제12장 홍수예경보

박영일

12.1 홍수예보의 필요성

우리나라는 기상학적인 강우특성, 지형구조와 지질구성 등의 측면에서 이·치수상으로 극히 불리한 자연적인 조건을 갖추고 있고 인문상으로도 좁은 국토에 많은 인구를 수용해야하는 결과 토지이용의 고도화와 그간의 경제발전과 산업구조의 다양화로 인하여 피해의 대형화, 다원화를 가져올 수 밖에 없는 취약점을 가지고 있고 이러한 여건에 맞는 이·치수사업의 부진은 해마다 많은 홍수피해를 일으켜 과거 10년간(1986~1995)연평균 인명소실과 재산피해는 각각 246명과 4,647억이 되며 이 피해로 인한 생활의 불편, 제반 업무의 지장을 가져오는 간접 피해까지 포함한다면 실질적인 국가의 경제적 손실은 이보다 훨씬 많을 것이다. 치수사업은 국가의 경제상황과 국민의식 등을 기본으로 이루어지는 사업으로써 하천제방의 높이, 내,배수처리시설, 댐규모 등을 결정할때 타당한 재현기간을 설정하여 이루어지므로 절대적인 안전성은 기대할 수 없는 현실적 문제때문에 홍수피해는 일어나게 마련인 것이다. 이러한 홍수의 피해를 소프트웨어(software)적으로 피해를 경감시키는 방법의 하나로서 등장하는 것이 홍수예보이다.

홍수예보의 효과는 직접적으로는 귀중한 인명과 재산의 피해감소를 들수 있고 간접적으로는 홍수발생시 홍수예측 기능에 의한 민심의 안정을 도모하는 효과를 볼 수 있다. 홍수피해의 경감은 우리나라에서는 측정된 바 없으나 미국의 예를들면 단순한 홍수예보에 의해 피해액의 약 10%를 줄일 수 있고 댐군의 적정한 운용을 겸하면 피해액의 약 30%를 줄일 수 있다고 한다.

12.2 근대적 홍수예경보

12.2.1 1920년대의 홍수예보

앞에서 말한 홍수예보의 필요성과 현재의 홍수예보를 다소간 깊이있게 이해하기 위해서는 홍수예보의 발자취를 더듬어 보는 것이 필요하다고 생각되어 이에 대하여 개략적으로 기술하여 보면 세계에서 홍수예보를 가장 먼저 실시한 사례는 프랑스의 M.Belgrand가 세느(Seine)강에 1876년에 Pari Austerlitz수위표의 수위를 3일전에 예보하여 1㎝의 오차를 가져왔던 것이 홍수예보의 효시이다.

우리나라에서는 1413년 5월에 큰비가 내리므로 한성부에 명하여 천변 민가를 순찰케하고 수몰 인가가 없도록 하였다는 기록이 있으나 홍수예보 보다는 재해대책의 일환으로 봄이 타당할 것이다.

그 후 제일 처음으로 홍수예보를 시도한 강은 대동강으로서 1911년 평양 시가의 방·배수사업 착수와 동시에 홍수를 미리 알아둘 필요가 있어 대동강 상류지역인 덕천, 순천, 성천 등에 수위표를 설치하여 홍수가 일어날 경우 일정수위 이상이 되면 수위가 30㎝ 상승할 때마다 전보로서 평양에 통보하여 평양의 홍수를 예측코저 하였으나 당시에는 홍수전파시간, 수위상관 등이 연구되지 않은 불완전한 상태였다. 실질적으로 제일 먼저 홍수예보 체제를 갖춘 것은 한강으로서 1920년 우리나라 중부 이남지방에 대홍수가 일어나 한강에 예상외의 수위가 올라가 한강연안에 막대한 수해를 입었고 당시 우리나라 철도의 중추인 용산역이 침수되어 화물 등의 막대한 피해를 보게 되어 홍수예보의 필요성이 제창되어 당시의 철도, 경찰, 토목 등 실무자가 협의하여 서울까지의 홍수도달에 약 12시간이 걸리는 남한강의 여주(12시간), 북한강의 가평(11.6시간), 두지점의 수위표에 나타나는 수위를 매 3시간마다 전보 통보하여 홍수예보를 할 수 있도록 하였다. 그러나, 1925년 홍수에는 불행히도 아주 높은 수위로 올라갔을때 통신망이 파괴되어 일시 상류의 수위보고를 받지 못하여 예상수위를 계산하지 못하였고, 그후에 통신망을 개량하여 이때부터 한강의 홍수예보는 서울시에 꼭 필요한 사항으로 되었다. 그후 대동강은 1923년의 홍수로 인하여 1927년부터, 낙동강은 1935년 대홍수에 따라 1936년부터 홍수예보를 실시하게 되었던 것이다.

한강의 홍수예보 방법은 2가지로 구분하여 할 수 있었는데 경험식과 이론식으로 구분된다. 즉, 여주 및 가평과 인도교와의 수위관계는 기왕의 홍수관측기록에 나타난 수위관계 자료를 기초로 하여 1917년부터 이를 규명하기 시작하여 몇번의 수정을 거친후 비교적정확하다고 할 수 있는 결과를 얻어 이를 도표화 하였는데 가평을 횡축, 여주를 종축으로

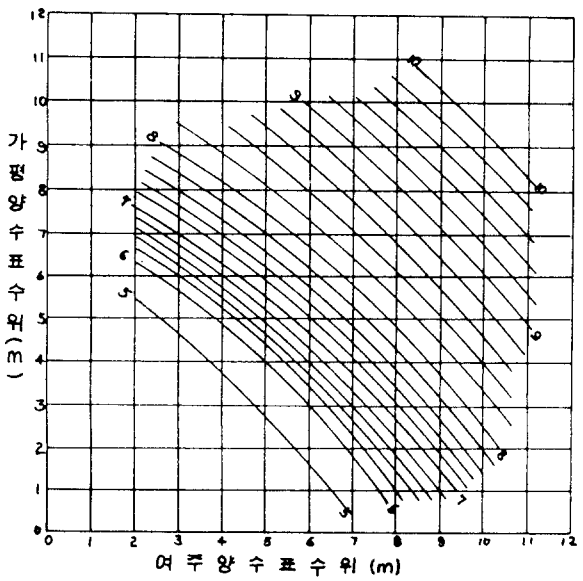

그림 12.1 여주와 가평수위에 의한 인도교 홍수위 추정도표

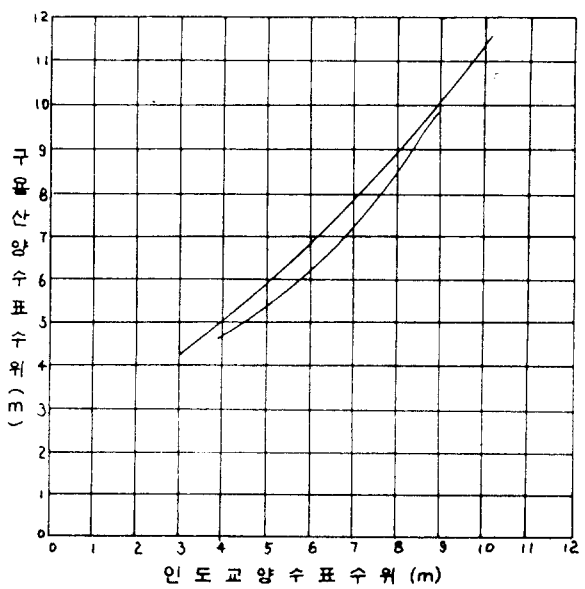

그림 12.2 인도교 수위에 의한 구 용산 수위 추정도표

한 인도교수위 동심원을 작성하였고 이 동심원 값에 인도교 수위 예상시각 보다 18시간전과 6시간전인 12시간 동안의 평균 강우량을 계산하여 그 강우량에 50㎜를 뺀 나머지 강우량에 대하여 r(㎜)/100를 가산하여 인도교의 예측수위를 구하여 홍수예보를 실시하는 경험식으로 부르는 방법(그림 12.1, 그림 12.2)과 하천에 있어서 어느정도 이상의 홍수유량곡선은 잠정적으로 대칭으로 보아 관측도수분포곡선이라고 가정하고 이것이 하류로 진행함에 따른 감소량(attenuation)을 계산하고 상류 관측지점에서 하류 예측지점간에 지류 및 잔유역을 3개 구역으로 분할하고 유하하는 시간동안의 강우에 의한 하류의 유량 증가를 각 구역별로 시차를 두어 더하므로서 예측지점의 유량을 알고 수위 유량곡선에서 수위를 예측하는 이론적방법 그림 12.3, 그림 12.4로 구성되어 있다. 이를 수식으로 표시하면

$$220h_3^2=155h_1^2 + 100h_2^2 + \Sigma q_A + \Sigma q_B + \Sigma q_C - q_l$$

여기에서 $220h_3^2$: 인도교 수위 유량곡선　　Δh_1 : 여주수위 상승율(m/hour)

$155h_1^2$: 여주 수위 유량곡선　　Δh_2 : 청평수위 상승율(m/hour)

$100h_2^2$: 청평 수위 유량곡선

r_{a12} : A구역의 12시간전의 3시간 평균강우량 ㎜

Σq_A, Σq_B, Σq_C : A, B, C 구역별 강우량에 의한 유량증가

q_l : 하도조절에 의한 유량감소량 $451.3h_1\Delta h_1-320.5h_2\Delta h_2-134.7(h_1\Delta h_2+h_2\Delta h_1)$

$$\Sigma q_A = 2.504r_{a6} + 17.209r_{a9} + 20.874r_{a12} + 4.470r_{a15}$$

$$\Sigma q_B = 4.578r_{b9} + 12.901r_{b12} + 23.564r_{b15} + 27.898r_{b18} + 21.408r_{b21} + 10.649r_{b24} + 3.433r_{b27}$$

$$\Sigma q_C = 4.070r_{c0} + 18.148r_{c3} + 26.378r_{c6} + 12.499r_{c9} + 1.931r_{c12}$$

