

공학석사 학위논문

소유역에서의 시간분포에 따른
설계홍수량추정 프로그램개발

지도교수 김 상 용

이 논문은 공학석사 학위논문으로 제출함



2002년 2월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

노두성

이 논문을 노두성의 공학석사 학위논문으로 인준함

2001년 12월 15일

주 심 공학박사 이 상 호



위 원 공학박사 이 종 출



위 원 공학박사 김 상 용



목 차

그림 목차	III
표 목차	IV
Abstract	V
1 서론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구내용 및 범위	6
2 설계강우의 시간적 분포모형	7
2.1 Monobe 분포법	9
2.2 Yen&Chow 분포법	9
2.3 Huff 분포법	14
2.4 Keifer와 Chu 분포법	17
3 적용 강우-유출모형	20
3.1 Clark 방법	20
3.2 SCS의 합성단위도법	21
3.3 중안(Nakayasu)의 종합단위도법	22
3.4 Nash 방법	24
4 적용대상유역의 선정 및 기본자료분석	28
4.1 대상유역 현황 및 특성	28
4.2 수문관측자료 분석	31
4.3 홍수도달시간의 결정	33
4.4 설마천유역 지체시간	38

5 모형의 적용 및 분석	41
5.1 모형의적용	41
5.2 모형의분석	42
6 미계측 소유역에의 적용 및 분석	44
6.1 대상 소유역현황	44
6.2 강우량분석	49
6.3 모델적용결과	51
7 결론	59
부록	61
참고문헌	93

표 목차

표 3.1 SCS 무차원 단위도의 비율에 따른시간별종거	22
표 4.1 설마천 시험유역의 지형특성인자	30
표 4.2 유역의 평균유출곡선지수(AMC-II 조건)	31
표 4.3 대상유역의 강우·유출자료	32
표 4.4 홍수도달시간 산정을 위한 대상유역의 유역특성인자	37
표 4.5 홍수도달시간 산정을 위한 입력자료	37
표 4.6 대상유역에서의 홍수도달시간	37
표 4.7 지체시간산정을 위한 유역특성인자	40
표 4.8 대상유역에서의 지체시간	40
표 6.1 우량관측소 일람표	49
표 6.2 하천별 강우량	49
표 6.3 확률 강우량	50

그림 목차

그림 2.1 강우주상도의 형태	10
그림 2.2 삼각형 우량주상도형	12
그림 2.3 사다리꼴 우량주상도형	13
그림 2.4 Huff 1분위 청주지방	17
그림 2.5 강우파형의 개념적인 형상	19
그림 3.1 SCS 무차원 단위도	21
그림 3.2 Nakayasu의 종합단위도	23
그림 3.3 Nash 모형의 선형저수지 개념도	25
그림 4.1 설마천 시험 유역도	30
그림 4.2 전적비교 누가우량	32
그림 5.1 수문곡선(Clark방법)	42
그림 5.2 수문곡선(SCS방법)	42
그림 5.3 수문곡선(Nash방법)	43
그림 5.4 수문곡선(Nakayasu방법)	43
그림 6.1 주향천 유역도	46
그림 6.2 주향천 토양도	46
그림 6.3 주향천 등시권도	47
그림 6.4 도야천 유역도	47
그림 6.5 도야천 토양도	48
그림 6.6 도야천 등시권도	48
그림 6.7 주향천 각 모형 및 분포별 수문곡선	54
그림 6.8 도야천 각 모형 및 분포별 수문곡선	58

Development of the Design Flood Estimation Program According to Temporal Patterns in Small Watershed

Doo-Sung, No

*Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

The temporal patterns of design rainfall give rise to variation of the design flood and are important in determination of design flood for hydraulic structures.

This study propose proper temporal patterns of design rainfall for estimating design flood hydrograph. Monobe, Yen and Chow, Huff's 4th quartiles and Keifer and Chu methods were applied to estimate the proper temporal patterns and the four unit hydrograph methods were used to determine the design flood.

First, the research collects the current computer codes on the four distribution methods of rainfall and the four routing methods of unit hydrograph. Then the research modified the computer programmes. The computer code names were given by Time-Clark, Time-SCS, Time-Nash, Time-Nakayasu.

This thesis compared the various combinations of the four distribution methods and the four methods of unit hydrograph. The hydrologic data from Seloma experimental basin were used for the comparison.

It gave the best result in the case of SCS unit hydrograph method under the rainfall distribution of Huff's 2nd quartile.

1 서론

1.1 연구목적

강우가 유역에서 유출의 형태로 흘러가는 과정은 매우 복잡하며, 이로 인한 수문학적 불확실성은 이수 및 치수 계획 수행시 많은 위험성을 야기시킬 수 있다. 수자원은 인간의 생존을 위하여 없어서는 안되는 귀중한 자연자원 중의 하나로서 인구의 증가와 생활수준의 향상에도 큰 역할을 하고 있다. 그러나 근래에 와서 세계 각 국은 이상기후로 인한 자연 재해 발생빈도가 높아지고 있으며, 우리나라 또한 해마다 풍수해로 인한 피해가 늘어나고 있는 현실이다. 이러한 피해를 대비한 수공구조물의 계획과 설계에 있어서 설계수문량을 합리적으로 결정하는 것은 매우 중요하다.

과다한 설계홍수량은 불필요한 공사비의 증가를 가져오며, 반면에 과소하게 결정한 경우 홍수 시의 수공 구조물의 파괴로 피해를 예상할 수 있으므로 최적 설계를 위한 설계강우의 형태 및 그에 따른 정도가 높은 유출 모형의 해석이 요구된다. 설계홍수량을 추정하는 방법은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 충분히 관측된 홍수자료를 이용하여 순간 최대홍수량을 빈도분석으로 선정하는 방법과, 둘째는 강우사상으로부터 결정한 설계강우를 가지고 강우-유출 관계를 나타내는 홍수수문곡선으로 계산하는 방법이 있다. 이 두 가지 방법을 제시하는데 있어서 대상지역의 특성, 수문자료의 양과 질, 과거로부터 관측된 홍수량자료 등에 따라서 사용하는 방법이 달라진다.

설계홍수량을 도출하는 가장 편리한 방법은 대상 지점에 대한 유역경계를 정하고 유역면적, 토지이용상태, 유역표고, 유로연장등을 이용한 합리식(Rational formula) 및 梶山(Kajiyama)공식 등과 같은 경험식과 또한 유역의 지형학적 특성과 단위도 형태를 연관시킨 단위유량도법 등이 있다.

과거의 경우 강우를 근거로 하여 설계홍수량을 추정할 때 재해의 방지

를 목적으로 주로 침투유량만을 필요로 하여 합리식과 같은 매우 간편한 강우-유출 모형이 사용되었기 때문에 강우의 시간분포에 대한 고려를 할 필요가 없었다. 그러나 최근에 이르러 수문학이 발전됨에 따라 많은 수문 모형의 개발과 함께 침투유량뿐만 아니라 유출 용적이나 유출 수문곡선을 얻는 절차가 개발됨에 따라 설계홍수량 추정 부분에서 강우의 분포형태는 매우 중요하게 고려되고 있다.

이에 대한 연구는 현재 많이 진행되고 있으며 분포형 모형의 연구도 많은 성과를 거두었다. 그러나 대부분의 설계 실무자들은 Monobe식에 의한 결과를 전방위, 중방위, 후방위 등으로 배열하는 경험에 의존하고 있는 실정이며, 실제 강우의 지속시간에 따른 각 분포모형과 강우 유출모형과의 연계적인 작업에는 많은 시간과 노력이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 강우의 시간적 분포모형으로 Monobe, Huff, Yen과 Chow가 제안한 절차에 의한 분포모형을 4가지의 강우유출모형에 연계하여 재현기간별 지속시간별 각 강우유출모형에 대한 분포모형들을 전산 프로그램화 하여 실무에 적용에 있어 신속, 정확함과 편리성을 도모하고자 한다.

이를 위해 먼저, 기존의 개발된 방법과 각 방법별, 모형별 전산프로그램을 수집하여 미계측 유역에 확률강우량에 의한 재현기간별 지속기간별 각 시간분포방법별에 의한 설계홍수량의 산정을 위한 4가지 유출모형의 전산 프로그램을 개발한다.

이러한 방법에 대하여 각 강우-유출모형의 평가와 강우의 시간분포 모형의 적용절차에 대해 고찰하고 설계홍수량 산정의 기준을 평가하며, 개발된 모형을 설마천 시험유역에 적용하여 그 적용성을 평가하고 실제 중·소하천인 주향천과 도야천유역의 시간분포를 고려한 설계홍수량을 산정하여 설계시 최적의 모형을 제시하여 이·치수 계획에 활용할 수 있는 기본자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구동향

유출분석에 있어서 그 입력자료인 강우의 특성은 복잡 다양하여 강우의 시간적분포를 합성의 형태로 나타내기에는 매우 어렵기 때문에 많은 학자들에 의해 여러 가지 방법이 개발되어 왔다. Horner와 Jens(1942)가 미국 St.Louis에서 수행한 유출해석에서 설계우량을 균등강우로 분포하여 유출량과 비교한 것을 초기 연구로 시작하여, Schiff(1943)는 강우의 시간분포를 I.D.F(Intensity-Duration-Frequency)관계로 수학적으로 모형화하여 중방위 형태로 시도하였고, 이를 Keifer와 Chu(1957)에 의해 Chicago방법이라 불리는 수학적 모형으로 완성하였다.

Hicks(1944)와 Jens(1948)와 같은 학자에 의해 강우계측기에 관측된 누가곡선을 이용하는 형태로 가장 많은 연구가 이루어졌다. 이와 유사한연구는 Hershfield와 Wilson(1960), National Environmental Council(1975), Packman과 Kidd(1980), Bonta와 Rao(1989) 등에 의해 수행되었다.

Huff(1967,1970)는 미국Illinois주의 관측 지역에 49개의 우량계를 정방향으로 설치하고 11년간의 강우관측 으로부터 4구간법에 의한 시간분포를 해석하고 누가확률곡선을 제시하였다. Dawdy 와 Bergman(1969)은 15km²의유역에 3개의 우량계를 설치하여 침투우량에 입력 자료인 강우자료의오차가 미치는 영향을 조사하였다. Pilgrim과 Cordery(1975)는 호주의 Sydney 지방에 대한 시간분포를 평균이동법을 이용 분석하였고, 이방법을 Hall과Keen(1973)은 호주의 8개 도시에서 시간분포를 해석한 결과 매우 타당성이 있다고 보고하였다.

이와 다른 연구로 Yen과 Chow(1980)는 무차원 1, 2차 모멘트를 이용하여 삼각형과 사다리꼴 우량주상도의 형태로 단순화하였으며, Wenzel과 Voorhees(1979, 1981)은 민감도분석 등을 행하여 매우 타당성이 있음을 제시하였다. 국내에서는 원태상(1953)이 합리식의 기본가정중의 하나인 강우지속기간과 도달시간이 같다는 가정을 정면으로 논박하였으며, 도달시간

산정식인 Rizha공식과 Kraven공식에 의한 도달시간이 실제의 도달시간보다 적게 추정되기 때문에 국내에서 사용할 경우 매개변수의 재추정이 필요하다는 결론을 유도하면서 합리식의 변형을 시도하였다. 그리고 이순탁과 최영박(1964)은 시간이 경과함에 따라 하천의 유량(기왕최대홍수량)과 수문조건(최대일우량)이 달라진다는 가정하에 Kajiyama(梶山)공식을 수정하였다.

서승덕(1965)은 호주 시드니의 강우자료를 이용하여 최대 강우강도가 나타나는 시간에 따라 4개군으로 나누고 각 군별 무차원 평균누가곡선을 작성하여 최초로 강우의 시간분포개념이 고찰되기도 하였다. 최영박과 박종훈(1966)은 국내 주요도시에 대해 지점별 지속기간별로 강우강도 공식을 제안하였고, 김상용(1972)은 낙동강을 중심으로 1965~1968년 자료를 이용하여 단위도를 유도하여 국내에 이미 도입된 Nakayasu 방법의 적용성을 검토하였다. 이순혁(1977)은 전국의 8개 소유역(85~470km²)을 대상으로 Nash 모형의 적용성을 검토하고 이 모형의 매개변수를 합성하여 제시하였다. 또한 Clark의 집중시간을 유효우량의 중심부터 감수곡선의 변곡점까지 시간으로 정의하여 경험식을 제시하였다. 이어서 박찬영(1980)은 서울 지점에 대하여 Huff(1967)의 4분위법에 의해 시간분포를 분석하였고, 이원환은 1967년부터 1987년동안 각 지역별 강우량자료를 수집하여 분석함으로써 지역별 확률강우강도와 확률분포 특성을 고려한 지속기간별 확률강우강도 공식을 제안하였고, 그 결과를 수자원 실무에서 많이 이용하였다. 그리고 건설부(1988)에서도 그 동안 제시된 확률강우강도공식이 공간적인 성질을 가지고 있지 못하고 있다는 점을 감안하여 등강우선의 형태로 확률강우량을 나타내었다.

이홍래(1989) 등은 국내에 어느 정도 축적된 단시간 수문자료를 사용하여 정확한 유역의 유출현상을 파악후 미계측유역에서 수공구조물의 설계시에 적절한 설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법을 제시 하였으며, 전병호(1991)는 등분포강우와 삼각형 분포강우에 의해 침투유량 변

화를 분석하였고, 한국건설기술연구원(1991)에서 평창강, 위천, 보청천 등 IHP유역을 대상으로 면적감소곡선, 또는 면적우량환산계수를 검토하였으나, 지역별로 차이가 있음을 나타내었다. 또 건설부에서 수자원관리기법개발 연구조사(1993b)에서 전국220개 지점의 강우-유출 자료를 수집하여 이중 65개 지점에 대해 능형회귀방법에 적용하여 1시간-1mm 대표단위도를 개발하였으며, 유역면적을 이용하여 첨두유량과 첨두발생시간을 결정한 후 Nash모형의 n 과 k 를 구하여 단위도를 유도할 수 있는 합성단위도 방법을 제안 하였다. 이후 2000년에는 국내 시험유역 19개지점을 추가하여 50km²이하 유역에서도 적용할 수 있도록 합성단위도를 수정 제안 하였다. 이상호(1994)는 소유역 강우-유출모형으로서 유출함수법을 대폭 개선한 선형저수지 강우-유출모형을 개발하였고, 서진호(1995)는 위천대표유역의 11년간 단독강우사상을 선별하여 각 분포모형의 적용성을 검토하였다.

이러한 연구가 계속 이루어지고 있으나, 현재 국내에서 실무로 주로 사용되는 강우-유출모형이 미계측 유역에서 재현기간에 따른 지속시간별 설계홍수량의 추정에 관한 연구는 미진한 편이다.

1.3 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 먼저 기존의 시간분포모형의 이론 및 연구성과에 대해 기존에 개발된 방법을 수집하고, 각 시간분포모형의 전산프로그램을 수집 및 수정한다. 그리고 기존의 강우-유출 모형 중 실무에 주로 적용되는 합리식, Kajiyama 공식, Clark유역추적법, Nakayasu합성단위도법 중 경험식인 합리식과 Kajiyama공식을 제외한 Clark 순간단위도법과 Nakayasu합성단위도법 이외에 Nash모형, SCS모형에 시간분포모형을 연계하여 각 강우유출모형별로 재현기간별 지속시간에 따른 설계홍수량을 산정할 수 있도록 전산프로그램을 개발한다.

이러한 방법에 대하여 각 강우-유출모형의 평가와 강우의 시간분포 모형의 적용절차에 대해 고찰하고 설계홍수량 산정의 기준을 평가하였다. 그리고 개발된 모형을 설마천 시험유역에 적용을 하여, 그 적용성을 평가하고 실제 중·소하천인 주향천과 도야천유역의 시간분포를 고려한 재현기간별 지속시간별 임계지속시간을 고려한 설계홍수량을 산정하여 설계시 최적의 모형을 제시하고, 또 이·치수 계획에 활용할 수 있는 기본자료를 제공하고자 한다.

2 설계강우의 시간적 분포 모형

대상유역의 설계유출량을 결정하기 위해서는 수공구조물의 사용년 한에 적합한 설계강우량과 더불어 설계강우의 시간적 분포, 즉 설계강우주상도의 결정이 선행되어야 한다. 일반적으로 자연상태 강우의 지속기간은 정의되기 어렵고 지역적, 시간적 분포의 양상 또한 차이를 보이고 있다. 장래에 예상되는 강우시간 분포는 정확히 예측할 수 없는 어려움을 지니고 있으므로 설계강우주상도는 과거의 기록 또는 합성방법을 통한 통계학적 해석에 기초하여 확률적으로 산정하는 방법들이 사용되고 그 지역에 적합한 시간분포 모형을 만들면 수공구조물의 설계조건에 따라 결정할 수 있다. 설계강우의 시간적 분포를 결정할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 단순히 일반적인 시간분포 해석만을 연구하여 제시한 것을 분류하면 크게 다음과 같은 네가지가 있다.

첫째는 강우의 시간분포를 임의로 배열하는 것으로 일최대우량을 가지고 Monobe의 강우량 공식에 대입하여 총강우량을 최대강우강도가 발생하는 위치에 따라 전방집중형, 중앙집중형, 그리고 후방집중형으로 나누고 시간별로 분포시키는 방법이다.

둘째는 강우의 시간분포를 강우강도-지속시간-재현기간 관계를 이용하여 수학적으로 모형화하는 방법이다. 이 방법에는 Keifer와 Chu(1957)가 제시한 것이 대표적이라 할 수 있다.

셋째는 실측 강우량을 시간대별 누가곡선을 작성하여 이용하는 방법으로서 여러 강우사상에 대한 누가곡선을 평균하거나 실측 강우의 지속기간 또는 강우량의 크기를 제한하여 그 크기별로 누가곡선을 평균하여 설계우량주상도를 만들게 된다. 이 방법을 이용한 대표적인 예는 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)이 제시한 6시간 무차원 설계우량주상도와 Huff(1967)의 4분위법이 있다.

마지막으로 Pilgrim과 Cordery(1975)가 호주 시드니 지방에 대한 강우

의 시간분포를 평균이동법을 이용하여 분석하여 제시한 것으로 현재 호주 수문설계기준으로 채택되어 널리 이용되고 있다. 이 밖에 Yen과 Chow(1980)는 미국 북동부 지역에 대한 설계우량주상도를 삼각형으로 가정하고 그 기준치를 제시하였다.

그 동안 국내에서는 우리나라 강우특성이 반영된 강우 시간분포가 특정 지점을 제외하고 전국적으로 적절히 제시되지 못한 상태에서 Mononobe공식을 이용하여 시간구간별로 배분하거나 어떤 강우사상을 가지고 무차원화하여 실무에서 이용되어 왔으나, 한국건설기술연구원(1989)은 '지역별 설계강우의 시간적 분포' 라는 보고서에서 기상청 산하 69개 관측소의 자기우량기록지에서 읽은 10분 단위 우량자료를 가지고 앞에서 설명한 Yen과 Chow, Huff, Keifer와 Chu, 그리고 Pilgrim과 Cordery 분포법을 이용하여 해석하고 그 이용 방법과 각 방법에 따른 기준치를 제시한 바 있다.

그러나 수문해석시 설계강우의 시간적 분포를 어느 것으로 할 것인가 하는 문제는 여전히 불분명하게 남아있다. 따라서 본 연구에서는 이상의 방법중 Monobe 분포법, Huff 분포법, Yen과 Chow 분포법을 대상으로 각 강우-유출모형에 적용할 수 있도록 전산프로그램을 개발하고 각 모형이 설계홍수량 산정에 미치는 영향을 검토, 이·치수 계획에 활용할 수 있는 기본자료를 제공하고자 한다.

2.1 Monobe 분포법

Monobe 분포법은 강우의 시간분포를 임의로 배열하는 것으로 일최대우량을 가지고 Monobe의 강우량 공식에 대입하여 총강우량을 최대강우강도가 발생하는 위치에 따라 전방집중형, 중앙집중형, 그리고 후방집중형으로 나누고 시간별로 분포시키는 방법이다.

그러나 이 Monobe 분포법은 과거 일강우량 기록만이 존재하고 그 보다 짧은 지속기간의 강우량 기록이 확보되지 못하였을 시절에 사용하던 방법이므로 여기서는 지양하기로 하며, 오늘날과 같이 임의 지속기간에 대한 강우자료의 확보가 가능한 경우 적절한 빈도해석을 통해 강우강도-지속기간-빈도관계(Intensity-Duration-Frequency Formula)를 유도할 수 있으므로 I-D-F식에 의해 강우량을 구한 후 전방집중형, 중앙집중형, 후방집중형으로 배열하여 사용하기로 한다.

