

메콩강하구의 홍수조절

A study on the flood control of the Mekong Delta

최병섭(한국수자원공사)

Choi, Byoung Seub

Abstract

Flood control of the Mekong delta should be developed over time for rural as well as urban areas. The hydraulic modelling effort is aimed at investigating flow distribution and water level. For the flood control study the flood model made with the VRSAP program is used. Concerning future improvement of the models it is recommended to improve the quality of water level and discharge, extend the number of the measuring locations needed for input for the models, systematically review and analyze future measurement campaigns in order to obtain better understanding of the complex hydraulic aspects, verify and update the topographical data used to model the rivers and canals, carry out detailed calibration and verification of the models on water levels, discharges etc.

I. 序論

메콩강은 길이 4,800KM (약1만 2,000리)로 세계11위, 유역면적 79만 5,000km²로 세계23위, 연평균 유출량 4,750억 m³로 세계10위에 이르며 중국(남부), 태국, 베트남, 라오스, 캄보디아, 미얀마등 6개국에 걸친 국제 하천으로서, 발원지를 출발한 메콩강은 약160km에 걸쳐 미얀마와 라오스의 국경선(강폭 약 400m)을 이룬후 양국접경의 저지대로 흘러 태국과 함께 3개국의 국경을 이루는 “황금의 삼각지대”부근을 분기점으로 하여 지정학상 상류와 하류로 분리된다. 메콩강의 연평균 유출량은 4,750억 m³으로서 상류지역인 중국 운남성 및 미얀마 지역 (전체 유역 면적의 24%점유)에서의 유출량이 전체의 18%를 차지하고 있는 것으로 추산되며, 메콩강 하류지역의 유출량은 강우패턴의 영향을 크게받아 하천의 수위는 몬순기로 접어드는 5월부터 6월까지 상승하기 시작하여 8-9월에, 하류쪽에서는 9-10월에서는 각각 최고수위를 기록한다. 그후 12월에 급속히 감소하여 건기의 수위는 낮고, 우기가 시작되기 직전인 4월말경에 최저수위를 기록하며 홍수기의 평균유속은 1.5-2.0m/s 이고 하류지역의 시점부터 하구까지 흐르는데는 2개월이 소요된다. 메콩델타에서의 홍수는 주로 (1)베트남 중부에 위치한 열대성 저기압이나 태풍에 의해 베트남, 라오스, 캄보디아, 태국북동부지역에서 생성된 강한 호우, 혹은(2) 남서몬순의 강한 활동에 의해 캄보디아 북동부나 베트남 고지대에 호우영향으로 메콩강 상류유역에서 호우성 강우에 의해 주로 발생한다. 메콩하구에서 지역적인 강우는 단지 침수심도와 기간을 부분적으로 증가시킨다. 홍수에 관해 메콩델타는 3지역으로 구분된다.

■메콩강(Mekong River)좌안지역 : 평균표고 0.8-1.0m이며, 지형적으로 평지로서 북서에서 남동쪽으로 경사진지형이다.

■메콩강과 바삭강(Bassac River) 사이 :중심부는 표고 0.7-1.0m이며, 메콩강과 바삭강 주위에는 2-2.5m 지역도 있다.

■바삭강 우안지역 : 평균표고 0.8-1.0m, 바삭강주변 최대표고는 1.2-1.6m이며, 태국만 연안을 따라서 최소표고 0.2-0.6m이다.지형적으로는 북쪽의 몇몇 떨어진 지역을 제외하고는 평지이다.

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

홍수는 탄 차우(Tan Chau)지점수위에 따라 대규모(4.5m이상), 중규모(4-4.5m) 및 소규모(4m이하)로 분류한다. 본 연구에서는 메콩델타에서 발생한 1991년 홍수에 대해분석하고 이에 따라 이루어진 홍수조절계획에 대해 소개하고 향후 메콩강 홍수조절계획수립시에 필요한 사항을 건의코자한다.