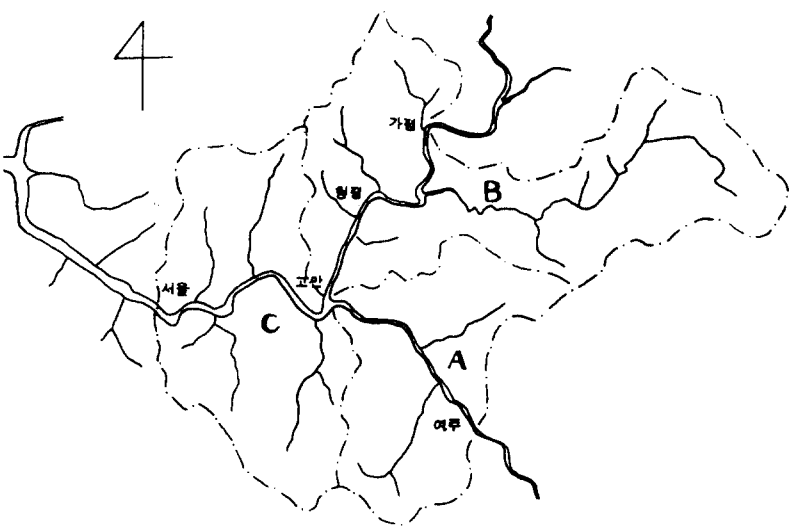

그림 12.3 한강유역도

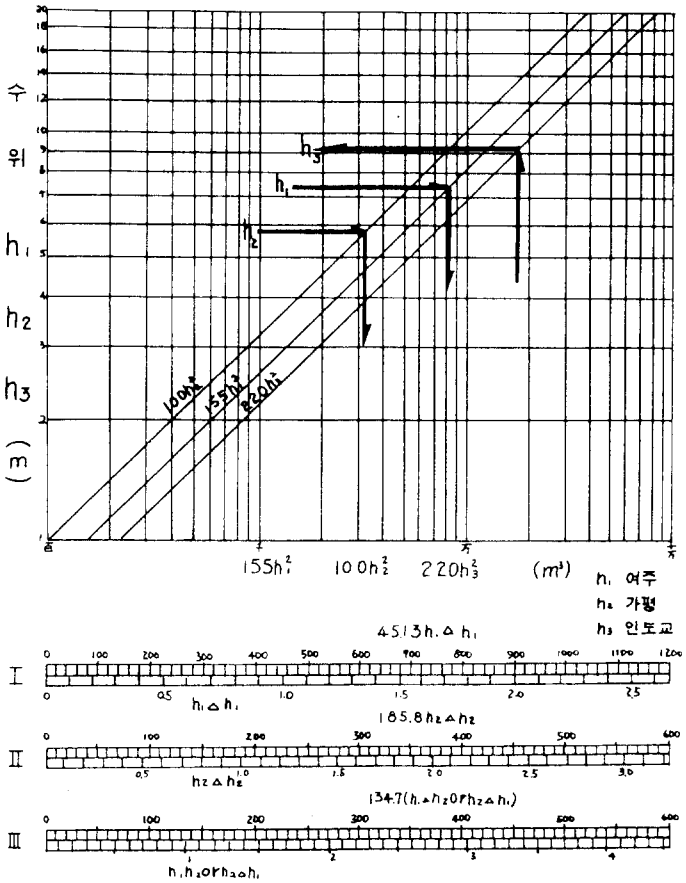

그림 12.4 한강 인도교 수위추정표(이론식)

낙동강은 본류와 남강의 합류점인 거룡강수위에서 도달시간이 약 17시간 소요되는 진주와 왜관수위를 이용하여 도달시간 동안의 우량을 감안하고 거룡강이하의 수위는 우량을 무시하고 진동수위를 구하며 하류의 수산수위, 삼랑진수위는 수위대응표를 만들어 홍수예보를 실시하였다. 그 예측용 그림은 그림 12.5, 그림 12.6과 같다. 또한 대동강의 홍수예보도 한강과 유사한 도표와 방식으로 되어있으며, 그림 12.7, 그림 12.8, 그림 12.9와 같다. 이 방식의 문제점으로는 ① 홍수도달시간이 홍수의 규모에 관계없이 일정하다는 것과 ② 상류 두지점의 수위와 인도교 수위의 대응이 일정하고 합류 및 하도저류 효과에 대한 홍수파형의 변형영향이 고려되지 않았다는 점과 ③ 강우의 시간적 분포 및 지역적 분포영향이 고려되지 않았다는 것이다.

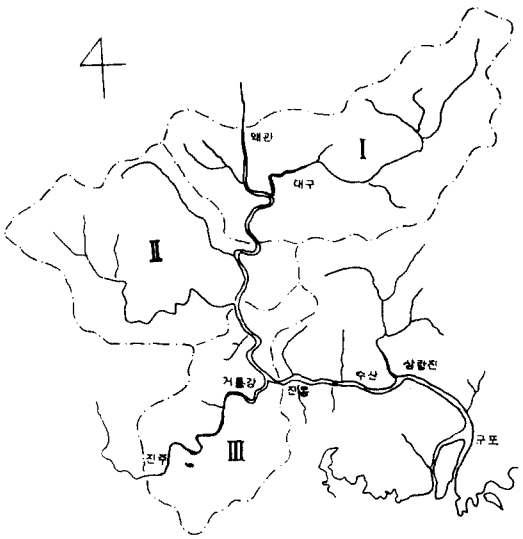

그림 12.5 낙동강유역도

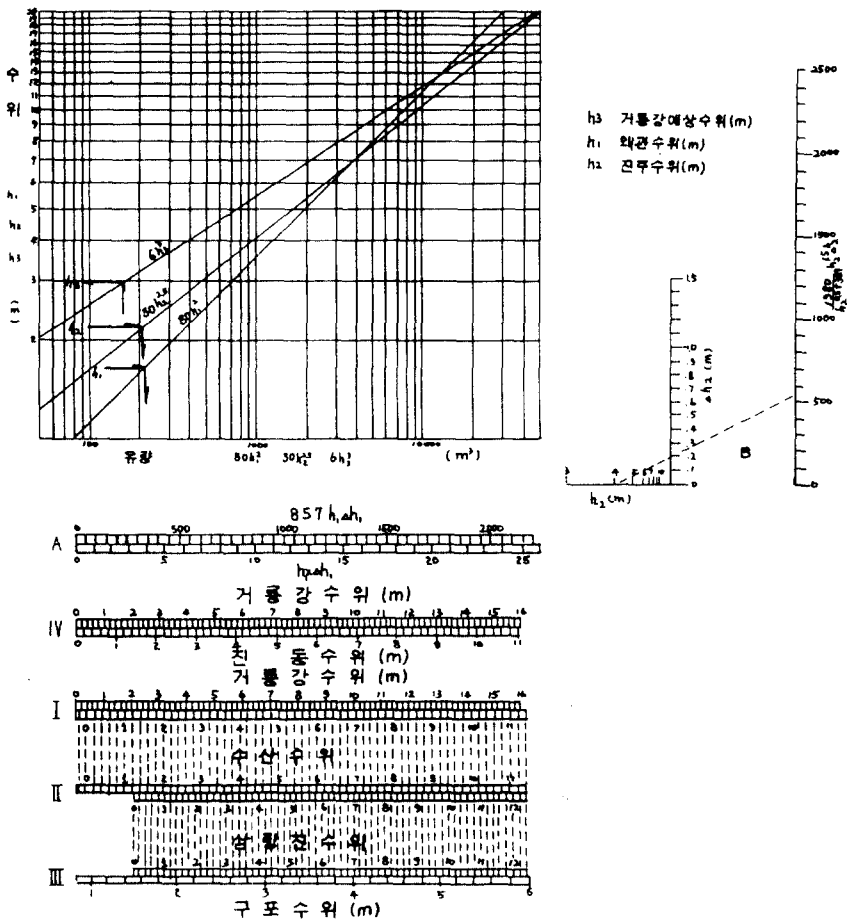

그림 12.6 왜관, 진주수위에 의한 거룡강 수위

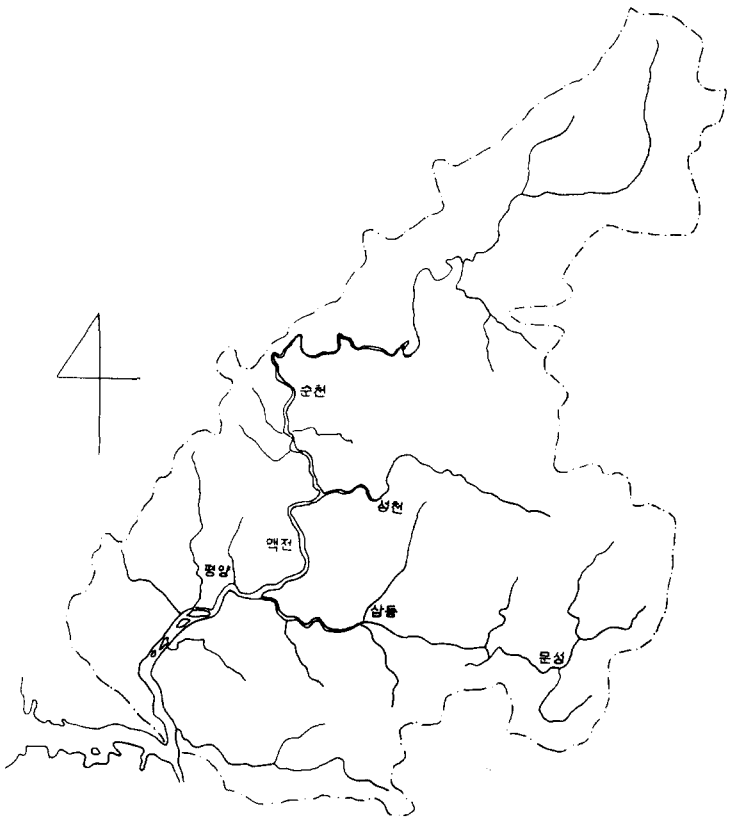

그림 12.7 대동강유역도

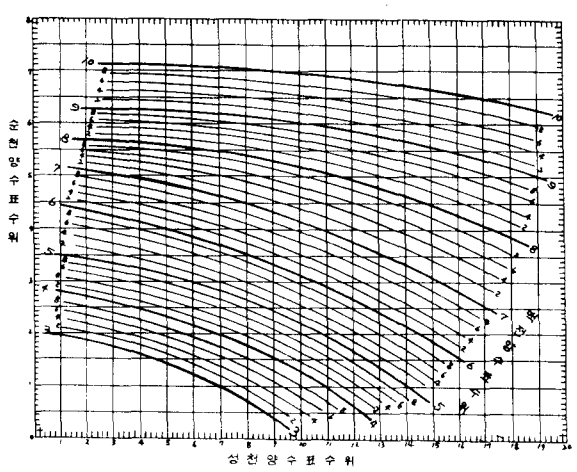

그림 12.8 순천과 성천에 의한 맥전수위

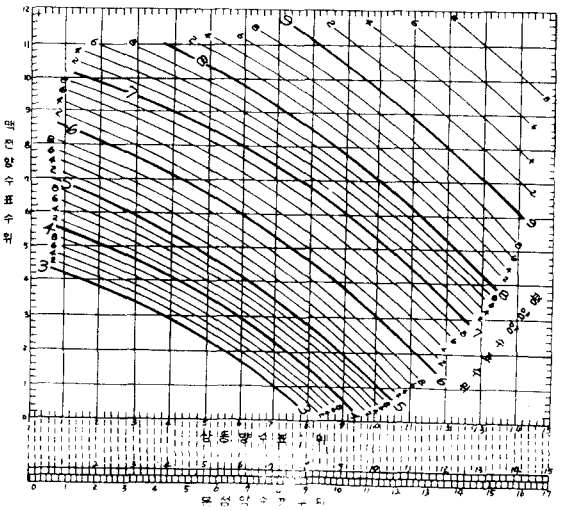

그림 12.9 맥전과 삼동에 의한 평양수위

12.2.2 1965년 이후의 홍수예보

1965년에는 한강, 낙동강에 다소 새로운 도표를 작성하여 홍수예측을 하도록 하였으며 수위에 따른 도달시간의 차이를 감안하였고 한강은 청평댐 건설에 따라 가평지점 대신 청평수위표를 이용하였으며 여주에서 고안까지 수위에 따른 도달시간을 도표로 작성하고 고안에서 청평까지의 수위에 따른 도달시간은 가평보다 거리가 단축되었으므로 청평의 관측시간에서 고안 도달시간을 알고 여주의 관측시간은 여주 고안과의 도달시간을 역으로 계산한 해당시각의 수위, 유량을 합산하여 고안의 유량을 계산토록하고 이 유량에 따라 인도교 도달시간과 수위를 알도록 하였으며 이때에 한강하류에 우량이 많고 적음에 따라 예측치를 가감할 수 있도록 도표를 작성하여 실용화 하였으나 지금 남아있는 예측용 도표가 없어 당시의 한강홍수예보용으로 사용되었던 도표를 재구성하면 그림 12.10, 그림 12.11과 같은 모양이다. 이 방식의 문제점으로서는 ① 예측시간의 연장이 불가능하다는 점, ② 홍수 전파과정에서의 하도저류 효과에 의한 홍수파의 변형이 고려되지 않았고 ③ 다우지역인 청평, 여주와 인도교간의 강우에 대한 시간적, 지역적 분포영향이 고려되지 않았다는 것이며, 특징은 홍수의 크기에 따른 도달시간을 고려하였다는 것이다.