2.2 Yen과 Chow 분포법

Yen과 Chow(1977)는 무강우가 없는 연속강우자료를 선별하여 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 호우의 시간적 분포를 삼각형과 사다리꼴 우량주상도로 단순화하여 표현하였다.

총강우량은 일반적으로 강우지속기간동안 각 시간구간의 강우량의 합과 동등한 강우깊이 $D(\text{mm})$ 로 표현한다. 그러므로, 강우의 시점부터 종점까지의 시간을 t_d 라 할 경우 호우의 총강우량은 다음과 같다.

$$D = \sum_{j=1}^n d_j \quad (2.1)$$

여기서, d_j 는 j 번째 시간구간의 강우깊이이며, n 은 호우의 시간구간수이다.

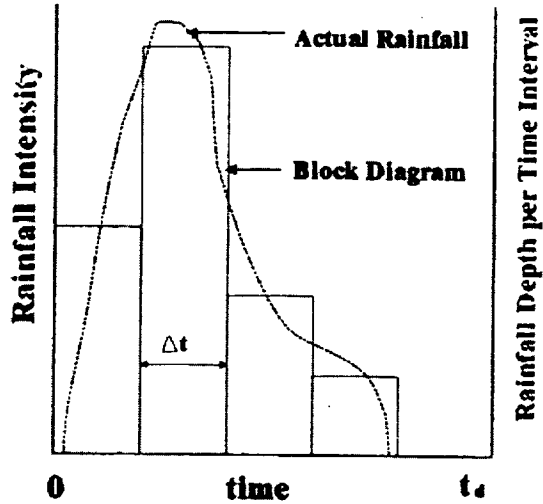


그림 2.1 강우주상도의 형태(Yen&Chow, 1977)

따라서, 호우의 평균강우강도는 $i = D/t_d$ 이며, i 는 시간당 mm로 나타낸다.

그림 2.1은 우량주상도의 전형적 형태를 나타낸 것이며, 그림2.1의 우량주상도로부터 평균강우깊이 $\bar{d}$ 는 다음과 같이 수식화할 수 있다.

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j = \frac{D}{n} \quad (2.2)$$

호우의 시작을 중심으로 한 우량주상도의 1차 모멘트 $\bar{t}$ 는 식 (2.3)과 같다.

$$\bar{t} = \frac{\Delta t \left[\sum_{j=1}^n (j-0.5)d_j \right]}{D} \quad (2.3)$$

2차 모멘트를 G로 표시하면 다음과 같다.

$$G = (\bar{t})^2 = \left[\sum_{j=1}^n (j-0.5)^2 d_j + \frac{1}{12} D \right] / D \quad (2.4)$$

여기서 단위는 hr^2 이며, 강우의 시간분포를 수식화하기 위해 무차원 변수로서 강우깊이 D와 지속기간 t_d 를 사용함으로써 우량주상도를 무차원화 하면 무차원 강우깊이는 식 $d_j^* = d_j/D$ 가 되며 첨자 (*)는 무차원을 나타내는 부호이다.

여기서 $D^* = \sum_{j=1}^n d_j^* = 1$ 이고 $t_d^* = 1$ 이다. 따라서, 무차원 평균강우강도 $i^* = D^*/t_d^* = 1$ 이 되며, 동시에 무차원 평균강우강도깊이는 식(2.5)와 같다.

$$\bar{d}^* = \sum_{j=1}^n d_j^* / n = 1/n \quad (2.5)$$

무차원 우량주상도의 1,2차 무차원 모멘트는 식(2.6)과 (2.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{t}^* = \bar{t} / t_d \quad (2.6)$$

$$G^* = G / t_d^2 \quad (2.7)$$

우량자료를 이용하여 식(2.2)~(2.7)의 각 변수값은 계산할 수 있으며, 통

계적 해석에 의해 결정된다. 또한, 1차 모멘트를 이용하여 그림2.2와 같이 삼각형의 형태로 단순화하면 다음과 같다.

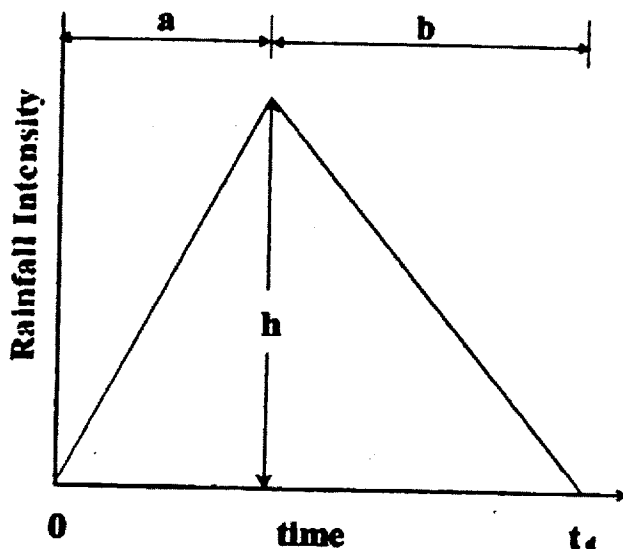


그림 2.2 삼각형 우량주상도형(Yen&Chow, 1977)

$$t_d = a + b \quad (2.8)$$

$$\bar{d} = \frac{h \Delta t}{2} \quad (2.9)$$

$$\bar{t} = (t_d + a)/3 \quad (2.10)$$

이상의 식(2.8)~(2.10)에서 a,b,h는 삼각형 우량주상도의 기하학적 변수이며 이를 풀면 다음과 같고,

$$a = 3\bar{t} - t_d \quad (2.11)$$

$$b = 2t_d - 3\bar{t} \quad (2.12)$$

$$h = 2D / t_d = 2\bar{i} \quad (2.13)$$

식(2.11)~(2.13)을 무차원화 하면 다음과 같다.

$$a^{\circ} = a/t_d = 3t^{\circ} - 1 \quad (2.14)$$

$$b^{\circ} = b/t_d = 2 - 3t^{\circ} \quad (2.15)$$

$$h^{\circ} = h/(D/t_d) = 2 \quad (2.16)$$

또한 1차, 2차 모멘트를 이용하여 그림2.3과 같이 사다리꼴 형태로 단순화할 수 있다.

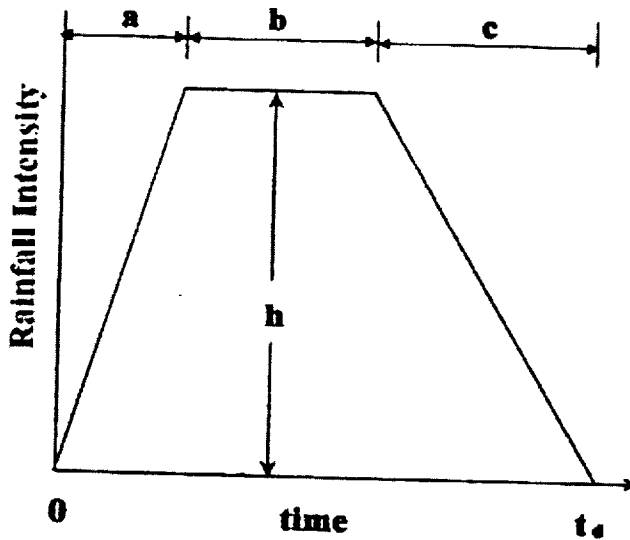


그림 2.3 사다리꼴 우량주상도형(Yen&Chow, 1977)

$$t_d = a + b + c \quad (2.17)$$

$$\bar{d} = \frac{h}{2n}(t_d + c) \quad (2.18)$$

$$\bar{t} = \frac{t_d(t_d + a + c) + c(2a + c)}{3(t_d + c)} \quad (2.19)$$

그리고,

$$G = \frac{t_d^3 + (a+c)t_d^2 + (a+c)^2(t_d+c) + ac(2a+c)}{6(t_d+c)} \quad (2.20)$$

변수 a, b, c 는 방정식 (2.17)~(2.20)을 이용하므로써 풀 수 있으며 따라서, h 는 다음과 같은 식이 성립된다.

$$h = \frac{2D}{(t_d+c)} \quad (2.21)$$

a, b, c, h 를 무차원화하면 다음과 같다.

$$a^{\circ} = a/t_d \quad (2.22)$$

$$b^{\circ} = b/t_d \quad (2.23)$$

$$c^{\circ} = c/t_d \quad (2.24)$$

$$c^{\circ} = 2/(1+c^{\circ}) \quad (2.25)$$

이상의 많은 변수중 삼각형과 사다리꼴에 관계없이 무차원을 나타내는 기하학적 변수 $a^{\circ}, b^{\circ}, c^{\circ}, d^{\circ}$ 를 무차원특성변수라 명명하고, a, b, c, h 는 기하변수라 한다.

2.3 Huff 분포법

1967년 Huff는 미국 Illinios주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적 분포를 나타내는 무차원시간분포곡선을 제시하였다. 이는 강우의 누가곡선을 이용하여, 전 지속기간을 4등분하였을 때 각 분류된 구간의 우량의 최대부위가 어느 부분에서 나타나는지 조사하였다. 즉, 강우

지속기간을 4등분하였을 때, 강우초기에 해당하는 처음 1/4구간을 제1구간호우(First - quartile storm), 다음 2/4구간에 있으면 제2구간호우(Second - quartile storm), 다음 3/4구간에 있으면 제3구간호우(Third - quartile storm), 그리고 마지막 구간일 경우는 제4구간호우(Forth - quartile storm)로 한 것이다.

Huff 분포법의 경우는 침두우량이 발생하는 위치를 지속시간을 축으로 4개 분위로 나누고, 각 분위마다 해당 지점의 관측자료로부터 회귀분석을 통하여 적정 분포곡선을 산정하여 이에 따라 설계강우량을 분포시키는 방법이기 때문에 해당 지점의 강우특성을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 이 방법은 개념상 비교적 단순하면서도 물리적으로도 의미를 가지고 있으며, 대량의 강우자료에 대해서도 짧은 시간 내에 계산이 가능하기 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 침두우량의 발생시각이 4개로 한정되어 있으므로 많은 기록을 가지지 않은 지역의 통계적 특성치는 오차가 발생할 우려가 있으므로 주의해서 사용하여야 한다.

Huff 분포법을 통하여 각 분위별로 우량을 배분하는 기법을 순서대로 열거하면 다음과 같다.

1) 누가우량배분율의 다항식 모형

사업지점의 기왕의 강우자료로부터 침두위치에 따라 4가지로 분류하고, 각 침두위치마다 평균적인 누가우량을 구하고 이를 다음과 같은 다항식으로 나타낼 수 있다고 가정한다.

$$DR = C_0 + \sum C_i \cdot x^i \quad (2.26)$$

$$x = \frac{T}{TD} \times 100 \quad (2.27)$$

여기서 T는 강우지속기간중의 임의 경과시간(분), TD는 총 강우지속기

간(분), x 는 강우지속기간비(%), DR 은 x 에 상응하는 누가우량의 배분율(%)이며, C_0 와 C_i 는 다항식의 회귀계수이다.

2) 표준우량주상도의 작성

지속기간의 구간수는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$N = \frac{TD}{t} \quad (2.28)$$

여기서 N 은 지속기간축의 구간수, TD 는 강우의 지속기간, t 는 단위시간(분)을 의미한다.

3) 강우지속기간비의 결정

$$x(i) = \frac{t \times i}{TD} \times 100 \quad (i=1, 2, 3, \dots, N) \quad (2.29)$$

4) 누가우량 배분율의 결정

$$DR(i) = C_0 + C_1 \cdot x(i) + C_2 \cdot x^2(i) + C_3 \cdot x^3(i) + \dots + C_n \cdot x^n(i) \quad (2.30)$$

여기서 i 는 지속기간의 구간 순위이며, $DR(i)$ 는 i 번째 구간의 우량배분율(%)이다.

5) 우량주상도의 종거 결정

$$HR(i) = DR(i) - DR(i-1) \quad (2.31)$$

여기서 $DR(i)$ 는 i 번째 시간에서의 우량을 의미한다.

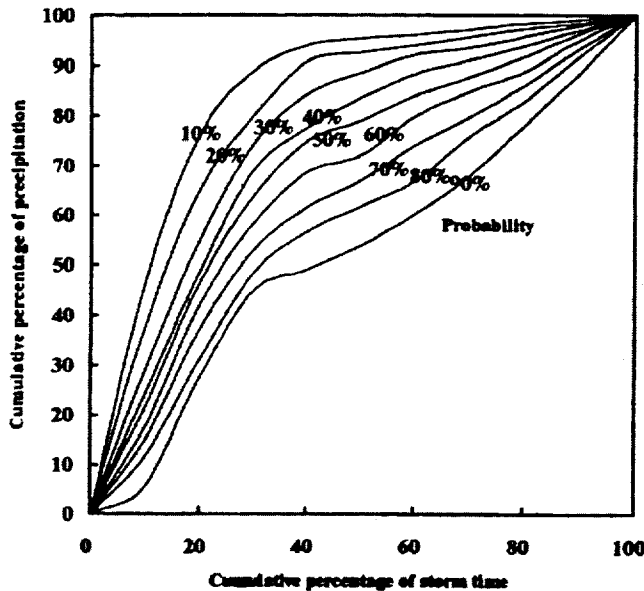


그림 2.4 Huff 1분위(청주지방)

2.4 Keifer와 Chu 분포법

Chicago방법이라고도 부르는 이 방법은 Keifer와 Chu(1957)에 의해 처음 시도되었으며, I-D-F의 평균강우강도와 지속기간의 관계식을 이용하여 시간구간별 강우강도를 구하는 방법이다. 이 방법에서 관측강우량의 시간적 분포법으로 추정되어야 할 것은 첨두우량의 발생시간이다. 이 시간을 추정하기 위해서는 I-D-F 곡선을 작성할 때 사용된 자료를 이용하고, 이 자료의 첨두부분을 평균하여 지속기간별로 중간값 혹은 평균값을 채택하여 최종 r 값을 결정한다.

순간강우강도법은 강우강도식을 이용하여 임의의 설정된 강우의 지속기간에서 첨두우량을 분포시킬 수 있는 수학적 기법으로, 임의의 위치에

침투우량을 위치시킬 수 있다는 장점이 있다. 이와 같이 순간강우강도법은 Huff 분포법에 비해 임의의 침투위치에 따른 강우의 시간적 분포를 알 수 있다는 장점이 있으나, 수학적으로 유도되는 분포이기 때문에 강우의 특성 상 중요한 의미를 가지는 지역적 특성을 고려하지 않는다는 단점이 있다. 강우의 파형에서 침투시각 이전의 시간 t_a 와 침투시각 이후의 시간 t_b 는 강우지속기간 T_d 와 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$T_d = t_a + t_b \quad (2.32)$$

강우시작시각에서 침투강우발생시각까지의 시간 t_a 와 강우지속기간 T_d 의 비 r 을 강우진행계수(storm advancement coefficient)라 하며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T_d = \frac{t_a}{r} = \frac{t_b}{1-r} \quad (2.33)$$

t_a 와 t_b 로 나타내어지는 두 구간에서의 강우강도를 각각 i_a , i_b 라 할 때 다음 그림과 같이 $f(t_a)$, $f(t_b)$ 로 대체할 수 있고, 이에 따라 총강우량 R 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$R = \int_0^{rT_d} f(t_a)dt_a + \int_0^{(1-r)T_d} f(t_b)dt_b \quad (2.34)$$

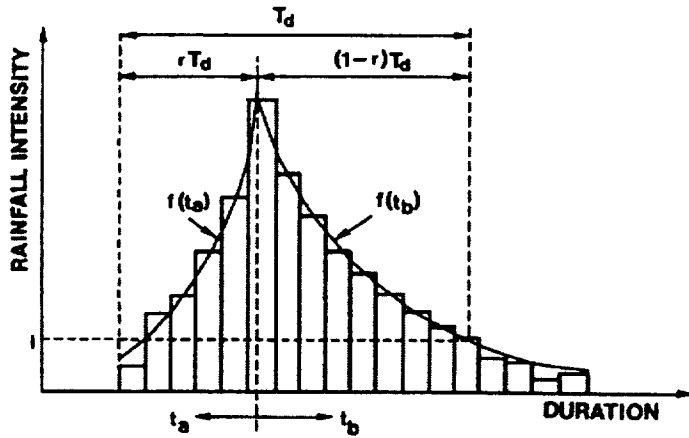


그림 2.5 강우파형의 개념적인 형상

T_d 의 임의의 시각에서 $f(t_a) = f(t_b)$ 이므로 다음과 같은 식이 성립된다. 또한 전 강우지속기간의 평균강우강도를 i_{ave} 라 하면 $R = i_{ave} \cdot T_d$ 가 된다. 이를 강우지속기간에 대해 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dR}{dT_d} = i_{ave} + T_d \frac{di_{ave}}{dT_d} = f(t_a) = f(t_b) \quad (2.35)$$

Keifer와 Chu는 평균강우강도 i_{ave} 를 다음의 식으로 나타내었다.

$$i_{ave} = \frac{C}{T_d^e + f} \quad (2.36)$$

위 식을 미분하면 임의의 시각 t 에서의 강우강도식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$i = \frac{C [(1-e)T_d^e + f]}{(T_d^e + f)^2} \quad (2.37)$$

3 적용 강우-유출 모형

3.1 Clark 방법

유역홍수추적법이란 하천유역을 일련의 저수지 또는 저수지와 하도로 구성되었다고 가정하여 개개의 저수지를 통해 아래와 같은 저류방정식의 해를 구하는 수문학적 홍수추적의 하나로서, 순간 단위유량도를 유도한 후 이를 적용하여 특정호우로 인하여 발생하는 홍수유출수문곡선을 유도하거나 저수지로의 유입량을 직접 계산하여 저류방정식에 입력, 유출량을 계산하는 방법이다.

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.1)$$

여기서 I 와 O 는 각각 미소시간 Δt 동안에 저수지로의 평균유입량(CMS) 및 저수지로부터 방출되는 평균유출량(CMS)이며 ΔS 는 Δt 시간 동안의 저류량의 변화량이다.

저류상수 K 의 결정은 해당유역의 실측 홍수수문곡선자료가 있는 경우에는 수문곡선이 변곡점에서의 유량 Q_T 를 그 점에서 그은 접선경사 (dQ/dt)로 나누어 구할 수 있다.

$$K = - \frac{Q_T}{(dQ/dt)_T} \quad (3.2)$$

그러나 미계측유역에 적용하기 위해서는 위의 식을 적용할 수 없으며, 따라서 다음과 같은 식에 의해 저류상수 K 를 결정하게 된다.

$$K = C \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (3.3)$$

여기서 C 는 의 0.5~1.4수치를 가지는 상수이며, L 은 유로연장(km), S 는 유로경사(%)이다.

3.2 SCS의 합성 단위도법

이 방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service :SCS)에 의해 합성단위유량도를 작성하기 위하여 고안된 방법으로서, 아래의 그림과 같은 무차원 단위도(dimensionless unit hydrograph)의 이용에 근거를 두고 있다.

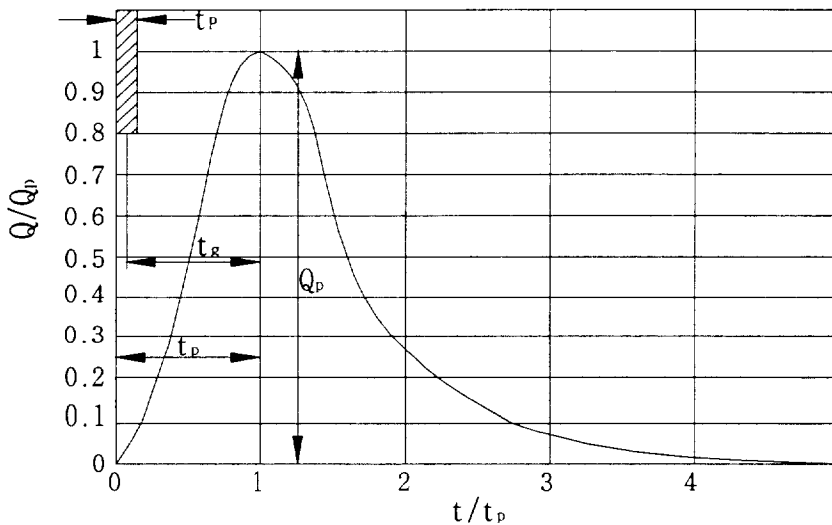


그림 3.1 SCS 무차원 단위도

이 방법을 사용하여 단위도를 합성하기 위해서는 단위도의 첨두유량 Q_p 와 그의 발생시간 t_p 를 결정하여야 하며, 일단 Q_p , t_p 가 결정되면 위의

그림의 무차원곡선이나 이 그림을 만들기 위해 사용한 Q/Q_p , t/t_p 이 비율을 나타낸 아래의 표를 사용하여 단위도를 합성하면 된다.

