

工學碩士學位 論文

도시화로 인한 상습침수지역 원인
분석 및 저감 대책에 관한 연구

A Study on Cause Analysis of Flooded Area
and Reduction Measure by Urbanization

指導教授 韓 鍾 玉

2003年 8月

서울産業大學校 産業大學院

土 木 工 學 科

陳 榮 吉

도시화로 인한 상습침수지역 원인
분석 및 저감 대책에 관한 연구

A Study on Cause Analysis of Flooded Area
and Reduction Measure by Urbanization

指導教授 韓 鍾 玉

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함
2003年 7月

서울産業大學校 産業大學院
土木工學科
陳榮吉

陳榮吉의 工學碩士 學位論文을 認定함
2003年 7月

審査委員長
審査委員
審査委員

서울産業大學校 産業大學院

감 사 의 글

열정과 의욕으로 시작한 만학의 길이 이제 결실을 앞두고 있습니다.

먼저 이 논문이 완성 될 수 있도록 논문의 주제 선정부터 이론의 정립에 이르기까지 학문적 지도는 물론, 전반적인 모든 과정 등을 깊은 관심으로 살펴주시어, 지혜롭고 보람된 삶의 새 지평을 열 수 있도록 지도하여주신 한 종옥 지도교수님의 따뜻한 은혜와 보살핌에 깊은 감사를 드립니다.

또한 보다 알찬내용의 논문이 될 수 있도록 세심한 지도와 격려로써 논문을 심사하여주신 김 진규 교수님, 기 성태 교수님께도 머리 숙여 감사드리며, 오늘의 이 자리에 제가 설 수 있도록 학위 과정 중 지식전달에 열 과 성을 다하여주신 토목공학과 교수님들, 교직원 여러분께도 감사드립니다.

바쁜 업무 속에서도 학문에 정진할 수 있도록 물심양면으로 배려하여주신 제이에스씨엔텍(주)의 고 영균 사장님께 감사드리며, 부사장님을 비롯한 임직원 여러분께도 고마움을 전합니다.

항상 믿음과 이해로써 말없이 곁을 지켜준 사랑하는 아내 김 영순, 그리고 혜옥, 혜경, 수정, 세 딸들과도 이 기쁨을 함께 나누면서 감사의 글을 드립니다.

2003 년 8 월

陳 榮 吉 拜上

<목차>

요	약	i
표	목	차
그	림	목
	차	iii
제 1 장	서	론
1. 연구	배경	및 필요성
2. 연구	목적	
3. 연구	내용	및 범위
제 2 장	도시수문의	특성
1. 도시수문의	특징	
2. 도시유출해석의	특성	및 개념
2.1 도시화	현상	
2.2 도시화의	진행단계	
2.3 도시유출변화		
2.4 하천의	변화	
2.5 도시수문량의	변화	
제 3 장	도시화에	따른 유출특성
1. 강우유출	모형	분석
1.1 SWMM(Storm Water Management Model)		
1.2 SWMM의	기본구조	및 이론
1.2.1 RUNOFF	블록	
1.2.2 TRANSPORT	블록	
1.2.3 EXTRAN	블록	
1.3 SWMM	모형	적용에 필요한 매개변수
2. SWMM의	현장적용	사례
2.1 토지이용현황	및	불투수 포장비율
2.2 소배수구역	구분	

3. SWMM을 이용한 상습침수 지역 모의	36
3.1 불투수율 증가에 따른 유출변화 모의	38
3.2 SWMM 모형에 의한 이문배수분구 하수관 통수능 평가	41
 제 4 장 도시지역 상습침수원인 경향분석 및 상습침수 저감 대책	47
1. 도시지역 상습침수원인 및 경향분석	47
1.1 서울지역 강수량 경향성분석	47
1.2 도시지역 침수원인	48
1.2.1 '90년 홍수피해원인 분석	49
1.2.2 '98년 홍수피해원인 분석	49
1.2.3 '2001년 홍수피해원인 분석	50
2. 상습침수 저감대책	51
2.1 우수 저감 시설	51
2.2 내수 침수시 강제 배수에 의한 방법	56
2.3 외수 침수에 의한 하천범람 및 억류억제 방법	57
2.4 자연배수에 의한 방법	57
2.5 기존 하수시설의 정비	57
2.6 지하터널, 지하저류조 등을 조성하는 방안	58
2.7 건축 표고에 의한 지반고 성토에 의한 방법	58
2.8 불합리한 법령 및 제도보완	58
2.8.1 건물 지하실 축조 지양	58
2.8.2 하천시설물 설치시 계획반도 상황	59
2.9 홍수 및 상습침수에 대한 근본적 대책방안	59
 제 5 장 결 론	61
 참고문헌	63
 Abstract	64
 부 록	66

요 약

제 목 : 도시화로 인한 상습침수지역 원인 분석 및 저감 대책에 관한 연구

도시화가 급속도로 진행됨에 따라 불투수층이 증가하고 우수유출속도가 빨라져서 도시지역의 홍수 피해가 증가되고 있으며, 또한 최근의 기상이변으로 인한 돌발 집중강우는 수해의 위험을 가중시키고 있다. 지구의 온난화와 엘니뇨/라니냐 현상 등에 의한 이상강우는 돌발홍수 및 집중호우 형태의 강우를 발생시키며, 이 때에 도시지역은 불투수율이 높은 이유로 유출율이 높고 도달시간이 빠르며 지표면의 포장율이 높아 우수 유출속도가 빠르게 진행되나 하천 수위가 올라갈 경우에는 반대로 배제되는 속도가 느려지게 되어 저지대의 주거지역이 단시간내에 침수되므로 우수지를 확충하여 펌프로 강제 배수하는 등의 하수 처리 시스템을 구축하고 있다.

따라서 본 연구에서는 개발 전·후의 홍수량 변화에 대한 사례와 개발유역내 유출특성 분석을 통하여 적합한 유출 산정모형을 선정하여 상습침수 피해를 겪는 서울시 이문배수분구를 대상으로 적용, 상습침수 원인이 하수관거 통수능 부족으로 인한 내수 침수로 분석되었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 과거 침수경향에 따른 기존 해결방안을 다각적으로 검토하여 수해 피해를 최소화 할 수 있는 예방책을 제시하였다.

〈표목차〉

표 2.1 도시 호우 유출의 감소와 지체	12
표 2.2 개발전·후의 유출변화(일본의 경우)	13
표 2.3 도시화에 의한 수문인자와 수문곡선의 변화	13
표 3.1 SWMM 매개변수 분류	24
표 3.2 유역지표면 흐름에서 Manning 계수	25
표 3.3 하도흐름에서의 Manning 계수	25
표 3.4 표면 굴곡으로 인한 지표저류	26
표 3.5 Horton 침투량공식에 따른 침투계수	26
표 3.6 SCS 토양군별 최소침투율	26
표 3.7 토지이용현황 및 불투수포장비율	28
표 3.8 불투수 포장비율	29
표 3.9 이문배수분구 관로 현황	30
표 3.10 이문배수분구 관거현황	31
표 3.11 배수구역 관거자료	33
표 3.12 배수구역 입력자료	34
표 3.13 EXTRAN 입력자료	35
표 3.14 서울지점의 강우강도식 (단기간 : 3시간 이하)	36
표 3.15 서울지점의 강우강도식 (장기간 : 3시간 이상)	37
표 3.16 불투수율별 침투유량	39
표 3.17 유역별 불투수면적	40
표 3.16 재현기간별 침투강우량 및 홍수량	42
표 3.17 빈도별 부족관거 및 Surcharge 양	43
표 3.18 빈도별 Detention 저류지 용량	46
표 4.1 유량조절용 수공구조물의 설계빈도	59

〈그림목차〉

그림 2.1 도시화전·후의 유출수문곡선의 특성변화	4
그림 2.2 Indiana주의 Indianapolis에 있는 Eagle Creek에서의 년 홍수 량과 피크유량의 관계	9
그림 2.3 중요한 매개변수에 따른 강우유출관계의 가상단위도	10
그림 2.4 여러 형태로 도시화된 1[mi ²] 유역의 홍수빈도곡선	10
그림 2.5 1[mi ²] 배수유역에 대한 년 평균 홍수의 도시화의 효과	11
그림 2.6 (a) 자연유역	15
그림 2.7 (b) 개발후 유역	15
그림 3.1 토지이용현황	28
그림 3.2 불투수 포장비율	29
그림 3.3 이문배수분구 관거 현황	32
그림 3.4 SWMM 모델링 모식도	37
그림 3.4 불투수율에 따른 유출변화	38
그림 3.5 불투수율 증가에 따른 유출수문곡선	40
그림 3.6 빈도별 확률홍수량	42
그림 3.7 10년 빈도의 310 관거에서의 용량 부족 모식도	44
그림 3.8 20년 빈도의 310 관거에서의 용량 부족 모식도	44
그림 3.9 30년 빈도의 310 관거에서의 용량 부족 모식도	45
그림 3.10 30년 빈도의 430 관거에서의 용량 부족 모식도	45
그림 4.1 서울지점의 일 최대강수량에 대한 경향성과 변동성	47
그림 4.2 서울지점의 년 강수량에 대한 경향성과 변동성	48
그림 4.3 서울지점의 80mm 초과 강우일수에 대한 경향성과 변동성	48
그림 4.4 조정지 구성	52
그림 4.5 조정지 구분	55
그림 4.6 조정지 / 저류지의 소요용량 결정	56

제 1 장 서 론

1. 연구 배경 및 필요성

지구의 온난화와 엘니뇨/라니냐 현상 등에 의한 이상강우는 돌발홍수 및 집중호우의 형태의 강우를 발생시키고 있다.

2001년 7월 15일의 집중호우로 인해서 많은 인명과 재산피해를 경험하였다. 도시지역은 불투수율이 높기 때문에 유출율이 높고 도달시간이 빠르며 지표면이 포장 되어있어 우수 유출속도가 빠르게되나 하천 수위가 올라갈 경우 배제되는 속도가 느려지게 되어 저지대의 주거지역이 단시간내에 침수되므로 우수지를 확충하여 펌프로 강제 배수하는 등의 하수 처리 시스템을 구축하고 있다.

특히 서울지역은 대부분 도시하천 지역으로 우수나 하천의 유출율이 크므로 강우강도가 클 경우 한강수위가 높아짐으로 내·외수의 침수 피해를 많이 입게되는 결과를 낳고 있다. 따라서 과거 침수경향에 따른 기존 해결방안을 다각적으로 검토하여 수해 피해를 최소화 할 수 있는 예방책을 제시하고자 한다.

2. 연구 목적

개발구역에서는 수문자료의 빈곤 등으로 치수대책이 미흡한 점이 많은데 개발구역 뿐만 아니라 개발구역 하류의 치수대책 수립에도 최선의 방법을 선택하여야 한다. 특히 내배수 처리나 토지의 효율적인 이용과 경제적 편익에만 관심을 갖는 가하면, 하도의 통수능력이나 개발구역 하류의 수문현상에 주의를 소홀히 하여 침수피해는 자주 발생하고 있다.

본 연구에서는 개발 전·후의 홍수량 변화에 대한 사례와 개발

유역내 유출특성 분석을 통하여 적합한 유출 산정모형을 선정하여, 상습침수 피해를 겪는 지역에 적용하므로써 그 원인과 대책을 연구하고자 한다.

3. 연구 내용 및 범위

본 연구에서는 개발에 따른 영향분석을 중심으로 유출 특성을 모형실험을 통하여 분석하였다. 최근 개발현상이 심화되어 침수 피해를 겪은 바 있는 이문 배수유역의 홍수량변화에 대한 사례 조사와 개발유역에 적용, 가능한 유출 모형을 비교, 검토하여 국내 유역에 적용하였다. 본 연구에서 수행된 내용은 다음과 같다.

- 개발에 따른 유출 특성 분석
- 개발유역의 홍수량 사례 및 환경변화 조사
- 도시 강우-유출 모형 분석
- SWMM을 통한 관거 부족용량(surcharge) 산정
- 비교 고찰
- 도시 유역의 상습침수 원인 분석
- 도시 유역의 상습침수 저감대책 방안

제 2 장 도시수문의 특성

1. 도시수문의 특징

도시지역은 대부분의 지면이 포장, 지붕등과 같은 불투수면이고 우수배수관거와 같이 수리학적으로 잘 정비된 인공적인 배수계통으로 되어있다. 도시지역 또는 도시화의 영향은 기후와 유출의 변화를 나타내고 도시화로 인한 기후의 가장 현저한 변화는 기온의 증가이며 이로 인하여 도시에 열섬(thermal island)이 형성된다. 도시의 건물은 조도의 증가를 유발하여 풍속이 감소되고 햇볕이 감소된다. 또한 도시지역에서는 강수량의 증가가 관측된다. 도시화로 인한 기후의 변화는 전국적으로 평균기온이 증가하고 있는 것으로 알려져있다. 따라서 동일한 면적, 경사 및 토양에서는 농경지 유역에서 보다 도시지역에서 강우에 대한 반응이 민감하다.

도시화로 인한 유출의 영향은

침투에 대한 투수성면적의 감소로 유출률이 증가하고 총유출 체적이 증가하며,

포장과 같은 불투수지면은 거칠고 요부를 갖는 농경지보다 매끄러워 유역응답이 신속해지며 수문곡선의 상승부가 급해져서, 침투시간이 빨라지고 유역지체는 감소하는 경향이있다.

또한 홍수첨두가 증가되고, 침투량이 감소함에 따라 지하저류로 공급되는 양이 줄어들며 도시 우수량의 증가로 인하여 하천수질이 악화되고있다.

신속한 반응과 증가된 유출체적으로 배수와 수방문제는 복잡해질 수도 있으나 손실의 추정이 간단해지고 수로의 형식, 경사 및 조도가 알려지므로 오히려 쉽게 되는 점도 있다.

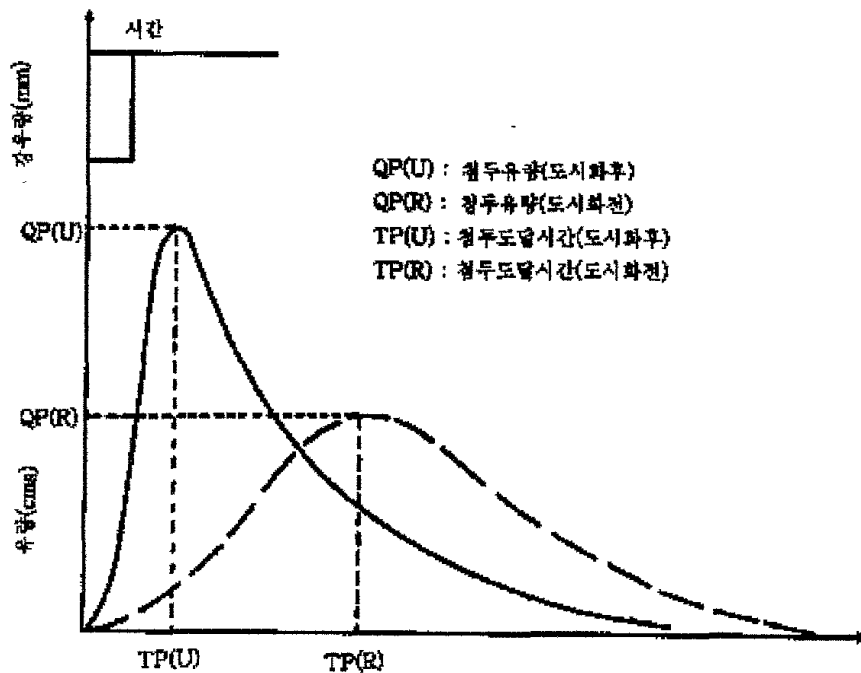


그림 2.1 도시화전 · 후의 유출수문곡선의 특성변화

도시의 배수계통은 우수배제가 주목적이면 우수관거(storm sewer)라 하고 가정오수와 우수를 동시에 배제하면 합류식관거(combined sewer)라 한다. 합류식관거는 위어나 오리피스같은 수리학적 조절구조인 조절기(regulator)를 하류단에 가져서 건천시 흐름(오수)을 분리하여 처리장까지 도수하는 차집관거(interceptor)를 갖는다. 우기에는 차집관거와 조절기의 용량이 초과되어 우수와 오수가 혼합되어 하천으로 직접 방류되고 따라서 수질오염을 수반하게 된다. 우수와 오수를 분리하여 도수하는 배수계통을 분류식하수관거(separate sewer)라 한다.