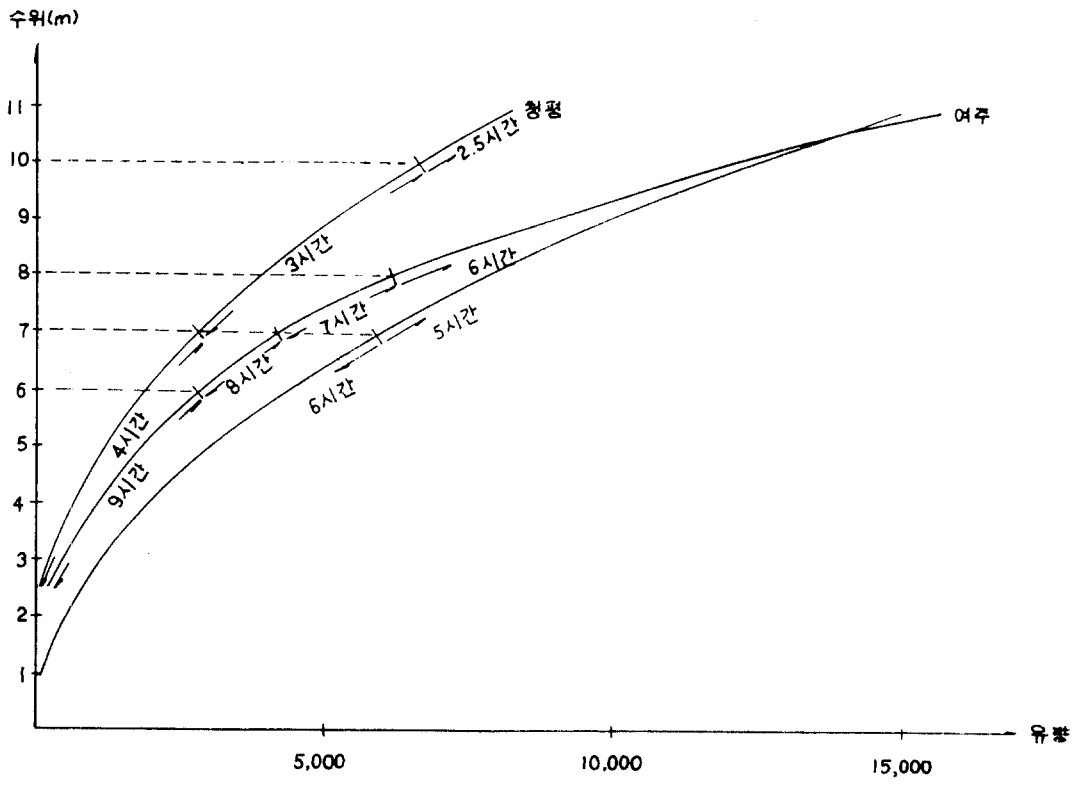

그림 12.10 여주,청평, - 고안간 도달시간 및 수위유량곡선도

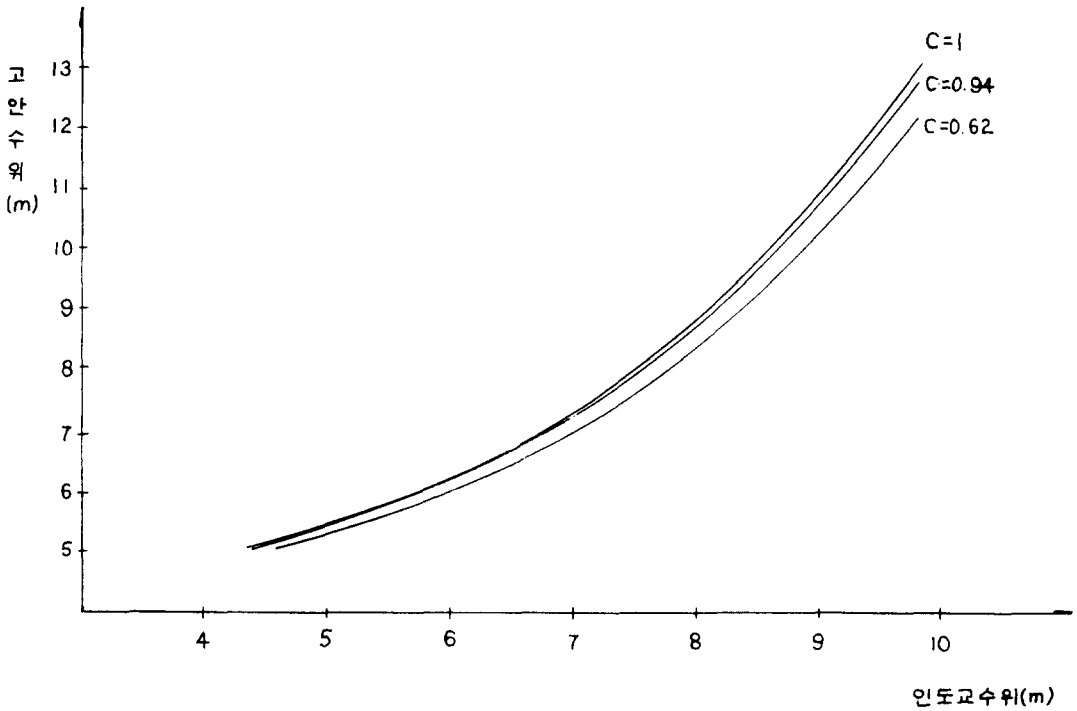

그림 12.11 고안 - 인도교 수위상관도

한편 각 수위관측소의 자료(Data)입수는 1967년 수해복구사업으로 건설부와 지방건설국에 68년부터 SSB(single side band)통신망으로 전국에 설치하였든 바 그중 수위관측의 설치장소는 표 12.1과 같다.

표 12.1 1968년 수위관측소 설치장소

한 강	인도교, 고안, 여주, 청평
낙 동 강	왜관, 현풍, 진동, 삼랑진
금 강	규암, 공주, 강경, 부강
영 산 강	나주, 선암(영산포)
섬 진 강	구례

이들 SSB(single side band)통신망은 당시 건설부의 업무용을 겸하고 있었으며 홍수예보는 한강과 낙동강에서만 실시하고 나머지 금강, 영산강, 섬진강은 당시의 수위 상황만을 보고하였으므로 위 3개 강에 대하여는 홍수예보용은 아니였다.

12.3 현대적 홍수예보

12.3.1 한 강

가. 홍수예보시설 연혁 및 시설개요

앞서 말한것과 같이 홍수예보를 실시하였으나 그 여유시간과 정확도에는 상당한 문제점이 있어 이를 개량할 필요성이 대두되던중 구체적으로 논의하게 된 것은 1968년 12월 제1차 아세아 및 극동경제위원회/세계기상기구태풍위원회(WMO/Typhoon Committee)에서 한강유역을 홍수예경보시설의 자동화 시범지역으로 선정하게 되었다. 이에따라 72년 일본 조사단이 21일간(6. 10~6. 30) 한강에 대한 홍수예경보시설 조사를 위하여 파견되었으며 小板忠 단장을 중심으로 하천, 수문, 전기통신 분야의 전문가로 구성된 6인이였다. 주로 ① 현지조사와 자료수집 ②예보대상지역의 예비적 선정작업을 위한 것이었다. 이들 조사단이 1차조사를 마치고 난 후 8월 19일에 인도교 최고수위가 11.24m까지 이르는 대홍수가 일어나 막대한 홍수피해를 보았다. 이에따라 건설부 실무자간에 홍수예경보시설의 조기완성을 위하여 업무추진을 효과적으로 수행하는데 노력하던중 '73년1월17일 대통령의 건설부 연두순시시 자동홍수예경보 체제를 재 정비토록하라는 지시에 의거 결정적인 사업추진의 계기가 되었고 같은해 1월 동 사업이 대일청구권 유상자금 사용에 따른 사업계획서가 비상국무회의를 통과하고 제2차 일본조사단 12명이 31일간('73년 5. 10 ~ 6. 9일까지) 조사를 실시하여 73년 7월 20일에 홍수예경보 시설에 대한 한일간의 사업협정 조인이 이루어져 본격적으로 사업을 추진하게 되었으며 74년 6월 29일에 한강홍수통제소 직제가 신설되고 7월 3일부터 홍수통제소가 개소되어 홍수예경보시설이 가동되게 되었으며 사업개요는 표 12.2와 같다.

표 12.2 한강홍수예보시설 사업개요

구 분	내 용		비 고
사업내용	한강홍수통제소	본건물 및 부속건물	
	수 위 관 측 소	17개소	자료(DATA)입수개소로서 수위 우량 병설국을 별개로 간주 (수자원공사분 포함)
	우 량 관 측 소	38개소	
	경 보 국	5개소	인도교, 뚝도, 광장, 양화, 여주 (댐경보소 제외)
	중 계 소	3개소	용문산, 백운산, 연화봉
	통 신 기 기	한강홍수통제소외 48개소	
	전 산 기	CDC 3170, CDC 1700	
사 업 비	내자 205,650천원 외자 150만$		1975년 이후 발전기 및 점검차량 2대 등이 추가보완되었음
사업기간	1973. 12. 17 ~ 1974. 6. 30		

나. 한강홍수예보의 유출시스템

한강유역은 그 유출계산단위로서 30개 소유역과 23개의 하도로 분할하여 유출계산을 실시하고 있으며 이들 30개 소유역은 북한강상류, 북한강하류, 남한강상류, 남한강하류 및 남북한강 합류점의 5개 대유역으로 분류하여 예측강우량을 입력시키기 위한 방편으로 하였고 유출모형으로서는 소유역과 하도 공히 저류함수법을 채택하고 저류함수법에 사용되는 각종 파라메타(Parameter)는 일본의 도네가와(利根川)의 제정수를 채택하였다. 소유역 및 하도분할과 유출모식도는 그림 12.12, 그림 12.13과 같다.