II. 수리학적 모델링

가. 개요

메콩델타지역에서 홍수조절계획안의 수립목적은 농업생산성 향상에 가장적합한 이지역을 홍수로 보호하는데 있다. 홍수조절 대책을 구체화하고 수치모형하기 위해 수학적모형인 VRSAP이 사용되어졌다. 이 모형에는 크라티에(Kratie)와 톤레삽호(Tonle Sap Great Lake)까지의 캄보디아 부분도 포함되어졌다. VRSAP모형은 개수로에서 1차원 흐름과 염분침입을 수치모형하기 위해 만들어졌다. 이프로그램은 1차원 Saint-Venant방정식을 푸는 구조를

기본으로 하고 있다. 흐름 방정식은 Pressimann four point implicit 유한차분법을 해석하는 것으로 되어 있다. 염분 침입을 나타내기위해 이류-확산을 해석하기 위해 6-point 유한차분법이 사용되어졌다. 이모형은 홍수조절구조물, 홍수터에서의 강우와 수로체계, 배수, 관개용수의 요구량등을 수치모형할수 있다. 흐름에 대한 경제조건은 유량 혹은 수위로서 나내내어질수 있으며, 구조 요소는 다음과 같다.

■절편요소 : 횡단면이 정해진 하천이나 수로의 한부분으로서 이런절편은 서로연결되어 지류를 형성하고, 3개이상인 한지점에서 연결되어 접합점을 형성한다. 그리고 절편의 각지점에서 수위, 유량, 염도가 계산되어진다. 횡단면은 서로다른 조도를 가진 수로와 수로인접 평원으로의 흐름에 대해 두 부분으로 구분될수 있다.절편에서 1차원 Saint-Venant방정식이 해석된다.

■구조물: 댐, 수문, 웨어, 기타 구조물등이 웨어형식흐름으로 한계류 혹은 상류흐름으로 해석된다.

■저류지 : 저류지는 절편과 절점에 개방되어 연결된 “개방저류지(Open Plains)”와 암거, 수문등과 같은 구조물을 경유하여 절편과 절점에 연결된 “폐쇄저류지(Closed Plains)” 두가지형태가있으며 둘다 측면저류만을 허용한다.