우수관거는 주어진 재현기간에 대한 첨두유량을 감당하도록 설계된다. 만약 이와 같이 설계된 용량이 초과되면 빗물은 맨홀을 통하여 지상으로 분출되며 도로와 같은 지면을 따라 흐르게 된다. 이러한 도로와 같은 지면이 초과된 용량을 감당하도록 설계되지 않으면 지면흐름은 상가나 주택가 등으로 범람하여 재난을

초래하게 된다. 즉, 우수관거가 초과되더라도 배수가 가능하도록 설계된 도시하부구조라야 한다.

초기의 도시 수문에서 도시호우의 배수설계는 호우로부터 도시 개발을 보호하는 방향으로 연구하였다. 예를 들어 도시화된 지역으로부터 호우를 하류로 빨리 흘려보내고 상류부의 상수원에서 필요한 수량을 안전하게 취수하기 위하여 침투유출량을 산정하고 관망이나 배수망을 계획한다. 그러나 최근 들어 도시 수문은 도시화의 촉진으로 인한 집수된 물의 양 및 질과 더불어 하류유역의 범람측면에서의 환경보호를 위한 종합적인 호우관리 개념으로 나아가고 있어 우리나라의 경우 재해영향평가와 같은 조치가 시행되고 있다. 도시유역에 내린 초기호우의 일부는 공원과 학교운동장 등과 같은 지역을 통해 지하수로 침투되거나 증발산 등으로 차단된다. 도시유역이 개발되면서 설치되는 하수 관거시설은 도시유역의 개발정도나 호우배수시설의 정도에 따라, 호우발생시 연속적인 유출의 일부분이나 전부가 우수관거배수 또는 합류식 배수관거나 하수처리시설에 의해 운반되며, 또는 범람지역을 통해 배출된다. 따라서 도시 수문 연구는 이러한 기본개념을 갖고 각 단계별로 적극적인 해결방안을 연구하여 제시하는 방향으로 가야한다.

2. 도시유출해석의 특성 및 개념

도시수문해석에 관한 사항들 중에서 중요한 것은 침투유출, 유출체적, 완전한 수문곡선 그리고 동수경사선과 침수깊이를 추가로 들 수 있다. 수문곡선이 유도되면 침투와 체적은 해석에 포함되나 침투유출을 결정하는 것과 같은 간단한 방법은 모든 필요한 사항을 제공하지 않는다. 도시유출해석방법은 빈도해석, 경험식, 수문곡선방법 및 개념적인 또는 모의모형으로 구분된다.

2.1. 도시화현상

도시화가 진행되는 유역은 산림과 전답, 임야지역 등으로 구성되어 있는 기존의 자연유역과 비교하여 대부분 하천의 하류부에서부터 시작하여 상류부로 진행되면서 형성되게 된다. 도시화유역에서는 인구의 집중화가 지속적으로 진행되고, 주택가와 상가 그리고 공공시설물 등이 밀집되며, 도심부의 도로와 인도 등은 거의 포장되고 배수관거가 대부분 설치되고 침수방지를 위해 하천 하류부쪽으로는 원활한 소통을 위해 관개시설 및 배수관거들은 정비가 잘 되어 있다. 이와 같은 상황을 도시화현상이라 정의한다. 이를 간단히 정리하면 주택과 상가 등의 건축물과 도로 하수관거 등과 같은 공공시설물의 증가로 인해 불투수면의 비율이 증가되어 침투율이 급격히 감소하는 현상으로 볼 수 있다. 이와 같은 변화는 한편으로 인구증가로 생활 용수량을 비롯한 각종 소비수량을 증대시킴과 아울러 장기적으로는 기후변화를 야기하며 시설물과 도로포장으로 불투수층지역이 증대되고, 이로 인해 표면조도계수는 감소하게 되어 이전보다 유출이 빨리 진행된다. 또한 녹지유역의 감소로 자연보유력이 감소되는 수문

현상이 발생한다.

2.2. 도시화의 진행단계

우리나라는 1960년대 이후 산업구조가 농업위주에서 상공업중심으로 변화되는 공업화 및 산업화를 계기로 인구의 도시집중화가 지속적으로 진행되고 이로 인한 주택 및 상가와 시가지의 개발이 촉진되고, 이전보다 더 많은 토지가 이들 시설물의 건설에 필요하게 되어 도시외곽의 구릉이나 계곡이 절취되고, 하류저지대의 전답이 매립되어 주택지 또는 상가가 조성되면서 도시화현상이 급진전되었다.

일반적으로 도시화되는 현상에 따라 그 진행단계를 살펴보면, 초기에는 여기저기 소규모적인 주택이나 건물들이 들어서지만 배수관거의 설치는 미약한 편이다. 주택건설로 인해 자연지표면의 초목들이 제거되어 증발산량의 감소와 이전보다 유출률이 증가되면서 신속한 표면유출 및 표면유출량의 증가를 나타나게 된다. 이처럼 도시화가 계속 진행되면 초기의 소규모적인 주택건물들 주위로 대규모의 택지개발이나 상가조성사업이 벌어지면서 지역내외에서 절토와 성토 등으로 대대적인 토량의 이동이 일어나면서 유수에 의한 침식이 가속화되고 도로포장율이 증가하고 배수관거의 설치율도 높아진다. 반면에 우수의 침투는 불투수면의 증가로 감소되고 이로 인해 홍수유출률은 더욱 커진다. 도시화가 완료되면 하천의 중하류부 전체에 대해 대단위 주택단지조성뿐 아니라 더 많은 주택이 들어서고 공공시설, 상업시설, 공장시설 등도 들어서며 도로 및 골목 거의 대부분이 포장되어 침투정도는 급격히 감소하여 거의 0에 가깝게 되고 유역에서의 조도계수감소로 유입시간이 줄어들며 수로망정비에 따라 침투홍수량이 증가한다.

2.3. 도시유출변화

도시화가 진행되고 있는 지역에서의 유출변화인자를 살펴보면, 첫째, 집수유역이 대부분 불투수성표면으로 포장된다는 것이다. 즉 침투가 거의 이루어지지 않는 지붕, 도로, 보도, 주차장 등으로 인해 유출계수가 증가하여 침투유량과 유출용적이 증가한다. 또한 오목면저류량도 상당히 감소하며 도시생활로 인하여 발생되어 가라앉은 먼지, 토사, 여러 가지의 오염물질이 불투수성표면에 쌓이게 되며 비가 오는 동안 유출에 의하여 씻겨 간다.

둘째, 수로의 수리학적 통수능이 증가한다.

즉, 도시화가 진행되면서 자연하천이 곧게 개선되며 수심도 깊어지고 또한 수로벽이 콘크리트 등으로 정비가 된다. 또한 하수관거와 각종 배수시설이 설치되어 수로에서 유속이 빨라지기 때문에 침투유출의 도달시간이 빨라지게 되며 불투수성 표면의 증가와 수리학적 통수능이 증가로 인하여 총유출량과 침투유출량이 증가한다. 따라서, 강우에 의한 유출량이 도심지 유역의 하류지점에 일시에 많은 양이 집중하게 되며 자연하천 일 때보다 침투유출량의 도달시간도 빨라진다.

한편 식생피복의 변화는 토양의 침투능에 영향을 주며 토지이용의 변화는 유출량과 도달시간에 중요한 영향을 끼치게 된다. 따라서 토지이용의 변화는 유출량 크기와 주어진 지역에서의 최대 유출비와 유출 시간 등을 증가시키거나 저하시킬 수 있다. 유출량의 시기에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 침투량과 표면저류량이다. 차단 및 다른 요인의 변화는 대개 무시할 수 있다. 침투유량은 유출 크기에 관계된다. 이것은 상수와 유출량을 직접적으로 변화시키는 침투유량으로 단위도 원리로부터 유도할

수 있다. 이 관계는 <그림2-2>에 나타나 있다. 여기에서 유출부피를 감소시키는 토지이용은 침투유량을 저하시키고 있음을 알 수 있다.

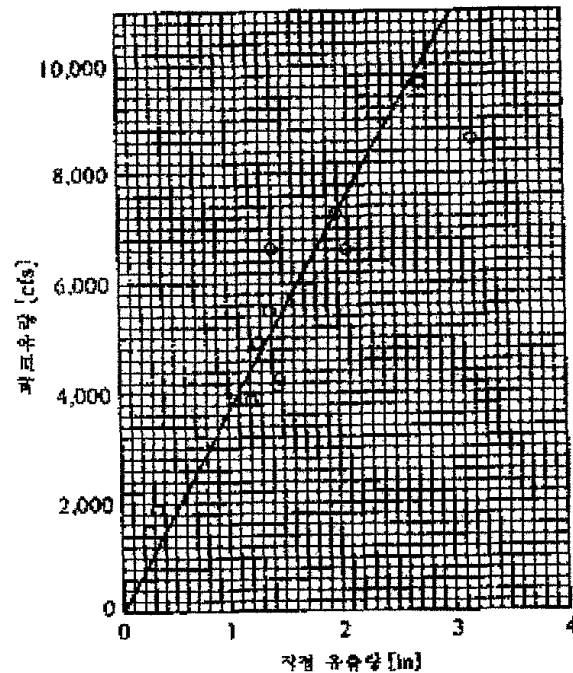


그림 2.2 Indiana주의 Indianapolis에 있는 Eagle Creek에서의 년 홍수량과 피크유량의 관계($A=170[m^2]$)

앞에서 언급했던 바와 같이 도시화는 일반적으로 유출량과 침투유량을 증가시키고 지역의 지체시간을 줄인다. <그림 2-3>은 지체시간에 대한 영향과 이론적인 단위도에 대한 수문곡선의 peak를 보여준다. 유출량 크기는 주로 지표 저류량 특성과 침투에 의해 결정된다. 토지경사, 토양형태, 식물의 특성, 유역의 불투수층의 증가 및 년 평균홍수의 하수처리의 연합된 효과를 나타낸다. 가끔 증가된 유출량의 잠재적으로 중요한 효과는 지하수로 재유입되는 경우 수반되어 감소하는 것을 알 수 있다. 광대한 도시유역에서는 국부적 지하수 공급이 상당한 감소효과를 보일 수 있다.

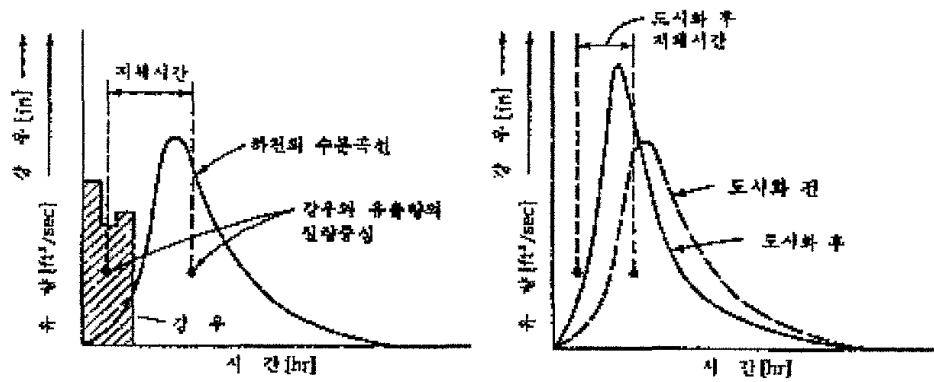


그림 2.3 중요한 매개변수에 따른 강우유출관계의 가상단위도

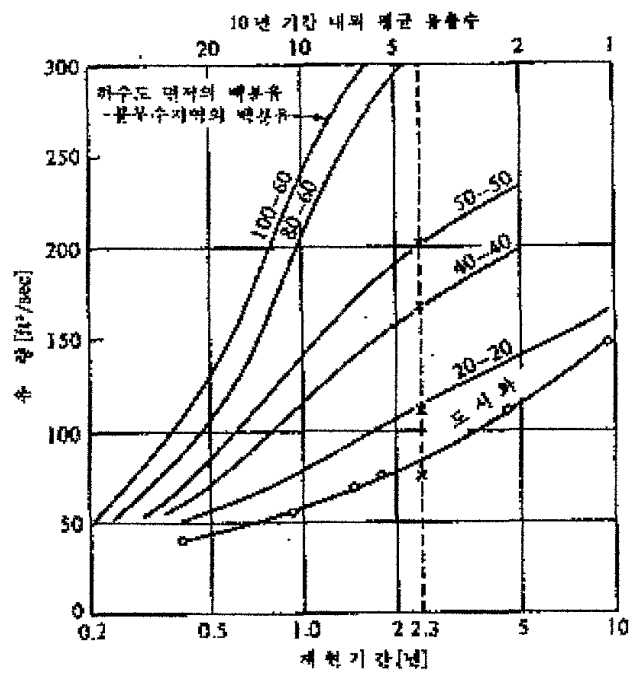


그림 2.4 여러 형태로 도시화된 1[mi²] 유역의 홍수빈도 곡선(U.S. Geological Survey Circular 554.)

일반적으로 침투유량은 도시화가 시작되면서부터 빠르게 증가할 것이다. 이것은 하천에 대한 지표유출의 증가와 그 결과로 유역의 도달시간이 짧아지기 때문이다. 우수관거나 선형화된 배수로등 수로 또는 식생지역보다 가로나 지붕에서 흘러나온 물의 유출속도가 빠르기 때문에 지체시간을 감소시킨다. 그 지역의 지체시간(또는 도달시간)의 감소는 주어진 유출정도에 대한 빈도나 재현기간에 영향을 미치게 되므로 극히 중요하다. 예를 들면 6시간 지체된 유역에서 재현기간 50년인 경우는 지체시간이 도시화에 의해 3시간으로 줄어들더라도 강우의 재현기간은 50년보다 더 길어지지 않는 것이다.

<그림 2-5>의 연구가 이것을 설명해주고 있다.

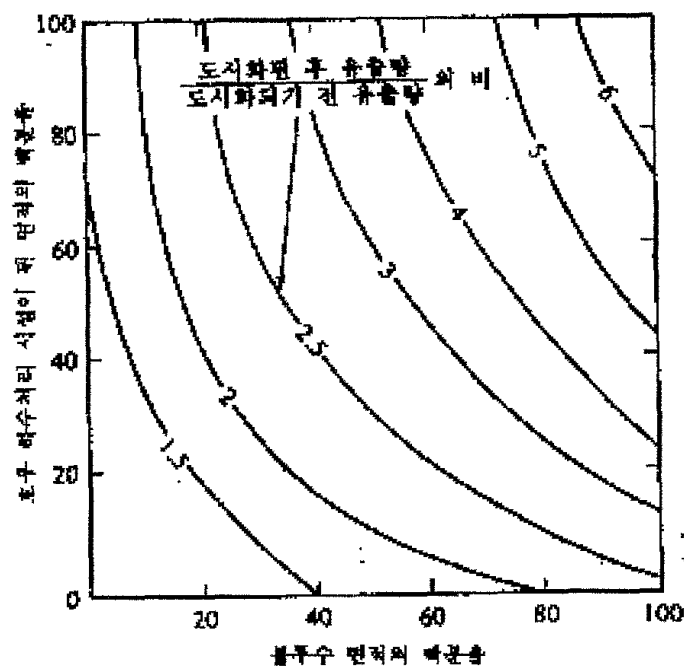


그림 2.5 1[m2] 배수유역에 대한 년평균 홍수의 도시화의 효과

표 2.1 도시 호우 유출의 감소와 지체

구 분	유 출 감 소	유 출 지 체
평평한 큰 지붕	<ul style="list-style-type: none"> · 물저장 탱크 · 풀장 또는 수조 · 떼 지붕 	<ul style="list-style-type: none"> · 지붕 위의 수축된 배수통으로 인한 물의 고임
주차 지역	<ul style="list-style-type: none"> · 기공성 포장 <ol style="list-style-type: none"> 1. 자갈질 주차지역 2. 기공 또는 구멍난 아스팔트지역 · 고가지역에 있는 주차지역 아래의 콘크리트 · 천장 및 수조 · 주차지역 주위의 식생으로 인해 물이 고일 수 있는 지역 · 자갈질 도랑 	<ul style="list-style-type: none"> · 주차지역 내 잡초지역 · 주차지역 배수구의 잡초 있는 배수로 · 불투수지역의 저류 및 고임 <ol style="list-style-type: none"> 1. 물결진 포장도로 2. 구름들 3. 웅덩이들
주거지역인 경우	<ul style="list-style-type: none"> · 단독주택 또는 군주택에서의 수조 · 산중턱을 따라 만든 고랑 · 지하수로에의 흡수 <ol style="list-style-type: none"> 1. 파이프 관입 2. 자갈(모래) 3. 도랑 4. 기공성 파이프 5. 건조 우물 · 식생 구름들 	<ul style="list-style-type: none"> · 저수지 또는 저류 웅덩이 · 높은 조도를 갖는 잔디 식생 · 자갈질 차도 · 잡초가 많은 도랑이나 하천 · 도랑이나 우회로 등에 의한 유출로 연장의 증가
일반적인 경우	<ul style="list-style-type: none"> · 자갈질 소로 · 기공질의 보도 · 뿌리 덮인 수종목 	<ul style="list-style-type: none"> · 자갈질 소로

자연유역에서는 중간 및 지하수 유출이 비교적 크게 나타나고 있지만 개발유역에서는 지표면유출이 크게 된다. <표 2.4>은 일본의 경우(多摩 신도시), 도시화에 의한 저류 및 유출의 변화관계를 나타낸 것이다.

