나 河川에 따른 公共開發事業이나 CNR이 施行하는 各種 事業들은 비교적 넓었던 農地面積을 減少시켰다. 流域內의 土地利用計劃은 CNR에 委任되어 다루어 졌으나 小規模地主정책형태가 대부분인 이 지역에서는 많은 어려움이 있었다. 그러나, CNR의 財政的인 지원으로 50,000ha가 再分配되었고 200,000ha가 再分配에 適合하도록 계획정리가 되었다.

洪水調節面에서 살펴보면, 開發以前에 42,350ha에 이르던 被害面積이 開發後에는 41,220ha의 면적의 部分 또는 全體의으로 洪水에 對한 對備策이 樹立되었다.

農業開發에 必要한 灌溉의 기능은 CNR의 개발계획에 의하여 灌溉에 필요한 175m³/sec의 流量이 恒시 공급되고 있으며 地下水位의 유지를 위하여 人工注入方法이 1,200ha에 달하는 지역에서 수행되었다.

3-4. 都市計劃 및 環境

河川開發事業에서는 各種 道路의 擴張이나 橋梁工事 등이 並行하여 수행되는데 Rhône 강 流域에는 200km의 새로운 道路가 建設되었고, 수개의 橋梁이 신설되거나 擴張改造되었다. 都市地域에서는 배수작업이 수행되어 도시민들에게 都市下水網 및 廢水處理場 建設에 必須的인 下水管渠가 저렴한 비용으로 제공되었는데 Lyon, Vienne, Condrieu, Saint-Vallier, Tournon, Avignon 등이 그 代表的인 都市들이다. 한편, 댐과 堤防等地區에 大規模의 식수작업과 관되를 임히는데 노력을 기울여 數年後에는 自然的인 草地가 再形成되고, 아름다운 風景이 提供되었다.

環境保護面에서는 새로운 生態學的 平衡과 좋은 種子의 保存에 努力을 기울이고 있다. 그 예로 댐과 發電所 등에서 어류가 移動할 수 있는 通路를 建設時에 考慮한다면지, Rhône 강 주변에 側流排水路를 造成하여 낚시 하기에 좋은 새로운 場所를 提供하고 있다.

3-5. 技術的 進步

Lyon市 하류부 Rhône 강은 1974년 이래 계속적으로 建設事業이 進行되어 왔고, 그 결과 多目的 河川開發計劃을 비롯한 엔지니어링 部門에서 많은 진보를 보였다 土木工學的 面에서 살펴보면 Rhône 강 개발을 위한 設計·計劃이 進行되는 동안 새로운 構造設計方法들이 開發되었고 또한 在來의 技法들은 실제로 많은 진보를 보게 되었다. 예를 들어, 閘門이나 댐의 建設, 地下水位의 調節, 洪水追跡 計算方法 등에 있어 많은 광목할 만한 약진을 보였다.

CNR의 人員은 500餘名の 技術者와 技能人을 包含하여 800餘名에 이르는데 그들이 保有하고 있는 經驗은 水力發電, 灌溉, 洪水調節 舟運, 環境保存 등의 廣範圍한 多目的 河川開發計劃과 關聯된 分野의 자문에 커다란 도움이 되고 있다. 예를 들어, CNR은 實際的인 設計뿐만 아니라 工事監督, 監理에 이르기까지 綜合的인 河川開發計劃을 行할 수 있어 最近에는 유럽, 아프리카, 아시아 등지의 여러 국가에서 國際間的 協力を 더욱 增進시키고 있다.

(다음호에 계속)