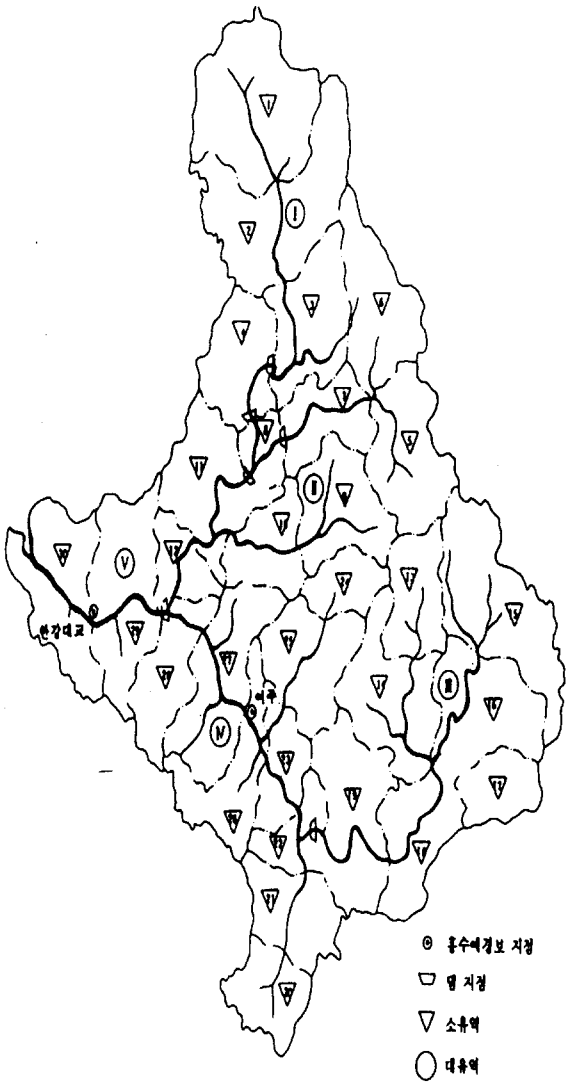

그림 12.12 한강유역 및 하도분할도

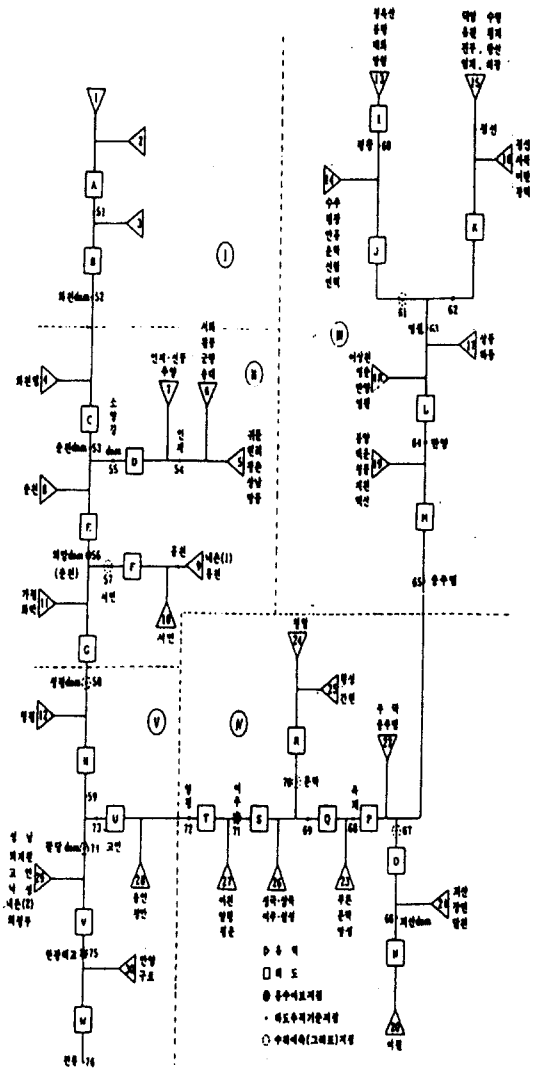

그림 12.13 한강유출모형도

다. 전산시스템

전산시스템은 1974년 8월에 완료되었으며 우리나라에서 최초로 시도된 온라인(on-line) 및 오프라인(off-line) 텔레메터 시스템으로서 자료(Data)발생지점인 각 수위국, 우량국, 댐(Dam)국으로부터 당소까지 VHF 및 마이크로웨이브(Micro Wave)로 받아 미니컴퓨터에서 자료(Data)를 컴퓨터 시스템 (Computer-system)에 맞도록 처리하여 필요한 결과는 즉시 재해대책본부에 있는 GDP에 보내고 수신된 자료를 주컴퓨터인 CDC 3170에 옮겨 홍수예경보에 필요한 유출계산을 실시하고 그 결과를 CDC 1700을 통하여 GDP에 송신토록하는 방법이었다. 당시의 이 CDC 전산기는 트렌싯식으로서 연산시간, 메모리용량, 습기에 의한 누전 등이 문제가 되었고 특히 필요한 홍수기에는 전산기 고장이 잦아 계산결과의 정확성보다는 전산기의 작동여부가 문제로 되는 일이 허다하였다.

그후 1982년도에 Dual system인 Tandem-16으로 교체하여 전산기의 고장으로 인한 업무지장은 없었다.

1987년에는 Maim으로 Vax750과 Micro VaxⅡ전산기로 교체하고 1994년부터 국산기종인 타이콤(Ticom)Ⅱ전산기와 보조전산기로서 Micro-VaxⅡ기종을 Work station급 전산기, 기타 PC와 연결하여 이용하고 있다.

라. 수문관측시설

홍수유출계산을 실시하기 위한 텔레메타(Telemeter, T/M)수문관측시설은 당초에 우량 38개소, 수위 17개소(5개 댐포함) 합계 55개소의 수위, 우량 자료를 입력할 수 있었으나 관측시설의 밀도가 낮아 유역 유출계산의 정확도를 높이기 위하여 더 많은 관측시설의 필요성을 절감하던 중 충주댐 건설을 계기로 수자원공사로서는 충주댐의 관리를 위한 유입량계산의 정도를 높이기 위해서 댐상류에 몇개소의 우량 및 수위 관측시설의 증설이 필요하게 되었고 한강홍수통제소에서 관리하던 충주댐 상류의 수위 우량국을 수자원공사로 이관 관리함에 따라 그 보상적인 성격으로서 한강하류부에 수위 및 우량국을 증설하게 되어 수위 우량관측소의 이설과 증설이 행해져 1984년부터 우량11개소, 수위 12개소가 증설하게 되었으나 1개소의 우량국을 폐국하게 되었으므로 결국 우량 48개국 수위 30개국의 텔레메타(T/M)관측시설로 확충되게 되었다. 그후 1984년도의 대홍수를 계기로 하여 더욱 많은 관측소의 필요성이 대두됨에 따라(84년의 대홍수시 소양강 강우 유출율을 100%로 하여도 댐의 유입총량에 못미치는 결과였음) 꾸준히 우량 수위관측소를 증설하여 1996년말 현재로 우량 90개소, 수위 40개소의 자료(수자원공사 관리분 포함)를 입력하고 있으며 현재에도 증설공사를 시행 또는 계획중에 있다.

마. 홍수유출계산 프로그램

유출계산은 당초에 일본조사단이 일본에서 만들어 74년부터 사용하여 왔으나 당초 프로그램의 사용언어가 CDC 1700 Mini-Com은 Assembler, CDC 3170 Main-Com은 Algol로서 계산을 실시하였든 바 CDC3170에서 1회계산에 소요되는 시간이 홍수기간에 따라

약 60~120분을 소요하게 되어 여유시간 확보와 T/M 자료가 한시간 단위로 입력되므로 모든 계산과 판단을 1시간 단위로 할 필요성이 있었다. 이에 CDC 3170에 맞는언어인 포트란(Fortran)으로 변환하여 그 계산시간을 최소한으로 줄이는 프로그램 Conversion 작업을 1975년에 실시하였든 바 30~40분으로 단축할 수 있게 되었으며 1976년부터는 포트란으로된 프로그램을 사용하게 되었다.

전기한 바와같이 홍수기간중에는 전산기의 작동이 잘되지 않으므로 예측치와 실측치 적합성여부는 검토할 겨를이 없었으나 1982년에 Tandem-16 Computer가 들어온 후부터는 이런 문제점이 없어지므로서 계산시간의 절약으로 예측치의 타당성여부를 검토한 결과 이를 간단히 수정할 수 있는 방법을 모색하게 되었다. 즉 큰 홍수에는 예측치와 실측치가 그런대로 맞아간다고 볼 수 있었으나 적은 홍수에는 예측치가 실측치보다 뒤로 미루어지는 형상을 보이므로서 홍수량이 적을때에는 계산된 수문곡선(hydrograph)을 앞으로 당겨주는 것이 타당하다고 판단되고 유출은 강우량에 의한 것이므로 강우량의 많고 적음에 따라 홍수규모가 적다고 판단되면 수문곡선을 앞으로 당기고 큰 홍수에서는 그냥두는 방법을 강구한 결과 저류함수 k가 시간 Dimension을 가지고 있으므로 큰 홍수에는 k=1을 적은 홍수에는 k=0.6~0.9까지 변환시키면서 기왕의 홍수에 적용시켜본 결과 상당히 근사한 값을 나타내었으므로 1983년 홍수부터는 하도의 저류함수 k값을 변화시키면서 계산에 임하게 되었다. 또한 텔레메타에서 결측관측소가 생길 경우 당초에는 상관계수가 높은 것을 사용하다가 그후에 거리가 가까운 관측소의 값을 그대로 가져와 보완하는 방법을 채택하였고 1983년부터는 충주댐 건설에 따른 홍수예경보 프로그램 개선업무를 실시하여 1984년도에는 R.D.S방법으로 결측치를 보완하는 방법으로 개선하였고 각종 변수(Parameter)의 도출과 댐의 연계운용방법 등이 제시되고 화천댐의 경우 댐 조작규정(Dam operation Rule)의 프로그램 상으로는 댐수위가 181m를 넘지 않는 것으로 되어있으나 84년 대홍수시에는 댐 수문전체를 개방하여도 181m를 훨씬 넘는 홍수였으므로 계산상 문제점으로 나타나 이를 보완하는 작업 등을 실시하였다.

'90년대에 들면서 컴퓨터의 비약적인 발전과 더불어 홍수예보에도 많은 변화가 발생하였다. 우선 기존에 사용하던 프로그램에 사용자가 편리하게 이용할 수 있도록 전.후처리 프로그램을 추가하여 홍수예보의 효율성이 향상 되도록 하였다. 또 발전된 컴퓨터에서 효율적으로 프로그램이 수행될 수 있도록 프로그램을 꾸준히 수정.보완하였으며 과거자료를 이용하여 유출프로그램의 매개변수들을 개선하였다. '94년에는 홍수예측프로그램을 메뉴방식으로 전환하였고 모든 입출력을 그래픽으로 처리할 수 있도록 시스팀을 구성하였다. 또한 홍수예보모형의 다양화도 큰 변화로 들 수 있는데 '94년에는 팔당댐 하류구간에 수리학적 모형을 이용한 예측시스팀을 개발한 바 있고 '97년에는 남한강의 충주댐, 북한강의 청평댐, 한강본류의 강화도 지점까지 구간을 확장하여 수리학적 모형을 이용한 예측시스템을 구축하고 있다. 또 지금까지의 저류함수법으로만 실시하던 홍수예보를 유역이나 하도의 특성에 적합하게 다양한 모형을 사용할 수 있도록 시스템을 개선중에 있다.