표 2.2 개발전·후의유출변화(일본의 경우)

구분	자연유역(%)	개발유역(%)
직접유출	10	62
중간저류	72	35
지하수저류	18	2

다마(多摩) 신도시의 경우, 자연유역의 직접유출이 총강우량의 10% 정도인 것이 도시화 지역에서는 62%로 나타났으며, 중간저류는 자연유역 72% 도시화 유역 35%, 지하수 저류는 자연유역 18%, 도시화 유역은 2% 정도임이 제시되어 이러한 물수지 관계가 유출에 반영된 바 있다. 도시화에 의한 수문곡선 변화에 영향을 주는 인자들의 일반적인 특성은 <표 2.4>에 나타내었으며, 개발에 따른 지형학적 인자로서 지표면, 지하수, 하천과 우수관거에 관한 인자들이 수문곡선변화에 대응하는 관계를 표시하였다.

표 2.3 도시화에 의한 수문인자와 수문곡선의 변화

지리적 인자	수문곡선의 요소	총 유출량	침투 유량	기저 유량	침투 도달시간	기저 길이	감쇄부의 곡선특성 (경사)
	수문인자의 변화						
지표면 의 변화	불투수성 지표의 확대	+	+	-	-	-	+
	표면저류, 조도의 감소	+	+		-	-	+
지하수 의 변화	지하수위의 저하	-		-			+
하천의 변화	수계밀도의 증대(*)		+		-	-	+
	하도저류의 감소		+		-	-	+
	하도조도의 감소		+		-	-	+
+는 많게(크게, 길게)되며, -는 적게(작게, 짧게)됨을 나타냄.							

2.4. 하천의 변화

개발에 의한 유역의 변화는 하천수계의 형태를 크게 변모시키는데 개발이 시작되면 지표의 흐름방향이 변하거나 하도가 매몰되어지고, 배수로가 중·형으로 새로이 만들어지므로 결과적으로 하천 또는 수계의 밀도가 증가한다. 개발사업이 유출에 가장 크게 영향을 미치는 인자로는 불투수성지역의 분포나 비율 등으로 생각할 수 있지만 침투유량에 미치는 영향으로는 하도의 밀도나 배치 등이 불투수성 지역의 확대에 못지 않게 중요한 인자로 나타나고 있다. Graf(1977)는 미국 중부 Ralston Creek 유역의 도시화를 예로써 도시화에 의한 배수망의 변화와 홍수유출의 관계를 추적하였는데 South Branch 유역의 경우, 전 유역의 5%정도가 주택지였지만 1970년에는 유역의 25% 정도가 도시화가 되었으며 이러한 개발사업으로부터 수계밀도는 개발전보다 50%정도 증가되었음을 제시한 바 있다. 또한 수계의 구성요소는 수로의 수, 수로의길이, 집수면적, 수로의밀도 등이 있으며 이러한 인자와 포장면적과의 관계는 <식 2.1>의 회귀식으로 추정된 바도 있다.

$$G = a + b \times A \quad \text{<식 2.1>}$$

여기서, G = 수계의 구성요소, a, b = 상수, A = 유역의 포장면적이다. 그림 2.6 2.7은 South Branch 유역의 개발전·후의 하도망을 나타낸 것인데, 개발후에는 수로가 증가하였고 수로의 직선화가 두드러졌음을 알 수 있다. 또한 수로의 정비나 인공수로의 구축으로 본래의 자연수로가 분단되어지거나 수로가 세분화되어지며 각 수로의 평균길이가 짧아졌다. 수로망의 지형요소와 침투홍수량과의 관계는 전술한 바와 같이 개발후에는 배수로가 증가하고 각수로길이가 짧아지기 때문에 침투홍수 도달시간이 단축되고 침투홍수량도 증가하게 된다.

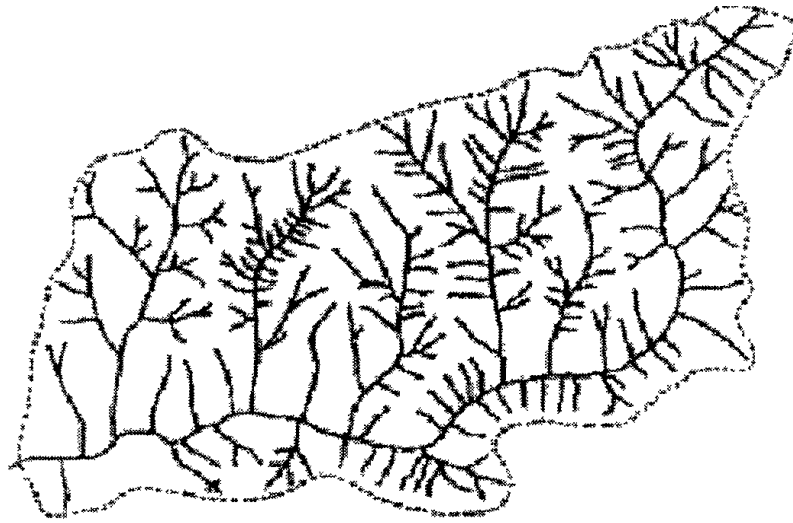


그림 2.6 (a) 자연유역



그림 2.7 (b) 개발후 유역

2.5. 도시수문량의 변화

강우로부터 시작되는 수문유출과정은 차단과 증발산, 침투 등의 손실과 표면유출, 중간유출 등으로 해당유역을 떠날 때 끝난다. 유출과정에서 표면저류량은 강우가 끝난 후 침투를 통해 손실되거나 증발을 통해 손실된다. 이처럼 강우가 유출로 진행되

는 동안 고려할 수 있는 침투과정과 표면저류과정 그리고 지표면유출과정에 있어 도시유역의 경우 자연유역과는 그 양과 형태에 있어 상당한 차이로 보여준다. 즉 도시유출지역은 불투수면적이 크므로 투수지역이 대부분인 자연상태의 지역과는 다소 그 특성이 다르다. 투수지역에 내린 강우는 침투 및 저류에 의한 물의 손실이 유출 해석에 중요한 의미를 가진다. 그러나, 주차장, 도로 등과 같이 불투수표면에 내린 강우에 대하여는 침투와 지표저류량은 전체유출에 비하여 극히 미미하여 그 영향은 무시된다. 이처럼 도시화가 이루어진 유역에서는 이전과는 다른 수문양상을 띄게 된다. 이들 변화양상을 살펴보면 다음과 같다.

2.5.1. 지표면의 변화

도시화가 진행되면서 불투수면의 증가로 우수가 침투하기 어려운 지역으로 변화된다. 이와 같은 불투수성지역은 도시화가 진행됨에 따라 그 비율은 점점 증가하게 된다. 불투수성지역의 증가는 유효우량의 증가로 나타나고 이는 유출계수가 증가하는 것을 의미한다.

지표면에서의 도로포장이나 주차장건설과 주택건설, 그리고 배수로나 하수도축구의 정비로 우수의 유하저항요소인 표면조도계수가 감소된다. 이와 같이 지표면의 상태변화에 따라 조도계수가 감소하여 유출율은 증가되고 홍수도달시간이 단축되므로 같은 우량이라 할 때 출구의 최대유량은 도시화이전에 비해 크게 증대된다.

2.5.2. 기상의 변화

도시유역으로 변화하는 과정에서 지상의 피복상황이 변화하여 도시화가 진행될수록 외곽의 산림이 적어지고 녹지유역이 차지하는 면적이 줄어들어 장기적으로는 기후까지 서서히 달라지게 된다. 또한 도시화과정이 진행될수록 도로포장, 하천복개로 지표면의 흙과 하천수의 노출부분이 감소하여 새로운 도시기후가 형성될 것이다. 도시를 덮고 있는 각종 시설들의 재질도 목재에서

아스팔트와 콘크리트로 바뀌어져 열용량이나 흡수율이 달라지므로 도시기후에는 적지 않은 영향을 주게 된다.

도시유출에서는 산업체, 가정, 자동차 등으로부터 방출되는 연기, 배기가스와 같은 오염입자로 인해 응결핵의 수가 많아지고 상승기류가 형성되므로 대류성 구름발생과 소나기성 강우의 증가 가능성이 있다.

2.5.3. 도시하천의 수량

우리나라 대도시는 대부분 주변에 하천을 끼고 있거나 도시가 운데를 하천이 관통하고 있다. 도시하천의 유역은 개발 등에 의해 도시화가 급속히 진행되어 유역의 대부분이 불투수층으로 변화하여 유역에 내리는 우수는 땅속으로 스며들지 못하고 한꺼번에 많은 양이 하천으로 흘러 들어가게 되어, 도시하천은 자연상태시의 홍수량보다 늘어난 양을 안전하게 처리하기 위해 제방을 높이고 하천을 직선화하며 콘크리트 등으로 호안을 보강하였다. 도시화는 도시하천의 환경도 다양한 모습으로 변화시킨다. 택지의 부족으로 홍수범람이 우려되는 홍수터 내에도 주택이 들어서게 되어 치수 방재면에서 어려움이 커진다.

2.5.4. 도시하천의 수질

도시로 인구가 집중되고 많은 시설물들이 들어서게 되어 많은 생활하수 및 폐수가 발생하게 된다. 하천이 가지고 있는 자정능력이상의 오염원이 유입되면서 하천은 썩어간다. 한편 도시유역은 상류부와 주변의 공장과 가정 등에서 배출되는 오염물질의 증가로 인하여 환경차원에서 커다란 수질오염의 공해원이 되고 있다. 인구의 증가와 도시의 팽창에 따라 생활용수는 더욱 증가하고 상·하수도의 시설용량은 더욱 부족하게 되어 이에 대한 불균형도가 심화되고 보니 수질오염 부하량이 날로 증대되어 하수처리시설 투자비가 막대하게 소요되고 있는 실정이다.

2.5.5. 도시하천의 공간

평상시에는 도시하천의 물이 줄고 오염에 의한 수질악화로 도시하천은 말라버리거나 냄새나는 하수도로 변하여 있는 곳이 대부분이다. 특히 개발지역의 팽창으로 도시시설물들이 더욱 필요해지면서 하천부지를 복개하여 도로를 개설하거나 주차장 등으로 활용을 하는데, 이는 하천이 갖는 푸르름과 녹색을 거부하는 행위나 마찬가지이다. 도시기반시설의 부족으로 도시하천의 고수부지나 하천자체를 도로부지나 주차장 시설로 이용하고 있는 실정이다. 한 예로 서울의 경우 북부내부순환고속도로를 건설하면서 홍제천유역과 정릉천유역의 하상위로 고가도로를 건설하여 통수능의 문제 외에도 친수공간으로의 하천역할이 파괴되어 도시하천환경을 저해시키고 있다.

한편, Hollis(1975)는 도시화 인자로서 불투수 면적율만 택하여 홍수재현기간이 1년~200년의 침투유량을 도시화 전·후의 비율로 제시한 바 있는데, 재현기간이 짧은 작은 규모의 유출은 침투유량의 증가율이 크고, 재현기간이 긴 홍수유출은 도시화의 영향이 크지 않음을 보여 주었다. 이는 작은 규모의 유출은 자연유역에서는 지표면유출이 작고 도시지역에서는 크게 되며, 강우강도가 큰 대홍수에서는 자연지역이나 도시지역 모두 표면유출이 증가하기 때문이며 아주 큰 홍수유출 일때는 도시지역이나 자연지역 모두 유사한 경향을 나타내었다.

제 3 장 도시화에 따른 유출특성 및 상습침수 원인 분석

도시화에 따른 유출특성 변화를 모의하기 위해서 강우-유출 모형 중에서 도시유출모형인 SWMM(Storm Water Management Model)를 사용하여 중랑천 유역의 이문배수분구를 대상으로 도시화 전·후의 유출 특성 검토를 통하여 상습침수 원인을 분석하고자 한다.

1. 강우유출 모형 분석

1.1. SWMM(Storm Water Management Model)

도시유역에 대한 유출 및 수질모형들 중 도시유역 및 배수체계에 대한 적용 뿐만 아니라 소규모 배수유역으로부터 대규모 배수유역까지 적용이 가능하고, 각 배수유역에 대한 합성 및 분리와 함께 도시유출 및 수질모의가 동시에 가능하다는 점 등을 들어 SWMM(Storm Water Management Model)을 선정하였다.

SWMM은 도시유역의 강우에 의한 홍수량을 산정하기 위하여 1971년 미국 EPA(Environmental Protection Agency) 지원아래 Metcalf & Eddy사가 Florida 대학 및 WRE(Water Resources Engineers)와 공동 연구로 도시유역 하수시스템내 유량과 수질을 모의할 수 있도록 구성하였다.

SWMM 모형의 기본적인 사항은 다음과 같으며 자세한 내용은 SWMM 매뉴얼을 참조 할 수 있다.

적용대상유역은

- 도시유역 및 인위적 배수계통을 갖는 소유역이고.

시간적 특성은

- 단일, 연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우간격을 임의로 설정할 수 있으며.

- 연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의 조절이 가능하다.
- 공간적 특성으로는
- 소 배수유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하며.
 - 배수유역은 최대 200개의 소유역, 수로/관로로 구성할 수 있고.
 - 배수유역은 합성, 분리가 가능하다.
- 물리적 특성은
- 유출은 강우와 융설로 발생하고.
 - 지표면 유출은 비선형 저류방정식을 사용한다.
 - 침투량 산정에는 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용한다.

다른 모형과의 연계

- 유역 수질을 다루는 EPA의 WASP과 DYNHYD 모형
- 독립 또는 전체 SWMM 블록들과 HEC, STORM, QUAL-II 등의 모형이 있다

1.2. SWMM의 기본구조 및 이론

1.2.1. RUNOFF 블록

SWMM 모형의 초기연산이 수행되는 부분으로 강우사상에 대해 배수유역에서 유출현상과 수질변화를 모의한다.

- . 초기조건 : $t=0$ 에서 지표면 저류량은 0이다.
- . 경계조건 : 유역의 상류 끝 소유역에서는 외부유입이 없으며, 상류 유역에서 강우로 인해 발생하는 지표면유출은 수학적으로 연결된 하류 유역에 유입되며, 다른 유역으로 유출되지 않는다.

- . 지배방정식 : 비선형 저류방정식

지표면 유출에 대한 기본방정식은 마찰경사를 유역경사와 같다고 가정하는 kinematic wave 근사법인 비선형 저류방정식이 사용된다. RUNOFF 블록은 각 소유역에서 수심과 유량을 결정하기 위해 연속방정식과 Manning 식을 사용한다. 소유역에서 연

속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = A_s \frac{dd}{dt} = A_s i - Q \quad \text{<식 3.1>}$$

여기서, V 는 물의 체적 ($A_s \cdot d$), d 는 수심(m), t 는 시간(sec), A_s 는 수표면 면적(m^2), i 는 초과강우량(m/sec), Q 는 유출량(cms)이다. 유역면적을 광폭으로 보아 수리반경이 수심과 같다는 가정아래 Manning 식을 사용하여 계산한다.

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad \text{<식 3.2>}$$

여기서, W 는 유역의 폭(m), n 은 Manning의 조도계수, d_p 는 지류 깊이(m), S 는 소유역 경사(m/m)이다. 미지값 d 를 계산하기 위해 <식 3.2>를 <식 3.1>에 대입하여 정리한 비선형 저류방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dd}{dt} = i - \frac{W}{A_s \cdot n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} = i + R \cdot (d - d_p)^{5/3} \quad \text{<식 3.3>}$$

여기서, R 은 수리반경 $\left(-\frac{W \cdot S^{1/2}}{A_s \cdot n} \right)$ 이다.

1.2.2. TRANSPORT 블록

RUNOFF 블록에서 연산된 결과를 기본자료로 사용하여 강우 및 건기시 하수시스템내에서 유량과 오염물질을 추적하고, 하수시스템으로 침투를 계산한다.