표 3.1 SCS무차원 단위도의 비율에 따른 시간별 종거

t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp
0	0	0.9	0.990	1.8	0.390	3.4	0.029
0.1	0.030	1.0	1.000	1.9	0.330	3.6	0.021
0.2	0.100	1.1	0.990	2.0	0.280	3.8	0.015
0.3	0.190	1.2	0.930	2.2	0.207	4.0	0.011
0.4	0.310	1.3	0.860	2.4	0.147	4.5	0.005
0.5	0.470	1.4	0.780	2.6	0.107	5.0	0
0.6	0.660	1.5	0.680	2.8	0.077		
0.7	0.820	1.6	0.560	3.0	0.055		
0.8	0.930	1.7	0.460	3.2	0.040		

3.3 中安(Nakayasu)의 종합단위도법

中安의 종합단위도법은 무차원 수문곡선(dimensionless hydrograph)으로서 이것을 이용하여 특정 지속기간의 단위유량도를 합성할 수 있도록 하는 방법이며, 기초 수문자료가 부족하고 산지유역인 곳에서 많이 사용되는 기법으로 그 개념도는 다음 그림과 같다.

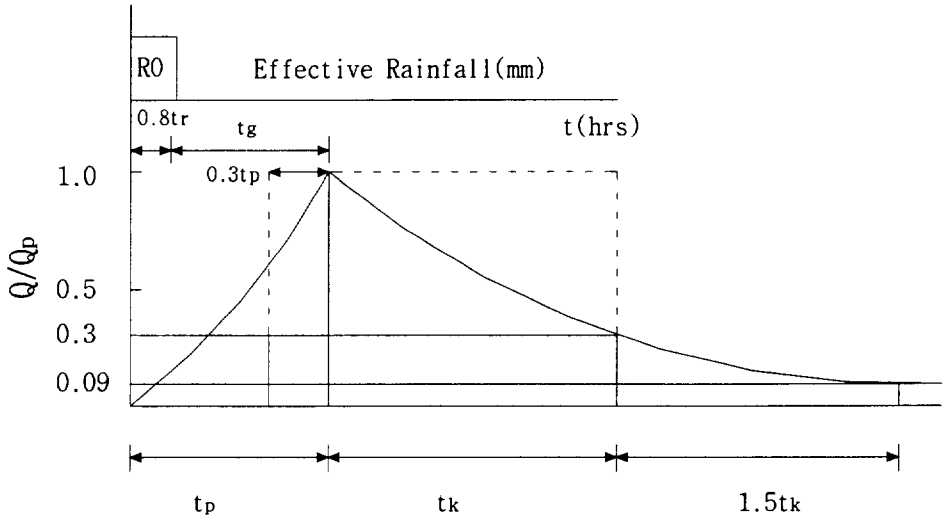


그림 3.2 Nakayasu의 종합단위도

단위도상에서 수문곡선의 상승부와 하강부로 나누어 작성하며 지속시간 t_r 인 R_0 의 유효우량으로 인한 단위도를 다음과 같은 식으로 산정한다.

① 상승부 곡선 : $\frac{Q}{Q_P} = \left(\frac{t}{t_p}\right)^{2.4}$

② 하강부 곡선 : $\frac{Q}{Q_P} = (0.3)^{\frac{t-t_p}{t_k}} \quad : \quad 0.3 \leq \frac{Q}{Q_P} \leq 1.0$

$$\frac{Q}{Q_P} = (0.3)^{\frac{t-t_p+0.5 t_k}{1.5 t_k}} \quad : \quad 0.3^2 \leq \frac{Q}{Q_P} \leq 0.3$$

$$\frac{Q}{Q_P} = (0.3)^{\frac{t-t_p+1.5 t_k}{2 t_k}} \quad : \quad 0.3^3 \leq \frac{Q}{Q_P} \leq 0.3^2$$

여기서 Q_P 는 t_r , R_0 에 대한 첨두유량, Q 는 호우시점으로 부터의 임의시각 t (hr)에서의 유량이며, t_r , $1.5 t_k$, $2.0 t_k$ 는 각각 유량이 Q_P 에서 $0.3 Q_P$ 로, Q_P 에서 $0.09 Q_P$ 로, $0.09 Q_P$ 에서 $0.027 Q_P$ 로 각각 감소

하는데 걸리는 시간이다. 그리고 t_p 는 호우시각에서 침투유량 발생시각까지의 도달시간이며, t_g 는 $0.8 t_r$ 시각으로부터 침투유량 발생시각에서의 침투유량의 지체시간을 의미한다.

$$t_g = 0.21 L^{0.7} \quad (L < 15km) \quad (3.4)$$

$$t_g = 0.4 + 0.058L \quad (L > 15km) \quad (3.5)$$

$$t_g = 0.47 (AL)^{0.25} \quad (3.6)$$

여기서 L 은 하천의 최대 유로연장(km), A 는 유역면적(km^2), 그리고 t_g 는 $(t_p - 0.8 t_r)$ 시간이다.

$$\int Q dt \cong Q_P(0.3 t_p + t_k) = 0.2778 R_o A$$

$$\therefore Q_P = \frac{0.2778 R_o A}{0.3 t_p + t_k} \quad (3.7)$$

위의 식을 사용하면 유효우량 R_o (mm)로 인한 단위도의 침투유량을 구할 수 있고, 무차원 곡선을 이용하여 단위도를 합성할 수 있다.

3.4 Nash 방법

Nash 모형은 대표적인 개념적 순간단위도로서 매개변수가 2개이다. 보통의 단위도 유도 방법은 순수한 블랙박스 모형에서 유역의 집수응답을 나타내는 방법은 유역 전반에 걸쳐서 발생하는 미시적이거나 거시적인 단계의 물리적인 진행 과정에 대한 고려를 하지 않고 유효우량과 직접유출의 관계에 대한 특성에만 집중하는 것이다.

만약 강우를 유출로 변환하는 것이 선형적이고 시간-불변이라고 한다면,

이들 관계는 회선적분(convolution integral)으로 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \int_0^{tm} h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (3.8)$$

여기서 $x(\cdot)$ = 강우의 입력, $y(\cdot)$ = 유출의 출력, $h(\cdot)$ = 유역의 응답

tm = 시스템의 기억용량

D시간 단위 간격의 총 입력과 출력에 대해서는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y[sD] = \sum_{k=0}^{min} x[(s-k+1)D]h[kD], \quad s=1,2,\dots,N \quad (3.9)$$

여기서, $x[\cdot]$ = 1시간 단위 간격의 전체유입, $h[\cdot]$ = D시간 간격일 때의 종거, D=지속시간이며 위의 관계를 D인 단위체적에 의한 시스템의 반응 즉, D시간 단위유량도(D hr UH)라고 한다.

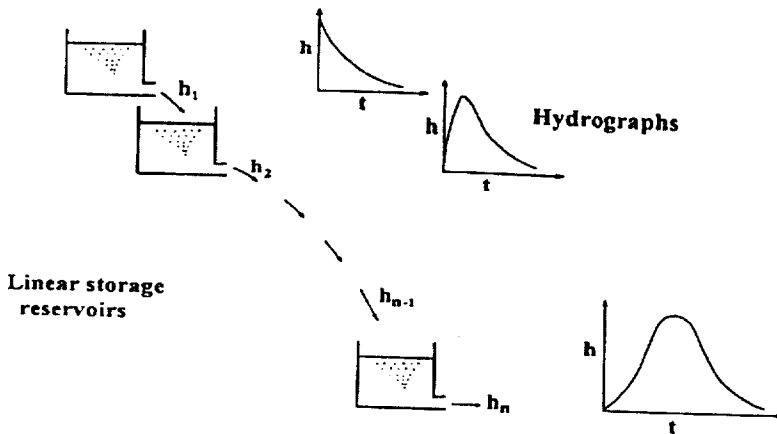


그림 3.3 Nash 모형의 선형저수지 개념도

위 그림 3.3과 같은 일련의 선형저수지를 생각할 때 그 첫 번째 저수지에 $\delta(t)$ 의 순간유효우량이 입력되면 저수지로 부터 유출되는 출력 h 는 다음식과 같다.

$$h + k \frac{dh}{dt} = \delta(t) \quad (3.10)$$

Laplace 변환을 취하면

$$\begin{aligned} L[h + k \frac{dh}{dt}] &= L[\delta(t)] \\ h(s) + ks h(s) &= 1 \\ h(s) &= \frac{1}{1 + ks} = \frac{1}{k(\frac{1}{k} + s)} \end{aligned} \quad (3.11)$$

순간입력에 의한 첫 번째 저수지의 유출은

$$h_1(s) = \frac{1}{k(\frac{1}{k} + s)} \quad (3.12)$$

두 번째 저수지의 경우는

$$\begin{aligned} h_2 + k \frac{dh_2}{dt} &= h_1 \\ L[h_2 + k \frac{dh_2}{dt}] &= L[h_1] \\ h_2(s) (1 + ks) &= \frac{1}{k(\frac{1}{k} + s)} \end{aligned} \quad (3.13)$$

따라서,

$$h_2(s) = \frac{1}{k^2(\frac{1}{k} + s)^2} \quad (3.14)$$

마찬가지로 n번째 저수지의 경우는

$$h_n(s) = \frac{1}{k^n(\frac{1}{k} + s)^n} \quad (3.15)$$

역 Laplace 변환을 취하면 다음 식과 같이 되고 이를 Nash모델이라고 한다

$$h_n(t) = \frac{1}{k} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \frac{\exp^{-t/k}}{\Gamma(n)} \quad (3.16)$$

4 적용대상구역의 선정 및 기본자료 분석

4.1 대상구역 현황 및 특성

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 운영하고있는 설마천시험유역을 대상으로 하였다. 설마천은 임진강 하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주시 적성면에 위치하고 있는 임진강의 제 1지류로서, 유역면적 18.5km², 유로연장 11.3km인 수지상 형태를 가지고 있는 하천이다. 본연구유역은 설마천 유역의 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구점으로 하는 상류 유역이다.

설마천 시험유역은 동경 126 ° 55' 54" ~ 126 ° 54' 57", 북위 37 ° 54' 57"~37 ° 56' 23" 에 위치한 유역으로 유역면적 8.5km², 유로연장 5.8km 인 전형적인 산지하천이다. 유역내에 군부대가 주둔해 있어 개발이 많이 이루어지지 않았으며, 앞으로도 자연 상태의 산지 하천의 특성을 유지할 것으로 판단된다. 이 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 시험유역에서 가장 높은 감악산(EL. 675m)이 위치하고 있다. 하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보이고 있으며, 도로를 따라 발달한 주 하천은 그림 2.1의 유역도에서 보는 바와 같이 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다.

설마천 시험유역은 선캠브리아기의 경기편마암 복합체로 구성되어 있다. 유역의 남부에는 주로 호상의 엽리를 편마암이 우세하고, 북부로 가면서 안구상 편마암이 우세하게 발달하며, 곳에 따라 재결정된 규암과 변성 관입암류가 관찰된다. 일반적으로 화강암은 불투수층으로 분류되며, 설마천 시험유역의 편마암은 근본적으로 화강암에서 기원한 것으로 보이므로 불투수층으로 분류될 수 있으나, 절리가 비교적 많이 발달하고 엽리의 발달이 강하여 소량의 지하수를 함유할 수 있으며, 절리가 강하게 발달하는 구간에서는 상당량의 물을 함유할 수 있는 것으로 보인다. 그러나 일반적으

로 변성암에서 주로 관찰되는 단층대를 통한 물의 다량 함유는 단층대의 발달로 상대적으로 불량한 특성이 있다.

이 지역은 절리가 많이 발달하고 있으나, 절리나 단층의 틈이 좁고 연장성이 강하지는 않아서 유량이 적을 경우에는 대부분 지하수로 유입되지 못하고 지표수에만 영향을 주지만, 어느 정도의 유량을 넘어서면 지하수위를 상승시키고 하천수의 상승으로 바로 반영될 것으로 보인다. 그러므로, 이 지역은 갈수기에는 수량이 급격히 감소하여 소량의 물이 지표수로 흐르나, 토양층의 두께가 얇으며 암석의 함수능력이 미약하고 경사가 급하기 때문에 우기에는 수위가 급격히 증가할 것으로 보인다.

이 지역의 하천은 비교적 강한 암석에 의해서 둘러싸인 상류 하천으로, 하천의 수계망은 기본적인 수지상에 암석의 구조에 의해 지배되는 엽리, 단층, 절리 등의 특성에 의하여 직각상이 결합되어 혼합된 형태의 수계이다. 결론적으로 시험유역은 작은 절리가 많이 발달되어 있고, 엽리의 절리로 작용하는 등 지질 구조의 특성상 초기 강우시 소량의 우량에는 하천의 수위에 큰변화를 보이지 않는다. 따라서, 유출은 절리의 연장성이 불량하고, 틈새가 비교적 좁고, 공극이 적은 단층의 발달로 인해, 이러한 파쇄대를 채우고 난 이후에 하천의 수위가 급격히 증가하는 양상을 보일 것으로 예상된다.

설마천 시험유역의 임상은 아교목 또는 관목상태의 활엽수림과 혼효림이 대부분을 차지하고 있으며, 계곡 근처 사면의 하부에 국소적으로 일본잎갈나무와 잣나무가 식재되어 있다. 또한, 산림의 층상 구조가 발달하지 않아 유역의 산림이 가지는 수원의 함양 능력은 대단히 낮은 것으로 평가되며, 산지 사면에 산재한 다량의 작은 돌이나 자갈이 여름철 강우나 집중호우시 지표면 유출수와 함께 이동하여 2차 하천에 유입됨으로써 토석류를 유발할 우려가 높기 때문에 2차 하천에 토사의 이송 및 토석류등에 의한 재해를 방지하기 위한 사방댐이나, 토석 이동 억제장치의 설치가 필요한 것으로 판단된다.

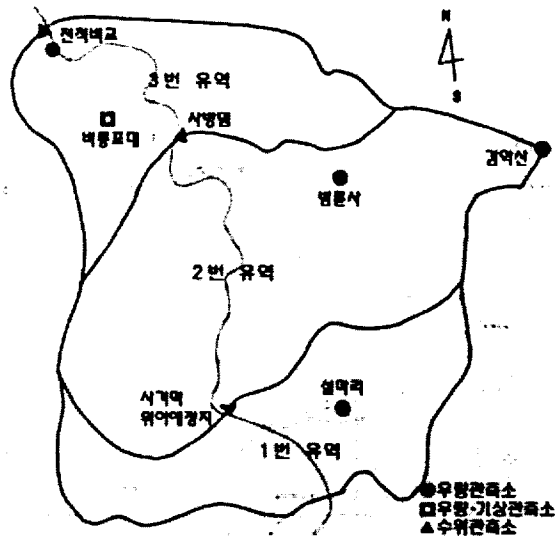


그림 4.1 설마천 시험유역 유역도

표 4.1 설마천 시험유역의 지형 특성인자

소유역별 구분	1번소유역 (위어예정지점)	2번 소유역 (사방댐)	3번 소유역 (전적비교)	설마천 하구 (하천정비인용)	비고
유역면적	2.2	6.4	8.5	18.5	$A=\text{km}^2$
본류 유로연장	1.1	3.5	5.8	11.3	$L=\text{km}$
본지류 유로연장	1.9	6.0	8.8	-	$L'=\text{km}$
유역의 중심장	0.4	1.0	2.0	-	km
유역 평균폭	2.00	1.83	1.47	1.64	$A/L=\text{km}$
형상계수	1.58	0.52	0.25	0.15	A/L^2
하천밀도	1.64	5.63	9.11	-	L'/A
유역평균 경사	20	33	36	-	%
유로경사	3.6	3.0	2.0	-	%

설마천 시험유역에 대한 1/25,000 정밀 토양도를 확인한 결과 하천 주위를 따라서 일부분에 대한 조사만 되어 있을 뿐 전체적인 토양구분은 조사되어 있지 않다. 따라서 SCS방법에 의한 유출곡선지수(CN: Curve Number)를 도출해 내기 위해서는 산림토양의 특성에 SCS의 기준을 적용하여 표 4.2와 같이 유역의 유출곡선지수를 구하였다.

표 4.2 유역의 평균유출곡선지수 (AMC-II 조건)

구분	토지 이용 상태	토양형								면적합 (Km ²)	평균유출 곡선지수 (CN)
		A		B		C		D			
		면적 (Km ²)	CN	면적 (Km ²)	CN	면적 (Km ²)	CN	면적 (Km ²)	CN		
1번 소유역	논			0.245	77					0.245	77
	산림			0.494	75	1.461	86			1.955	83
	계			0.739		1.461				2.200	83
2번 소유역	논			0.245	77					0.245	77
	산림			1.553	75	4.510	86	0.092	91	6.155	83
	계			1.798		4.510		0.092		6.400	83
3번 소유역	논			0.245	77	0.041	81			0.286	78
	산림			2.138	75	5.800	86	0.276	91	8.214	83
	계			2.383		5.841		0.276		8.500	83

4.2 수문관측자료 분석

유역내의 정확한 수문분석은 기상학적 분포와 수문관측자료의 정확성 및 다량의 기록 자료에 좌우되므로 이러한 실측자료는 수문사항을 분석함에 있어 매우 중요하다.

적용대상유역으로 선정된 설마천유역의 강우-유출자료는 2001년 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구보고서에 수록된 자료를 채택하여 사용하였으며 분석에 사용된 대상유역의 강우, 유출자료는 표 4.3와 같다.

표 4.3 대상유역의 강우, 유출자료

구분	기간	강우량 mm	유출고 mm	유출률 %	침투시간	침투유량 m ³ /s
전적비교	07/29- 08/09	433.6	388.1	0.90	01-07-30 06:30	29.6543
사방댐	07/29 08/09	421.5	223.3	0.53	01-07-30 06:20	27.10885

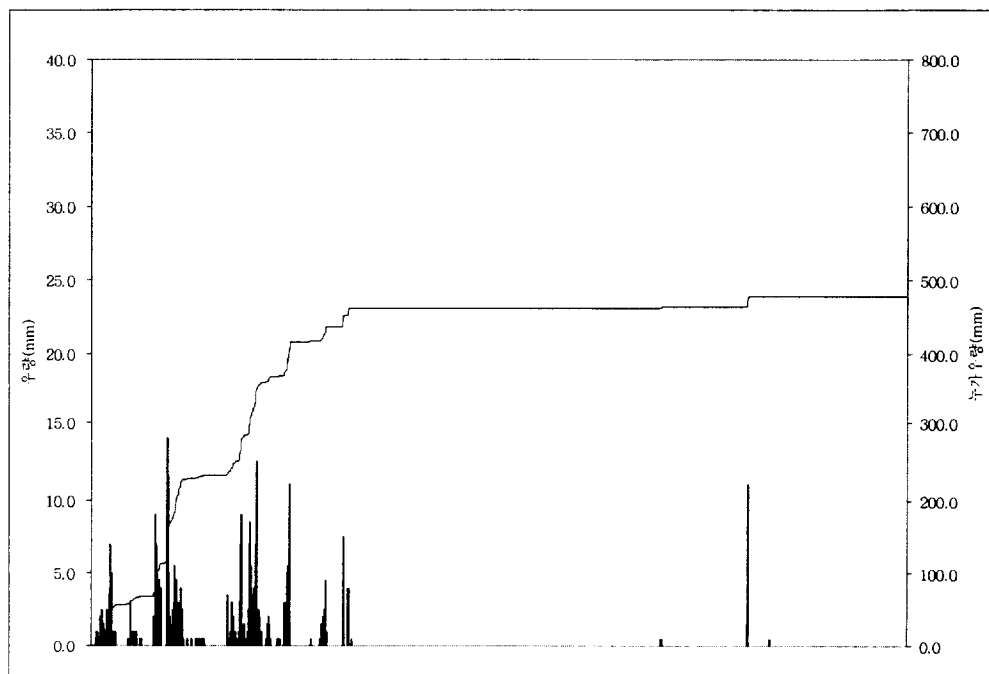


그림 4.2 전적비교 누가우량

4.3 홍수도달시간의 결정

본 연구대상 유역인 설마천유역의 도달시간은 아래의 각 방법에 의하여 산정된 도달시간을 평균한 값을 사용하였으며, 각 방법별 도달시간공식은 아래와 같다.