더불어서 전체 유역이 하나의 시스템으로 구성되어 있는 현재의 시스템을 소유역 단위로 전환하는 작업도 현재 진행중에 있다. 이와같이 개발된 모형을 효율적으로 운영할 수 있도록 홍수관리종합운영시스템을 현재 구축하고 있다.

홍수규모와 피해액이 커지면서 홍수범람에 대한 관심이 고조되어 침수범위 예측모형개발에 대한 요구가 증대 되었는데 침수구역 조사기법에 대한 조사를 실시한 바 있고 현재 수리학적 모형과 GIS를 이용한 침수범위 예측모형을 개발중에 있다.

12.3.2 낙동강

가. 홍수예보시설 연혁 및 사업개요

낙동강 홍수예경보시설은 한강 홍수예경보시설을 완료할때 부터 순차적으로 5대강 홍수예경보시설을 완료할 계획이었으나 그 사업 계획대로 추진되지 못하고 65년대에 사용하던 예보방법을 그대로 답습하여 왔고 통신방법도 1967년에 설치한 SSB(single side band)통신망을 이용하여 오다가 다음과 같은 연혁으로 사업을 완료하게 되어 1987년부터 홍수예경보 업무를 시작하게 되었고 그 연혁과 사업개요는 표 12.3과 같다.

1981년7월12일 중앙재해대책본부 대통령 순시시 한강외의 주요하천에 대하여 홍수예경보 시설을 설치 토록 검토지시 하였으며 1983년12월14일 건설부장관 산업기지개발공사 순시시 낙동강 유역의 홍수통제시스팀 설치 검토 지시가 있어 1983년12월29일 낙동강 홍수예경보 시설 계획수립되어 1986년3월15일 홍수예경보시설 공사에 착수('87. 4. 30 완료) 1987년2월1일 낙동강 홍수통제소 임시운영반을 설치운영하였으며 1987년3월28일 대통령령 제12103호에 의거 낙동강 홍수통제소 직제를 신설하였다.

표 12.3 낙동강홍수예보시설 사업개요

구 분	내 용		비 고
사업내용	홍수통제소	건 물	
	수위관측소	42개소	(Data 입수기준) 댐수위 및 수자원공사분 포함
	우량관측소	54개소	
	경 보 국	5개소	(댐하류 경보국 제외) 왜관, 고령교,진동, 삼랑진,구포
	중 계 소	9개소	
	수질관측소	5개소	안동, 왜관, 고령교, 진동, 하구언
	통 신 기 기	1식	관측국 및 낙동강홍수통제소
	전 기 시 설	1식	
	전 산 기	TANDEM-16	한강홍수통제소에서 이설한것임.
사 업 비	내자6,590백만원 계	외자 270만$ 8,696백만원	
사업기간	'86. 3. 15 ~ '87. 4. 30		

나. 낙동강 홍수예보의 유출시스템

낙동강유역의 유출구성 모형은 한강과 마찬가지로 홍수유출모형으로서 저류함수법을 채택하였다유출모형의 구성은 당초 43개유역과 28개 하도로서 구성되었으나 지천의 본류 유입에 따라 수위예측에 변동이 잘 나타나지 않아 실측치와 예측간에는 상당한 차이를 가져오므로 이를 개선하기 위해 반변천의 합류점 전후와 금호강의 합류점과 합류후, 황강의 합류전과 합류후, 밀양강의 합류전과 합류후 하도를 구분 시행하여 유출계산에 임하도록 하고 대유역 분활은 낙동강 본류의 지류의 합류점을 기준으로 하여 동서남북에 4개 대유역으로 분할하였으며 그 유역 분활과 유출모식도는 그림 12.14, 그림 12.15와 같다.

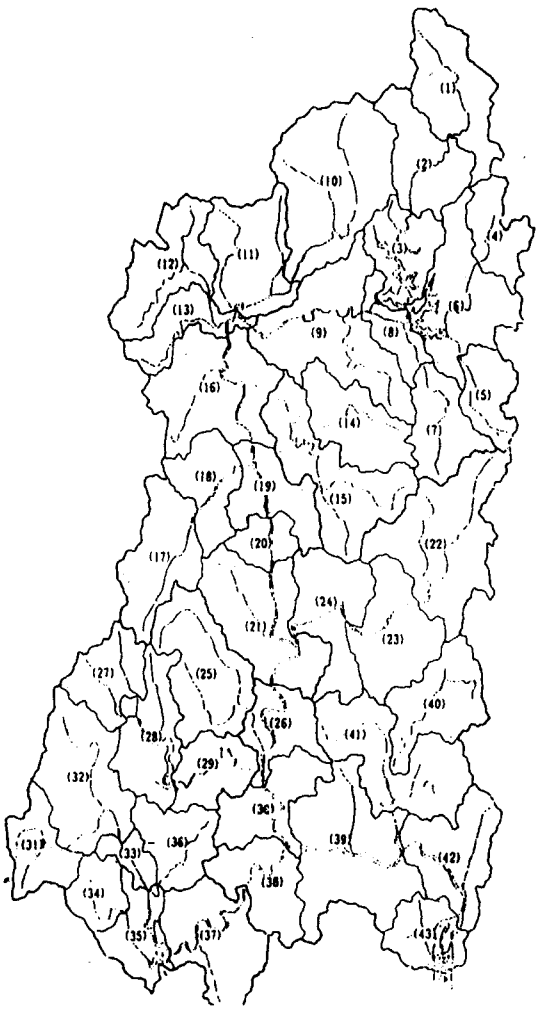

그림 12.14 낙동강 소유역 및 하도분할도

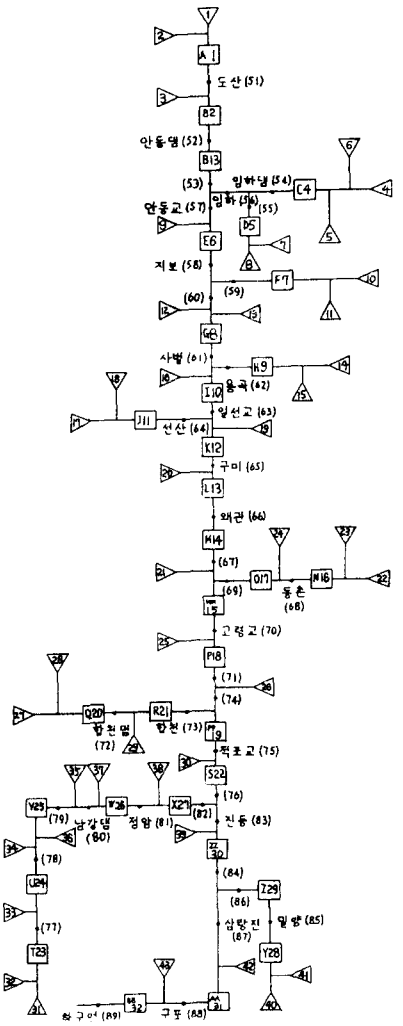

그림 12.15 유출계산 모식도

다. 전산시스템

전산시스템은 1986년까지 한강에서 사용하든 TANDEM-16시스템을 낙동강에 이설하여 활용하는 형태로 하였으며 종래의 시스템에 처음으로 부산국토관리청, 경상북도청, 경상남도청, 부산시, 대구시 및 부산지방측후소에 모뎀(Modem), CRT 및 프린트(Printer)를 설치하여 낙동강홍수통제소에서 실측한 수위, 우량, 댐현황 및 예측자료를 매시간 전송할 수 있도록 하여 관련기관의 재해대책업무와 기상예보에 도움을 줄 수 있게 하였다.

TANDEM-16기종은 근본적으로 16-Bit Machine으로서 프로그램의 크기에 제약을 받고 계산시간도 오래걸리므로 1993년에 CLX710으로 대체하므로서 프로그램의 크기제한에서 벗어나고 종래의 계산시간보다 약1/2정도로 계산시간을 단축할 수 있게 되어 현재까지 활용하고 있으며 이 기종의 계약기간 만료와 더불어 새로운 컴퓨터시스템을 도입하기 위한 작업이 추진중에 있다.

라. 수문관측시설

T/M 수문관측시설에 대하여는 한강홍수예경보시설을 운용한 결과 관측시설개소의 부족이 홍수유출계산의 정확도에 미치는 영향이 크다는 인식이 되어왔으므로 낙동강홍수예경보 시설에는 보다 많은 관측소의 설치가 바람직하여 처음부터 한강보다 많은 개소수인 수위 42개소(댐수위 포함) 우량 54개소의 관측시설을 설치하였고 그후에도 꾸준히 관측시설을 증설하였으며 연도별 증설내역은 표 12.4와 같다.

이와 동시에 안동, 왜관, 고령, 남지 하구언에 5개의 자동 수질관측소를 설치하였다. 당초에 많은 관측항목 관측개소수가 논의 되었으나 유지관리의 어려움과 처음 시도하는 자동수질관측소 임을 감안하여 상기 5개소에 설치하였는 바 장소 선정의 사유로서는 안동은 최상류이므로 오염되지않은 낙동강의 수질을 파악하고 왜관은 구미공단 하수가 낙동강과 합류하여 어느정도 확산 교류효과가 있는 구간을 생각하여 왜관지점에, 고령교는 대구시에서 방류되는 금호강 합류 하류에, 진동은 남강과 낙동강 본류의 합류하류에, 하구언은 낙동 최하류지점 이라는 것을 감안하여 각각 설치장소를 선정하게 되었고 관측항목은 7개 항목으로서 수온, PH, 암모니아, 탁도, 전기전도도, 용존산소, 시안으로 결정하게 되었다.

특히 수위 우량관측소의 관측기기와 관측소에 설치된 통신기기 전부에 대하여는 처음으로 국산화 하였으나 낙동강홍수통제소의 통신제어기기만은 외국제품을 사용하였다.

표 12.4 관측시설 증설내역

구분 \ 년도	당 초	1989	1992	1993	1994	1995	1996	비 고
수 위	42	2(44)	1(45)	1(46)	9(54)	8(62)	4(66)	( )내는 누계 수자원공사분포함
우 량	54	(54)	3(57)	1(58)	13(71)	14(85)	13(98)	

마. 홍수유출계산 프로그램

낙동강은 수질, 환경, 용수이용, 홍수예보 등의 목적으로 계획을 잡았으므로 유출계산도 홍수유출과 저수유출 두가지 방법을 병행할 수 있도록 하였고 본 프로그램을 만드는데는 수문학적인 연구는 한국수문학회에서, 전산부문은 한국소프트웨어(Korea Software Service)에서 담당하였다. 유출계산 모형으로서는 홍수유출에 저류함수법, 저수유출에는 탱크모형(TANK Model)법으로, 유출계산도 홍수유출 결과는 시간단위로 유량(CMS) 계산토록하고 저수유출은 일단위 유량(CMS)를 계산토록 하였으며 유출계산의 변수(Parameter)선정은 토양 토지이용도 등을 적용하여 종래에 사용하든 도네가와식 등과 비교하여 가장 적합성이 높은 Parameter를 이용코저 하였으나 실제 운용과정에서 예측치와 실측간의 차이가 많았다. 그 후 1988년 7월 19일 ~ 24일간의 중부지방 집중호우시에는 낙동강 상류에 많은 강우가 있고 중하류지역에는 강우량이 아주 적은 지역적 분포였으므로 하도의 저류계수 K와 지체시간 Tl을 검증하는데 아주 적합한 상태였다. 이자료를 기본으로 하여 수많은 회수에 걸쳐 예측치를 시산하고 실측치와 비교하여 가장 타당하다고 생각되는 값을 도출하여 이를 다른 홍수에 적용해 본 결과 좋은 성과를 얻었으므로 낙동강하도의 저류계수 K와 Tl 및 P값 등의 대대적인 수정작업을 실시하여 현재의 홍수유출계산에 사용하고 있다.