TRANSPORT 블록은 다음의 Manning 식과 연속방정식으로 구

성된다.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad \text{<식 3.4>}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{<식 3.5>}$$

여기서, S_0 는 관로경사이다. 이때, 연속방정식을 $x-t$ 평면의 Generalized Box-scheme으로 표시하면, 시간단계 $n, n+1$ 과 공간단계 $j, j+1$ 에 대하여 각 시간 끝에서의 공간가중인자(space weighting)를 W_x , 각 공간구간에서의 시간가중인자(time weighting)를 W_t 라 할 때, 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{(1 - W_x)(A_j^{n+1} - A_j^n) + W_x(A_{j+1}^{n+1} - A_{j+1}^n)}{\Delta t} \\ & + \frac{(1 - W_t)(Q_{j+1}^n - Q_j^n) + W_t(Q_{j+1}^{n+1} - Q_j^{n+1})}{\Delta x} = 0 \end{aligned} \quad \text{<식 3.6>}$$

과 같이 나타낼 수 있다. 실제로 <식 3.6>은 관에서 흐름 단면적 A 와 유출량 Q 를 만관(滿管)흐름 단면적 A_f 와 유출량 Q_f 에 의하여 일반화되고 흐름은 정상등류로 가정하여 Manning 식을 사용하면, 관에서의 Q/Q_f 와 A/A_f 간의 상관관계를 맺을 수 있다. 이에 따라 Manning 식을 대체한 이 무차원 유출량-단면적 곡선 ($Q/Q_f - A/A_f$ curve)과 <식 3.6>을 사용하면, 초기 및 상류경계 조건만으로 4점 음해 차분형태를 이용하여 해를 구할 수 있다. 이때, 해를 위하여 하류경계조건이 사용되지 않으므로 하류에서의 배수효과(backwater effect)를 고려하지 못한다.

1.2.3. EXTRAN 블록

EXTRAN 블록은 배수관망 시스템내 유량과 수심을 계산하기 위해 개수로/관수로 등에서 Dynamic 방정식에 의하여 흐름을 추적하는 모형이다.

- 초기조건 : 건기시 배수량(하수량)과 이때의 수위이다.
- 경계조건 : 대부분의 경우 상류(上流)부 경계조건은 소유역으로부터 지표면 유출량이 되며, 하류부 경계조건은 유량 또는 수심이 된다.

- 흐름조건에 따른 초기, 경계조건의 변화

상류(常流)인 경우

하류부에서 흐름의 영향이 상류(上流)로 전달되기 때문에 상·하류 초기조건과 경계조건이 주어진다. 하류부 경계조건은 관거내 물리적인 조건을 고려하여 결정한다.

사류(射流)인 경우

초기조건과 더불어 상류(上流) 관거에서 2개의 경계조건이 주어지며 하류방향으로 계산이 수행된다. 흐름이 사류인 경우에는 하류부에서 영향이 상류(上流)로 전달되지 않기 때문이다. 이때 상류(上流)에서 경계조건은 유량과 수심, 수심과 유속 등이다. 사류일 경우의 경계조건은 연속방정식 <식 3.5>와 일차원 점변 부정류 방정식으로 St. Venant 식을 사용한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA S_f = 0 \quad < \text{식 3.7}>$$

여기서, h 는 수심, S_f 는 마찰경사이다.

- 저류추적방법은 수표면이 평행하다고 가정한 수정 Pulse방법을 사용한다.

1.3. SWMM 모형 적용에 필요한 매개변수

SWMM 모형을 이용하여 강우에 의한 유출수문곡선 모의와 관련된 매개변수들은 <표 3.1>와 같이 정리할 수 있다. 유역지표면 흐름 및 하도흐름에서의 Manning계수는 <표 3.2>과 <표 3.3>에 제시된 값들을 고려하고 표면굴곡으로 인한 지표저류는 <표 3.4>, Horton 침투량공식에 따른 침투계수의 산정은 <표 3.5>, SCS의 흙의 분류는 <표 3.6> 등을 참조하여 강우에 의한 유출수문곡선을 모의하였다. 모의 항목으로 유출수문곡선의 경우 침투유량과 총 유출량을 중심으로 모의하였다.

표 3.1 SWMM 매개변수 분류

모 내	의 용	매개변수의 구분		프로그램 변 수	변수의 의미
유출 수문 곡선의 모의	물리학적 매개변수 (Physical parameters)	소유역 관련 매개변수	WAREA	소유역의 면적	유역의 평균경사
		배수체계 관련 매개변수	DFULL	하도 및 관망의 깊이	관경 또는 하도의 폭
	수문학적 매개변수 (Hydrological parameters)	Manning 계수	WW(5)	불투수유역의 Manning 계수	투수유역의 Manning 계수
		요지저류량 (depression storage)	WSTORE1	불투수 유역의 표면저류	투수 유역의 표면저류
		침투관련 매개변수	WLMAX	최대 초기 침투율(Halton식)	중기 침투율(Halton식)
			SUCT	평균 모관흡입(Green-Ampt)	토양의 포화 수리학적 전도도 (Green-Ampt)
			HYDCON	토양의 초기 수분 부족량, 공극체적(Green-Ampt)	
		유역폭	WW(1)	유역폭	

표 3.2 유역지표면 흐름에서 Manning 계수(Huber and Dickinson, 1988)

Source	Ground Cover	n	Range
Crawford and Linsley (1966)*	Smooth Asphalt	0.012	
	Asphalt of concrete paving	0.014	
	Packed clay	0.03	
	Light turf	0.20	
	Dense turf	0.35	
	Dense shrubbery and forest litter	0.4	
Engman (1986)†	Concrete or asphalt	0.011	0.01 – 0.013
	Bare sand	0.01	0.01 – 0.016
	Graveled surface	0.02	0.012 – 0.03
	Bare clay-loam (eroded)	0.02	0.012 – 0.033
	Range(natural)	0.13	0.01 – 0.32
	Bluegrass sod	0.45	0.39 – 0.63
	Short grass prairie	0.15	0.10 – 0.20
	Bermuda grass	0.41	0.30 – 0.48

* Obtained by calibration of Stanford Watershed Model.

† Computed by Engman (1986) by kinematic wave and storage analysis of measured rainfall-runoff data.

표 3.3 하도흐름에서의 Manning 계수

Material	typical Manning roughness coefficient
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides	
– concrete	0.020
– mortared stone	0.023
– riprap	0.033
Natural stream channels	
Clean, straight stream	0.030
Clean, winding stream	0.040
Winding with weeds and pools	0.050
With heavy brush and timber	0.100
Flood Plains	
Pasture	0.035
Field crops	0.040
Light brush and weeds	0.050
Dense brush	0.070
Dense trees	0.100

표 3.4 표면 굴곡으로 인한 지표저류(서규우,1999)

토양의 표면상태			저류깊이 (mm)
불투수유역	포장된 유역		0.13 - 0.40
	지붕	수평	0.25 - 0.80
		경사	0.13 - 0.25
투수 유역	잔디		0.50 - 1.25
	수림		0.50 - 1.50

표 3.5 Horton 침투량공식에 따른 침투계수(서규우, 1999)

구분	SCS 토양형			
	A	B	C	D
종기침투능 f_c (mm/hr)*	25.4	12.7	6.4	2.5
초기침투능 f_0 (mm/hr)†	254	203	127	76
감쇠계수	$0.00056(1/\text{sec}) = 2.016 (1/\text{hr})$			

* By Musgrave(1955)

† By Jens and Mcpherson(1964)

표 3.6 SCS 토양군별 최소침투율

토양군	특 성(교란되지 않은 상태의 토양인 경우)	최소침투율 (cm/hr)
A	배수가 잘되는 거친 토양이 두껍게 깔려 있을 때 (사갈, 모래, 사질성 loam, loam)	> 0.76
B	중간정도의 거칠기를 가진 배수가 잘되는 토양이 중간정도의 두께로 깔려있을 때 (silty loam, 사질성 clay loam)	0.38~0.76
C	중간크기 미세입자의 토양에서 미세입자의 토양까지의 범위 (점토질 loam, silty 점토질 loam)	0.13~0.38
D	주로 점토질 토양으로 구성되어 있거나 얇은 점토층이 덮여있어 침투를 방해하고 있는 상태 (사질성 점토, silty 점토, 점토)	< 0.13

2. SWMM의 현장적용사례

SWMM을 통한 유출량 산정을 위해서는 크게 2개의 자료군이 필요하다. 첫째, 인위적인 배수계통을 갖는 배수구역의 구역자료와 둘째로 배수계통 하수관거 자료가 필요하다. 이문배수분구 구역자료 및 관거 자료는 서울시 배수계통도 및 기존보고서의 자료를 바탕으로 산정하였다.

분할된 소유역에서 불투수율은 항공사진과 토지이용도를 이용하여 정확하게 측정될 수 있는 요소이다. 실제로, 이러한 작업은 지루하며, 시간의 소모가 많으므로 구역에서 몇 개의 대표 구역을 선정하여 세밀하게 측정한 후 나머지 구역을 외삽법으로 보간하는 방법이 일반적으로 사용된다. SWMM에서 주의해야 할 점은 불투수구역은 수리학적으로 배수시스템에 직접 연결된 구역만을 고려해야 한다는 것이다.

2.1. 토지이용현황 및 불투수 포장비율

토지이용현황 및 불투수 포장비율은 유출량 산정시에 도시화에 영향을 중점적으로 고려할 수 있는 매개변수로서 서울시 도시계획과(2000)에서 작성된 1/1000 토지이용현황도 및 불투수 포장비율을 이용하여 산정되었다.

표 3.7 토지이용현황 및 불투수 포장비율

토지이용현황		면적(ha)	비율(%)
주택지역(A)	주택지역	175.2	35.2
혼합지역(AB)		42.5	8.5
상업 및 업무시설지역(B)	공업 및 상업지역 교통시설	29.1	5.9
공업지역(C)		4.4	0.9
공공용도지역(D)		80.1	16.1
교통시설지역(F)		47.4	9.5
도시부양시설지역(F)		2.5	0.5
나지(G)	녹지 및 오픈 스페이스	31.2	6.3
특수지역(H1)		2.7	0.5
조성된 도시공원(I8)		6.6	1.3
하천 및 호소(I)		13.1	2.6
경작지, 하천주변지, 호안블럭 초지등(I3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14)		17.6	3.5
산지(I1)		44.9	9.0
총계		497.3	100

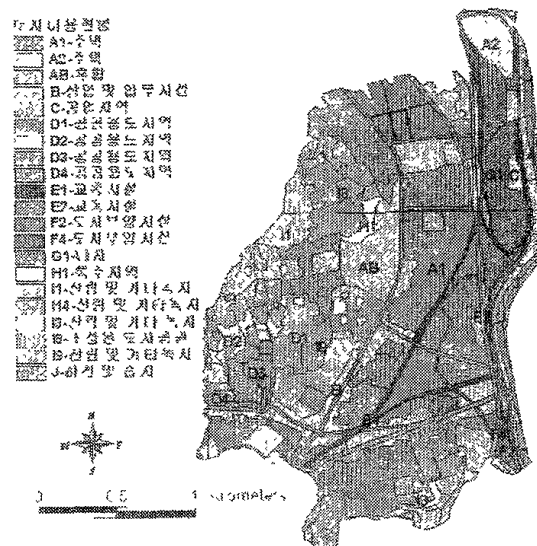


그림 3.1 토지이용현황

표 3.8 불투수 포장비율

불투수 포장비율(%)	면적(ha)	불투수 포장비율(%)	면적(ha)
0	122.2	60	2.7
10	1.2	70	1.6
20	5.1	80	7.6
25	3.2	85	10.0
30	42.0	90	37.1
40	22.3	95	117.1
50	1.9	100	123.3
52	0.0	총계	497.3

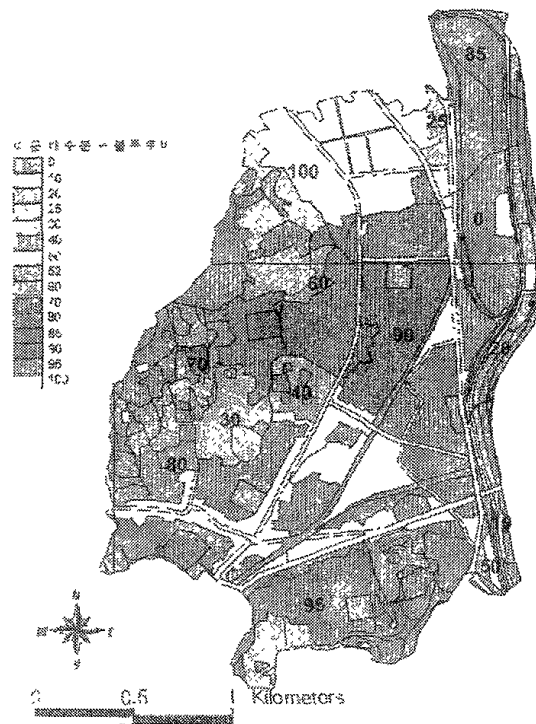


그림 3.2 불투수 포장비율

표 3.7과 그림 3.1은 토지이용현황을 나타내며 표 3.8과 그림 3.2는 불투수 포장비율을 나타낸다.

2.2. 소배수구역 구분

서울시 하수관 GIS 데이터베이스의 하수관망도에서 유수방향을 참조하여 이문배수분구를 16개의 소배수구역으로 구분하였다. 하수관 현황은 1m 이상 박스관로를 대상으로 총 4,640개의 관로가 매설되어 있으며, 관종별로는 흙관(4,191개, 약 90%)과 박스관로가 대부분이다. 흙관의 관경은 200mm(최소)부터 1,400mm(최대)까지 존재하며, 450mm의 관로가 약 40%, 600mm가 약 22%, 300mm가 약 16%로 가장 많이 매설되어 있다.

간선과 지선의 기준이 되는 관경 800mm를 기준으로 보면, 관경 800mm 이상이 232개로 전체관로의 5%에 해당하며, 관경 800mm 미만은 3,959개로 전체관로의 85%에 해당한다. 최종분석을 위해 SWMM 모형의 입력된 관로는 1.0m×1.0m 이상인 박스관로이다.

지표면 유출은 개념화된 직사각형 집수유역 수로에 대해 수직하게 흐르는 것으로 가정한다. 여기서, 유역의 폭이란 지표면의 물리적인 폭을 나타낸다. 그러나, 실제의 유역은 대칭적이며 균등한 특성을 지닌 직사각형의 형태로 나타낼 수 없으므로 자연상태에 있는 유역의 폭을 결정하는 일반적인 방법이 필요하다. 본 논문에서는 평균 유역폭의 개념으로 유역폭을 산정 하였다.

표 3.9 이문배수분구 관로 현황

관로종류	box관			원형관	
	합류관로 (암거)	개거관로	차집관로	관경 (≥800mm)	관경 (<800mm)
(단위 : 갯수)	439	4	6	232	3,959
총계(4,640)	449			4,191	

표 3.10 이문배수분구 관거현황

관종	관경(mm)	갯수	비율(%)
박스관로		449	9.7
흙관	200	6	0.1
	250	3	0.1
	300	755	16.3
	350	20	0.4
	400	34	0.7
	450	1,846	39.8
	500	69	1.5
	600	1,050	22.6
	700	160	3.4
	750	16	0.3
	800	61	1.3
	900	95	2.0
	1000	43	0.9
	1100	2	0.0
	1200	22	0.5
	1400	9	0.2

소유역에서의 경사는 표면유출 유로를 따라 상류유역 끝에서 하류 유출부 까지의 평균길이를 사용한다. 유역의 형태가 단순한 경우의 경사는 표고차를 유로 길이로 나눈 값이 된다. 그러나, 유역의 형태가 복잡한 경우에는 계산을 단순하게 하기 위해 여러 표면유출 유로를 생략하고 생략된 이유로 길이를 가중값으로 사용하여 전체유역의 경사값을 결정한다.

지표면의 상태는 변화가 다양함으로 수로에서와 같이 일반적인 Manning 조도계수 값이 설정되어 있지 않다. 따라서 이번 논문에서는 도시하천의 일반적인 값을 이용하였다.

이번 논문에서는 불투수층의 조도계수는 0.014, 투수층의 조도계수로 0.06을 사용하였다.

일반적으로 유역지표면 흐름에서 Manning 계수는 2장에 <표 3.2~3.3> 과 같다.

투수유역과 불투수유역의 지면에 충분하게 지면저류가 되기 이전에는 지표면 유출이 발생하지 않는다고 가정한다. RUNOFF 블록에서는 투수유역에 지면 저류된 물은 침투와 증발로 인해 손실되고, 불투수유역에서는 오로지 증발에 의해서만 손실이 발생한다고 본다. 우리나라에서 표면 굴곡으로 인한 지표저류의 산정치는 아래의 <표 3.4> 과 같다.