SCS 의 지체시간공식

SCS의 지체시간 공식은 농경지유역과 2,000acres 이하의 도시유역에 적용 가능하다.

$$t_c = \frac{1.67 L^{0.8} [(1,000 / CN) - 9]^{0.7}}{1,900 S_0^{0.5}} \quad (4.1)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(hr), L 은최원점에서의 주유로연장(ft), CN 은유출곡선지수, 산정되는 유역가능저류량의 단위는inch, S_0 는 유역평균경사(%)이다.

SCS의 평균유속공식

지표천수류 와 하도류에 대한 공식

유역을 소구간으로 세분하여 구간별 유하시간(travel time)을 아래의 식으로 산정하게 되며, 각 유하시간을 합산하여 홍수도달시간을 산정한다.

$$t_f = \frac{L}{3,600 V} \quad (4.2)$$

여기서 t_f 는 유하시간(hr), L 은유로길이(ft), V 는 평균유속(ft/sec)이다.

면상류에 대한 공식

유하시간은 아래의 공식을 사용하며, 유로길이는 300ft 미만에 적용하여야한다.

$$t_f = \frac{0.007 (nL)^{0.8}}{P_2^{0.5} S_0^{0.4}} \quad (4.3)$$

여기서 t_f 는 시간(hr)단위이며, L 은 유로길이(ft), n 은 Manning의 조도계수, S_0 는 유역경사(ft/ft), P_2 는 2년빈도의 지속시간의 강우량(in)를 의미한다.

Kirpich 공식

Kirpich 공식은 미국의 Pennsylvania와 Tennessee유역에 대한 결과를 사용하고 있으며 Tennessee유역을 대상으로 한 Kirpich공식을 검토한 결과 표준공식은 다음과 같다.

$$t_c = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (4.4)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 주하천의 유로연장(km), S 는 주하천의유로평균경사(m/m)이다.

Kraven 공식

Kraven 공식은 하도경사가1/200이하인 자연하천 유역에 적용가능하며, 대표적인 공식은 다음과 같다.

$$t_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}} \quad (4.5)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 하도길이(km), S 는 하도경사(H/L , m/m)이다.

Kerby의 공식

Kerby의 공식은 유로연장이 1,000ft 이하인 지표면에 적용 가능하며, 공식은 다음과 같다,

$$t_c = 0.827 \left(\frac{LN}{\sqrt{S}} \right)^{0.467} \quad (4.6)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 주유로연장(ft), S 는 지표면경사(ft/ft), N 은 피복의 조도계수로 포장지역은 0.02, 나지는 0.30, 산림은 0.80을 각각 사용하며, L 과 S 의 단위가 각각 km, m/m 인 경우 표준공식의 계수 0.827은 36.264로 환산된다.

Rizha 공식

국내 실무에서 주로 이용되고 있는 Rizha 공식은 다음과 같다.

$$t_c = 0.833 \frac{L}{S^{0.6}} \quad (4.7)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 하도길이 (km), S 는 하도경사 ($H/L, m/m$)

Izzard 공식

Izzard 공식은 도시하천유역에 적용 가능하며, 대표적인 공식을 제시하면

다음과 같다.

$$t_c = \frac{41.025 (0.007 i + c) L^{0.33}}{S^{0.333} i^{0.667}} \quad (4.8)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), i 는 강우강도(in/hr), c 는 지체계수, L 은 흐름경로의길이(ft), S 는 흐름경로의경사 (ft/ft)이다.

Kinematic Wave공식

Kinematic Wave 공식은 흐름길이가 50~100ft인 지표면에 적용 가능하며, 하도 및 포화된 유로에서의 홍수도달시간은 다음과 같이 나타내어진다.

$$t_c = \frac{0.94 L^{0.6} n^{0.6}}{i^{0.4} S^{0.3}} \quad (4.9)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), L 은 지표면흐름의 길이(ft), n 은 Manning의 조도계수, I 는 강우강도(in/hr), S 는 지표면 평균경사(ft/ft)이다.

미국 연방항공청 공식

미국 연방항공청 공식은 공항지역에 이용할수있도록 개발된공식으로 개발도시지역에 적용하며, 대표적인 홍수도달시간 산정공식은 다음과 같다.

$$t_c = \frac{1.8(1.1 - C)L^{0.5}}{S^{0.333}} \quad (4.10)$$

여기서 t_c 는 홍수도달시간(min), C 는 합리식유출계수, L 은지표면 흐름길이(ft) S 는 지표면경사(%)이다.

표 4.4 홍수도달시간 산정을 위한 대상유역의 유역특성인자

유역명		주유로연장 L(m)	유로경사 S(m/m)	유역경사 S ₀ (%)
설 마 천	1	2,160	0.112	20.0
	2	4,560	0.071	33.0
	3	6,860	0.053	36.0

표 4.5 홍수도달시간 산정을 위한 입력자료

유역명		유출 곡선 지수 CN	평균유속 V(m/s)	피복조도 계수 N	강우강도 i(mm/hr)	지체계수 c	Manning 조도계수 n	유출계수 C
설 마 천	1	83	0.91	0.40	78.7	0.060	0.04	0.80
	2	83	1.22	0.40	78.7	0.060	0.04	0.80
	3	83	1.28	0.40	78.7	0.060	0.04	0.80

표4.6 대상유역에서의 홍수도달시간

유역명		SCS Lag	SCS V	Kirpich	Kraven	Kerby	Rziha	Izzard	Kinematic Wave	FAA	평균
설 마 천	1	31.0	39.6	16.7	3.0	56.5	6.7	46.4	34.5	20.3	28.3
	2	43.8	62.3	35.5	7.9	89.2	18.6	69.2	61.3	34.4	46.9
	3	58.2	89.3	54.3	13.8	115.4	33.3	87.1	85.5	46.5	64.8

4.4 설마천 유역 지체시간

Snyder 공식(1938)

Snyder공식은 유역면적이 $10 \sim 1,000 \text{mi}^2$ 인 자연하천유역을 대상으로 개발되었으며 Snyder 공식에 의한 지체시간은 유효강우 주상도의 중심에서 직접유출수문곡선중심까지의 시간차로 정의된다.

$$t_L = C_t (L L_{ca})^{0.3} \quad (4.11)$$

여기서 t_L 은 지체시간(hr), L 은 출구점으로부터 본류를 따라 유역의분수계까지 측정한거리(mi), L_{ca} 는 출구점으로부터 본류를 따라 유역의중심에 가장 가까운 본류상의점까지 측정한거리(mi), C_t 는 유역의 경사와 저류에 따라 변화하는 계수로 1.8~2.2의 값을 갖는다.

Clark 공식(1945)

Clark 공식은 유역면적이 $250 \sim 1,700 \text{mi}^2$ 인 자연하천유역을 대상으로 개발되었으며, Clark공식에 의한 지체시간은 유효강우 주상도의중심에서 직접유출 수문곡선 중심까지의 시간차로 정의된다.

$$t_L = \frac{CL}{\sqrt{S}} \quad (4.12)$$

여기서 t_L 은 지체시간(hr), L 은 주유로의연장(mi), s 는 유로의평균경사(ft/mi), C 는0.8에서2.2이며, L 과 s 의단위가 각각 km, m/m이면 C 는0.22에서0.60의값을 갖는다.

Linsley 공식(1945)

Linsley 공식은 유역면적이 250~1,700mi² 인 자연하천유역을 대상으로 개발되었으며, Linsley공식에 의한 지체시간은 유효강우 주상도의 중심에서 직접 유출 수문곡선의 중심까지의 시간차로 정의된다.

$$t_L = \frac{bL\sqrt{A}}{\sqrt{S}} \quad (4.13)$$

여기서 t_L 은 지체시간(hr), L 은주유로의연장(mi), s 는 유로의평균경사(ft/mi), A 는 유역면적(mi²), b 는 0.04에서 0.08이며, L , s , A 의단위가 각각 km, m/m, km²이며 b 는 0.0067에서 0.0135의 값을 갖는다.

Eagleson 공식(1962)

Eagleson 공식은 도시유역을 대상으로 개발되었으며, Eagleson공식에 의한 지체시간은 유효강우 주상도의 중심에서 직접유출 수문곡선의 첨두 시간까지의 시간차로 정의된다.

$$t_L = \frac{L}{(1.5/n) R_h^{2/3}} \quad (4.14)$$

여기서 t_L 은 지체시간 (hr), L 은 평균이동거리(ft), n 은Manning의 조도 계수, R_h 는 주우수관의 가중동수반경(ft), S_a 는 주우수관의 가중경사(ft/ft)이다.

Rao and Delleur 공식(1974)

Rao and Delleur 공식은 도시유역을 대상으로 개발되었으며, Rao and Delleur공식에 의한 지체시간은 유효강우 주상도의중심에서 직접유출 수문

곡선의중심까지의 시간차로 정의된다.

$$t_L = 0.78 A^{0.496} L^{0.093} S^{-0.075} (1 + I_A)^{-1.289} \quad (4.15)$$

$$t_L = 0.78 A^{0.542} S^{-0.081} (1 + I_A)^{-1.21} \quad (4.16)$$

$$t_L = 0.83 A^{0.512} (1 + I_A)^{-1.433} \quad (4.17)$$

여기서 t_L 은 지체시간(hr), A는 유역면적(mi²), L은 본류의 하도길이(mi), S는 유역출구점과 최원점의 표고차를 하도길이로 나눈 본류 유역평균경사 (H/L,ft/mi), I_A 는 해당유역에서 불투수면적비이다.

표 4.7 지체시간 산정을 위한 유역특성인자

유역명		유역면적 A(km ²)	유로연장 L(m)	유역중심장 Lca(m)	유로경사 S(m/m)	유역경사 So(%)	불투수면적 Ia
설 마 천	1	2.2	2,160	400	0.073	20.0	0.00
	2	6.4	4,560	1,000	0.042	33.0	0.00
	3	8.5	6,860	2,000	0.032	36.0	0.00

표 4.8 대상유역에서의 지체시간 (단위 : 분)

유역명		Snyder	Clark	Linsley	Eagleson	Rao and Delleur	SCS Lag
설 마 천	1	86.3	6.2	0.2	-	27.3	18.5
	2	142.2	17.1	1.1	-	37.3	26.2
	3	197.9	29.5	2.1	-	61.5	34.5

5. 모형의 적용 및 분석

5.1 모형의 적용

현재 국내에서 자연하천의 유역종합계획과 수공구조물 설계를 위한 설계홍수량 산정시 강우-유출모형으로 많이 사용되고 있는 네가지 모형인 SCS합성단위도법, Nakayasu합성단위도법, Clark의 유역추적법과 Nash모형을 이용하였다. 강우의 시간적 분포모형으로 Mononobe, Huff, Yen과 Chow가 제안한 절차에 의한 분포모형을 4가지의 강우유출모형에 연계하여 재현기간별, 지속시간별 각 강우유출모형에 대한 분포모형들을 전산프로그램화 하였으며, 개발된 각각의 모형들은 Time-Clark, Time-SCS, Time-Nash, Time-Nakayasu로 명명하였다.

분포모형과 연계된 각각의 모형의 적용성을 검토하기 위해 한국건설기술연구원의 대표시험유역인 설마천 시험유역에 2001년 7월의 호우사상에 대해 적용하였다. 그리고, 미계측유역의 경우 SCS모형 적용시 첨두시간 t_p 와 첨두홍수량 Q_p 를 구하기 위해서 홍수도달시간을 Rizha식으로 결정하였고, 단위도종거의 단위시간을 첨두시간의 25%(수리구조공학, 권순국 공저)인 0.5시간 간격으로 시간대별 유출량을 분석하였다. Nakayasu모형은 유역특성인자 중 유역면적, 유로연장, 유효강우량 가지고 Nakayasu단위도 종거와 분포형별시간우량을 계산한 후 시간대별 유출량을 분석하였고, Clark유역추적법은 도달시간과 저류상수 K 는 실측 수문자료에 의해서 결정하여야 하나 본 유역은 이러한 수문자료가 없으므로 도달시간을 Rizha식으로부터 구하였고 저류상수는 도달시간의 일반적인 관계식인 $K = \alpha T_c$ 에 의해 결정 하였다. Nash모형은 유역특성인자중 유역면적, 유로연장, 유로경사의 3가지 변수를 가지고 능형회귀방법을 이용하여 첨두시간과 첨두유출량을 구하고, 단위도 종거를 결정하여 시간분포는 확률강우량으로부터 분포모형별로 설계강우를 시간분포 시켰으며 결과에 대한 수문곡선을 모형별로 나타내었다.

5.2 모형의 분석

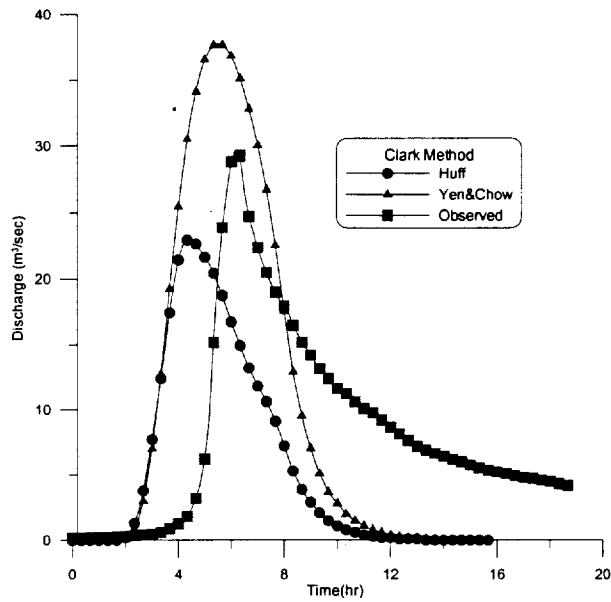


그림 5.1 수문곡선 (Clark Method)

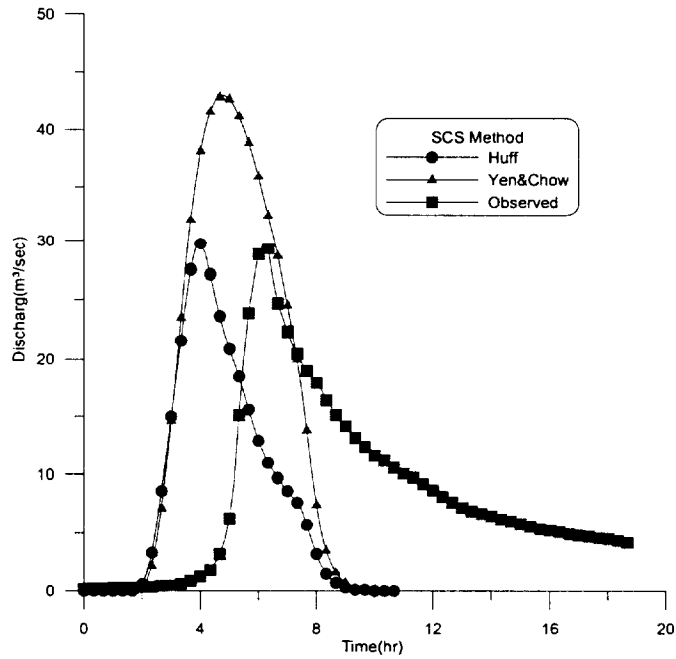


그림 5.2 수문곡선 (SCS Method)

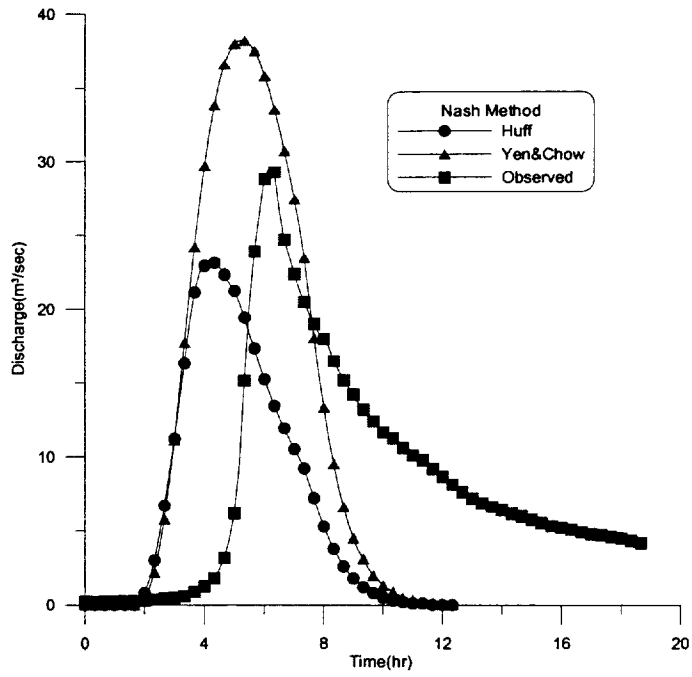


그림 5.3 수문곡선 (Nash Method)

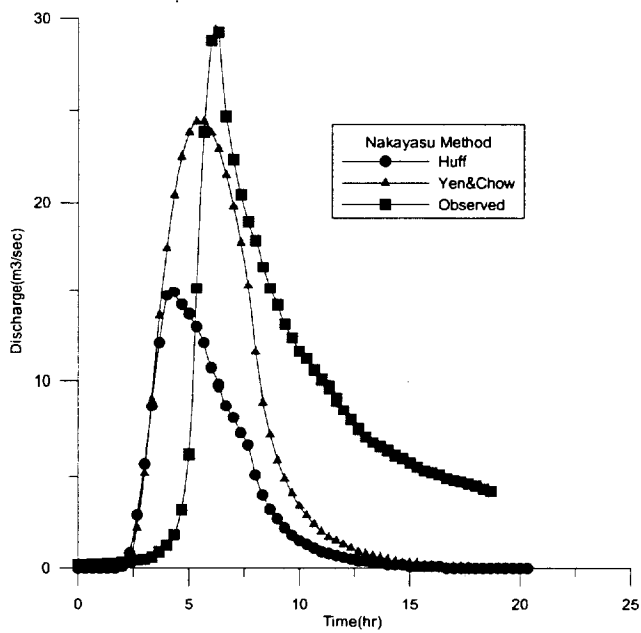


그림 5.4 수문곡선 (Nakayasu Method)

6. 미세측 소유역에의 적용 및 분석

6.1 대상 소유역 현황

가. 주향천

주향천 유역은 경위도 상으로 동경 128° 44′ 49″ ~ 128° 41′ 39″, 북위 35° 14′ 27″ ~ 35° 18′ 25″ 사이에 위치하며 남북의 길이가 약 5.0 km 동서의 길이가 약 3.0 km로 부채꼴 형상으로 되어 있다. 유역의 남동쪽에는 금병산 (EL.271.8 m), 남쪽으로는 정병산 (EL.566.7 m), 남서쪽으로는 구룡산 (EL.433.5 m), 북서쪽의 백월산 (EL.428.0 m)으로 둘러싸여 있으며 동쪽 및 북동쪽의 대산들에 위치하는 논경지 주로 형성되어 있다. 정병산 (EL.566.7 m)과 서쪽 구룡산 (EL.433.5 m) 사이에 지방 2급 하천인 중앙천이 접하고 있다. 수원은 유역의 남쪽 우곡저수지에서 발원하여 남해고속도로를 통과하여 북쪽으로 국도 14호선 좌곤교를 흘러 가월유수지에 합류한 후 가월갑문을 관류하여 주천강을 합류한다. 행정구역상으로는 경상남도 창원시 동읍 무점리의 5개와 경상남도 김해시 진영읍 우동리의 4개 리로 포함하고 있으며 토지이용에 대한 구성비는 총면적 39.49 km²중 경지면적 16.57 km² (42%) 임야면적 18.98 km² (48%)로 대부분 논경지 및 임야면적으로 차지하고 있다.

인근 마산관측소에서는 ?????가 1,568.6mm를 나타내며, 평균기온은 15℃ 최저기온 -11.3℃, 연평균습도 64.7%, 결빙일수 67.6일, 적설일수 6.6일, 강수일수 89.9일로 나타났다.