'94년에는 합천, 임하댐 건설에 따른 유출변화를 고려하여 예측시스팀을 개선하였다. '95년에는 유출프로그램에서 사용되는 수위-유량관계곡선식에 대한 보정을 실시한 바 있고 '97년에는 낙동강하구둑이 예보시스팀에 미치는 영향을 검토하고 연계운영방안을 조사하는 사업과 낙동, 현풍수위표 지점에 대한 홍수예경보시스팀의 확장사업이 진행중에 있다.

12.3.3 섬진강, 금강, 영산강

가. 홍수예보시설 연혁 및 사업개요

섬진강, 금강, 영산강의 홍수예보시스팀은 최근에 완성된 시설이므로 이들 3강에 대한 홍수예경보시설의 연혁은 표 12.5에 사업개요는 표 12.6과 같다.

표 12.5 연 혁

섬 진 강	금 강	영 산 강
· 1986. 4. 11 섬진강홍수예경보 시설 설치계획수립	· 1987. 7. 27 대통령 중앙재해대책본부 상황실 순시시 금강유역 홍수예경보 조기설치 지시	· 1987. 7. 27 대통령 지시
· 1987. 12. 29 시설공사계약	· 1989. 6. 5 시설공사 착공	· 1987. 7. 28 방침결정
· 1990. 1. 19 직제신설 (대통령령 제12908호)	· 1990. 8. 28 직제 신설 및 개소 (대통령령 제13091호)	· 1990. 7. 9 시설공사 착공
· 1990. 2. 6 시설공사 준공	· 1991. 9. 20 홍수예보시설 준공	· 1991. 9. 27 직제신설 (대통령령 제13482호)
· 1990. 3. 12 홍수통제소 개소	· 1993. 7. 11 홍수예보시설 보완공사 준공	· 1991. 10. 15 개소 및 홍수예경보 시설가동

표 12.6 사업개요

구분 \ 하천별	섬 진 강	금 강	영 산 강
사업내용	홍수통제소 건물 1식	홍수통제소 건물	홍수통제소 건물
	수위관측소 19개소	수위관측소 24개소 (수공분 포함)	수위관측소 19개소
	우량관측소 21개소	우량관측소 35개소 (수공분 포함)	우량관측소 14개소
	경 보 소 1개소	경 보 소 5개소 (수공분 포함)	
	중 계 소 1개소	중 계 소 2개소	중 계 소 1개소(무등산)
	통 신 기 기 1식	통 신 기 기 1식	통 신 기 기 1식
	전 기 시 설 1식	전 기 시 설 1식	전 기 시 설 1식
	전 산 기 1식 Tanden CLX-610	전 산 기 1식 Tanden CLX-610	전 산 기 1식 CLX-610
사 업 비	4,985백만원 내자 1,945백만원 외자 3,416천$	2,433백만원 (보완공사 387백만원 포함)	943.8백만원
사업기간	'87. 12. ~ '90. 12 (1차공사) '90. 6. ~ '90. 12 (2차공사)	'87. 6. 5 ~ '90. 8. 27	'90. 7. 4. ~ '91. 6. 15

나. 홍수유출시스템 구성과 수문(T/M관측소)

이들 3강은 건설기술연구원에서 유출계산에 대한 시스템의 구성과 유출계산 Program을 작성하였고 유출모형으로서는 3개강 공히 저류함수법을 이용하였으므로 그 유역 및 하도분할과 유출계산 모식도는 그림 12.16 ~ 그림 12.21과 같다.

한편, T/M관측소의 연도별 증설현황은 표 12.7과 같다.

표 12.7 텔레메터 관측소의 연도별 증설현황

년도별 \ 하천별	섬 진 강		금 강		영 산 강	
	수 위	우 량	수 위	우 량	수 위	우 량
1992	-	-	2	6	-	-
1995	1	-	1	-	-	-
1996	3	3	-	1	-	-

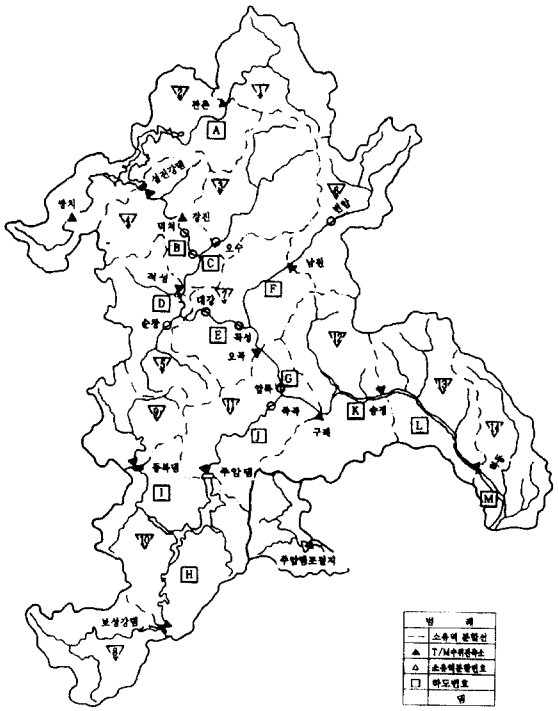

그림 12.16 섬진강 소유역 및 하도 분할도

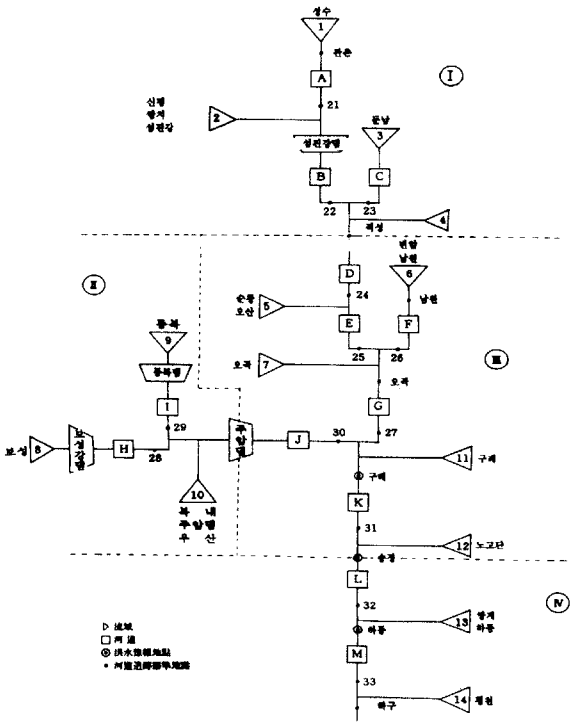

그림 12.17 섬진강 유출계산 모식도

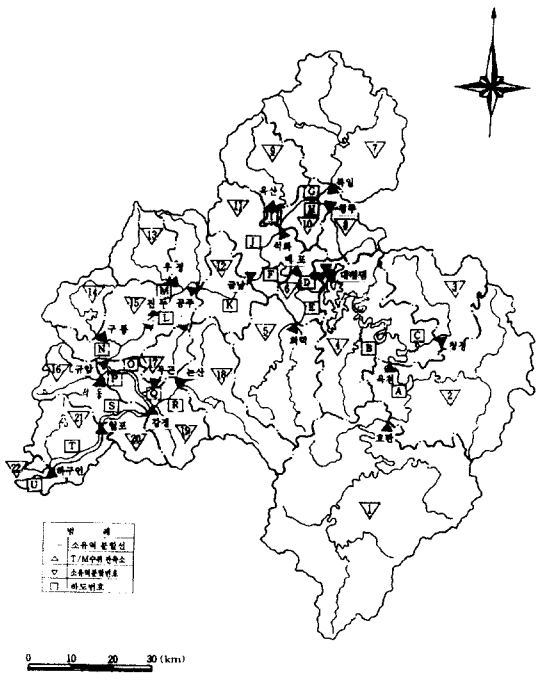

그림 12.18 금강 소유역 및 하도 분할도

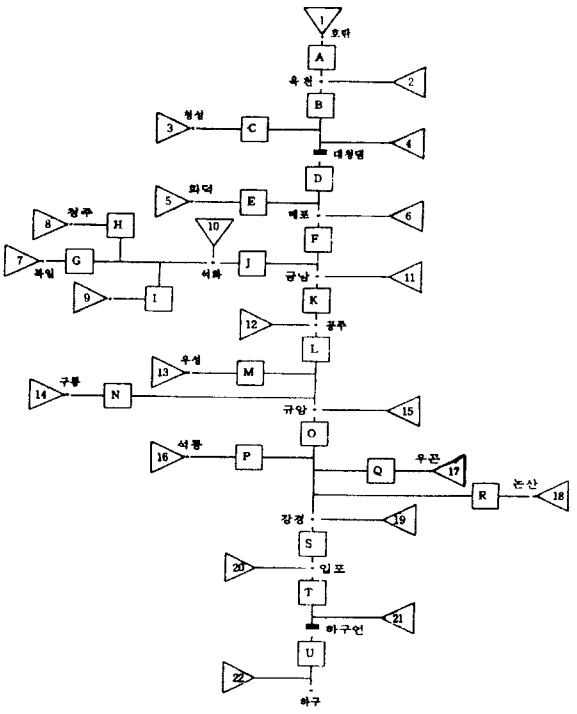

그림 12.19 금강 유출계산 모식도

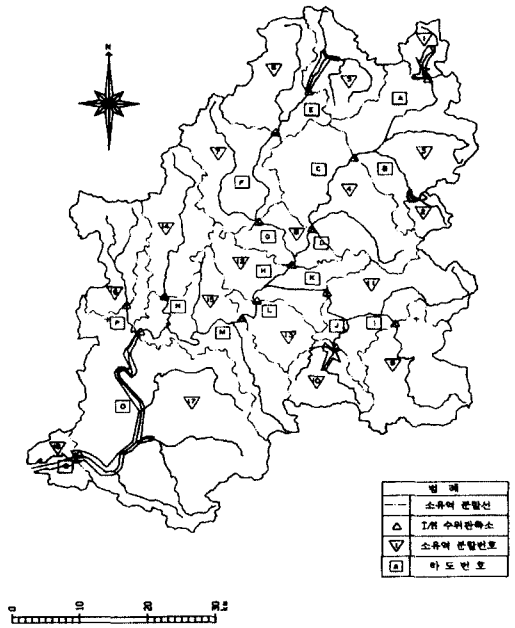

그림 12.20 영산강 소유역 및 하도 분할도

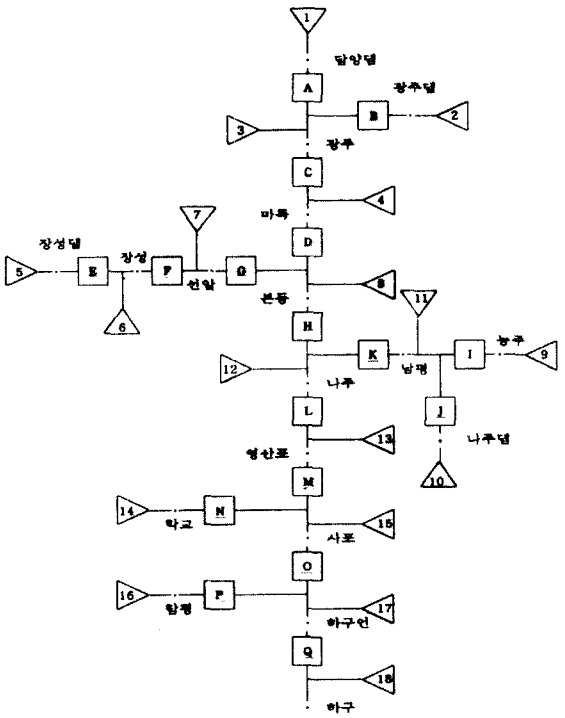

그림 12.21 영산강 유출계산 모식도

또한 통신시설은 섬진강 홍수예보시설부터는 전산기를 제외한 전체 기자재를 국산화하여 설치하였고 금강, 영산강은 시설공사중에 장비 및 시설공사가 예정대로 추진되지 못하여 보완공사 등으로 실제 사업기간의 준공일보다 늦게 정상가동을 하게 되었으며 전산기는 3개 하천 모두가 Tandem CLX-610을 설치운용 하였고 Tandem 기종의 CPU가 Dual 시스템이나 이들 3개강에는 Mono CPU로서 운용하고 그중 설치연도가 가장빠른 섬진강은 Enterprise-3000으로 97년 6월 교체 완료하였고 금강은 기종변경을 추진중에 있다.