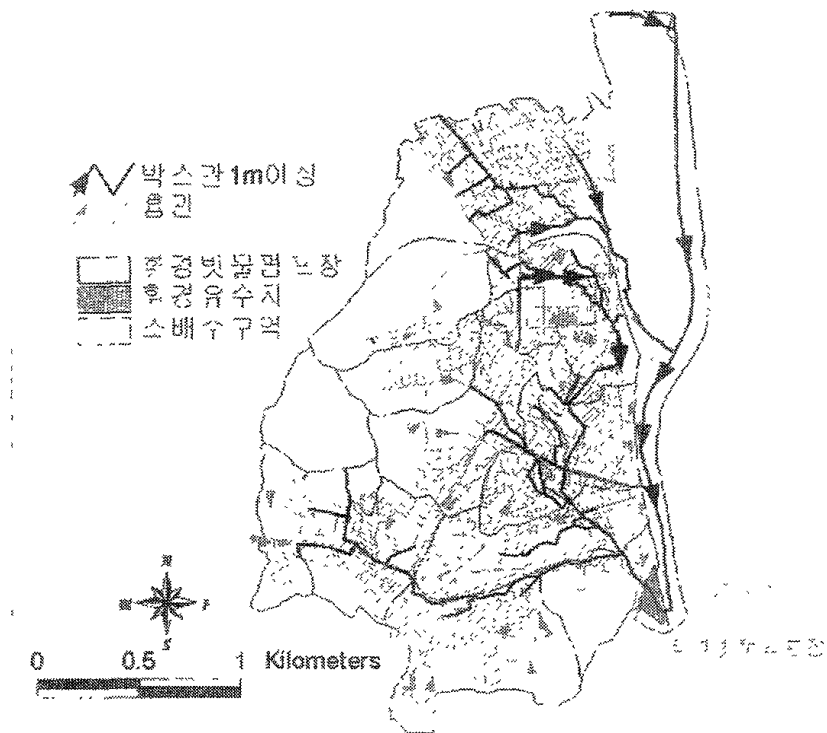


그림 3.3 이문배수분구 관거 현황

SWMM 모형에서 투수유역으로부터의 침투는 Horton 또는 Green-Ampt 방정식을 선택하여 사용할 수 있으나, 국내에서는 Green-Ampt 방정식에 대한 전반적인 적용성의 검토가 아직 이루어지지 않았으며, 자료 또한 미비하므로 본 연구에서는 Horton 방정식을 사용하였다. Horton 침투량공식에 따른 침투계수는 <표 3.5> 과 같다.

SWMM(Storm Water Management Model)의 입력 매개변수는 기존 유역자료와 관거 및 맨홀자료를 바탕으로 다음 표와 같이 산정하였다.

표 3.11 배수구역 관거자료

관번호	배수로/유입구	관형태	수로의 바닥폭 (m)	관 길이 (m)	인버트 경사	좌측 경사 (%)	우측 경사 (%)	Manning 조도계수	만수시 수로깊이 (m)	관초기 수심 (m)
1000	1100	1	2.1	780	0.0115	0	0	0.013	1.6	0
2000	2100	1	1.8	522	0.0087	0	0	0.013	1.6	0
2100	1100	1	2	22	0.0098	0	0	0.013	2	0
1100	1200	1	3.3	607	0.0039	0	0	0.013	3	0
1200	1300	1	6.8	393	0.0048	0	0	0.013	4.6	0
1300	1400	1	7.3	167	0.0026	0	0	0.013	4.7	0
3000	3100	1	1.8	431	0.0126	0	0	0.013	1.7	0
3100	3200	1	2.9	363	0.0031	0	0	0.013	1.7	0
3200	1400	1	3	54	0.004	0	0	0.013	1.6	0
1400	1500	1	8	374	0.0014	0	0	0.013	2.8	0
4000	4100	1	2.8	411	0.0386	0	0	0.013	1.7	0
4100	4200	1	3.7	340	0.0113	0	0	0.013	2.3	0
4200	4300	1	3.3	734	0.0055	0	0	0.013	2.2	0
4300	1500	1	3.6	438	0.0061	0	0	0.013	2	0
1500	1600	1	11	190	0.0096	0	0	0.013	3	0
1600	170	1	11	167	0.0097	0	0	0.013	3	0

표 3.12 배수구역 입력자료

배수 구역	배수로/ 유입구	소유 역폭 (m)	소유역 면적 (ha)	불투 수율 (%)	지면 경사	Manning 조도계수		불투수 지역표 면저류 (mm)	투수지 역표면 저류 (mm)	초기 침투율 (mm/hr)	종기 침투율 (mm/hr)	침투감 소계수
						불투수	투수					
1	100	1503.5	37.9	30.6	0.0166	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
2	200	384.3	3.1	93.5	0.031	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
3	210	600.1	10.7	83.2	0.0094	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
4	110	1084.6	16.9	81.1	0.0101	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
5	120	1057.1	17.8	70.0	0.0022	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
6	130	619.8	25.3	81.0	0.0012	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
7	300	1150.4	19.2	68.2	0.0389	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
8	310	651.1	37.6	71.3	0.0118	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
9	320	417.9	11.9	91.6	0.0032	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
10	140	241.2	9	87.8	0.0029	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
11	400	624.2	21.8	11.0	0.0151	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
12	410	516.8	27.2	75.4	0.0411	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
13	420	662.8	25.7	89.5	0.0119	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
14	430	775.9	45.5	62.4	0.0059	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
15	150	601.7	36.8	77.7	0.0007	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115
16	160	299.2	24.7	43.7	0.005	0.011	0.3	4	12.5	15	3.81	0.00115

표 3.13 EXTRAN 입력자료

관번호	연결맨홀번호		초기유량 (m ³ /s)	관 형태	관 높이 (m)	관 폭 (m)	관 길이 (m)	관의 조도계수	맨홀 번호	지 표면 표고 (El.m)	관로 표고 (El.m)
	상류	하류									
1000	100	110	0	2	1.6	2.1	780	0.013			
2000	200	210	0	2	1.6	1.8	522	0.013			
2100	210	110	0	2	2	2	22	0.013			
1100	110	120	0	2	3	3.3	607	0.013			
1200	120	130	0	2	4.6	6.8	393	0.013			
1300	130	140	0	2	4.7	7.3	167	0.013			
3000	300	310	0	2	1.7	1.8	431	0.013			
3100	310	320	0	2	1.7	2.9	363	0.013			
3200	320	140	0	2	1.6	3	54	0.013			
1400	140	150	0	2	2.8	8	374	0.013			
4000	400	410	0	2	1.7	2.8	411	0.013			
4100	410	420	0	2	2.3	3.7	340	0.013			
4200	420	430	0	2	2.2	3.3	734	0.013			
4300	430	150	0	2	2	3.6	438	0.013			
1500	150	160	0	2	3	11	190	0.013			
1600	160	170	0	2	3	11	167	0.013			
									170	17.5	7.38
									160	15.07	9
									150	14.84	10.85
									430	16.78	14.34
									420	21.11	18.63
									410	25.17	22.47
									400	41.92	38.92
									140	15.71	10.35
									320	14.29	12.26
									310	16.41	13.81
									300	21.75	19.75
									130	16.31	10.7
									120	15.8	10.98
									110	15.41	11.61
									210	15.51	12.82
									200	18.05	15.55
									100	23.3	21.3

3. SWMM을 이용한 상습침수 지역 모의

모의를 위한 확률강우량은 강우강도식을 이용하여 산정하였다. 강우강도는 지속기간별 강우자료에서 작성된 년 최대치 또는 년 초과시 계열을 빈도해석하여 강우강도, 지속시간, 빈도(IDF)곡선을 이용하는데, 통상적으로 재현기간, 지속시간별 강우강도식에서 구하게 된다. 강우강도식의 매개변수는 회귀분석을 통하여 가장 적절한 값을 유도하게 된다.

본 연구에서 사용된 강우강도식은 다음 표와 같다.

표 3.14 서울지점의 강우강도식 (단기간 : 3시간 이하)

재현 기간	강우강도식	상관 계수	재현 기간	강우강도식	상관 계수
2	$I = \frac{400.1611}{\sqrt{t+0.7557}}$	0.99	50	$I = \frac{915.5041}{\sqrt{t+1.5611}}$	0.99
5	$I = \frac{563.4463}{\sqrt{t+1.1119}}$	0.99	80	$I = \frac{985.8121}{\sqrt{t+1.6242}}$	0.99
10	$I = \frac{672.5911}{\sqrt{t+1.2848}}$	0.99	100	$I = \frac{1018.3910}{\sqrt{t+1.6412}}$	0.99
20	$I = \frac{779.0955}{\sqrt{t+1.4337}}$	0.99	200	$I = \frac{1120.3440}{\sqrt{t+1.7037}}$	0.99
30	$I = \frac{839.6210}{\sqrt{t+1.4923}}$	0.99	500	$I = \frac{1255.7470}{\sqrt{t+1.7814}}$	0.99

표 3.15 서울지점의 강우강도식 (장기간 : 3시간 이상)

재현 기간	강우강도식	상관 계수	재현 기간	강우강도식	상관 계수
2	$I = \frac{10633.7100}{t + 214.8669}$	0.99	50	$I = \frac{1812.9510}{t^{0.6538}}$	0.99
5	$I = \frac{1254.6620}{t^{0.6685}}$	0.99	80	$I = \frac{1920.5460}{t^{0.6517}}$	0.99
10	$I = \frac{1441.2220}{t^{0.6639}}$	0.99	100	$I = \frac{1968.7040}{t^{0.6506}}$	0.99
20	$I = \frac{1581.8030}{t^{0.6565}}$	0.99	200	$I = \frac{2134.8750}{t^{0.6488}}$	0.99
30	$I = \frac{1692.4520}{t^{0.6560}}$	0.99	500	$I = \frac{2341.0480}{t^{0.6461}}$	0.99

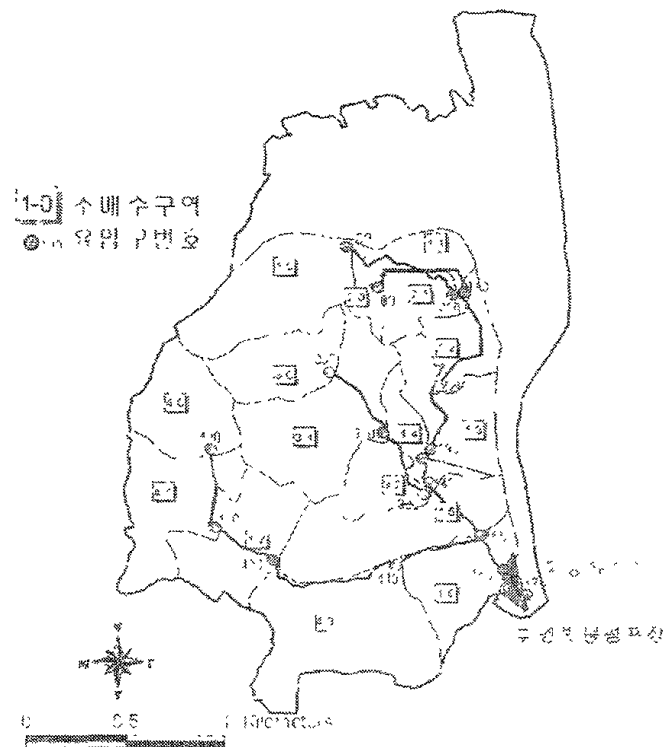


그림 3.4 SWMM 모델링 모식도

3.1 불투수율 증가에 따른 유출변화 모의

토지개발은 특히 도시지역에서 유출특성에 현저한 변화를 유발한다. 토지개발은 유역의 자연적인 저류용량을 감소시키고 초목의 제거는 차단용량의 체적을 감소시킨다.

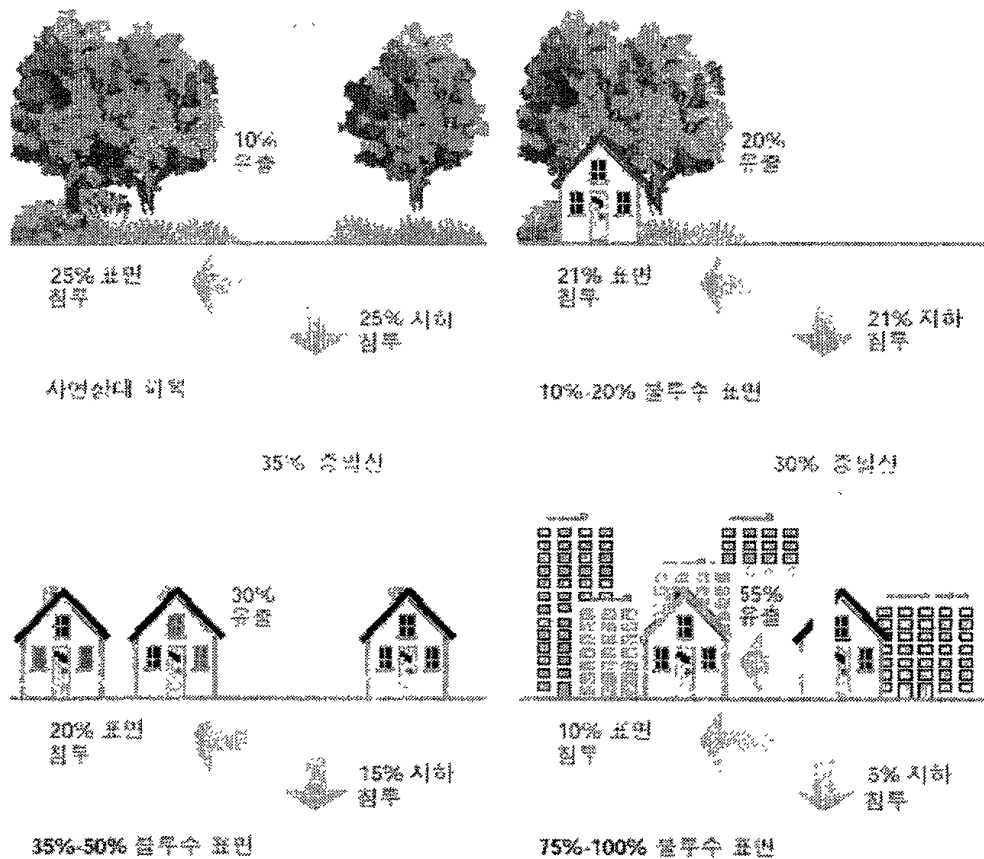


그림 3.4 불투수율에 따른 유출변화

정지작업은 요부저류의 체적을 줄이고 표토층의 투수계수를 감소시킨다. 도시지역에서는 불투수지면의 증가가 우수의 침투와 토양저류를 감소시킨다. 이와 같은 자연저류감소(차단, 요부, 토양저류)는 유출특성을 변화시킨다. 이로 인하여 지표 유출의 총 체적과 침투는 증가한다. 유출속도가 증가되어 실개천의 침식률을 증가시키고, 보다 큰 수로의 유속은 소류사 이송률을 증대시

킨다. 토지개발은 배수형태와 수로특성의 변화를 수반하기도 한다. 예를 들면 수로가 정리되거나 직강되고 콘크리트나 사석으로 피복되기도 한다. 수로의 개수는 수로의 저류와 조도의 감소로 나타나 유속을 증가시키고 개발지역 하류에 위치한 지역에 범람 가능성을 크게 한다.

이러한 유출특성의 변화가 지역사회의 주민에 주는 영향이 대두됨에 따라 자연저류의 감소를 상쇄할 여러 가지 방안이 제안되어 왔다. 우수관리(雨水管理 : stormwater management, SWM)의 목적은 인공적인 저류를 이용하여 손실된 자연 저류의 수문학적 영향을 완화시키는 것이다.

도시화로 인한 유출특성 변화를 모의하기 위해서 불투수율을 기존 조건으로부터 현재 상태의 30%까지 10%간격으로 바꿔 가면서 모의하였다.

위에서 언급한 대로 불투수율에 증가에 따른 영향을 이문 배수분구를 대상으로 모의한 결과 침투유량은 불투수율 30%에서 29cms를 현재의 불투수율에서는 84cms 까지 불투수율에 따라 3배까지 침투 유출량이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 사실로 보아 도시화에 대한 영향으로 불투수율이 증가하게 되면 유역의 침투유량은 크게 증가하게 되며 침투시간도 단축되어 도시하천의 많은 문제점을 야기시킬 것으로 사료된다.