나. 도야천

도야천 유역은 경상남도 창녕군 창녕읍 도야리 동측 화왕산(해발 756.6 m)에서 발원하여 남측에는 창녕읍 경계로 분수계를 이루며 동측에서 서측으로 흐르다 창녕군 창녕읍 하리 지방 2급 하천인 토평천에 합류한다. 위도상으로는 동경 $128^{\circ} - 32' - 6'' \sim 128^{\circ} - 29' - 1''$, 북위 $35^{\circ} - 33' - 48.5'' \sim 35^{\circ} - 32' - 36''$ 에 위치하고 있다.

유역으로서 유역면적은 4.87 km^2 , 유로연장은 4.10 m이며, 또한 본 조사유역의 형상은 남북에 비하여 동서의 유역폭이 넓은 장방형으로서 유역의 평균 폭이 약 1.2 km이다. 행정구역상으로는 경상남도 창녕군 창녕읍, 하리, 도야리로 포함하고 있다. 인문사항으로는 총가구수 211호에 전체인구는 597명(남 287명, 여 309명)의 인구가 거주하고 있다.

토지이용에 대한 구성비는 총면적 4.87 km^2 중 경지면적은 1.56 km^2 (32.0%), 임야면적 2.85 km^2 (58.5%)로 경지와 임야면적이 대부분을 차지하고 있다. 하천 유역내 창녕관측소 1,127.8 mm를 나타내며 인접한 밀양측후소에 기록된 연평균기온은 13.2°C , 최저기온 -15.8°C , 연평균습도는 72.3%, 연평균증발량은 1,119.2 mm이다.

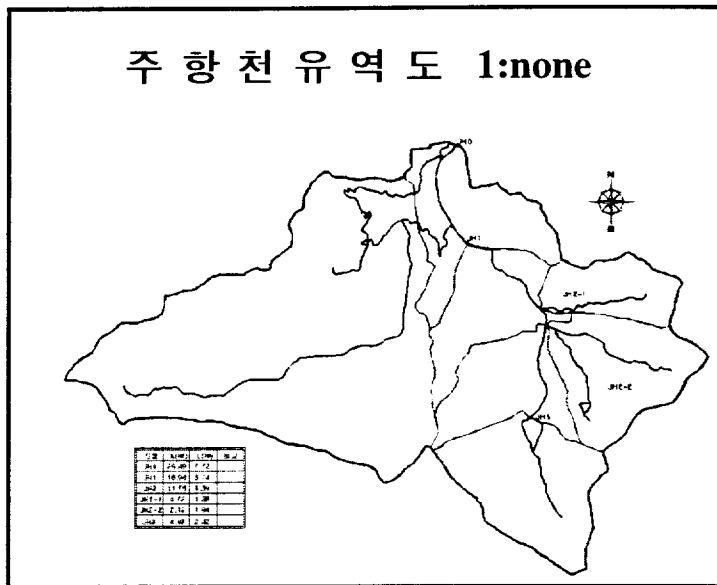


그림 6.1 주향천 유역도

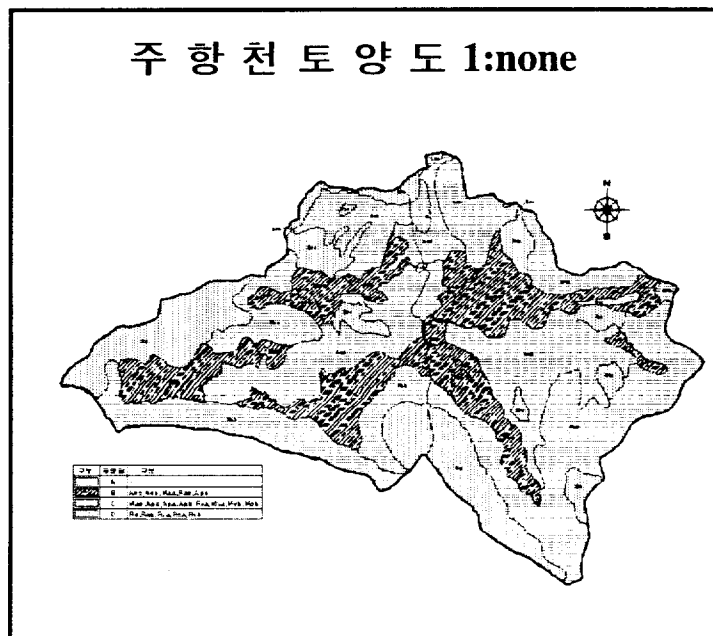


그림 6.2 주향천 토양도



그림 6.3 주향천 등시권도

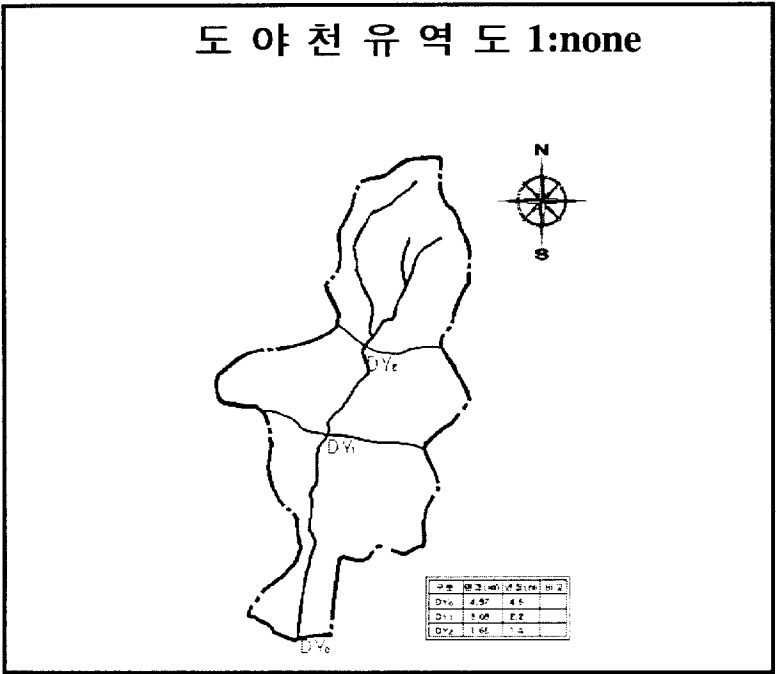


그림 6.4 도야천 유역도

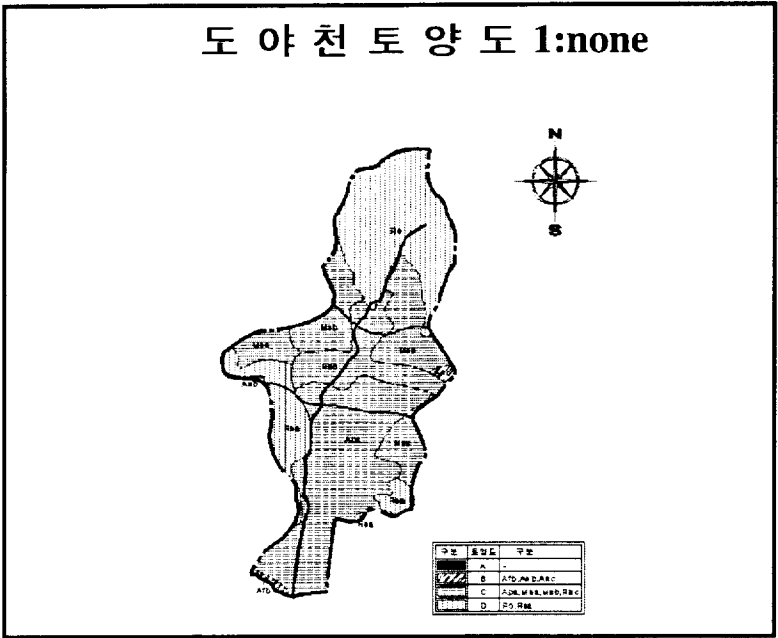


그림 6.5 도야천 토양도



그림 6.6 도야천 등시권도

6.2 강우량분석

확률강우량분석은 본 유역 인근에 설치되어 있는 관측소의 강우자료를 이용하여 확률개념에 의한 통계적 방법으로 분석하여 확률강우량을 산정하였다.

표 6.1 우량관측소 일람표

하천명	관측소별	관측종별	위 치			해발고 (EL.m)	관 측 시 개 시 년월일	관 할 관 서명	비 고
			지 명	동 경	북 위				
주향천	마산	자기	경남 마산시 월포동 2-103	128°-3 4'	35°-11 '	4.5	(1915~19 41) 1985. 7. 1	기상청	
도야천	창녕	자기	경남 창녕군 대지면 본초 리	128°-2 7' -17"	35°-31 ' -45"	45.0	1961	낙동강 홍수통제 소	

상기한 지역별 우량관측소의 관측자료에 의한 일최대, 2일 연속최대 및 연속최대강우량은 표 6.2와 같다.

표 6.2 하천별 강우량

(단위 : mm)

하천명	일 최 대			2일 연속최대			연 속 처 리		
	년	월·일	강우량	년	월·일	강우량	년	월·일	강우량
주향천	1916	9.6	277.7	1933	6.28 ~29	391.0	1933	6.28 ~7. 1	613.0
도야천	1982	8.14	233.6	1982	8.13 ~14	307.2	1933	6.25 ~7.1	454.9

확률강우량 산정을 위한 수문자료 해석에 일반적으로 사용되는 강우량 산정 방법은 Gamma 분포형, Log-Normal 분포형, Log-pearson type III 분포형, GEV (General Extreme Value) 분포형, Gumbel 분포형, Log-Gumbel 분포형, Weibull 분포형, Wakeby 분포형 등 8가지 방법으로 산정하였으며 적합도 검정에는 확률분포의 상대도수함수 (relative frequency function)와 누가도수함수 (Cumulative frequency function)의 이론값과 표본값을 비교하여 그 정도를 판별하게 된다.

이에 대한 검정방법으로는 X^2 -검정, kolmogorov-smirnov 검정, cramer von mises 검정 등에 의하여 본 유역에 적합하다고 판단되는 방법을 각 하천별 분포형을 채택하여 다음 표 6.3과 같다.

표 6.3 확률강우량

(단위 : mm/day)

하천명	재현기간	재현기간별 강우량						
		2	10	30	50	80	100	150
주황천	LN2	138.4	235.7	296.6	325.0	351.3	363.9	387.1
도야천	GAM2	0	170.6	205.4	220.4	233.7	239.9	251.0

6.3 모델 적용 결과

6.3.1 주황천 (50년 빈도)

가. Clark 유역 추적법

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	174.62	386.21	450.12	464.40	463.15	469.12	331.22	388.94
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	350.06	297.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	298.01	441.57	528.18	548.29	546.02	549.43	401.45	441.62
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	395.17	339.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

나. SCS 방법

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	292.68	615.90	674.80	668.31	653.51	648.91	423.47	465.14
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	404.20	332.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	339.44	702.34	774.65	750.92	712.21	689.00	467.77	493.11
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	422.17	354.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

다. Nash 방법

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	152.26	329.58	388.33	405.63	404.03	402.06	297.04	357.11
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	328.40	272.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	273.43	385.96	459.19	478.72	481.19	487.39	364.20	406.42
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	370.24	320.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

라. Nakayasu 방법

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	80.57	136.12	140.25	137.85	133.19	133.42	92.81	107.23
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	96.84	83.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	88.66	150.82	158.31	155.50	151.19	150.36	109.28	121.51
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	111.47	97.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

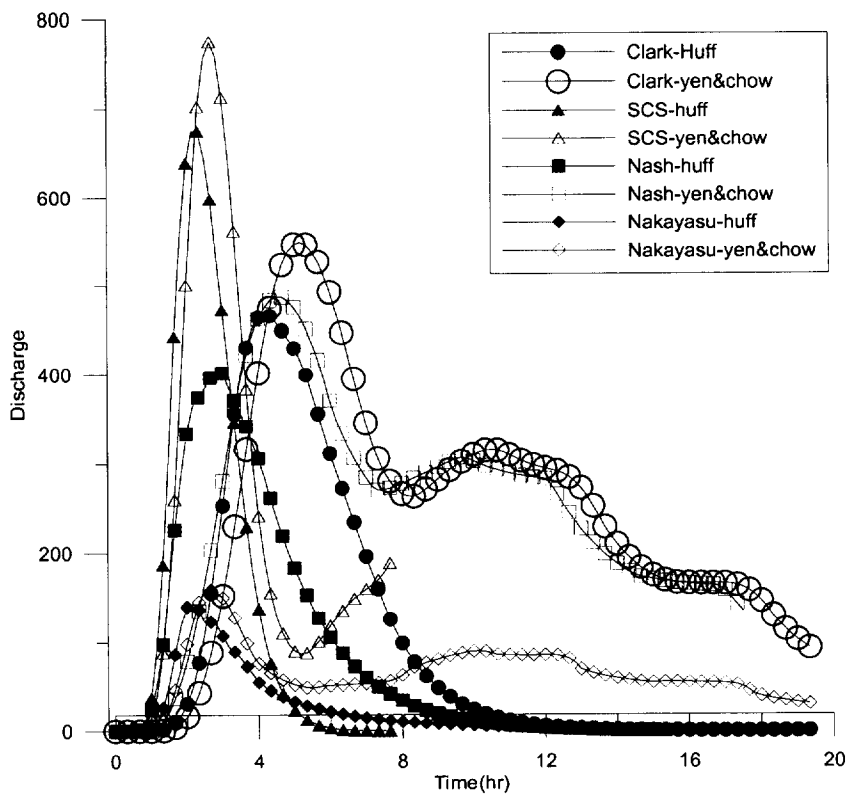


그림 6.7 주향천 각 모형 및 분포별 수문곡선

6.3.2 도야천 (50년 빈도)

가. Clark 유역 추적법

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	45.67	29.27	37.12	44.07	41.87	37.17	27.62	26.69
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	22.77	19.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	38.76	50.51	58.01	54.79	49.01	45.19	40.52	38.35
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	31.61	29.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

나. SCS 방법

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	81.44	41.62	45.59	50.65	47.36	41.54	30.60	28.91
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	23.76	20.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	9,000	12,000
MAX. Q (CMS)	62.83	66.57	68.77	61.83	53.58	48.31	41.99	39.20
DURATION(HR)	18,000	24,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MAX. Q (CMS)	31.91	29.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

다. Nash method

Huff Method

DURATION(HR)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	9,000	12,000
MAX. Q (CMS)	33.74	23.29	30.79	38.15	37.52	33.89	25.68	24.52
DURATION(HR)	18,000	24,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MAX. Q (CMS)	21.53	19.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	9,000	12,000
MAX. Q (CMS)	28.71	40.80	49.67	48.44	44.42	41.64	38.46	36.86
DURATION(HR)	18,000	24,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MAX. Q (CMS)	30.74	29.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

라. Nakayasu method

Huff Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	30.72	19.75	25.14	30.62	29.98	27.18	21.08	20.57
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	18.24	16.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Yen&Chow Method

DURATION(HR)	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	9.000	12.000
MAX. Q (CMS)	25.99	33.80	39.85	38.75	35.72	33.77	32.05	31.45
DURATION(HR)	18.000	24.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAX. Q (CMS)	27.07	26.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

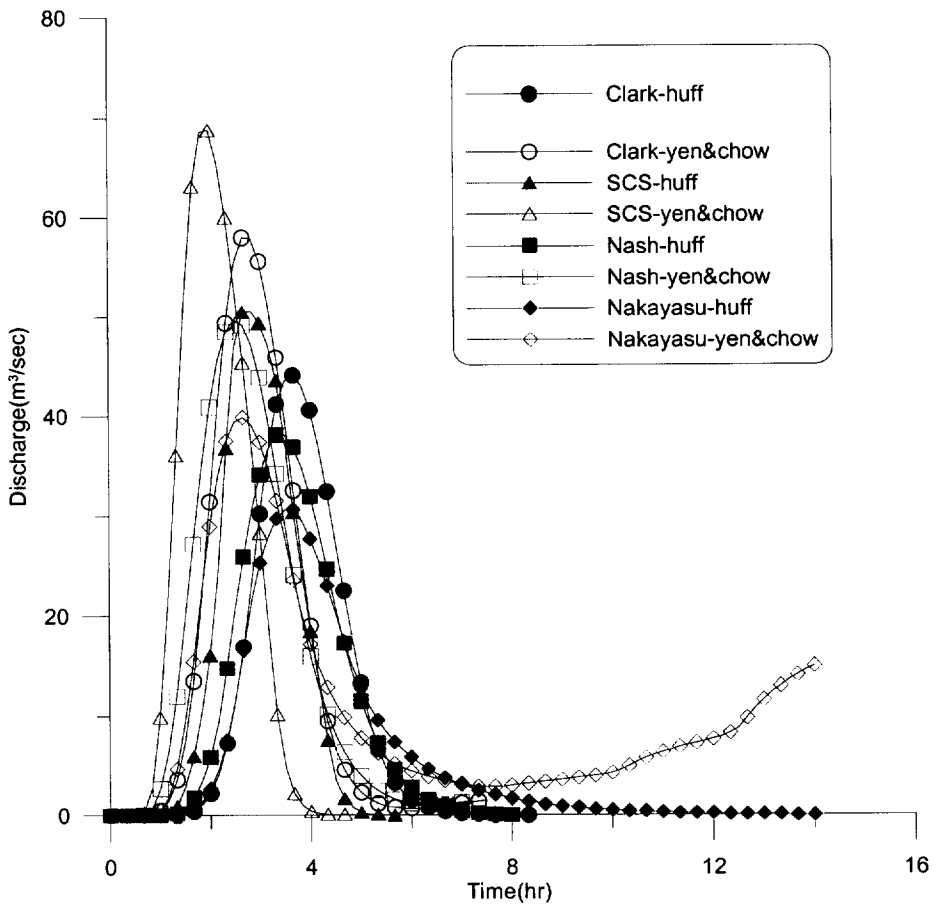


그림 6.8 도야천 각 모형 및 분포별 수문곡선

7 결 론

최근 국내 하천정비 계획과 수공구조물 계획시 설계홍수량 추정 부분에서 강우의 분포형태는 매우 중요하게 고려되고 있다.

본 연구에서는 설계홍수량 산정에 있어서 강우의 시간적 분포모형으로 Mononobe, Huff, Yen과 Chow가 제안한 절차에 의한 분포모형을 4가지의 강우유출모형에 연계하여 재현기간별, 지속시간별 각 강우유출모형에 대한 분포모형들을 전산프로그램화 하였으며, 개발된 각각의 모형들은 Time-Clark, Time-SCS, Time-Nash, Time-Nakayasu로 명명하였다.

분포모형과 연계된 각각의 모형의 적용성을 검토하기 위해 한국건설기술연구원의 대표시험유역인 설마천 시험유역에 2001년 7월의 호우사상에 대해 적용하고, 다시 미계측 유역인 소유역인 도야천과 유역이 이보다 큰 주향천에 적용하였으며, 이상과 같은 사항에 대한 결론은 아래와 같다.

1. 먼저, 기존의 개발된 방법과 각 방법별, 모형별 전산프로그램을 수집하여 미계측 유역에 확률강우량에 의한 재현기간별 지속기간별 각 시간분포방법별에 의한 설계홍수량의 산정을 위한 4가지 유출모형의 전산프로그램을 개발하였다.
2. 설마천 시험유역의 2001년 7월의 호우사상에 대하여 각 모형별로 첨두홍수량, 첨두시간을 비교분석한 결과 각 모형별로 실측치와 비교하면 HUFF의 2분위에서 Clark, SCS, Nash, Nakayasu 모형이 실측치 29.62CMS에 대해 각각 22.91, 29.71, 23.12, 15.24CMS로 나타났으며, Yen&Chow 분포형에서 Clark, SCS, Nash, Nakayasu모형이 각각 37.72, 42.88, 38.24, 24.44CMS로 나타났다.
3. 첨두홍수량에서 HUFF분포는 대체적으로 Yen&Chow분포형보다 크게 나타났으며 관측치의 첨두도달시간이 6시간임에 비해 모형별로 4시간에서 5시간 사이에 첨두도달시간이 나타났으며 이는 강우분포형에 따른

차이인 것으로 보인다.

4. Clark모형 적용시 세 가지 입력자료 중 도달시간, 저류상수, 시간-면적 주상도에 유출반응이 민감하게 반응하였으며, 모형적용시 특히 저류상수 K값의 산정에 세심한 주의가 요구된다.

5. 미계측 주향천유역의 경우 SCS의 Yen&Chow분포가 774.65CMS의 최대홍수량을 나타내고 있으며 임계지속시간이 3시간으로 나타났다.