나. 강우

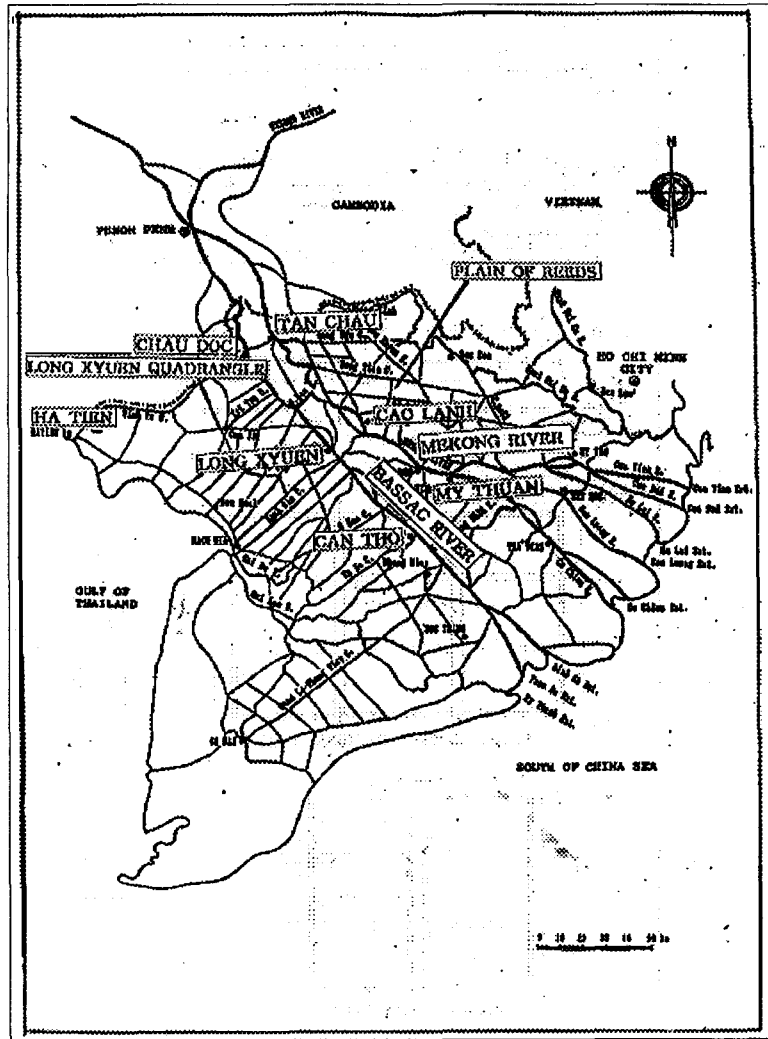


Fig1. Mekong Delta Location Map

강우는 시계열로 주어진 관측점으로부터 주어진 저류지 혹은 절편에서 강우량을 (mm)을 사용한다. 모형에서 강우는 저류지 혹은 절편에 각각 계산 시간 단계마다 더해진다. 저류지 형태에 따라 강우는 수로에서 자연배수되거나 강제펌프배수될 수 있다.

다.유량

홍수터 위로의 흐름, 육상으로의 흐름등으로, 실제는 2차원 형식의 흐름이지만은 그림2에 나타난것과 같이 아래의 4가지 방법에 따라 1차원모형으로서 도식화 될 수있다.

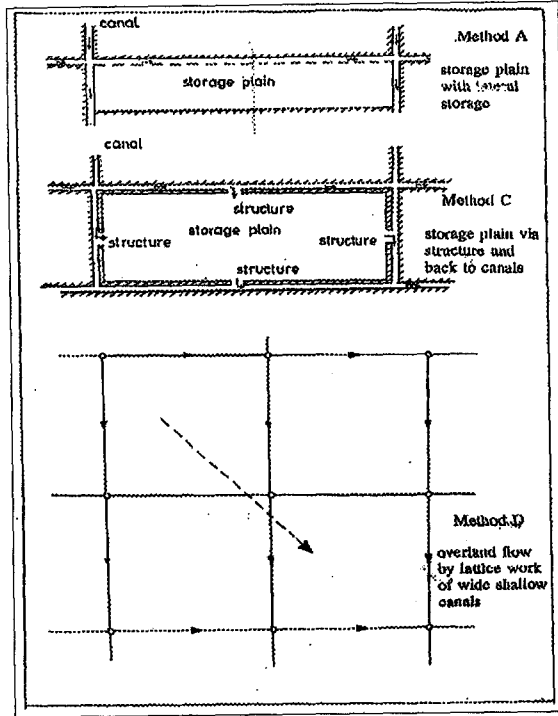


Fig2. Types of plain storage and overland flow

방법 A. 홍수터와 하천/수로체계는 하천/수로망이나 “개방저류지”에 의해 대표되어진다. 저류지는 하천 및 수로의 계산절편이나 절점에 직접 연결되어 있으므로 수로와 저류지사이에는 수위차 없이 직접적인 측면저류가 수치모형된다.

방법B : 홍수터와 하천/수로체계는 하천/수로망이나 “폐쇄저류지”에 의해 대표되어진다. 저류지는 하천/수로의 계산절편이나 절점에 웨이퍼형식으로 연결되어 있으므로 하천/수로에서 인접 저류지로는 암거나 수문을 경유하여 측면저류가 수치 계산된다. 이런방법으로 저류는 직접 수로에 연결되어 있지않은 것으로 해석된다.

방법C : 개방저류지에서 홍수터는 둘이상의 구조물을 경유하여 하천/수로에 연결되어 있다. 이러한 구조물들은 암거나 횡단교량 혹은 월류제방 (방법B와 같은)과 같은것들이다. 개방저류지는 이런종류의 구조물이 둘이상 마주치는 절점에 위치하고 있다. 이런 형식으로 홍수터의 수로로부터 하나이상의 수로까지의 육상으로의 흐름은 수치 모형될 수 있다. 단지 측면저류를 허용하는 방법B

와는 이런점에서 다르다.