12.3.4 안성천 및 형산강

안성천 홍수예보시설은 1994년 9월에 착수하여 1996년 8월 완료되어 1997년부터 정상가동 되었고 형산강은 현재 공사 실시중에 있으며 그 사업개요는 표 12.8과 같다.

표 12.8 안성천 및 형산강 홍수예보시설 사업개요

구 분	안 성 천	형 산 강	비 고
사 업 내 용	수위 7개소 우량 13개소	수위 5개소 우량 11개소	
사 업 비	767,604천원	985,222천원	
사 업 기 간	1994. 9. ~ 1996. 8	1996. 4. ~ 1997. 12	

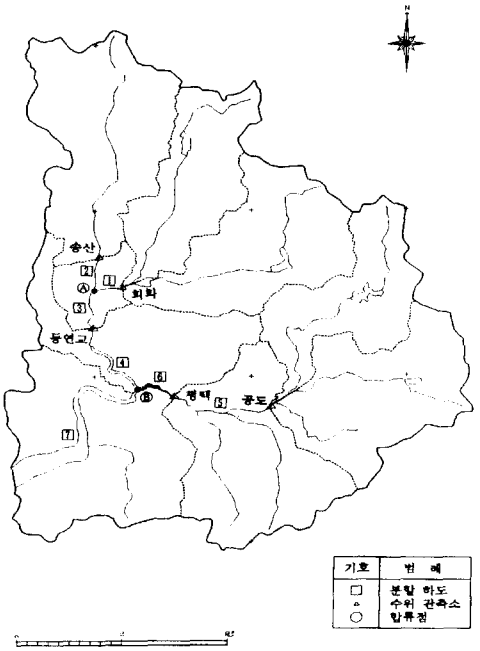

그림 12.22 안성천 하천분할도

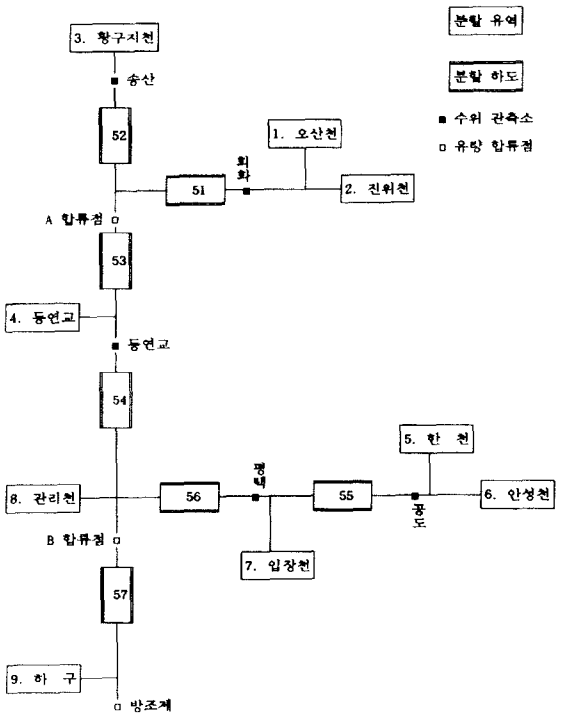

그림 12.23 안성천유역 유출계산 모식도

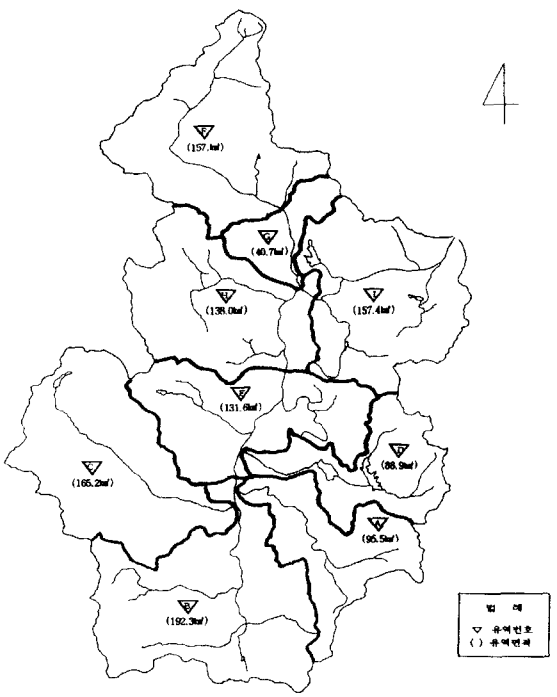

그림 12.24 형산강유역 분할 소유역 현황

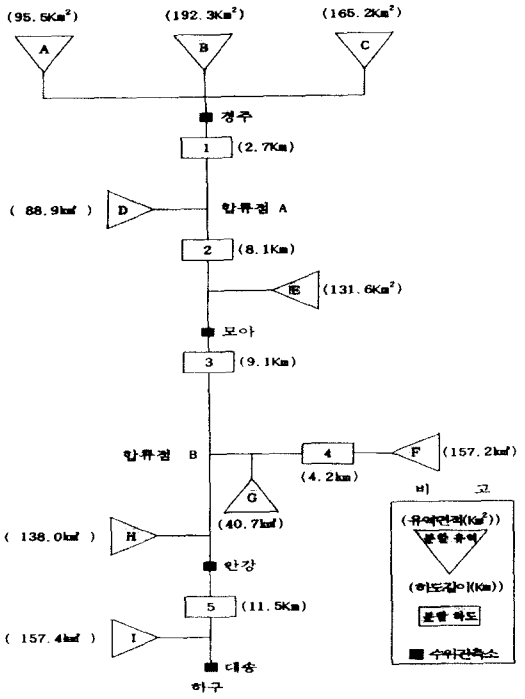

그림 12.25 형산강유역 유출계산 모식도

안성천과 형산강의 유출계산을 위한 유역분할과 유출모식도 구성은 그림22~그림25와 같다. 안성천과 형산강의 계산은 유역 유출계산 합성단위도를 이용하고 하도계산은 수리학적 모형을 적용하고 있는 점이 특색이라 할 수 있으며 안성천은 한강홍수통제소에서, 형산강은 낙동강홍수통제소에서 홍수예경보를 실시하도록 되어있다.

12.4 1990년도 홍수상황 발생에 따른 홍수예보 조치

12.4.1 홍수 개요

1990년 중부지방에서는 근래 보기드문 집중호우가 9월10일 12시부터 9월 12일 00시 까지 계속되었으며 국지적으로 비교적 많은 강우량을 보였던 지역의 일 강우량을 보면 9월 9일 경기북부의 퇴계원, 팔당을 비롯한 서면, 문막, 부론, 이천, 양평, 경안 지역에 80~120㎜의 비가 내렸으며, 10일은 본류와 북한강 유역의 대부분지역이 100~150㎜의 비가 내렸고, 남한강의 일부지역에도 150㎜이상의 강우량을 보였다. 특히 남한강 하류의 경안지역에는 216㎜의 강우량을 기록하였다. 11일은 남한강 전유역의 강우량이 대부분 200㎜를 넘었으며 북한강 유역의 신풍, 군량, 상남, 창촌 및 남한강유역의 대화, 방림, 수주지역은 일강우량이 300㎜가 넘는 많은 비가 내려 유역 최대치를 기록하였고, 12일경에 대부분 지역의 강우가 종료되었으며 이 가간중 일우량 현황은 표 12.9와 같다.

표 12.9 강우량 현황 (1990. 9. 9. 00:00~9. 13. 23:00)

구 분	누가강우량(㎜)	구 분	강 우 량(㎜)	비 고
본 류	438	최다강우지점(신풍)	775	
북 한 강	376	최대시우량 (신풍)	62	
남 한 강	345			
전 체	369			

이로 인하여 한강하류부에서는 제방이 붕괴되고 교통·통신의 두절, 급수중단등 도시 및 농촌의 기능을 마비 시켰을 뿐만아니라, 홍수로 인한 인명 및 재산상의 피해가 막대하였다.

12.4.2 홍수 분석

이와 같은 많은 비로 인하여 인도교지점의 수위는 1990년 9월 9일 0시에 2.42m에서 집중호우가 시작된 9월 10일 12시 까지는 2.89m로 수위상승폭이 완만하였으나, 집중호우가 계속됨에 따라 9월 10일 22시부터는 수위가 급격히 상승하기 시작하였다. 9월 10일 22시부터 23시까지 1시간동안 80㎝의 수위가 상승하여 지정수위에 육박하는 4.17m를 기록하였고 23시부터 11일 00시까지의 1시간동안에는 무려 1.02m가 증가하여 5.19m를 기록하였다. 이와같이 집중호우로 인하여 수위가 급격히 증가함에 따라 11일 05시~06시 사

이에는 경계수위인 8.5m를 돌파하였고 12시에는 10.52m를 기록함으로써 위험수위를 돌파하였다. 12시이후에는 수위상승폭이 다소 완만하였으나 계속적으로 수위가 상승하여 18시에는 1925년도의 대홍수(1925. 7. 18. 12.26m)에 이어 두번째로 큰 홍수인 11.27m를 기록한 후 서서히 하강하기 시작하였다.

한편, 남한강의 주요 수위표 지점인 여주관측소의 수위는 인도교 지점과 마찬가지로 급격한 수위증가 현상을 나타내면서 9월 11일 00시~01시 사이에 지정수위인 5.0m을 돌파하였고 3시간 후인 04시에는 경계수위인 7.5m를 초과하여 7.71m를 기록하였다. 이어서 09시에는 위험수위 9.5m에 육박하는 9.09m까지 상승한 후 서서히 감소하기 시작하여 17시에는 7.09m를 기록하였다. 그러나 충주댐에서 9월 11일 12시부터 1,600CMS정도 방류를 시작하여 12일 11시에는 최대 14,000CMS까지 증가함에 따라 여주 지점의 수위는 9월 11일 18시부터 다시 증가하기 시작하여 12일 01시에는 다시 위험수위 9.5m를 초과하였고 13시에는 10.17m까지 상승하였다.