모형별 분포형별로 첨두홍수량은 774.65CMS-140.25CMS까지이며 임계지속시간은 3시간에서 6시간사이로 나타났다.

6. 도야천의 경우 SCS의 Yen&Chow분포가 68.77CMS의 최대홍수량을 나타내고 있으며 임계지속시간이 3시간으로 나타났다. 모형별 분포형별로 첨두홍수량은 68.77CMS-30.62CMS까지이며 임계지속시간은 3시간에서 4시간사이로 나타났다.

7. 미계측 중·소하천인 주향천과 도야천에 적용하여 재현기간, 지속시간 및 분포모형에 따라 각 유출모형의 첨두홍수량을 비교해 보았으며 위 결과에서 알수 있듯이 각 모형별 분포형별로 따라 첨두홍수량의 차이는 크게 나타나므로 과거의 일강우량에 의한 Monobe분포에 의한 설계홍수량의 산정은 지양되어야 할 것이며 임계지속시간을 고려한 최적설계홍수량의 결정이 선행되어야 할 것이다.

8. 본 연구는 미계측 소유역에 대한 유출특성에 대한 분석 결과의 신뢰성을 갖추고 시간분포를 고려한 설계홍수량을 산정하여 설계시 최적의 모형을 제시하고 이·치수 계획에 활용할 수 있는 기본자료로써 활용할 수 있을 것이다.

부 록

부록 1 Clark 유역추적법

```

PROGRAM KCLARK
REAL DIST(0:100),SAREA(0:100),ELEV(0:100),TAREA,FK
REAL DELT          !CONSTANT TIME
REAL FIUH(0:500)
INTEGER NSUB
INTEGER IDAMC,ID_RD
REAL FDUR          ! FOR HUFF
REAL RDIS(800)     ! FOR HUFF
REAL*8 COEF(7)
REAL CN1,CN2,CN3,CUMP(800),CUMQ(800),ERAIN(800) ! FOR SCS
REAL SQCOM(800),QCOM(800)          ! COMPUTED DISCHARGE
CHARACTER*30 INFILNAME,OUTFILENAME,WATERSHED
CHARACTER*10 DESIGNTYPE(4)
CHARACTER*1 BAR,BLANK
CHARACTER*300 STRLINE1,STRLINE2
CHARACTER*4 PROCESS
REAL PERIOD(100),ARAIN24(100),ARAIN(100)

C
DATA DESIGNTYPE/' MONONOBE',' HUFF',' YEN-CHOW',
1              'KEIFER-CHU'/
DATA BAR/'-'/
DATA BLANK/' '/

C
WRITE(*,*)'*****'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'*          CLARK IUH TIME-AREA METHOD'
WRITE(*,*)'*          -----'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'* DESIGN RAINFALL TYPE'
WRITE(*,*)'* 1. MONONOBE METHOD'
WRITE(*,*)'* 2. HUFF METHOD'
WRITE(*,*)'* 3. YEN-CHOW METHOD'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'*'

```

```

WRITE(*,*)'*   Kang, Shin Uk (tosukang@hanmail.net)           *'
WRITE(*,*)'*   Pukyong national university                 *'
WRITE(*,*)'*   Water resources engineering laboratory       *'
WRITE(*,*)'*   Lee, Jung Min (andrew4502@orgio.net)         *'
WRITE(*,*)'*   Cheonjin Engineerinr Inc.                   *'
WRITE(*,*)'*                                               *'
WRITE(*,*)'******'
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) 'INPUT FILENAME(ie. nakdong.dat)?'
READ(*,*) INFILENAME
WRITE(*,*) 'OUTPUT FILENAME(ie. nakdong.dat)?'
READ(*,*) OUTFILENAME
IDAT=7
IOUT=8
OPEN(IDAT,FILE=INFILENAME)
OPEN(IOUT,FILE=OUTFILENAME)

```

C

```

777 CONTINUE
  READ(IDAT,1) WATERSHED
  1 FORMAT(A30)
  READ(IDAT,*) NSUB,DELT,FK
  DO I=NSUB,0,-1
    READ(IDAT,*) DIST(I),SAREA(I),ELEV(I)
  ENDDO

```

C

```

  READ(IDAT,*) CN2,IDAMC

```

C

```

  READ(IDAT,*) NRPERIOD
  READ(IDAT,*) FDUR   ! FDUR : hour
  READ(IDAT,2) (PERIOD(I),I=1,NRPERIOD)
  2 FORMAT(8F10.1)

```

C

```

  READ(IDAT,*) ID_RD

```

C

```

  IF(ID_RD.EQ.1) THEN
    READ(IDAT,*) FN
    READ(IDAT,2) (ARAIN24(I),I=1,NRPERIOD)
  ENDIF
  IF(ID_RD.EQ.2) THEN

```

```

      READ(IDAT,*) (COEF(I), I=1,7)
      READ(IDAT,2) (ARAIN(I), I=1,NRPERIOD)
ENDIF
IF(ID_RD.EQ.3) THEN
      READ(IDAT,*) FR
      READ(IDAT,2) (ARAIN(I), I=1,NRPERIOD)
ENDIF

```

C

```

      TLENGTH=0.0
      TAREA=0.0
      DO I=NSUB,1,-1
          SLENGTH=DIST(I)-DIST(I-1)
          TAREA=TAREA+SAREA(I)
          TLENGTH=TLENGTH+SLENGTH
      ENDDO

```

C

```

      WRITE(IOUT,800)
800 FORMAT(//,28X,56('='),//,30X,'CLARK IUH TIME - A
      1 REA METHOD',//,28X,56('='),///,'GIVEN INPUT',/,11('-'))
      WRITE(IOUT,510) WATERSHED
510 FORMAT(/,3X,'NAME OF WATERSHED : ',A30)
      WRITE(IOUT,520) TAREA
520 FORMAT(3X,'WATERSHED AREA(Sq. km) : ',F7.2)
      WRITE(IOUT,530) TLENGTH
530 FORMAT(3X,'CHANNEL LENGTH (km) : ',F7.3)
      WRITE(IOUT,545) DELT
545 FORMAT(3X,'DELTA T (HR) : ',F7.3)
      WRITE(IOUT,555) DESIGNTYPE(ID_RD)
555 FORMAT(3X,'DESIGN RAINFALL HYETOGRAPH : ',A10,' METHOD')
      WRITE(IOUT,560) CN2
560 FORMAT(3X,'CURVE NUMBER (AMC-II) : ',F7.2)
      WRITE(IOUT,565) IDAMC
565 FORMAT(3X,'AMC CONDITION : ',I2)
      WRITE(IOUT,570)
570 FORMAT(3X,42('-'),/,3X,'No. ',1X,'DISTANCE(km)',1X,'AREA(sq. km)',
      11X,'ELEVATION(m)',/,3X,42('-'))
      DO I=0,NSUB
          WRITE(IOUT,580) I,DIST(I),SAREA(I),ELEV(I)
      ENDDO
580 FORMAT(3X,I3,1X,F12.3,1X,F12.3,1X,F12.3)
      WRITE(IOUT,590)

```

```

590 FORMAT(3X,42(' '))
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CALL CLARKIUH(IOUT,DELT,NSUB,SAREA,FK,ICOUNT,FIUH)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      ND=NINT(FDUR*60)
      INTVL=NINT(DELT*60)      ! CONVERT HOUR TO MINUTE, NEAREST INTEGER
      NT=ND/INTVL
      DO II=1,NRPERIOD
        IF(ID_RD.EQ.1) THEN
          WRITE(IOUT,550) PERIOD(II),ARAIN24(II)
          RAIN24=ARAIN24(II)
        ENDIF
        IF((ID_RD.EQ.2).OR.(ID_RD.EQ.3)) THEN
          WRITE(IOUT,550) PERIOD(II),ARAIN(II)
          RAIN=ARAIN(II)
        ENDIF
550 FORMAT(/,3X,33('='),/,3X,'RETURN PERIOD : ',F7.1,' YEARS',/,
1      3X,'TOTAL DESIGN RAINFALL : ',F7.1,' mm',/,3X,33('='))
        IF(ID_RD.EQ.1) CALL MONONOBE(DELT,RAIN24,FN,NT,RDIS)
        IF(ID_RD.EQ.2) CALL HUFF(RAIN,ND,INTVL,COEF,RDIS)
        IF(ID_RD.EQ.3) CALL YENCHOW(DELT,RAIN,FDUR,FR,NT,RDIS)
C
      WRITE(IOUT,620)
620 FORMAT(/,,'DESIGN HYETOGRAPH',/,17(' '))
      SUM=0.0
      DO I=1,NT
        SUM=SUM+RDIS(I)
      ENDDO
      WRITE(IOUT,30) SUM
30 FORMAT(/,3X,'TOTAL RAINFALL(mm) = ',F10.3)
      WRITE(IOUT,630)
630 FORMAT( )
      DO I=1,NT
        T=FLOAT(I)*DELT
        WRITE(IOUT,35) T,RDIS(I)
35 FORMAT(3X,'RAINFALL AFTER ',F6.3,' (HR) = ',F6.2)
      ENDDO
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C      COMPUTE EFFECTIVE RAINFALL BY SCS      C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CN1=4.2*CN2/(10.0-0.058*CN2)

```

```

CN3=23.0*CN2/(10+0.13*CN2)
IF(IDAMC.EQ.1) CN=CN1
IF(IDAMC.EQ.2) CN=CN2
IF(IDAMC.EQ.3) CN=CN3
S=25400.0/CN-254.0
CUMP(1)=RDIS(1)
DO I=2,NT
    CUMP(I)=CUMP(I-1)+RDIS(I)
ENDDO
DO I=1,NT
    CUMQ(I)=(CUMP(I)-0.2*S)**2./((CUMP(I)+0.8*S) ! COMPUTE COMMULATIV
ENDDO
DO I=2,NT
    ERAIN(I)=CUMQ(I)-CUMQ(I-1)
    IF(ERAIRN(I).LT.0.0) ERAIRN(I)=0.0
ENDDO

```

C

```

WRITE(IOUT,45)
45 FORMAT(/, 'EFFECTIVE RAINFALL - SCS METHOD',/,31(' '))
WRITE(IOUT,640)
640 FORMAT(/,3X,64(' '),/,3X, 'TIME(HR)',1X, 'DGN. RAIN(mm)',1X, 'CUM. RA
1IN(mm)',1X, 'CUM. EFQ. (mm)',1X, 'EFF. RAIN(mm)',/,3X,64(' '))
SUM=0.0
DO I=1,NT
    WRITE(IOUT,50) FLOAT(I)*DELT,RDIS(I),CUMP(I),CUMQ(I),ERAIRN(I)
    SUM=SUM+ERAIRN(I)
ENDDO
50 FORMAT(3X,F8.3,4F14.2)
WRITE(IOUT,650)
650 FORMAT(3X,64(' '))
WRITE(IOUT,660) SUM
660 FORMAT(/,3X, 'TOTAL EFFECTIVE RAINFALL(mm) :',F7.2)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C    COMPUTE DISCHARGE HYDROGRAPH WITH GIVEN DESIGN RAINFALL    C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
WRITE(IOUT,670)
670 FORMAT(/, 'DISCHARGE HYDROGRAPH',/,20(' '),/)
STRLINE1=''
J=(NT+1)*7+8
DO I=1,J
    STRLINE1='-'//STRLINE1

```

```

        ENDDO
        WRITE(IOUT,680) STRLINE1
680 FORMAT(3X,A300)
        WRITE(IOUT,690) (ERAIN(I), I=1,NT)
690 FORMAT(3X,'TIME(HR)',31F7.1)
        WRITE(IOUT,680) STRLINE1
        ITIME=ICOUNT+NT      ! ICOUNT : NUMBER OF IUH
                               ! NT      : NUMBER OF EFFECTIVE RAINFALL
                               ! ITIME   : NYMBER OF DISCHARGE HYDROGRAPH

        TIME=DELT
        QMAX=0.0
        DO J=1,ITIME          ! J : PRESENT TIME
            SUMQ=0.0
            DO K=1,J           ! K : FROM START TO PRESENT TIME
                IF(J-K+1.LE.0) GOTO 111
                SQCOM(K)=ERAIN(K)*FIUH(J-K+1)
                SUMQ=SUMQ+SQCOM(K)
            ENDDO
111      QCOM(J)=SUMQ
            WRITE(IOUT,55) TIME,(SQCOM(K),K=1,NT),QCOM(J)
55      FORMAT(3X,F8.3,31F7.1)
            IF(QMAX.LT.SUMQ) QMAX=SUMQ
            TIME=TIME+DELT
        ENDDO
        WRITE(IOUT,680) STRLINE1
        WRITE(IOUT,700) QMAX
700 FORMAT(/,3X,'QMAX (CMS) : ',F8.2)
        ENDDO
        READ(IDAT,*) PROCESS
        IF((PROCESS.EQ.'NEXT').OR.(PROCESS.EQ.'next')) GOTO 777
        IF((PROCESS.EQ.'STOP').OR.(PROCESS.EQ.'stop')) GOTO 888
C
888 CONTINUE
        CLOSE(IDAT)
        CLOSE(IOUT)
        STOP
        END
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                     COMPUTE CLARK' IUH                                     C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

SUBROUTINE CLARKIUH(IOUT, DELT, NSUB, SAREA, FK, ICOUNT, FIUH)
REAL SAREA(0:100), FK, FIUH(0:500)
REAL DELT          !CONSTANT TIME
INTEGER NSUB, ICOUNT
REAL FI(0:500), FO(0:500), FO2(0:500)

C
  FM0=0.5*DELT/(FK+0.5*DELT)
  FM1=FM0
  FM2=(FK-0.5*DELT)/(FK+0.5*DELT)

C
  FCOE=10.**6./(3600.0*1000.0) ! 1mm IUH
  FI(0)=0.0
  FO(0)=0.0
  FO2(0)=0.0
  ICOUNT=0
  DO I=1, NSUB
    FI(I)=FCOE*SAREA(I)/DELT*(FM0+FM1)
  ENDDO
  DO I=1, 300
    FO(I)=FM2*FO2(I-1)
    FO2(I)=FI(I)+FO(I)
    IF(FO2(I).LT.0.001) GOTO 999
    ICOUNT=ICOUNT+1
  ENDDO
999 CONTINUE
  DO I=1, ICOUNT
    FIUH(I)=0.5*(FO2(I)+FO2(I-1))
  ENDDO

C
  WRITE(IOUT, 600) DELT
600 FORMAT(/, F5.3, ' HR INSTANTANEOUS UNIT HYDROGRAPH', /, 37(' '),
1//, 3X, 63(' '), /, 3X, 'TIME(HR)', 1X, ' AREA(km2)', 1X, ' I ',
21X, ' 01 ', 1X, ' 0 ', 1X, ' IUH', /, 3X, 63(' '))
  TIME=0.0
  DO I=0, ICOUNT
    WRITE(IOUT, 15) TIME, SAREA(I), FI(I), FO(I), FO2(I), FIUH(I)
    TIME=TIME+DELT
  ENDDO
15 FORMAT(3X, F8.3, 1X, F10.3, 1X, F10.3, 1X, F10.3, 1X, F10.3)
  WRITE(IOUT, 610)
610 FORMAT(3X, 63(' '))

```

```

        WRITE(IOUT, 615) FK, FM0, FM2
615  FORMAT(/, 3X, ' K = ', F7.4, ' C0 = C1 = ', F7.4, ' C2 = ', F7.4)
        RETURN
        END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                MONONOBE SUBROUTINE                                C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
        SUBROUTINE MONONOBE( TERA, RR24, FN, NNN, RAFL )
        DIMENSION RAFL(800), R(800), F(800)
        T=TERA
C        NNN=NINT(24/TERA)
        DO 9333 I=1, NNN
            F(I)=RR24/24. *(24./T)**FN*T
            T=T+TERA
9333  CONTINUE
        R(1)=F(1)
        DO 9334 I=2, NNN
            R(I)=F(I)-F(I-1)
9334  CONTINUE
        RAFL(1)=R(NNN)
        INNN=NNN/2
        DO 1009 I=2, INNN
            IJNN=NNN-(I-1)*2
            RAFL(I)=R(IJNN)
1009  CONTINUE
        NIN=INNN+1
        IKP=0
        DO 1008 I=NIN, NNN
            J=1+IKP
            RAFL(I)=R(J)
            IKP=IKP+2
1008  CONTINUE
        RETURN
        END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                HUFF SUBROUTINE                                C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
        SUBROUTINE HUFF( RAIN, ND, INTVL, COEF, RDIS )
        REAL QR(800), RDIS(800)
        REAL*8 COEF(7)
C

```

```

      NT=ND/INTVL
      CORAIN=RAIN
20  COUNT=0.
      DO 10 I=1,NT
          PCNT=FLOAT(I)*FLOAT(INTVL)*100./FLOAT(ND)
          S1=COEF(1)
          S2=COEF(2)*PCNT
          S3=COEF(3)*PCNT**2.
          S4=COEF(4)*PCNT**3.
          S5=COEF(5)*PCNT**4.
          S6=COEF(6)*PCNT**5.
          S7=COEF(7)*PCNT**6.
          QR(I)=S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7
10  CONTINUE
      DO 30 I=1,NT
          QR(I)=CORAIN*QR(I)/100.
30  CONTINUE
      RDIS(1)=QR(1)
      DO 40 I=2,NT
          RDIS(I)=QR(I)-QR(I-1)
          IF(RDIS(I).LT.0.0) GOTO 55
40  CONTINUE
      SUM=0.0
      DO 50 I=1,NT
          SUM=SUM+RDIS(I)
50  CONTINUE
      DIFFER=SUM-RAIN
      IF(ABS(DIFFER).LT.0.1) GOTO 60
55  IF(DIFFER.GT.0.) CORAIN=CORAIN-0.01
      IF(DIFFER.LT.0.) CORAIN=CORAIN+0.01
      GOTO 20
60  CONTINUE
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                               YEN-CHOW SUBROUTINE                               C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE YENCHOW(DELTA,RAIN,TD,FR,NRAIN,RDIS)
      REAL DELTA
      REAL RAIN,TD,FR
      REAL RDIS(800),RSUM(0:800)

```

```

C
C      NRAIN=NINT(TD/DELT)+1
C
      FH=2.*RAIN/TD
      TA=FR*TD
      TB=TD-TA
C
      TIME=0.0
      DO I=1,NRAIN+1
        IF(TIME.LE.TA) THEN
          RSUM(I-1)=0.5*FH/TA*TIME**2.0
        ELSE
          T1=0.5*FH/TA*TA**2.0
          T2=0.5*FH/(TA-TD)*TA**2.0+FH*TD/(TD-TA)*TA
          T3=0.5*FH/(TA-TD)*TIME**2.0+FH*TD/(TD-TA)*TIME
          RSUM(I-1)=T1+(T3-T2)
        ENDIF
        TIME=TIME+DELT
      ENDDO
      DO I=1,NRAIN
        RDIS(I)=RSUM(I)-RSUM(I-1)+1
      ENDDO
C      DO I=1,NRAIN
C        WRITE(*,*) I,RDIS(I)
C      ENDDO
      RETURN
      END

```

2. SCS 합성단위도법

```

PROGRAM KCLARK
REAL DIST(0:100),SAREA(0:100),ELEV(0:100),TAREA,FK
REAL DELT          !CONSTANT TIME
REAL FIUH(0:500)
INTEGER NSUB
INTEGER IDAMC,ID_RD
REAL FDUR          ! FOR HUFF
REAL RDIS(800)     ! FOR HUFF
REAL*8 COEF(7)
REAL CN1,CN2,CN3,CUMP(800),CUMQ(800),ERAIN(800) ! FOR SCS
REAL SQCOM(800),QCOM(800)          ! COMPUTED DISCHARGE
CHARACTER*30 INFILENAME,OUTFILENAME,WATERSHED
CHARACTER*10 DESIGNTYPE(4)
CHARACTER*1 BAR,BLANK
CHARACTER*300 STRLINE1,STRLINE2
CHARACTER*4 PROCESS
REAL PERIOD(100),ARAIN24(100),ARAIN(100)

C
DATA DESIGNTYPE/' MONONOBE',' HUFF',' YEN-CHOW',
1              'KEIFER-CHU'/
DATA BAR/'-'/
DATA BLANK/' '/

C
WRITE(*,*)'*****'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'*      SCS DIMENSIONLESS UNIT HYDROGRAPH METHOD'
WRITE(*,*)'*      -----'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'*      DESIGN RAINFALL TYPE'
WRITE(*,*)'*      1. MONONOBE METHOD'
WRITE(*,*)'*      2. HUFF METHOD'
WRITE(*,*)'*      3. YEN-CHOW METHOD'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'*'
WRITE(*,*)'*      Kang, Shin Uk (tosukang@hanmail.net)'