방법D : 육상으로의 흐름은 실제적인 폭넓고 얇은 수로나 수로에 직각이 아닌 육상으로의 흐름을 나타내는 가상 수로의 격자망에 의해 수치모형될 수 있다. 홍수터아래의 높이에서 조그만 횡단면적과 별개로 수로횡단면의 주요부분은 폭넓은 홍수터를 나타낸다. 가상수로로서 수로망에 직각이 아닌 육상흐름은 수치모형될 수 있다. 이런형태의 모델링은 1차수로가 조밀하지 않은 지역이나, 관측된 육상흐름이 실제의 수로망과 직각이 아닌 육상흐름에서 적용된다. 이러한 수치모형으로 홍수조절대책이 해석될 수 있다.

■완전 홍수보호대책에 있어서는 방법A과 D를 사용하여 모든저류지와 인접저류지에서 흐름을 제외한다. 방법B와 C을 사용하여 암거, 월류도로등과 같은 구조물을 폐쇄 시킴으로서완전홍수보호대책이 수치모형될 수 있다.

■조절된 홍수, 즉 어떤수위에 도달한후에 홍수를 허용하는 홍수, 는 방법B와 C으로써 수치모형될 수 있으며 조절된 홍수가 허용되는 수위에서 구조물의 바닥표고를 취함으로서 수치해석할 수 있다. 홍수보호된 지역에 떨어지는 강우는 강제 펌프배수되거나 혹은 수로에 자연배수되는 것으로 수치모형될 수 있다.

III.홍수조절계획

가. 1991년 홍수

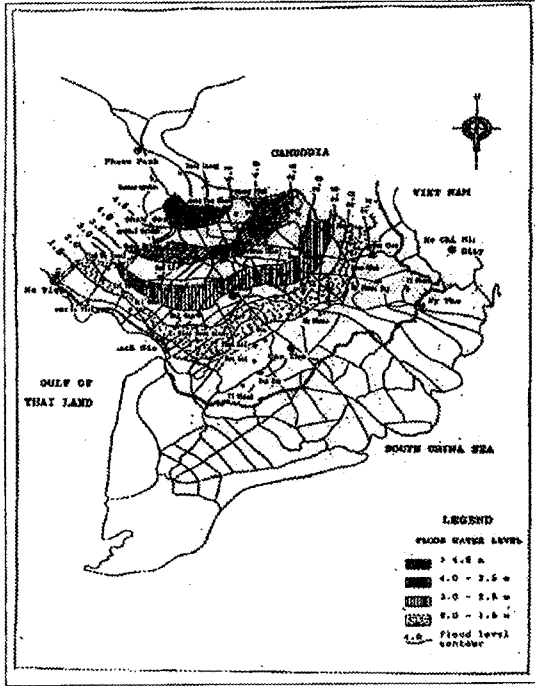


Fig3. REF case 10% Flood Calculated
Water Levels on Sep.18 at 24HR

나. 홍수조절계획안

수학적모형인 VRSAP모형을 사용하여 단기, 중기 및 장기에 필요한 홍수보호대책의 수준을 구체화 하는데 있으며, 3가지구조물적인 대안이 제시되었다.

■홍수조절 2단계 혹은 부수적인 수준(Secondary or Water Control Unit II)에서 보호대책 : 이 경우에는 2차 수로를 따라 제방을 홍수위보다 높게 증고 시키는 것이다. 3차수로는 출입구조물로서 폐쇄되어진다. 이것은 조그만 수문 혹은 스톱로그를 갖춘 배수로 형식의 단순 구조물이 될 수있다. 수위는 1차 및 2차 수로에서 높은 상태로 유지될 것이다.

■홍수조절 1단계 수준(Primary or Water control Unit I)에서 보호대책 : 이 경우에는 1차 수로를 따라 제방을 홍수위보다 높게 증고 시키는 것이다. 이것은 갑문과 같은 커다란 구조물로 2차수로는 폐쇄되어진다. 수위는 1차 홍수위로 유지될 것이다.

■지역적수준(Regional level)에서 보호대책: 이 경우에는 메콩본류 연결점에서 1차 수로는 폐쇄될 것이다. 이러한 지류를 따라 자연제방은 거의 홍수위수준이 될것이며, 도로를 위해 장치 더높게 증고 되어야 한다. 1차수로에서 홍수조절 구조물은 더욱더 크고, 건설, 운영 및 유지하기 복잡할 것이다. 홍수위는 단지 메콩본류에서 발생할 것이다.