홍수예측을 위한 유출계산은 집중호우가 시작되었던 9월 10일 12시부터 지작하여 비가 완전히 그친 12일 05시까지 실시하였으며, 수위가 급격히 상승할 때에는 매시간, 그 밖에는 2시간 간격으로 총 34회의 유출계산을 실시하였다. 유출계산 초기에는 이전강우를 고려하여 포화우량이 없다고 보았으며 포화유출율(fsa)은 전 유역에서 유출이 발생한다고 가정하여 1.0으로 계산하였으나 9월 10일 17시까지는 예측결과가 지정수위에도 못미치는 3.53m로 나타났으며 11일 01시에는 포화유출율을 90%로 가정하여 유출계산을 실시한 결과 11일 11시경 8.03m로 상승할 것이 예측되었으나 당시 본류구간의 집중호우가 극심하였고 팔당댐에서 약 21,000CMS씩 방류함에 따라 홍수도달시간을 감안하여 11일 06시경 8m내외(실제 8.63m)가 될 것으로 판단되어 02시에 인도교 지점에 대하여 홍수주의보를 발표하였다.

한편, 남한강 여주지점의 수위는 9월 11일 01시 현재 지정수위 5m를 상회하는 5.49m를 기록하였으며 유출계산결과 11일 05시경 경계수위인 7.5m를 상회하는 8.26m로 계산되었으나 시간당 증가하는 수위상승폭이 매우큼에 따라 02시의 강우량을 포함 유출계산을 실시하여 재검토하였으나 01시 예측최대수위보다 23㎝증가한 8.94m로(실제 8.18m) 예측되어 03시에 여주지점에 대하여 홍수주의보를 발표하였다.

유역평균 시우량이 10㎜내외로 강한 집중호우가 계속됨에 따라 매 시간 유출계산을 실시하였으며 9월 11일 06시의 유출계산결과 인도교 지점에 대한 예측최대수위가 11일 14시경 위험수위인 10.5m에 육박하는 9.93m(실제 10.88m)로 계산되어 07시에 인도교지점에 내려진 홍수주의보를 홍수경보로 대체발표하였다. 또한 남한강 여주지점에 대한 예측최대수위도 11일 11시경 위험수위인 9.5m를 초과하는 9.67m(실제 8.82m)로 예측되어 08시에 여주지점에 대하여 기 발표한 홍수주의보를 홍수경보로 대체발령하였다. 또한 인도교 지점에 대하여 07시에 발표한 홍수경보는 10시 30분을 기하여 홍수경보 제2호로 대체발표하여 11일 15시경 11.50m(실제 10.90m)까지 상승할 것으로 예측하였다.

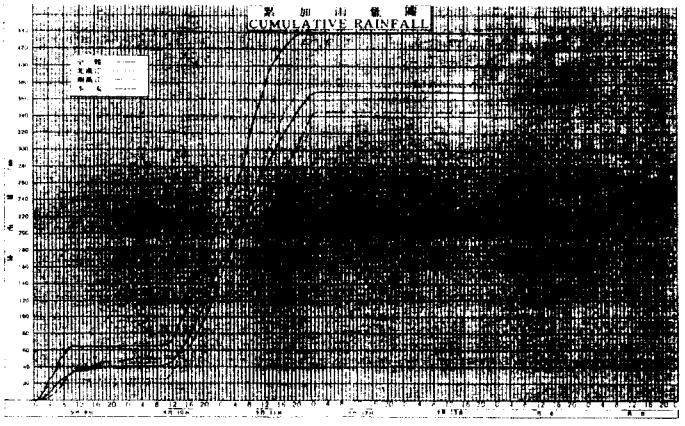

그림 12.26 누가우량도(원본)

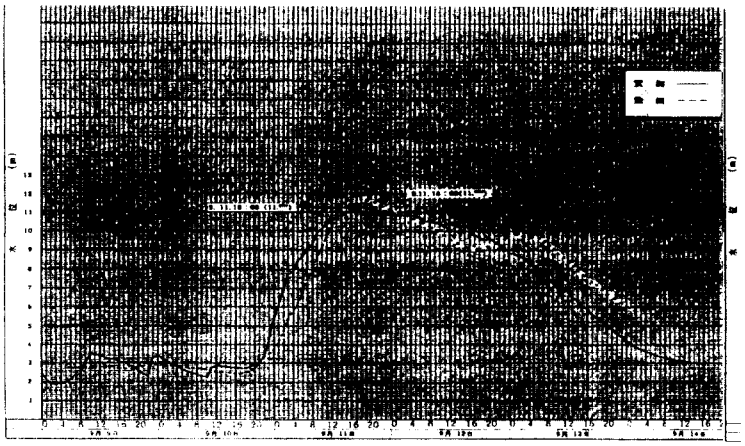

그림 12.27 인도교 실측 및 예측 수위(원본)

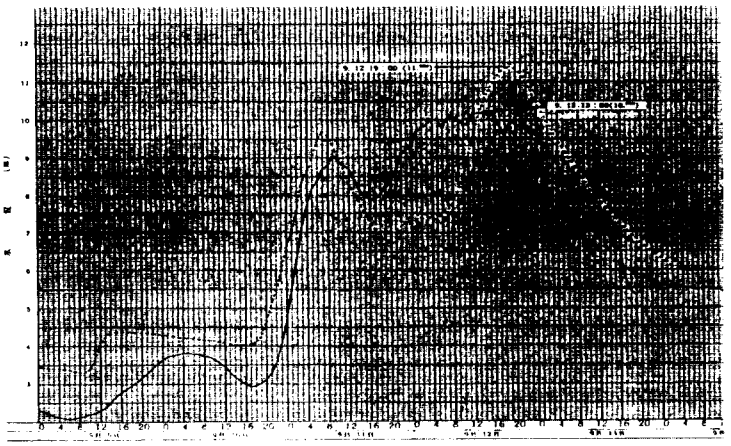

그림 12.28 여주 실측 및 예측 수위(원본)

표 12.10 1990년 홍수자료요약

홍 수 기 간

9. 9. 00:00~9. 13. 00:00

일 최대수위 및 기간중 누가우량

☆ 일 최대수위 (단위 : M)

일 시	9일 11:00	10일 23:00	11일 18:00	12일 00:00	13일 00:00	14일 00:00
인도교	3.54	4.17	11.27	10.84	8.86	4.22
잠수교	5.55	6.32	13.70	13.55	11.55	6.52

☆ 기간중 누가우량 (단위㎜)

본 류 : 438.6 (팔당 : 529) 북 한 강 : 376.7(신풍 : 775)

남한강 : 345.8 (경안 : 585) 전체평균 : 369.6

기간중 최대수위 및 그때까지의 누가우량 (인도교 기준)

☆ 최대수위

인도교 : 11.27m	28.990CMS	(9. 11. 18:00)
잠수교 : 13.70m	CMS	(9. 11. 18:00)
여 주 : 10.17m	9.968CMS	(9. 12. 13:00)
청 평 : 14.14m	15.572CMS	(9. 11. 22:00)

☆ 그때까지 누가우량 (단위㎜)

본 류 : 425.8 북한강 : 348.0

남한강 : 282.3 평 균 : 326.4

잠수교 잠수 및 부상일시

☆ 잠수교 잠수 : 6.32m (9. 10. 22:56), 차량통금 : 6.13m (9. 10. 22:46)

☆ 잠수교 부상 : 6.52m (9. 14. 00:14), 차량통행 : 5.42m (9. 14. 12:35)

☆ 잠수기간 : 9. 10. 22:56~9. 14. 00:14 (73시간 18분)

주요댐 최대유입량 및 방류량 (단위 : CMS)

댐 명	팔 당	화 천	소 양 강	충 주
유 입 량	31,634	4,368	10,653	22,164
일 시	9. 11. 20:00	9. 11. 18:00	9. 11. 15:00	9. 12. 01:00
방 류 량	31,303	3,330	5,675	14,000
일 시	9. 11. 22:00	9. 11. 23:00	9. 12. 02:00	9. 12. 12:00

홍수예경보 발령사항

☆ 홍수 주의보 : 인도교 (9. 11. 02:00) ☆해제 : 9. 13. 18:00

여 주 (9. 11. 03:00)

☆ 홍 수 경 보 : 인도교 (9. 11. 07:00)

여 주 (9. 11. 08:00)

☆ 홍수경보 2호 : 인도교 (9. 11. 10:30)

※ 참고사항 : 잠수교 잠수 기록

잠수교는 한강홍수통제소가 가동된 이후 1976년도에 개통 되었으며 당초의 잠수교가 잠수되는 인도교지점의 유량은 3,800CMS내외로 추정되었으나, 팔당댐 하류의 왕숙천, 탄천, 중랑천 등의 유입량과 합산되므로 단순히 팔당댐 방류량 만으로는 계산할 수 없고 더욱이 인천항의 간·만조의 영향을 받으며 한강하류의 각종 공사로 인한 부분 체절효과와 어우러져 이를 판단하는데 상당한 어려움을 격었다. 1983년에는 인천항의 조위영향과 도달시간을 과거의 기록으로 부터 통계처리한 결과를 이용하여 인천항 조위가 인도교에 미

치는 영향을 검토하여 잠수교의 잠수예상시각과 인도교의 수위 변화를 추정하였으며 당시의 연구결과는 다음과 같은 세가지로 요약된다.

가. 인도교 지점의 조위의 영향치는 인천조위에 비례하고 인도교 수위에 반비례 한다.

나. 동일한 조위에서 수위가 높으면 그 영향이 적고 수위가 낮을수록 영향이 크다.

다. 인도교 수위가 6m이상 일때에는 조위의 영향을 무시할 수 있을정도로 영향이 적다.

그 후 1988년 올림픽개최에 맞추어 한강하류부 하천정비 사업이 대대적으로 행하여져 잠수교의 잠수유량은 또한번 큰 변화를 가져와 인도교의 유량이 6,000CMS내외에서 인천조위를 감안하여 잠수와 부상시각을 예보하고 있으며 참고로 잠수교가 개통된 이후 지금까지의 잠수현황은 다음 표 12.11과 같다.

표 12.11 잠수교 잠수현황

년 도	잠수회수	팔당댐 최대방류량 (㎥/s)	잠 수 시 간 (hr)	잠수교 최대수위 (m)	비 고
합 계	49				년평균 2.3회 잠수
1976	3	4,500	121	11.1	잠수교 개통
1977	2	3,627	12	6.6	
1978	5	18,816	208	11.3	
1979	3	16,126	161	10.5	
1980	3	15,691	139	10.3	
1981	3	14,583	354	10.6	
1982	3	7,000	44	7.75	
1983	1	3,813	7	6.83	
1984	2	30,134	133	13.6	
1985	1	6,444	10	6.76	
1986	1	7,000	19	7.22	
1987	6	14,096	274	9.33	
1988	4	11,991	54	8.4	
1989	-	6,485	-	6.3	
1990	7	31,303	213	13.7	
1991	1	15,302	123	9.23	
1992	1	8,379	10	6.30	
1993	1	9,398	9	6.56	
1994	-	-	-	-	
1995	4	24,000	174	12.61	
1996	1	12,565	47	9.09	