```

```

WRITE(*,*)'*      Pukyong national university      *'
WRITE(*,*)'*      Water resources engineering laboratory      *'
WRITE(*,*)'*      Lee, Jung Min (andrew4502@orgio.net)      *'
WRITE(*,*)'*      Cheonjin Engineerinr Inc.      *'
WRITE(*,*)'*      *'
WRITE(*,*)'*****'
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) 'INPUT FILENAME(ie. nakdong.dat)?'
READ(*,*) INFILENAME
WRITE(*,*) 'OUTPUT FILENAME(ie. nakdong.dat)?'
READ(*,*) OUTFILENAME
IDAT=7
IOUT=8
OPEN(IDAT,FILE=INFILENAME)
OPEN(IOUT,FILE=OUTFILENAME)

```

C

```

777 CONTINUE
  READ(IDAT,1) WATERSHED
  1 FORMAT(A30)
  READ(IDAT,*) NSUB,DELT,FK
  DO I=NSUB,0,-1
    READ(IDAT,*) DIST(I),SAREA(I),ELEV(I)
  ENDDO

```

C

```

  READ(IDAT,*) CN2,IDAMC

```

C

```

  READ(IDAT,*) NRPERIOD
  READ(IDAT,*) FDUR  ! FDUR : hour
  READ(IDAT,2) (PERIOD(I),I=1,NRPERIOD)
  2 FORMAT(8F10.1)

```

C

```

  READ(IDAT,*) ID_RD

```

C

```

  IF(ID_RD.EQ.1) THEN
    READ(IDAT,*) FN
    READ(IDAT,2) (ARAIN24(I),I=1,NRPERIOD)
  ENDIF
  IF(ID_RD.EQ.2) THEN
    READ(IDAT,*) (COEF(I),I=1,7)

```

```

        READ(IDAT,2) (ARAIN(I),I=1,NRPERIOD)
    ENDIF
    IF(ID_RD.EQ.3) THEN
        READ(IDAT,*) FR
        READ(IDAT,2) (ARAIN(I),I=1,NRPERIOD)
    ENDIF
C
    TLENGTH=0.0
    TAREA=0.0
    DO I=NSUB,1,-1
        SLENGTH=DIST(I)-DIST(I-1)
        TAREA=TAREA+SAREA(I)
        TLENGTH=TLENGTH+SLENGTH
    ENDDO
C
    WRITE(IOUT,800)
800 FORMAT(/,28X,56('='),/,30X,'CLARK IUH TIME - A
    IREAME THOD',/,28X,56('='),/,11X,'GIVEN INPUT',/,11X('-'))
    WRITE(IOUT,510) WATERSHED
510 FORMAT(/,3X,'NAME OF WATERSHED : ',A30)
    WRITE(IOUT,520) TAREA
520 FORMAT(3X,'WATERSHED AREA(Sq. km) : ',F7.2)
    WRITE(IOUT,530) TLENGTH
530 FORMAT(3X,'CHANNEL LENGTH (km) : ',F7.3)
    WRITE(IOUT,545) DELT
545 FORMAT(3X,'DELTA T (HR) : ',F7.3)
    WRITE(IOUT,555) DESIGNTYPE(ID_RD)
555 FORMAT(3X,'DESIGN RAINFALL HYETOGRAPH : ',A10,' METHOD')
    WRITE(IOUT,560) CN2
560 FORMAT(3X,'CURVE NUMBER (AMC-II) : ',F7.2)
    WRITE(IOUT,565) IDAMC
565 FORMAT(3X,'AMC CONDITION : ',I2)
    WRITE(IOUT,570)
570 FORMAT(3X,42('-'),/,3X,'No. ',1X,'DISTANCE(km)',1X,'AREA(sq. km)',
    11X,'ELEVATION(m)',/,3X,42('-'))
    DO I=0,NSUB
        WRITE(IOUT,580) I,DIST(I),SAREA(I),ELEV(I)
    ENDDO
580 FORMAT(3X,I3,1X,F12.3,1X,F12.3,1X,F12.3)
    WRITE(IOUT,590)
590 FORMAT(3X,42('-'))

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CALL CLARKIUH(IOUT, DELT, NSUB, SAREA, FK, ICOUNT, FIUH)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      ND=NINT(FDUR*60)
      INTVL=NINT(DELT*60)      ! CONVERT HOUR TO MINUTE, NEAREST INTEGER
      NT=ND/INTVL
      DO II=1, NRPERIOD
        IF(ID_RD.EQ.1) THEN
          WRITE(IOUT, 550) PERIOD(II), ARAIN24(II)
          RAIN24=ARAIN24(II)
        ENDIF
        IF((ID_RD.EQ.2).OR.(ID_RD.EQ.3)) THEN
          WRITE(IOUT, 550) PERIOD(II), ARAIN(II)
          RAIN=ARAIN(II)
        ENDIF
550  FORMAT(/, 3X, 33('='), /, 3X, 'RETURN PERIOD : ', F7.1, ' YEARS', /,
1      3X, 'TOTAL DESIGN RAINFALL : ', F7.1, ' mm', /, 3X, 33('='))
        IF(ID_RD.EQ.1) CALL MONONOBE(DELT, RAIN24, FN, NT, RDIS)
        IF(ID_RD.EQ.2) CALL HUFF(RAIN, ND, INTVL, COEF, RDIS)
        IF(ID_RD.EQ.3) CALL YENCHOW(DELT, RAIN, FDUR, FR, NT, RDIS)
C
        WRITE(IOUT, 620)
620  FORMAT(/, 'DESIGN HYETOGRAPH', /, 17(' - '))
        SUM=0.0
        DO I=1, NT
          SUM=SUM+RDIS(I)
        ENDDO
        WRITE(IOUT, 30) SUM
30  FORMAT(/, 3X, 'TOTAL RAINFALL(mm) = ', F10.3)
        WRITE(IOUT, 630)
630  FORMAT( )
        DO I=1, NT
          T=FLOAT(I)*DELT
          WRITE(IOUT, 35) T, RDIS(I)
35  FORMAT(3X, 'RAINFALL AFTER ', F6.3, ' (HR) = ', F6.2)
        ENDDO
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C          COMPUTE EFFECTIVE RAINFALL BY SCS          C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      CN1=4.2*CN2/(10.0-0.058*CN2)
      CN3=23.0*CN2/(10+0.13*CN2)

```

```

IF(IDAMC,EQ.1) CN=CN1
IF(IDAMC,EQ.2) CN=CN2
IF(IDAMC,EQ.3) CN=CN3
S=25400.0/CN-254.0
CUMP(1)=RDIS(1)
DO I=2,NT
    CUMP(I)=CUMP(I-1)+RDIS(I)
ENDDO
DO I=1,NT
    CUMQ(I)=(CUMP(I)-0.2*S)**2./((CUMP(I)+0.8*S) ! COMPUTE COMMULATIV
ENDDO
DO I=2,NT
    ERAIN(I)=CUMQ(I)-CUMQ(I-1)
    IF(ERAIN(I).LT.0.0) ERAIN(I)=0.0
ENDDO
C
WRITE(IOUT,45)
45 FORMAT(/, 'EFFECTIVE RAINFALL - SCS METHOD',/,31('-'))
WRITE(IOUT,640)
640 FORMAT(/,3X,64('-'),/,3X, 'TIME(HR)',1X, 'DGN. RAIN(mm)',1X, 'CUM. RA
    IIN(mm)',1X, 'CUM. EFQ.(mm)',1X, 'EFF. RAIN(mm)',/,3X,64('-'))
SUM=0.0
DO I=1,NT
    WRITE(IOUT,50) FLOAT(I)*DELT,RDIS(I),CUMP(I),CUMQ(I),ERAIN(I)
    SUM=SUM+ERAIN(I)
ENDDO
50 FORMAT(3X,F8.3,4F14.2)
WRITE(IOUT,650)
650 FORMAT(3X,64('-'))
WRITE(IOUT,660) SUM
660 FORMAT(/,3X, 'TOTAL EFFECTIVE RAINFALL(mm) : ',F7.2)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C    COMPUTE DISCHARGE HYDROGRAPH WITH GIVEN DESIGN RAINFALL    C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
WRITE(IOUT,670)
670 FORMAT(/, 'DISCHARGE HYDROGRAPH',/,20('-'),/)
STRLINE1=''
J=(NT+1)*7+8
DO I=1,J
    STRLINE1='- '//STRLINE1
ENDDO

```

```

        WRITE(IOUT,680) STRLINE1
680 FORMAT(3X,A300)
        WRITE(IOUT,690) (ERAIN(I),I=1,NT)
690 FORMAT(3X,'TIME(HR)',31F7.1)
        WRITE(IOUT,680) STRLINE1
        ITIME=ICOUNT+NT      ! ICOUNT : NUMBER OF IUH
                               ! NT      : NUMBER OF EFFECTIVE RAINFALL
                               ! ITIME   : NYMBER OF DISCHARGE HYDROGRAPH

        TIME=DELT
        QMAX=0.0
        DO J=1,ITIME          ! J : PRESENT TIME
            SUMQ=0.0
            DO K=1,J           ! K : FROM START TO PRESENT TIME
                IF(J-K+1,LE.0) GOTO 111
                SQCOM(K)=ERAIN(K)*FIUH(J-K+1)
                SUMQ=SUMQ+SQCOM(K)
            ENDDO
111      QCOM(J)=SUMQ
            WRITE(IOUT,55) TIME,(SQCOM(K),K=1,NT),QCOM(J)
55      FORMAT(3X,F8.3,31F7.1)
            IF(QMAX,LT,SUMQ) QMAX=SUMQ
            TIME=TIME+DELT
        ENDDO
        WRITE(IOUT,680) STRLINE1
        WRITE(IOUT,700) QMAX
700 FORMAT(/,3X,'QMAX (CMS) : ',F8.2)
        ENDDO
        READ(IDAT,*) PROCESS
        IF((PROCESS,EQ,'NEXT').OR.(PROCESS,EQ,'next')) GOTO 777
        IF((PROCESS,EQ,'STOP').OR.(PROCESS,EQ,'stop')) GOTO 888
C
888 CONTINUE
        CLOSE(IDAT)
        CLOSE(IOUT)
        STOP
        END
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                                COMPUTE CLARK' IUH                                C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
        SUBROUTINE CLARKIUH(IOUT,DELT,NSUB,SAREA,FK,ICOUNT,FIUH)

```

```

REAL SAREA(0:100),FK,FIUH(0:500)
REAL DELT          !CONSTANT TIME
INTEGER NSUB,ICOUNT
REAL FI(0:500),FO(0:500),FO2(0:500)

C
FM0=0.5*DELT/(FK+0.5*DELT)
FM1=FM0
FM2=(FK-0.5*DELT)/(FK+0.5*DELT)

C
FCOE=10.**6./(3600.0*1000.0) ! 1mm IUH
FI(0)=0.0
FO(0)=0.0
FO2(0)=0.0
ICOUNT=0
DO I=1,NSUB
  FI(I)=FCOE*SAREA(I)/DELT*(FM0+FM1)
ENDDO
DO I=1,300
  FO(I)=FM2*FO2(I-1)
  FO2(I)=FI(I)+FO(I)
  IF(FO2(I).LT.0.001) GOTO 999
  ICOUNT=ICOUNT+1
ENDDO
999 CONTINUE
DO I=1,ICOUNT
  FIUH(I)=0.5*(FO2(I)+FO2(I-1))
ENDDO

C
WRITE(IOUT,600) DELT
600 FORMAT(/,F5.3,' HR INSTANTANEOUS UNIT HYDROGRAPH',/,37('-'),
1//,3X,63('-'),/,3X,'TIME(HR)',1X,' AREA(km2)',1X,' I ',
21X,' 01 ',1X,' 0 ',1X,' IUH',/,3X,63('-'))
TIME=0.0
DO I=0,ICOUNT
  WRITE(IOUT,15) TIME,SAREA(I),FI(I),FO(I),FO2(I),FIUH(I)
  TIME=TIME+DELT
ENDDO
15 FORMAT(3X,F8.3,1X,F10.3,1X,F10.3,1X,F10.3,1X,F10.3,1X,F10.3)
WRITE(IOUT,610)
610 FORMAT(3X,63('-'))
WRITE(IOUT,615) FK,FM0,FM2

```

```

615 FORMAT(/,3X,' K = ',F7.4,' C0 = C1 = ',F7.4,' C2 = ',F7.4)
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                               MONONOBE SUBROUTINE                               C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE MONONOBE(TERA, RR24, FN, NNN, RAFL)
      DIMENSION RAFL(800), R(800), F(800)
      T=TERA
C      NNN=NINT(24/TERA)
      DO 9333 I=1, NNN
        F(I)=RR24/24. *(24./T)**FN*T
        T=T+TERA
9333  CONTINUE
      R(1)=F(1)
      DO 9334 I=2, NNN
        R(I)=F(I)-F(I-1)
9334  CONTINUE
      RAFL(1)=R(NNN)
      INNN=NNN/2
      DO 1009 I=2, INNN
        IJNN=NNN-(I-1)*2
        RAFL(I)=R(IJNN)
1009  CONTINUE
      NIN=INNN+1
      IKP=0
      DO 1008 I=NIN, NNN
        J=1+IKP
        RAFL(I)=R(J)
        IKP=IKP+2
1008  CONTINUE
      RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                               HUFF SUBROUTINE                               C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
      SUBROUTINE HUFF(RAIN, ND, INTVL, COEF, RDIS)
      REAL QR(800), RDIS(800)
      REAL*8 COEF(7)
C
      NT=ND/INTVL

```

```

CORAIN=RAIN
20 COUNT=0.
DO 10 I=1,NT
  PCNT=FLOAT(I)*FLOAT(INTVL)*100./FLOAT(ND)
  S1=COEF(1)
  S2=COEF(2)*PCNT
  S3=COEF(3)*PCNT**2.
  S4=COEF(4)*PCNT**3.
  S5=COEF(5)*PCNT**4.
  S6=COEF(6)*PCNT**5.
  S7=COEF(7)*PCNT**6.
  QR(I)=S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7
10 CONTINUE
DO 30 I=1,NT
  QR(I)=CORAIN*QR(I)/100.
30 CONTINUE
RDIS(1)=QR(1)
DO 40 I=2,NT
  RDIS(I)=QR(I)-QR(I-1)
  IF(RDIS(I).LT.0.0) GOTO 55
40 CONTINUE
SUM=0.0
DO 50 I=1,NT
  SUM=SUM+RDIS(I)
50 CONTINUE
DIFFER=SUM-RAIN
IF(ABS(DIFFER).LT.0.1) GOTO 60
55 IF(DIFFER.GT.0.) CORAIN=CORAIN-0.01
  IF(DIFFER.LT.0.) CORAIN=CORAIN+0.01
  GOTO 20
60 CONTINUE
RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C                               YEN-CHOW SUBROUTINE                               C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
SUBROUTINE YENCHOW(DELT,RAIN,TD,FR,NRAIN,RDIS)
REAL DELT
REAL RAIN,TD,FR
REAL RDIS(800),RSUM(0:800)

```

C

```

C      NRAIN=NINT(TD/DELT)+1
C
      FH=2.*RAIN/TD
      TA=FR*TD
      TB=TD-TA
C
      TIME=0.0
      DO I=1,NRAIN+1
        IF (TIME.LE.TA) THEN
          RSUM(I-1)=0.5*FH/TA*TIME**2.0
        ELSE
          T1=0.5*FH/TA*TA**2.0
          T2=0.5*FH/(TA-TD)*TA**2.0+FH*TD/(TD-TA)*TA
          T3=0.5*FH/(TA-TD)*TIME**2.0+FH*TD/(TD-TA)*TIME
          RSUM(I-1)=T1+(T3-T2)
        ENDIF
        TIME=TIME+DELT
      ENDDO
      DO I=1,NRAIN
        RDIS(I)=RSUM(I)-RSUM(I-1)+1
      ENDDO
C      DO I=1,NRAIN
C        WRITE(*,*) I,RDIS(I)
C      ENDDO
      RETURN
      END

```

4. Nakayasu 합성단위도

```

dimension title(8), pp0(150), uho(150), tsho(300),
ldrafl(150),rafl(150), statin(20), qini(150)
in=1
io=2
22 read(in,6)(statin(i),i=1,8)
6 format(8a4)
read(in,*) area,clengh,period,tera,rr24,ip,alpha,cn,nunit,11,12
ffff=1.
call rr(tera,rr24,nnn,rafl)
write(io,30)
30 format(5x,55(' ') /5x, 'resurts of calculation of storm runoff by'
1' nash model ' /5x,55(' '))
8193 write(io, 118)(statin(i), i=1,8)
118 format(10x, ' station=', 8a4, / 10x,25(1h.))
write(io,31) area
31 format(11x, ' watershed area = ', f10.3,1x,'sq.km')
write(io,32) clengh
32 format(11x, ' channel length= ', f10.3,1x,'km')
write(io,33) period
33 format(11x, ' return period = ', f10.3,1x, 'year')
write(io,933)cn
933 format(11x,'curve number = ', f10.3)
write(io,1899) rr24
1899 format(11x,'maximum rainfall : ', f6.1, 'mm/day')
write(io,1999)tera
1999 format(11x,' unit hour : ' f6.1, 'hour')
call nash (in,io,area, tera, nouho, uho)
nunit=nouho
777 write(io,2229)
2229 format(20x, 'rainfal in hour', /,20x,16('.'))
nopre=nnn
if(nopre.eq.0)nopre=ialpha
write(io, 27)(rafl(k), k=1, nopre)
27 format(10f7.1 )
write(io, 9899)
9899 format(20x,'unit hydrograph' /,20x,15('.'))
write(io,28)(uho(k),k=1,nouho)
28 format(10f7.2 )
if (cn.eq.0)go to 109

```

```

      sss=25400./cn-254.
      p0=0
      do 100 i=1,nnn
        p0=p0+rafl(i)
        p00=p0- 2*sss
        if(p00.lt.0.)p00=0.
        pp0(i)=p00**2/(p0+8*sss)
        if(i.eq.1) goto 101
        raf1(i)=pp0(i)-pp0(i-1)
        go to 102
101      raf1(1)=pp0(i)
102      if(raf1(i).lt.0.)raf1(i)=0.
100      continue
109      raf=0
      do 934 k=1, nopre
934      raf=raf+raf1(k)
935      format(11x,'total effect rainfall=', f10.3)
c write (io,35)(raf1(k),k=1,24)
35      format(132(' '),/,'time(hr)', 44x, ' fff.rainfall in hours',
        150x, 't.runoff'
        */ ,5x,24f5.1,/,132(' '))
      write(io, 5229)
5229      format (20x, 'net rainfal in hour', /, 20x,20(' '))
      write(io,527)(raf1(k),k=1,nopre)
527      format(10f7.1)
      qinit=0.0
      nosro=nouho+nopre-1
      tx=tera
      gmax=0.
      do 2222 k=1, nospro
      do 3333 l=1, nopre
        drafl(1)=raf1(1)
        if(k-l+1.le.0) go to 4444
        qini(1)=drafl(1)*uho(k-l+1)
        qinit=qinit+qini(1)
3333      continue
4444      tsho(k)=qnit
        if (tsho(k). ge.qmax) qmax= tsho(k)
c      write(io 36) tx, (qini(1), l=1,24), tsho(k)
36      format(f5.1,24f5.0,f7.0)
      qinit=0.0

```

```

        tx=tx+tera
2222    continue
        write(io,111)
111    format(130(' '))
        if(nopre.lt.25) go to 1198
c      write(io,35)(rafl(k),k=25,nopre)
        tx=tera
        do 2001 k=1, nosro
        do 2002 l=25, nnn
            drafl(l) = rafl(l)
            if(k-l+1. le.0) go to 2003
            qini(l)=drafl(l)*uho(k-l+1)
2002    continue
c 2003 write(io,36) tx, (qini(l), l=25, nopre), tsho(k)
2003    tx=tx+tera
2001    continue
c      write(io,111)
1198    do 9877 k=1, nosro
            tsho(k)=tsho(k)*ffff
            if(tsho(k).ge.qmax)qmax=tsho(k)
9877    continue
        write(io,9878)
9878    format(20x, ' net inflow',/,20x, '.....')
        write (io,9879)(tsho(k),k=1, nosro)
9879    format(10f7.0)
        do 9876 j=1,100
            qini(j)=0.
            tsho(j)=0.
            uho(j)=0.
9876    continue
        write(io,5423)qmax
5423    format ('          qmax=',f10.0,'cms',/)
1111    if(12.eq.0) go to 22
        stop
        end
        subroutine rr(tera, rr24, nnn, rafl)
        dimension rafl(150), r(300), f(300)
        t=tera
        nnn=24/tera
        do 9333 i=1, nnn
c      f(i)=rr24*(24./t)**0.567*t/24