VRSAP모델에서 이러한 구조물에 대한 대안들이 도식화 되어진다.

■2차수준에서 홍수보호대책은 저류지로부터 한방향으로 흐름을 제한함으로써 도식화 될 수 있다.단지 강우에 의한 평지에서의 수위가 인접수로에서의 수위보다 높은경우에 흐름은 평지에서 수로로 수치해석 되어 질수 있다.이것은 홍수기 말에 발생하는 중력배수는 시뮬레이션 될 수 있지만 강제펌프 배수는 무시된다는 것을 의미한다.

■1차수준 및 지역수준에서 홍수보호대책은 기준안처럼 수로를 도식화 하여 남겨두고 수많은 절편을 통한 흐름을 폐쇄시킴으로 도식화되어진다. 어떠한 흐름도 이러한 절편을 통과 할수 없지만은 홍수보호지역에서 하류측의 절편은 개방되어 있고 이러한 지역에서의 배수는 바다로 될 것이다. 넓은 지역에서 수

메콩델타에서 1991년 홍수는 2개의 침투홍수가 일한달간격으로 발생했다. 침투유량은 표1에서와 같이델타 상류부에서 1차가 2차보다 높았으며, 델타 하류부는 그반대현상이 발생했다. 1991년도홍수에 대해 VRSAP모형을 시뮬레이션 한 결과 1991년 7월 11일부터 12월 12일 까지 883개의 절편과 248개의 저류지로서 홍수를 시뮬레이션 하여 홍수위를 계산했다. 그결과 홍수류의 최대피크는 9월 18일 24시에 발생했으며, 그당시의 홍수위가 그림3에 나타나 있다. 이결과는 홍수조절대책효과를 산정하는데 기준안(reference case:REF)의 역할을 할 것이다.

표1. 1991년 홍수기록 (단위 : m)

지 점	하 천	1차 피크		2차 피크	
		Hmax	Date	Hmax	Date
Tan Chau	Mekong	4.80	'91.9.13	4.50	'91.10.12
Chau Doc	Bassac	4.31	9.15	4.03	10.13
Cao Lanh	Mekong	2.23	9.25	2.37	10.25
LongXyuen	Bassac	2.31	9.18	2.57	10.26
Vinh Long	Mekong	1.82	9.24	1.97	10.25
Can Tho	Bassac	1.81	9.26	1.98	10.26

로는 1차수준에서 하구조위의 영향하에 있을 것이며, 그렇지 않으면 하류의 지류로 되들어갈 것이다. 단기 및 중기에서 요구되는 홍수보호대책의 수준은 완전보호대책(Full Protection), 부분적 보호대책(Controlled Flooding Protection) 및 어떤지역에 있어서 보호되지않은 상태(No protection)의 혼합에 의해 이루어진다. 단기, 중기 및 장기 홍수조절 요구조건과 3가지 구조적대안을 혼합하여 표2에서와 같이 6개의 홍수조절계획안이 수립되어진다. (단기대책에서 1차적 및 지역적인 대책은 서로 합침) 표3은 각홍수조절계획안에 대해 수치모형결과로서 메콩강과 바삭강 각 대응하는 지점에서의 수위를 계산했으며, 그림4는 홍수조절계획안에 대한 홍수위를 그래프로 나타낸 것이다. 여기서, 추가적인 홍수조절계획안인 NRE, REF7, REF&+0.3은 각각 4%초과 확률홍수, 침투홍수량을 크라티에에서 7일간 이동한 경우, 하구에서 해수면 상승 0.3m를 고려할경우이다.