표 3.16 불투수율별 침투유량

불 투 수 율	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Present Conditon
침 투 유 량	29.0253	37.9202	46.2092	54.2462	61.6018	69.6974	75.7744	83.8438

표 3.17 유역별 불투수면적

유역명 \ 불투수율	Present Condition	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	불투수 면적(ha)							
100	37.9	11.37	15.16	18.95	22.74	26.53	30.32	34.11
200	3.1	0.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.48	2.79
210	10.7	3.21	4.28	5.35	6.42	7.49	8.56	9.63
110	16.9	5.07	6.76	8.45	10.14	11.83	13.52	15.21
120	17.8	5.34	7.12	8.9	10.68	12.46	14.24	16.02
130	25.3	7.59	10.12	12.65	15.18	17.71	20.24	22.77
300	19.2	5.76	7.68	9.6	11.52	13.44	15.36	17.28
310	37.6	11.28	15.04	18.8	22.56	26.32	30.08	33.84
320	11.9	3.57	4.76	5.95	7.14	8.33	9.52	10.71
140	9	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1
400	21.8	6.54	8.72	10.9	13.08	15.26	17.44	19.62
410	27.2	8.16	10.88	13.6	16.32	19.04	21.76	24.48
420	25.7	7.71	10.28	12.85	15.42	17.99	20.56	23.13
430	45.5	13.65	18.2	22.75	27.3	31.85	36.4	40.95
150	36.8	11.04	14.72	18.4	22.08	25.76	29.44	33.12
160	24.7	7.41	9.88	12.35	14.82	17.29	19.76	22.23

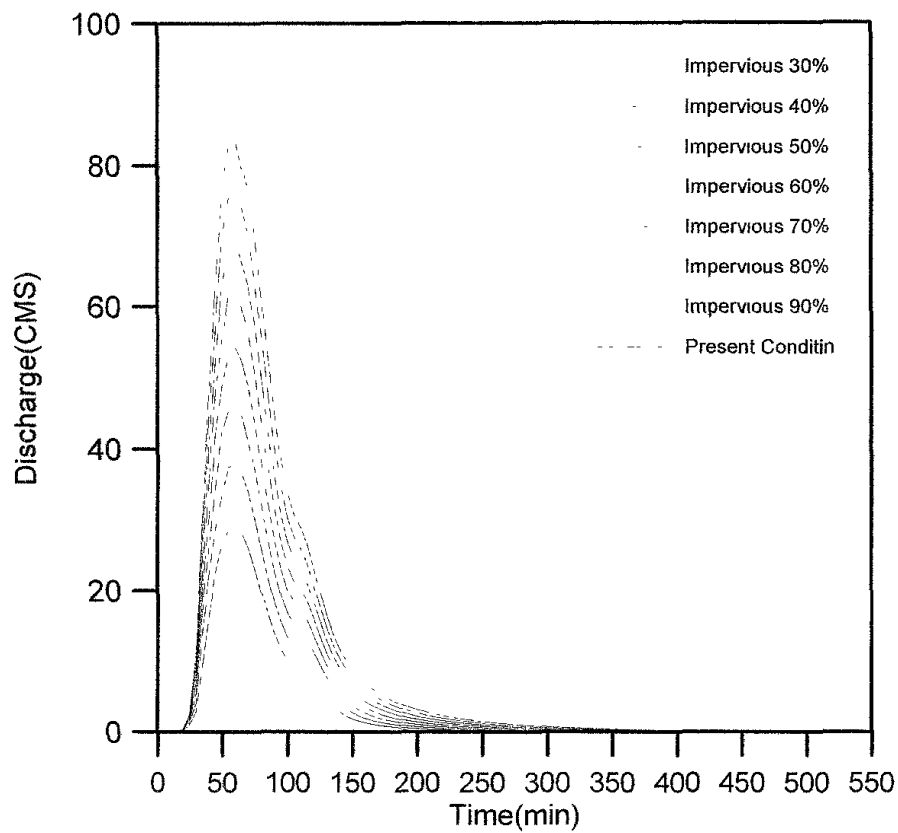


그림 3.5 불투수율 증가에 따른 유출수문곡선

3.2 SWMM 모형에 의한 이문배수분구 하수관 통수능 평가

SWMM 모형은 도시유출과 합류관거계통의 관련된 유출의 양과 수질과정을 모의하여 유량, 수위 및 오염물 농도를 예측하기 위하여 미국환경청(EPA)에 의하여 개발된 단일 및 연속사상모형이며, 이모형은 두단계의 유출과정, 즉 지표유하수과정과 우수거내에서의 유출과정으로 나누어진다.

일반적으로 홍수피해 원인은 외수와 내수로 인한 침수피해로 구분할 수 있으며, 외수 피해는 주로 소하천 및 지천들의 범람, 제방의 붕괴 등으로 발생한 것이고 내수 침수피해는 재수로, 하수도 및 펌프장의 배제능력 부족 등이 주된 원인이다. 현재 서울시 홍수피해의 주요원인은 이러한 내수 침수피해가 대부분이다. 서울시는 꾸준한 치수사업 등을 통하여 내·외수 침수피해 관리에 많은 효과를 가져오고 있다. 그러나 도시화에 따른 불투수 표면적의 증가는 홍수 유출용적을 증대시키고 침투유량 증가 및 도달시간의 단축을 가져오므로 기존의 배수시설로는 빠른 도달시간과 증가된 유출량을 소통시킬 수 없어 해마다 저지대 침수되 일부 지천들의 범람을 유발시켜 인명과 재산피해를 발생시키고 있다.

따라서 본 이문배수구역을 대상으로 하수관거 통수능을 분석하여 기존관거의 통수능력 확대방안, 우수지·저류지의 저류능력 증대 방안, 펌프장 건설·보강 방안등의 대해서 검토하고자 한다. 본 연구에서는 기존 하수관거의 배수능력을 평가하기 위해서 기존의 설계가 이루어져있는 10년 빈도의 하수관거의 대해서 최근 이상기후 및 도시화로 인한 강우량 증가의 영향을 반영하기 위하여 20년, 30년 빈도강우량에 대해서도 모의하였다.

빈도 강우량은 위에서 제시한 강우강도식에 대입하여 산정하였다.

모의 결과 각 빈도 별로 침투시간에는 변화가 나타나지 않았으나 침투 유출량은 108.8cms에서 100.92cms 까지 증가하는 것으로 나타났다. <표 3.16>은 재현기간별 침투강우량 및 홍수량을

나타낸다.

표 3.16 재현기간별 첨두강우량 및 홍수량

재현기간	10 year	20 year	30 year
	huff 2분위	huff 2분위	huff 2분위
빈도강우량(mm)	108.8	125.9	135.6
첨두유량(cms)	83.8438	96.4128	100.9296
첨두시간(min)	60	60	60

빈도별 강우량에 따른 SWMM을 통한 유출수문곡선은 다음 <그림 3.6>과 같은 결과를 나타내었다.

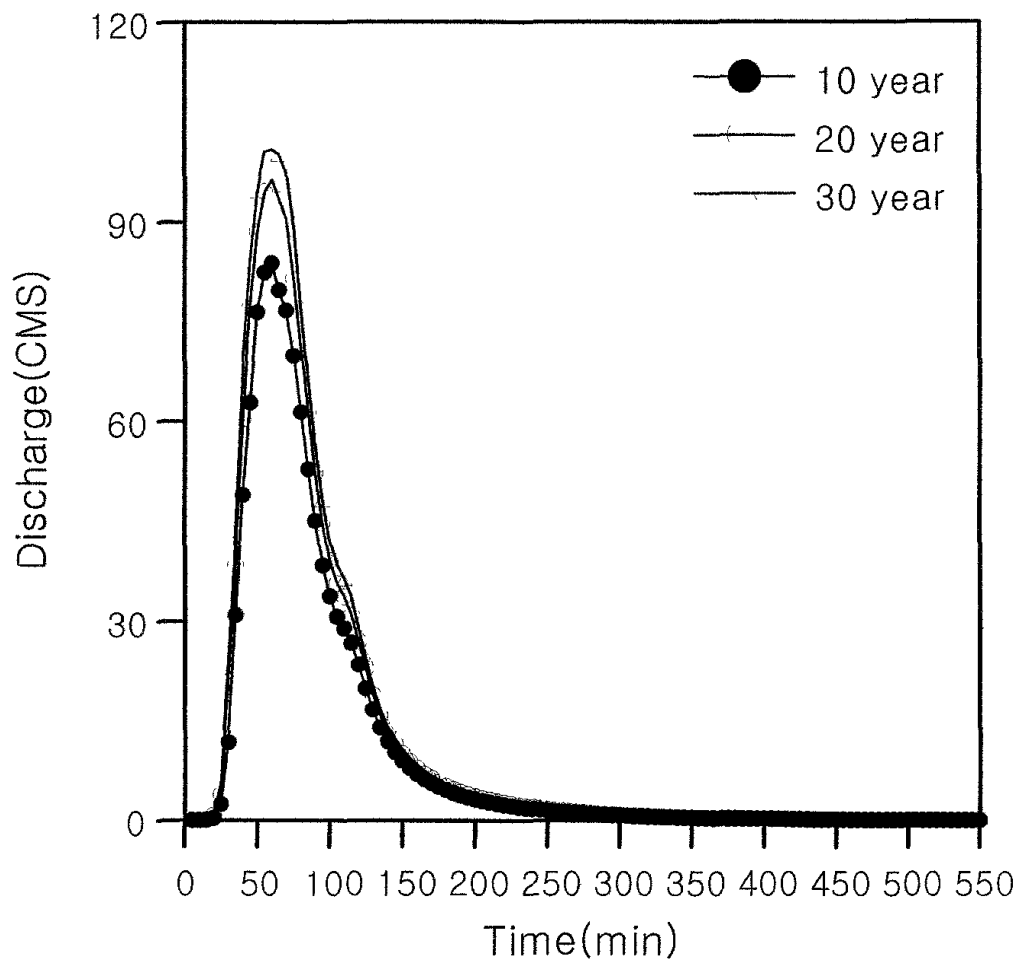


그림 3.6 빈도별 확률홍수량

하수관거의 통수능 평가를 위해 SWMM의 EXTRAN 블록을 통하여 부족관거와 하수관거를 통하여 역류하는 양(surcharge)을 산정하였다.

10년 빈도의 강우량에 대해서도 기존 하수관거의 통수능을 초과하여 역류가 발생하는 것으로 나타났으며, 20년 빈도와 30년 빈도에 해당하는 강우량에 대해서는 일부 하수관거의 통수능이 부족한 것으로 나타났다. 최근에 집중호우 및 강우량 증가를 고려해보면 하수관거의 통수능력부족이 내수 침수 피해를 가중시키는 것으로 사료된다.

<표 3.17>은 빈도별 부족관거 및 하수관거를 통해 우수가 역류되는 양을 나타낸다.

표 3.17 빈도별 부족관거 및 Surcharge 양

재현기간	Surcharge 관거	Surcharge 양 (m ³)	Surcharge 시간 (min)
10 year	310	2.91E+01	29.0
20 year	310	2.66E+03	37.4
30 year	310	5.47E+03	41.2
	430	1.84E+03	20.6

<그림 3.7>에서 <그림 3.10>은 SWMM의 EXTRAN 블록을 이용한 모의를 통해 각 강우빈도별 관거의 용량 부족으로 인한 역류가 발생하는 지점 및 수위를 나타낸다. 그림에서 보면 하류부 배수영향으로 인한 역류라기 보다는 관거의 용량의 부족으로 인해서 맨홀을 통해서 역류가 발생하는 것으로 사료된다.