```

```

        f(i)=rr24*(24./t)**0.666666*t/24
        t=t+tera
9333    continue
        do 9334 i=2, nnn
            r(1)=f(1)
            r(i)=f(i)-f(i-1)
9334    continue
            rafl(1)=r(nnn)
            innn=nnn/2
            do 1009 i=2, innn
                innn=nnn-(i-1)*2
                rafl(i)=r(ijnn)
1009    continue
                nin=innn+1
                ikp=0
                do 1008 i=nin, nnn
                    j=1+ikp
                    rafl(i)=r(j)
                    ikp=ikp+2
1008    continue
                return
            end
            subroutine nash(in,io,area, tera, nquh,qsh)
            dimension qsh(150), qth(150)
                nquh=20
                read(in,*)tp
                alpha=0.403*tp
                beta=2.48
                write(io,3100)tp, alpha, beta
3100    format(10x
1' travel time          tl=',f5.2,'hr',/,10x,
1' storage coefficient k=',f5.2,/,10x,
2' reservoir number    n=',f5.2,/)
                qpl=0.
                totall=0.0
                do 700 it=1, nquh
                    tt=it*tera
                    qth(it)=1.0/alpha/gamma(beta)*(tt/alpha)**(beta-1.0)
*                    *exp(-tt/alpha)*1000.
                    if(qth(it).gt.qpl)qpl=qth(it)
                totall=totall+qth(it)

```

```

700    continue
      do 600 it=1, nquh
600    qth(it)=qth(it)*0.001*area*0.2778
      qsh(1)=qth(1)/2.0
      it=1
      do 900 it=2, nquh-1
          tt=it*tera
900    qsh(it)=(qth(it)+qth(it-1))/2.0
      write(io,902)
902    format(8x, ' hr ', 5x, ' o ', 9x, ' mean')
      do 901 it=1, nquh
          tt=it*tera
901    write(io,3000) tt,qth(it), qsh(it)
3000    format(8x,f5.1, 2f10.3)
      return
      end
      function gamma(z)
      err=1.0e-6
      x=z
      if(x.gt.57.0) then
      gx=0.39909-.43429*(x-1)+(x-0.5)*alog10(x-1.0)
      gx=10**gx
      go to 120
      endif
      gx =1.0
      if (x-2.0) 50,50,40
30    if(x-2.0)110,110,40
40    x=x-1.0
      gx=gx*x
      goto 30
50    if(x-1.0)60,120,110
60    if(x-err)70,70,100
70    y=1.0*int(x)-x
      if(abs(y)-err)130,130,80
80    if(1.0-y-err)130,130,90
90    IF(x-1.0)100,100,110
100   gx=gx/x
      x=x+1.0
      go to 90
110   y=x-1.0
      gy=1.0+y*(-0.5771017+y*(0.985854+y*(-0.8764218+y*(0.8328212+

```

```

1  y*(-0.5684729+y*(0.2548205+y*(-0.0514993))))))
    gx=gx*gy
130  err=1
120  gamma=gx
    return
    end

```

```

*****PROGRAM(NAKA.for)*****
      dimension title(20),pp0(150),uho(150),tsho(300),
      ldrafl(150),rafl(150),
      *statin(20),qini(150)
      in=1
      io=2
22  read(in,6)statin
      6 format(20a4)
      read(in,*)area,clengh,period,tera,rr24,ip,alpha,cn,nunit,L1,L2
      ffff=1.00
      ialpha=alpha
      write(io,4552)
4552 format(5x,57(' '),/,5x,'results of calculation of storm runoff'
      1'by nakayasu method',/5x,57(' '))
      if(ialpha.eq.0)go to 8193
      if(ialpha.gt.1)read(in,*)(rafl(i),i=1,ialpha)
8193 write(io,118)statin
      118 format(10x,'station=',20a4,/10x,25(1h.))
      write(io,31)area
      31 format(11x,'watershed area=',f10.3,1x,'sq.km')
      write(io,32)clengh
      32 format(11x,'channel length=',f10.3,1x,'km')
      write(io,33)period
      33 format(11x,'return period=',f10.3,1x,'year')
      write(io,933)cn
      933 format(11x,'curve number= ',f10.3)
      write(io,7933)ffff
7933 format(11x,'runoff coef = ',f10.3)
      write(io,1899)rr24
1899 format(11x,'maximum rainfall : ',f6.1,'mm/day')
      write(io,1999)tera
1999 format(11x,'unit hour : ',f6.3,'hour')
      call rr(tera,rr24,nnn,rafl)
      call unit(area,clengh,tera,nouho,uho)
      nunit=nouho
      write(io,2229)
2229 format(20x,'rainfal in hour',/,20x,16(' '))
      nopre=nnn
      if(nopre.eq.0)nopre=ialpha
      write(io,27)(rafl(k),k=1,nopre)
      27 format(10f7.1)

```

```

write(io,9899)
9899 format(20x,'unit hydrograph'/,20x,15(' '))
write(io,28)(uho(k),k=1,nouho)
28 format(10f7.2)
if(cn.eq.0)go to 109
sss=25400./cn-254.
p0=0.
do 100 i=1,nnn
p0=p0+raf1(i)
p00=p0-.2*sss
if(p00.lt.0.)p00=0.
pp0(i)=p00**2/(p0+.8*sss)
if(i.eq.1)go to 101
raf1(i)=pp0(i)-pp0(i-1)
go to 102
101 raf1(1)=pp0(i)
102 if(raf1(i).lt.0.)raf1(i)=0.
100 continue
write(io,5229)
5229 format(20x,'net rainfall in hour'/,20x,20(' '))
write(io,527)(raf1(k),k=1,nopre)
527 format(10f7.1)
109 raf=0
do 934 k=1,nopre
934 raf=faf+raf1(k)
935 format(11x,'total effect rainfall=',f10.3)
write(io,35)(raf1(k),k=1,24)
35 format(132(' ')/,'time(hr)',44x,'eff. rainfall in hours',
150x,'t.runoff'
*/.5x,24f5.1,/,132(' '))
qinit=0.0
nosro=nouho+nopre-1
tx=tera
qmax=0.
do 2222 k=1,nosro
do 3333 l=1,nopre
drafl(l)=raf1(l)
if(k-l+1.le.0.) go to 4444
qini(l)=drafl(l)*uho(k-l+1)
qinit=qinit+qini(l)
3333 continue

```

```

4444 tsho(k)=qinit
      if(tsho(k).ge.qmax)qmax=tsho(k)*ffff
      write(io,36) tx, uho(k), (qini(1),l=1,24),tsho(k)
36   format(f3.0, f5.1, 24f5.0,f7.0)
      qinit=0.0
      tx=tx+tera
2222 continue
      write(io,111)
111  format(130(' '))
      if(nopre.lt.25)go to 1198
c    write(io,35)(rafl(k),k=25,nopre)
      tx=tera
      do 2001 k=1,nosro
      do 2002 l=25,nnn
      drafl(l)=rafl(l)
      if(k-l+1.le.0)go to 2003
      qini(l)=drafl(l)*uho(k-l+1)
2002 continue
2003 write(io,36)tx, (qini(1),l=25,nopre),tsho(k)
2003 tx=tx+tera
2001 continue
      write(io,111)
1198 do 9877 k=1,nosro
      tsho(k)=tsho(k)*ffff
      if(tsho(k).ge.qmax)qmax=tsho(k)
9877 continue
      write(io,9878)
9878 format(20x,'net inflow',/,20x,'.....')
      write(io,9879)(tsho(k),k=1,nosro)
9879 format(10f7.0)
      write(io,5423)qmax
5423 format(10x,'qmax=',f10.0,'cms',/////))
      do 9876 j=1,300
      qini(j)=0.
      tsho(j)=0.
      uho(j)=0.
9876 continue
1111 if(l2.eq.0)go to 22
      stop
      end
      subroutine rr(tera,rr24,nnn,rafl)

```

```

dimension rafl(150),r(300),f(300)
t=tera
nnn=24/tera
write(2,100)
100 format('rainfall intensity form',/,
1'i=rr24*(24./t)**0.666666*t/24')
do 9333 i=1,nnn
c f(i)=rr24*(24./t)**0.5764*t/24
f(i)=rr24*(24./t)**0.666666*t/24
t=t+tera
9333 continue
do 9334 i=2,nnn
r(1)=f(1)
r(i)=f(i)-f(i-1)
9334 continue
rafl(1)=r(nnn)
innn=nnn/2
do 1009 i=2,innn
ijnn=nnn-(i-1)*2
rafl(i)=r(ijnn)
1009 continue
nin=innn+1
ikp=0
do 1008 i=nin,nnn
j=1+ikp
rafl(i)=r(j)
ikp=ikp+2
1008 continue
return
end
subroutine unit(area,clengh,tera,nouho,uho)
dimension uho(150)
tk=0.47*(area*clengh)**0.25
if(clengh.le.15.0) go to 1000
tg=0.4+0.058*clengh
go to 2000
1000 tg=0.21*clengh**07
2000 tp=0.8*tera+tg
go to 209
if(tp.lt.1.5*tera)go to 201
if(tp.gt.1.5*tera.and.tp.lt.2.5*tera)go to 202

```

```

if(tp.gt.2.5*tera.and.tp.lt.3.5*tera)go to 203
if(tp.gt.3.5*tera.and.tp.lt.4.5*tera)go to 204
if(tp.gt.4.5*tera.and.tp.lt.5.5*tera)go to 205
if(tp.gt.5.5*tera.and.tp.lt.6.5*tera)go to 206
if(tp.gt.6.5*tera.and.tp.lt.7.5*tera)go to 207
if(tp.gt.7.5*tera.and.tp.lt.8.5*tera)go to 208
if(tp.gt.8.5*tera.and.tp.lt.9.5*tera)go to 218
if(tp.gt.9.5*tera.and.tp.lt.10.5*tera)go to 219
if(tp.gt.10.5*tera.and.tp.lt.11.5*tera)go to 319
if(tp.gt.11.5*tera.and.tp.lt.12.5*tera)go to 419
if(tp.gt.12.5*tera.and.tp.lt.13.5*tera)go to 519
if(tp.gt.13.5*tera.and.tp.lt.14.5*tera)go to 919
201  tp=tera
    go to 209
202  tp=tera*2
    go to 209
203  tp=tera*3
    go to 209
204  tp=tera*4
    go to 209
205  tp=tera*5
    go to 209
206  tp=tera*6
    go to 209
207  tp=tera*7
    go to 209
208  tp=tera*8
    go to 209
218  tp=tera*9
    go to 209
219  tp=tera*10
    go to 209
319  tp=tera*11
    go to 209
419  tp=tera*12
    go to 209
519  tp=tera*13
    go to 209
919  tp=tera*14
209  peak=0.2778*area/(0.3*tp+tk)
    toi=tera

```

```

do 555 j=1,70
  if(toi.le.tp) go to 5000
  if(toi.gt.tp.and.toi.le.tp+tk) go to 4000
  if(toi.gt.tp+tk.and.toi.le.tp+tk+1.5*tk) go to 6000
  uho(j)=peak*0.3**((toi-(tp+tk+1.5*tk))/(2.0*tk))*0.09
  go to 666
6000 uho(j)=peak*0.3**((toi-(tp+tk))/(1.5*tk))*0.3
  go to 666
4000 uho(j)=peak*0.3**((toi-tp)/tk)
  go to 666
5000 uho(j)=peak*(toi/tp)**2.4
  ttp=tera*j
666 if(uho(j).le.0.05) go to 333
  nouho=j
  toi=toi+tera
555 continue
333 return
end

```

참고문헌

1. 국립방재연구소(1998) “방재조절지의 설계지침 개발(I).”
2. 국립방재연구소(1998) “방재조절지의 설계지침 개발(II).”
3. 서진호(1995) “강우시간분포모형에 의한 강우-유출해석,” 동아대학교 박사학위논문.
4. 건설부(1993a) “설계홍수 추정 지침서.”
5. 건설부(1993b) “수자원관리기법개발연구조사 보고서.”
6. 건설부(1994) “수자원관리기법개발연구조사 보고서.”
7. 한국건설기술연구원(1989) “지역별 설계 강우의 시간적 분포.”
8. 한국건설기술연구원(1994) “미계측 유역의 홍수유출 특성에 관한 비교연구,”
9. 한국건설기술연구원(2000) “시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구,”
10. 김남원과 서병하(1989) “지역별 설계강우의 시간적분포,” 건기연 89-WR-111, 한국건설기술연구원.
11. 김상용(1972) “단위유량도에 의한 유출해석 -낙동강을 중심으로-.” 대한토목학회지, Vol. 20, No. 4.
12. 박찬영, 서병하, 윤용남, 강관원(1981) “소유역의 설계유량 산정을 위한 강우형상 분석에 관한 연구,” 수자원학회 제4권 제4호.
13. 서승덕(1965) “폭우의 시간적분포에 관한 고찰.” 한국농공학회지, Vol. 7, No. 2.
14. 선우중호, 윤용남, 심순보, 이순탁(1977) “정밀계측된 소유역의 강우 및 유출특성.” 한국수문학회지, Vol. 10, No. 1.
15. 심순보, 안상진(1976) “미계측 중소하천의 계획홍수량산정에 관한 연구,” 수자원학회 제9권 제2호.
16. 원태상(1953) “극대홍수량 공식에 관한 연구,” 대한토목학회지, Vol. 1, No. 1.

17. 윤용남(1976) “미계측 소하천의 홍수소통능력 평가에 관한 연구,” 대한토목학회논문집.
18. 윤용남, 심순보(1976) “단위유량도에 의한 소유역의 계획홍수량 결정,” 한국수문학회지, Vol. 9, No. 2.
19. 이상호, 이길성(1994) “홍수사상에 대한 소유역 강우-유출 모형개발,” 한국수자원학회, Vol. 27, No. 3.
20. 이순탁, 최영박(1964) “낙동강에 대한 梶山氏의 최대홍수량공식의 검토 시론,” 대한토목학회지, Vol. 19, No. 3.
21. 이순혁(1977) “한국 주요 수계의 소유역에 대한 순간단위도 유도에 관한 연구,” 한국농공학회지, Vol. 19, No.1.
22. 이원환(1967) “국내 지역별 강우특성과 확률강우량 산정에 관한 연구,” 대한토목학회지, Vol. 15, No. 3.
23. 이원환(1987) “한국 확률강우량도 작성을 위한 수문해석기법 개발,” 한국수문학회지, Vol. 20, No. 2.
24. 이홍래, 윤석영, 이종국(1989) “설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법 개발,” 건기연 88-WR-111, 한국건설기술연구원.
25. 최영박, 박종훈(1966) “한국주요도시의 강우강도형의 지역적 특성연구,” 대한토목학회지, Vol. 14, No. 1.
26. Akan. A. O. and Yen. B. C. (1984). *Effect of Time Distribution of Rainfall on Overland Runoff*, Analysis and Design of Stormwater Systems, Proc. of the third IAHR/IAWPRC Conference on Urban Storm Drainage.
27. Yen, B. C. and Chow, V. T (1980). “Design Hyetographs for Small Drainage Structures,” *Journal of the Hydraulice Division, ASCE*, Vol. 106, No. HY6.
28. Bruen, M. and Dooge, J. C. I. (1984). “An Efficient and Robust Method for Estimating Unit Hydrograph Ordinates,” *Tournal df*

Hydrology, Vol. 70.

29. Bren. L. J., Farrell. R. W., and Leitch. C. J. (1987). *Use of Weighted Integral Variables to Determine the Relation between Rainfall Intensity and Storm Flow and Peak Flow Generation*, Water Resources Research. Vol. 23, No. 7.
30. Clark, C. O. (1945). "Storage and the Unit Hydrograph," *Transactions of A. S. C. E.*, Vol. 110
31. Dooge, J. C. I. (1959). "A General Theory of the Unit Hydrograph," *Journal, Geophysical Research*, Vol. 64, No. 2.
32. Horner, W. W. and Jens, S. W.(1942). "Surface Runoff Determination from Rainoff Without Using Coefficients," *Transactions, ASCE*, Vol. 107,
33. Hoff, F. A. (1967). "Time Distrbution of Rainfall in Heavy Storms," *Water Research, Research*, Vol. 3, No. 4.
34. Keifer, C. J. and Chu, H. H. (1957). "Synthetic Storm Pattern for Drainage Design," *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 83, No. HY4.
35. Nash, J. E.(1960). "A Unit Hydrograph Study with Particular Reference to British Catchments," *Proc. Inst. Civil Engrs.*, Vol. 17,
36. NWA, E. U.(1977). "Variability and Error in Rainfall over a Small Tropical Watershed," *Journal of Hydrology*, Vol. 34.
37. Pilgrim, D. H. and Cordery, I. (1975). "Rainfall temporal patterns for Design Floods," *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 101, No. HY1.
38. SCS (1979). *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Technical Release, No. 55, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.

39. SCS(1985). National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.
40. Singh, V. P. (1988). Hydrologic Systems, Rainfall-runoff Modelling Volume I, Prentice Hall.
41. Wenzel, H. G. Jr. and Voorhees, M. L. (1979). "Sensitivity of Design Storm Frequency," *Paper Presented at the AGU Annual Spring Meeting, Washington, D. C*

감사의 글

논문이 완성되기까지 많은 분들이 도움을 주셨습니다. 여러 가지로 부족한 저에게 새로운 배움의 길을 열어 학문에 대한 바른 자세와 진리를 일깨워 주시고 본 논문이 완성되기까지 아낌없는 사랑과 정성으로 세심하게 지도해 주신 지도교수 김상용 교수님께 진심으로 감사 드립니다.

바쁘신 와중에도 미비한 논문의 심사를 맡아 면밀히 검토해 주시고 바로잡아 주신 이상호 교수님, 이종출 교수님께 진심으로 감사 드리며, 토목공학과 정두희 학과장님, 김종수 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 이영대 교수님, 김명식 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 국승규 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그 동안 환경수리연구실에서 많은 도움을 준 정인주, 김태훈, 조용재군과 선·후배들에게도 감사의 마음을 전하며, 환경수리연구회 회장이신 김해수 사장님을 비롯한 회원님들에게도 고마운 마음을 전합니다.

바쁜 업무중에도 많은 조언과 격려를 아끼지 않았던 (주)천진엔지니어링 김용도 사장님, 박상주 이사님, 김현석 이사님, 손익현 이사님, 그리고 동고동락하며 힘든 업무를 같이하며 부족한 논문에 대한 충고와 많은 배려를 아끼지 않았던 김동근 부장에게 감사함을 전합니다.

하천 정비 기본 계획 업무를 같이하면서 항상 힘이 되어준 수공설계팀 이상필 과장, 최성식 대리, 이근철 주임, 송한기, 오주희양과 직장동료들에게 감사함을 전합니다.

이 논문의 시작과 마무리에서 업무가 바쁜 와중에도 틈틈이 논문에 큰 도움을 주며 함께 한 이정민군과, 한국건설기술연구원에 근무중인 강신욱 군에게 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

항상 용기를 북돋아 주시고 자식 걱정만 하시는 어머니님 그리고 장모님께 이 한편의 논문으로 머리숙여 감사함을 전합니다.

저를 뒤편에서 보살펴주신 큰 처형, 그리고 경선학원 박귀선 원장님 내

외분에도 감사함을 드립니다.

부족한 아빠에게 항상 명랑하고 총명하며 사랑스럽게 커 가는 우리 딸 수현이와 어떠한 상황에서도 버팀목이 되어준 미국에 계신 작은이모님 내외분께 감사하며 이날이 있기까지 내조를 아끼지 않았던 사랑하는 아내 정문자에게 이 한편의 논문으로 그간의 노고와 사랑을 대신합니다.

끝으로 저에게 사랑과 격려를 아끼지 않으시고 도움을 주신 모든 분들에게 지면을 빌려 감사를 드립니다.