표2.홍수조절 계획안의 분류

그룹	홍수조절 계획	정의
그룹1 : 단기 및 중기 홍수보호 대책 (2차수준)	CFA3	2차수준에서 완전보호시설을 갖춘 부분적홍수조절(Controlled flooding)
그룹2 : 단기 및 중기 홍수보호대책 (1차/지역수준)	CFK3	1차/지역수준에서 완전보호시설을 갖춘 부분적홍수조절(Controlled flooding)
	CFKQ	1차/지역수준에서 완전보호시설을 갖춘 점진적 홍수조절(Gradual flooding)
	CFL3	확대수로를 갖춘 기본적수준에서 완전보호시설을 갖춘 점진적 홍수조절(Gradual flooding)
	CFL4	확대수로를 갖춘 기본적수준에서 완전보호시설을 갖춘 확장된 점진적 홍수조절(Gradual flooding)
그룹3 : 장기대책 (2차수준)	FPA	2차 수준에서 완전보호대책
	FPC	홍수경감수로(By-pass) 를 갖춘 2차수준에서 완전보호대책
	FPD	통슈이엔 서부지역을 제외한 2차수준에서 완전보호대책
	FPE	전환수로를 갖춘 2차수준에서 완전보호대책
그룹4 : 장기 대책 (1차수준)	FPL	통슈이엔 서부지역 및 갈대평원 북서지역을 제외한 2차수준에서 완전보호대책
	K1	지역1에 대한 지역수준에서 완전보호대책 (참조 :각지역은 그림1 Cao Lanh, Cam Tho, My Thuan, Long Xyuen 지역부근임)
	K3	지역3에 대한 지역수준에서 완전보호대책
	K5	계획 K1 및 K2와 지역2에 대한 지역수준에서 완전보호대책
	K6	계획 K5와 지역4에 대한 지역수준에서 완전보호대책
	K7	계획 K5와 지역5에 대한 지역수준에서 완전보호대책
	K8	계획 K5와 지역5, 6에 대한 지역수준에서 완전보호대책
그룹5 : 장기대책 (지역수준)	K9	계획 K5와 비보호지역에서 새로운 확대된 기본수로를 갖춘 지역5, 6에 대한 지역수준에서 완전보호대책
	FPP	캄보디아를 포함한 지역수준에서 완전보호대책
	FPT	바삭강과 메콩강 사이지역을 제외한 지역수준에서 완전보호대책
	FPZ	새로운 전환수로를 포함한 지역수준에서 완전보호대책
	FPN	통슈이엔과 갈대평원지역을 제외한 지역수준에서 완전보호대책
FPM2	통슈이엔과 갈대평원지역을 제외하고 홍수경감수로를 포함한 지역수준에서 완전보호대책	

표3.최고수위(10%초과확률)

홍수조절 계획안	Tan Chau	Chau Doc	Cao Lanh	Long Xyuen	My Thuan	Can Tho
REF	4.92	4.45	2.49	2.63	2.14	1.87
CFA3	4.93	4.44	2.60	2.69	2.24	1.89
CFK3	4.94	4.44	2.64	2.69	2.25	1.89
CFKQ	4.92	4.41	2.64	2.69	2.25	1.89
CFL3	4.92	4.40	2.52	2.69	2.16	1.89
CFL4	4.94	4.47	2.52	2.69	2.16	1.89
FPA	5.45	4.92	2.68	3.06	2.26	2.15
FPC	5.32	5.22	2.66	3.08	2.25	2.15
FPD	5.28	4.60	2.60	2.83	2.21	1.90
FPE	4.87	4.36	2.48	2.78	2.17	2.13
FPL	5.17	4.64	2.72	2.95	2.29	2.15
K1	4.93	4.46	2.50	2.69	2.14	1.91
K3	4.92	4.45	2.51	2.63	2.19	1.87
K5	4.94	4.47	2.62	2.68	2.24	1.91
K6	4.94	4.47	2.62	2.69	2.25	1.91
K7	4.94	4.47	2.62	2.71	2.25	1.91
K8	4.96	4.50	2.63	2.75	2.25	1.91
K9	4.99	4.62	2.66	2.81	2.26	1.92
FPP	5.75	5.50	2.56	3.22	2.16	1.95
FPT	5.30	4.88	2.52	3.00	2.15	1.95
FPZ	5.07	4.68	2.49	2.87	2.12	1.90
FPN	5.19	4.78	2.59	2.95	2.17	1.93
FPM2	5.06	4.75	2.53	2.90	2.15	1.91
NRE	5.13	4.72	2.55	2.75	2.17	1.88
REF7	4.92	4.45	2.51	2.66	2.15	1.87
REF+0.3	4.95	4.50	2.65	2.77	2.38	2.12