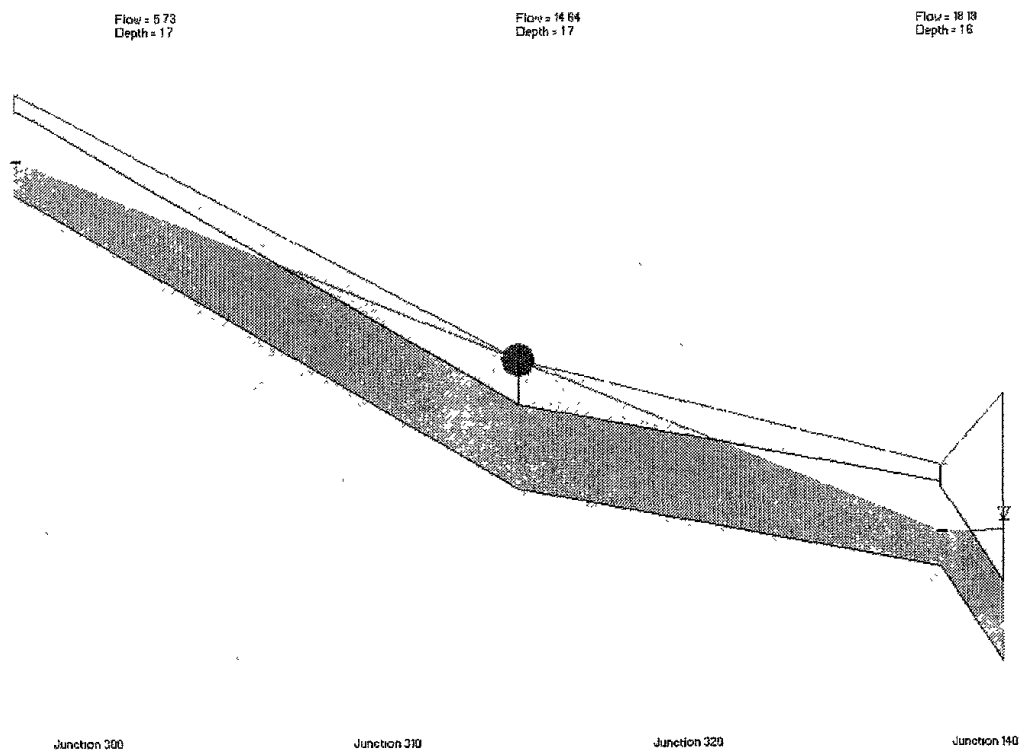


그림 3.7 10년 빈도의 310 관거에서의 용량 부족 모식도

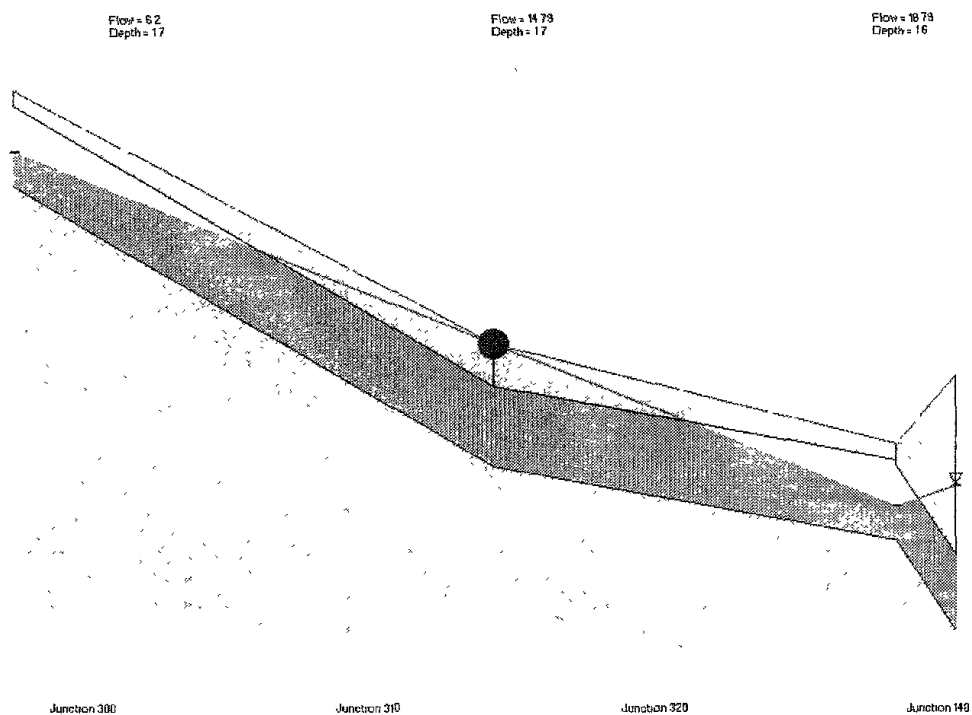


그림 3.8 20년 빈도의 310 관거에서의 용량 부족 모식도

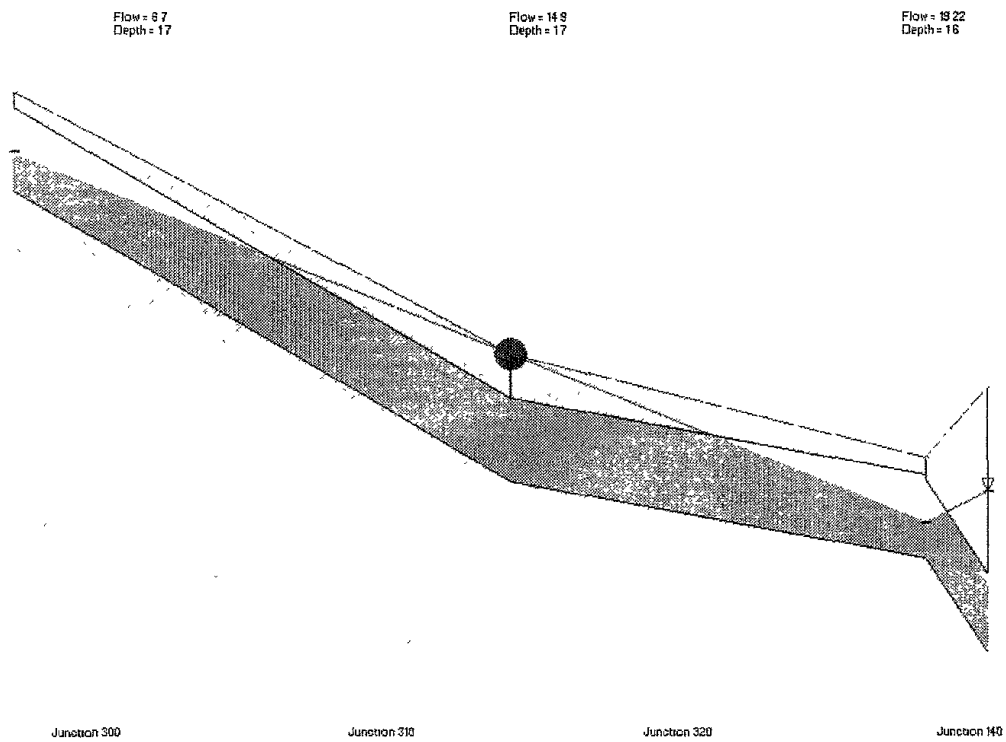


그림 3.9 30년 빈도의 310 관거에서의 용량 부족 모식도

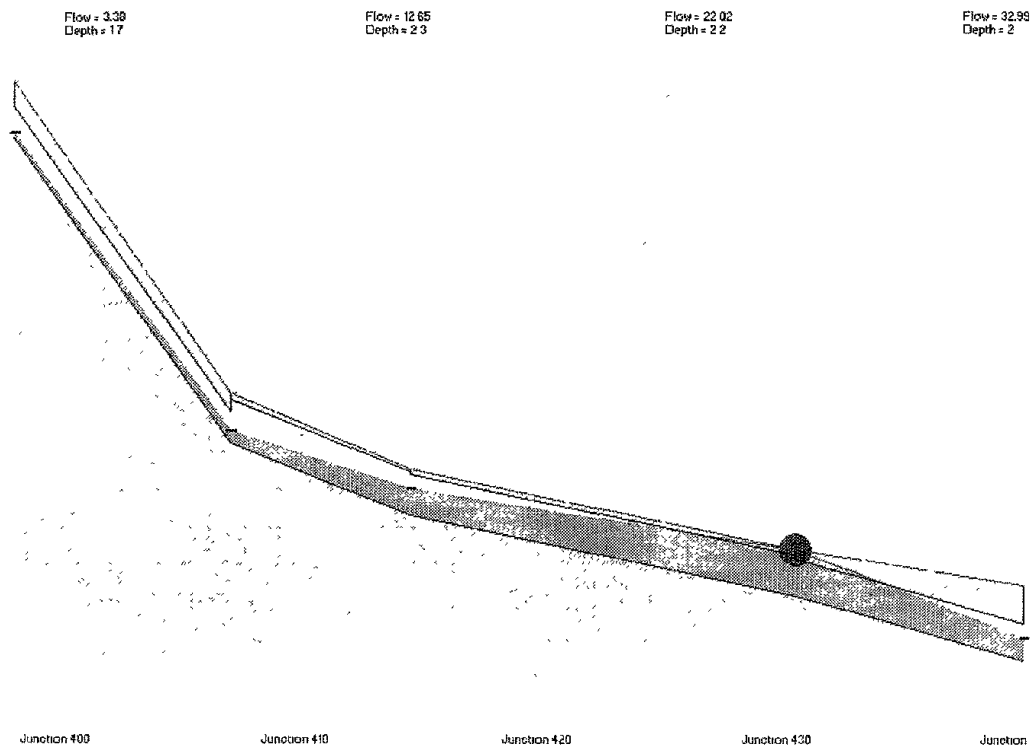


그림 3.10 30년 빈도의 430 관거에서의 용량 부족 모식도

따라서 위의 모의 결과와 같이 역류되는 우수량을 처리하기 위해서는 기존 우수 및 하수관거의 설계빈도를 높게 설정하여 관거를 교체하거나 우수지와 같은 Detention 저류지를 설치해야 할 것으로 사료되며 경제성 분석으로 통해서 저류지의 크기를 결정해야겠지만 30년 빈도의 우수를 처리하기 위해서는 다음 <표 3.18>과 같은 용량의 저류지가 필요하다고 할 수 있다.

표 3.18 빈도별 Detention 저류지 용량

재현기간	Detention Storage (m ³)
10 year	2.91E+01
20 year	2.66E+03
30 year	5.47E+03
	1.84E+03

제 4 장 도시지역 상습침수원인 경향분석 및 상습침수 저감대책

1. 도시지역 상습침수원인 및 경향분석

1.1 서울지역 강수량 경향성분석

'98년도 수해백서에서 강수량에 대하여 변동성 및 경향성 분석을 실시하여 뚜렷한 경향성은 없지만, 변동성은 나타남을 확인하였다. 최근 이상기후와 관련하여 많은 연구활동이 이루어지고 있으며 우리나라의 강수량의 변동성 및 경향성에 대하여 분석결과 평균과 표준편차에 대한 변동성 분석결과 변동성을 확인하였으나, 경향성에 대해서는 증가하는 경향을 보이는 듯하나 통계적인 유의성이 없음을 확인하였다. 우리나라의 강수량이 증가하는 추세라 확언할 수 없지만, 최근 강수량은 증가하였다고 할 수 있다.

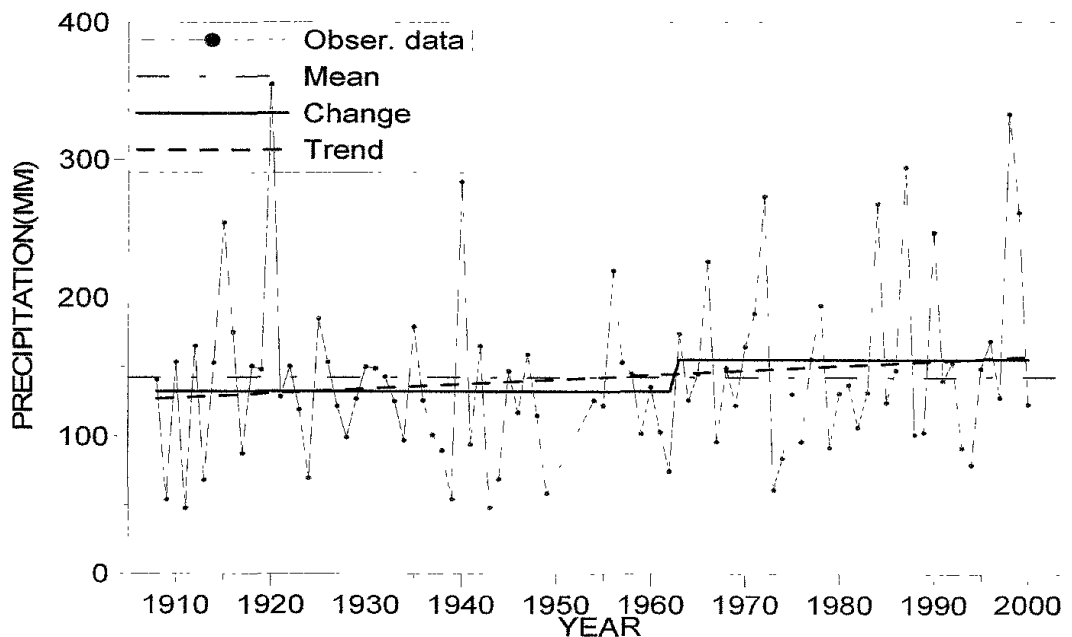


그림 4.1 서울지점의 일 최대강수량에 대한 경향성과 변동성

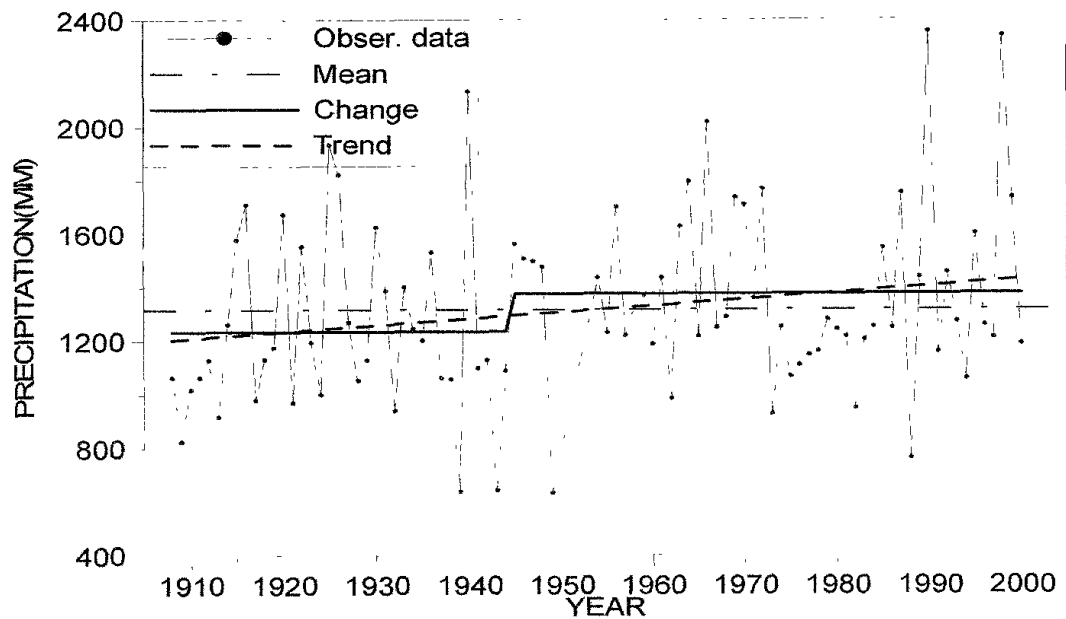


그림 4.2 서울지점의 년 강수량에 대한 경향성과 변동성

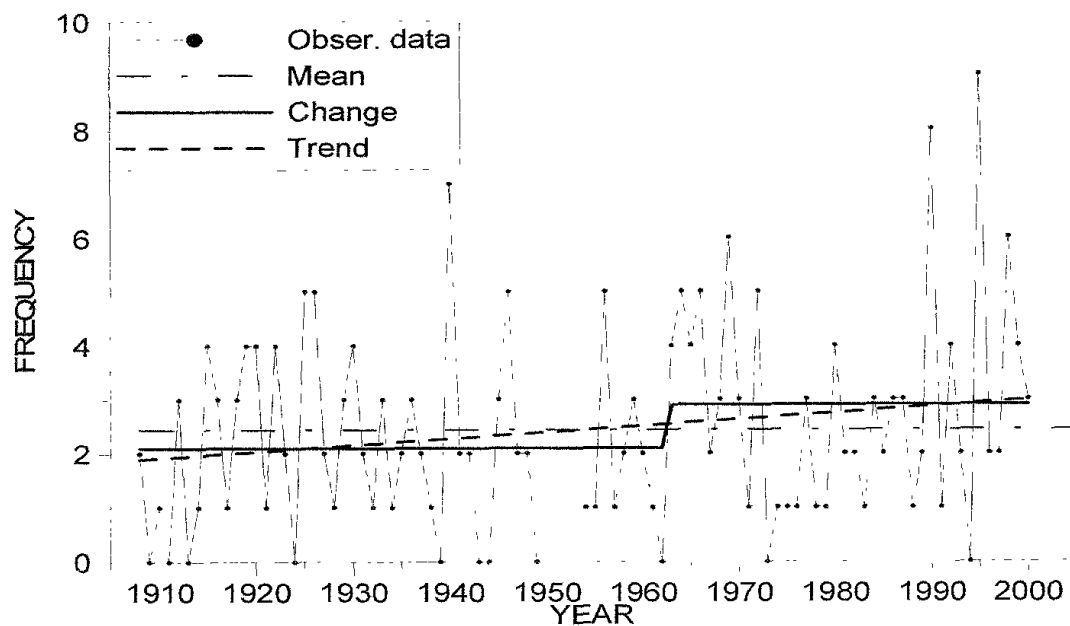


그림 4.3 서울지점의 80mm 초과 강우일수에 대한 경향성과 변동성

1.2. 도시지역 침수원인

도시유출의 특징은 조도계수가 작은 포장과 하수관에 의한 유출로 인하여 지체시간이 짧고, 불투수율의 증가로 유효우량이

증가되어 총유출량이 크다. 도시유출을 한마디로 말하면, 짧은 지체시간과 큰 침투유출량이라 말할 수 있다. 따라서, 도시지역의 침수원인은 이에 따른 시설의 미비에 따라서 발생한다. 다음은 서울특별시의 수해백서를 참조하여 90년, 98년, 2001년의 강우에 대한 홍수피해의 원인을 서울 지역 특히 성동구지역을 중심으로 간략히 분석해 보았다.

1.2.1 '90년 홍수피해원인 분석

구로구, 개봉지구를 보면 집중호우로 인해서 복개천 통수 용량이 일시적으로 부족한 현상을 보였으며 침수지역은 대체로 구릉지에 속하는 지형이었다. 성내, 풍납지구의 경우는 장기간의 집중호우로 인하여 배수펌프장의 침수로 인해 배수기능이 완전히 상실하여 그 피해를 가중시켰다. 성동구 지역을 보면 송정동, 화양동, 행당동, 마장동, 사근동 등 대부분의 지역이 강제 배수시설이 미흡하고 하수관거의 배수 불량으로 인한 침수 피해가 발생하였다.

1.2.2 '98년 홍수피해원인 분석

'98년 8월 4일부터 8일까지 서울지역에 내린 게릴라성 집중호우는 중랑천의 수위를 상승시켰으며 시내곳곳에서 지하철이 침수되고 저지대 주택이 침수되는 등 침수피해가 잇따랐다. 중랑천 위험수위인 E.L 17.7m를 넘어서자 제방붕괴 우려로 시재해대책본부가 노원, 도봉, 중랑, 동대문, 성동, 광진구 등 중랑천변의 주민을 긴급대피토록 하였다. 구로구, 개봉지구는 기 개발된 주변지역 및 간선 하수관로의 지반고보다 낮아 고지대 노면수가 집중 유입되었고 내수배제 불량으로 주변보다 상대적인 저지대가옥의 침수가 발생하였다. 성동구 용답동의 경우 인근지역보다

저지대이며 집중호우로 인한 노면수가 침수지역으로 유입되고 용담 배수펌프장의 배수용량이 부족하여 침수가 발생한 것으로 나타났다. 성수동의 경우는 대부분의 주거지가 반지하 구조형태를 띄고 있고 우수관거 용량의 부족 때문이었다.

1.2.3 '2001년 홍수피해원인 분석

구로구, 개봉지구는 국지성 집중호우로 외수위 상승시 주변지역보다 지반고가 낮은 저지대지역은 내수배제 불량으로 침수피해를 입었고 성동구 성수동의 경우 뚝섬펌프장으로 들어오는 관거의 유로연장이 너무 길어(3.6km) 상류부에서 동수위선이 하수도 위로 올라오는 등 하수 관거의 경사가 불량하여 하수의 역류와 우수관거로의 유입이 곤란하고 또한 일부관거의 용량부족으로 하수유입이 불량하고 강우시 지선관거로 역류되는 피해를 입었다. 용담동의 경우는 기존하수관거 능력을 초과하였을 뿐만 아니라 천호대로 건너편 경사지인 답십리동(전농천배수구)의 우수가 천호대로를 월류하여 주택가로 유입되었다.