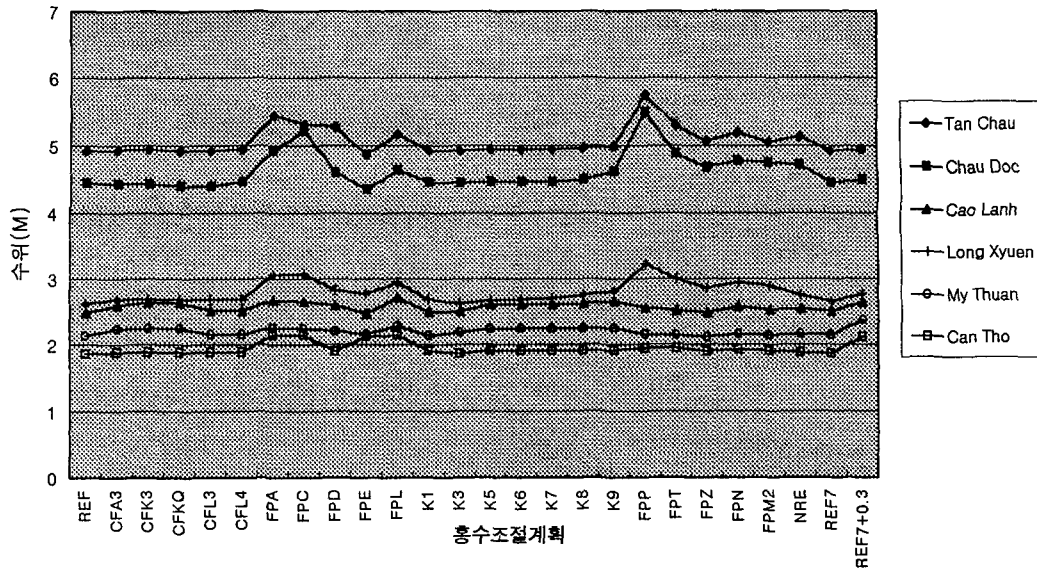


Fig3. Flood Water Level Modelled in Flood Control Scenarios

IV. 결과 및 건의

본 연구는 향후 메콩델타홍수조절계획 사업 수행을 위한 과거 자료 조사분석 차원에서 수행하였다. 이에 따라 1991년 메콩델타에서 발생한 홍수해석과 당시 수립된 홍수조절계획안에 대해 소개하였다. 그러나 캄보디아지역의 자료부족과 메콩델타현지의 조사측정자료의 부족으로 수립된 홍수조절계획안에 대해 구체적 검토와 검증이 어려운 실정이다. 따라서 장래메콩델타의 개발과 수치모델의 개선을 위해 아래사항이 건의된다. 조사측정의 질 향상 및 조사측정 지점의 확충 필요하며, 복잡한 수리학적에 대한 이해를 높이기 위해서는 체계적인 검토와 분석이 필요, 강과 수로의 모델에 사용된 지형학적 자료의 검증과 업데이트, 제방, 도로 배수구, 횡단 교량등에 대해 가장 정확하고 최신의 정보를 고려한 침수지역에 대한 수위, 유량에 대한 홍수위 모델의 세부적 검증과 캄보디아 지역의 보정, 가장 최근의 홍수 측정자료로서 모델의 검증이 필요하다.

참고문헌

1. Nguyen Nhu Khue., "Some Fundamental characteristics of the Mekong Delta Water way system during the dry session" SIWRPM, Ho Chi Minh city, Viet Nam, 1992.
2. Government of VietNam/World Bank/MRCS/UNDP, "Mekong Delta Master Plan", 1993
3. Government of Viet Nam, "Mekong Delta Master Plan(vie/87/031)-Thematic study on management of water resources", Vol.2, Flood control, Vol. 4. Hydraulic Modeling, 1993