이상에서 보는 바와 같이 주로 저지대에서 침수가 발생하였고 이들 대부분의 지역은 과거에도 비슷한 침수 경험을 겪었던 상습침수지역으로서 지반이 평탄하여 우수의 신속한 배수가 곤란하다든지 지반고가 하천의 계획홍수위보다 상대적으로 낮은 지역이다. 대부분의 원인으로는 하수도 시설의 용량부족과 배수펌프시설의 용량부족으로 인한 노면수가 유입된다든지 하수가 역류한다든지 하여 주택지로 유입하여 침수피해를 입은 것으로 나타났다.

2. 상습침수 저감대책

일반적으로 상류지역에서의 우수유출 억제방안은 크게 소극적인 대책과 적극적인 대책으로 구분하여 파악할 수 있으며 선진국에서 시행되거나 계획중인 대책별 세부내용을 정리하면 다음과 같으며 최근에는 특히 우수저감시설을 유출 저감시설의 설치가 크게 대두되고 있다.

2.1. 우수 저감 시설

아래의 도시유출 조정방안과 같이 우수관리에 관한 여러 가지 대안이 제안되었으나 우수관리유수지가 가장 널리 적용되고 있다.

도시유출 조절방안

저류시설

조정지 : 물을 가두고 서서히 방류

저류지 : 물을 저장하여 방류하지 않고 침투와 증발로 제거된다.

예)저지대, 각종 탱크, 배수계통의 저류조, 저습지, 공원, 지붕, 주차장 등

용지확보가 가능하면 저렴한 수자원보전의 역할.

침투증대

투수지면의 증대

다공성 침투성 포장과 주차장

예)수자원 보전의 역할, 큰호우의 경우 홍수량 감소효과가 작다.

홍수조절수단

예)수로화, 홍수터의 구획화, 건물의 내수화

우수관리유수지는 저류지 또는 조정지로 구분되나 기본개념이 유사한 점에서 동의어로 사용되기도 한다.

토지개발의 악영향을 완화하기 위하여 개발지역의 침투유량을 개발 이전의 침투크기로 한정하는 의도에서 우수관리 정책이 채용된다. 이러한 의도는 개발후 조건에 대한 홍수빈도 곡선이 개발전의 빈도곡선과 일치하는 것을 나타내는 것으로 해석될 수 있다. 이는 행정자치부에서 주관하는 재해영향평가(災害影響評價)에 의하여 시행된다.

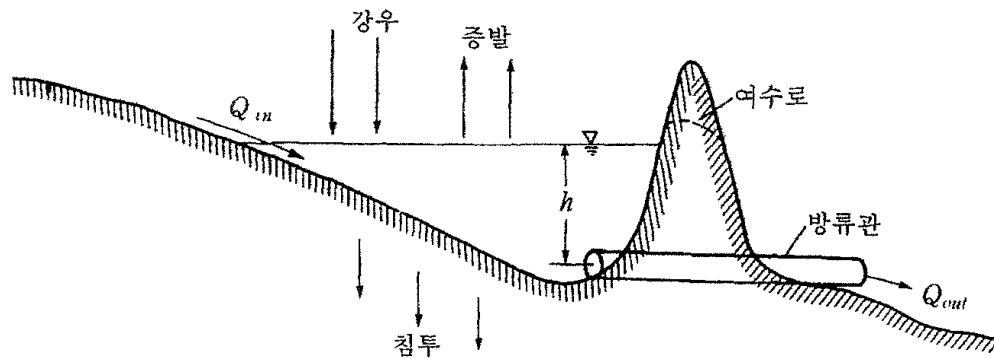


그림 4.4 조정지 구성

그림 4.4는 조정지의 단면을 나타낸다. 상시수위의 유지는 수질 관리, 경관, 양생서식지 개선 등의 이점을 갖는다. 물론 상시수면은 총저류 용량을 증가시켜 구조물이 커지고 용지배수가 증가하여 이들은 사업의 비용을 증가시킨다. 유입구에는 와류와 부유물 제거시설이 설치되어야 한다.

조정지 설계는 재현기간 20년, 30년인 단일 빈도호우에 대하여 설계되고 있다. 그러나 50년, 100년 호우에 대해서도 홍수조절기능을 갖어야 할 뿐만 아니라 구조물자체도 안전해야 한다. 따라서 다중빈도조정지의 필요성이 대두되고 또한 적용되어야 한다. 유수지가 축조되면 수문곡선에 주는 영향을 평가하기 위하여 저수지추적이 적용된다. 조정지는 그림 2에 보인 바와 같이 방류

관과 여수로를 갖도록 설계되면 저수지 추적을 통하여 이들 규모가 결정된다.

조정지는 유출에 함유된 토사와 오염물 제거에도 이용되어 결과적으로 수질을 개선한다.

조정지와저류지, 침사지의 구분

조정지,유수지(detention basin, retarding basin, stormwater management basin)

저수지에 빗물을 잠정적으로 가두어 두었다가 하류조건에 따라서 서서히 방류하고 비강우기에는 건조상태로 유지하는 것이 보통이다.

이는 평균 체류시간이 수시간 또는 수일인 단기 저수지로 지표 방류된다. 호우시에 한해서 물을 보유하고 그외 기간에는 일반적으로 건조상태이다. 이 경우를 건조조정지(dry ponds), 상시수위를 유지하는 경우를 습조정지라 한다. 유수지는 전자에 속한다. 특히 조정지는 특정 강우 사상으로부터 유발되는 유출 체적을 수용하도록 설계된다. 수용된 빗물은 지표수로 방류되거나 관개용으로 사용되고 또한 침투되다. 지표방류량은 하류의 배수용량을 초과하지 않도록 규정한다. 조정지의 예로 요부, 지하탱크, 저수지, 지붕저류지, 및 침투지 등을 들 수 있다.

저류지(retention basin)

물을 항구적으로 가두어두고 방류하지 않으며 증발과 침투로 물이 감소된다. 홍수첨두의 감소와 토사, 오염물의 제거(침전)에 이용된다. 이는 평균 체류시간이 수주 또는 수개월인 장기 저수지로서 저류목적은 의탁, 경관 및 급수를 위함이고, 일반적으로 지표방류가 되지않는다. 호우기간 동안에는 지표수가 상시 저수위 위에 잠정적으로 저류된다. 예) 연못, 호수 등이다.

침사지(sedimentation basin)

토사,부유물 및 오염물을 포착, 침전시키기 위한 지표수 저류지이다.

신도시와 같은 도시화는 유출의 첨두와 체적을 증가시켜 하류에 악영향을 준다. 따라서 개발된 지역에 설정된 호우빈도에 대하여 개발후의 유출이 개발전의 유출을 초과하지 않도록 즉 무초과 유출(無超過流出 ; zero excess runoff)이 되도록 규정하고 있다. 우수지의 주목적은 하류로 방류되는 첨두유량을 감소하는 수단으로 이용된다.

조정지/저류지는 기능과 상류에 위치면 간단히 (1) 조정지/저류지(調整池/貯留池 ; on-site detention/retention basin)라하고 계통의 일부분으로 설치되는 경우에는 (2)계통내 조정지/저류지(系統內 調整池/貯留池 ; on-line detention/retention basin)라 한다. 이 조정지/저류지는 계통내 여분의 용량을 활요하거나, 저류시설을 추가하기도 한다. 예로 콘크리트통, 터널, 지하저수지, 지표저수지 등을 들수 있다.

또한 계통과 분류되어있는 경우에는 (3)계통외 조정지/저류지(系統外 調整池/貯留池 ; off-line detention/retention basin)라 한다. 이 조정지/저류지는 계통의 용량을 초과하는 유량을 계통으로부터 전환하여 저수지에 저류시켰다가 하류계통의 통수능력이 회복될 때 계통으로 재방류 한다.

호우동안에 조정지에 억류될 수 있는 빗물의 체적은 조정지에 유입되는 유출의 체적, 조정지의 방류특성 및 조정지 크기의 함수이다. 설계자의 목표는 여러 재현기간의 설계강우에 대하여 하류 방류조건을 만족하는 저류용량을 결정하는 것이다. 조정지의 용량은 유입수문곡선의 차이를 적분하여 결정된다.

$$V = \int_0^{t_e} (Q_i - Q_0) dt \quad \text{<식 4.1>}$$

여기서 V 는 소요 조정지용량, t_e 는 유출수문곡선이 유입수문의 감쇠부를 교차하는 시간 즉 $Q_i = Q_0$ 가 되는 시간, Q_i 는 유입유량및 Q_0 는 유출유량이다.

수용할 수 있는 저수지 용량보다 큰 체적의 유입수문선이 유입되는 경우 초과되는 수량은 여수로를 통해서 방류하거나 외수의 수위가 높아서 자연방류가 불가능한 경우에는 펌프를 통해서 배제한다. 저류용량이 큰 경우에는 저수지 추적 기법에 의한 추적이 수행되어야 한다.

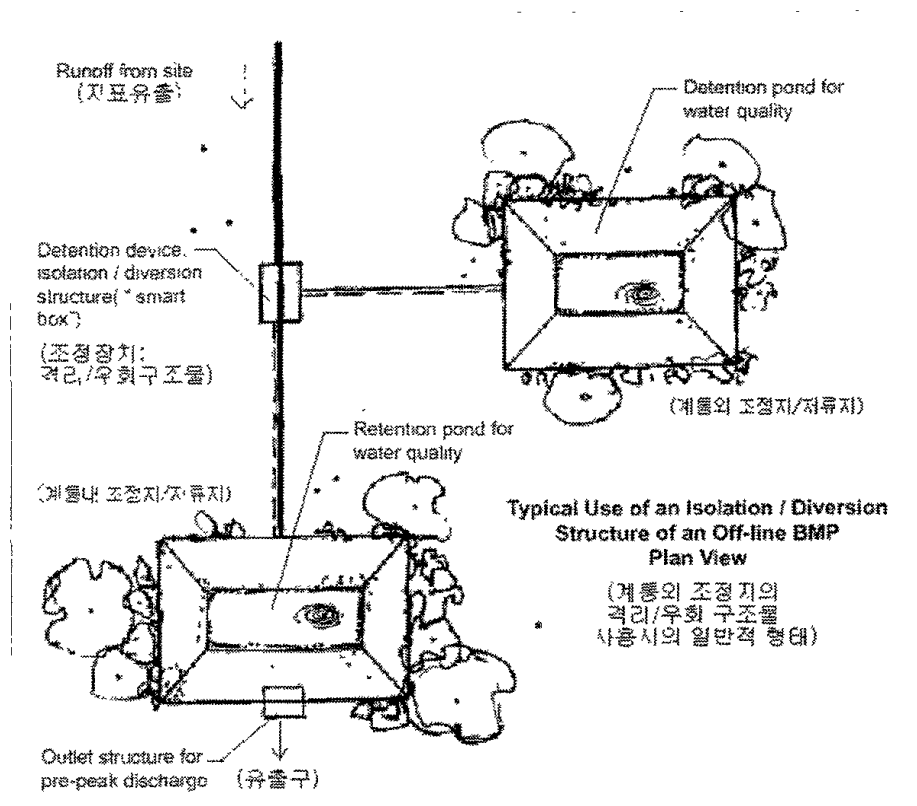


그림 4.5 조정지 구분

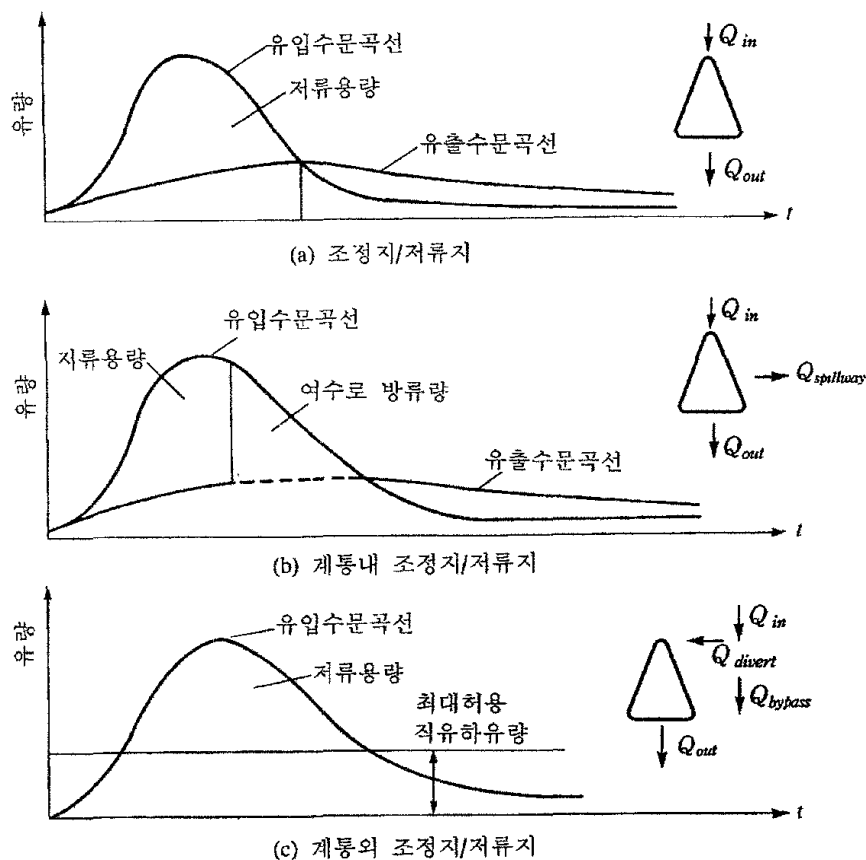


그림 4.6 조정지 / 저류지의 소요용량 결정

2.2. 내수 침수시 강제 배수에 의한 방법

하천의 홍수위가 상승함에 따라 내수의 자연적인 배수배체가 어려워져서 침수가 발생할 때에는 유수지 설치와 펌프에 의한 강제 배수방법이 있다. 기존의 유수지와 펌프용량의 부족으로 제 기능을 발휘하지 못할 경우에는 기존 유수지와 펌프용량의 확대가 필요하며 특히 빗물펌프장의 경우 펌프용량이 제대로 확보되어 있다고 할지라도 홍수위 상승으로 하천수가 펌프장으로 유입되어 절단되는 경우가 있기 때문에 이에 대한 대비와 더불어 자체적으로 발전할 수 있는 시설을 갖추어야 한다. 최근 지가의 상승 및 공한지를 확보하는데 어려움이 많은 실정이므로 공공부지(도로, 공원 등)의 하부를 최대한 이용할 수 있는 유수지 및 펌프장의 활용방안에 대한 충분한 검토가 필요하다.

2.3. 외수 침수에 의한 하천범람 및 역류억제 방법

호우시에 상류부의 유출량의 증가로 인하여 하천의 홍수위가 상승하여 하천의 범람 또는 역류로 발생하는 하천변 저지대의 침수는 하천의 유수단면적을 확대하거나 하천 개수를 통하여 외수 침수로 인한 홍수위 상승을 저감시킬 수 있다. 그러나, 최근 도시하천 주변의 용지 부족 및 지가상승으로 인해 시행에 어려움이 따르며, 또한 하상의 조도계수에 대한 변화도 가져올 수 있어 충분한 검토가 필요하다. 하천을 직접 개수하는 방안으로 하천의 굴토, 제방상부에 토사더둔기, 또는 구조물 설치 등이 있을 수 있으며 역류를 방지하는 방법으로는 유출부에 수문 또는 자동문비등을 설치하는 방안이 있다.

2.4. 자연배수에 의한 방법

침수지역에 영향을 주는 유량을 침수지를 우회하여 하천 또는 펌프장으로 유입하도록 유로를 변경하여 침수지역을 해소하는 방안이 있다. 고지배수와 저지대배수로로 별도 구분하여 산지나 고지대의 우수를 별도로 배제시킬수 있는 고지배수로로 설치하여 저지대로 집수되는 우수유출량을 감소시키는 방안과 상류부와 하류부의 수위차를 이용하여 우회 배수로로 설치하여 방류구를 하천의 하류부로 이동하여 배수배제를 하는 방안이 있다.

2.5. 기존 하수시설의 정비

침수지역내 기존 하수관거의 통수능력을 검토하여 통수능력을 증대시키거나 하수처리시설의 재정비를 통하여 해소하는 방안이다. 기존 하수시설의 단면확대 또는 유수 방향의 적절한 배치등으로 침수저감효과를 가져올 수 있으며 실제 평탄지역에서의

침수지에는 전반적인 검토가 이루어져야 할 사항으로서 우수 방향의 배치는 중요한 요소로서 작용한다. 또한 노후 불량 관거의 교체와 퇴적 침전물의 준설도 침수에 영향을 미치며 우·오수 분류식에 의한 하수처리시설은 침수지 해소방안과 함께 환경 보호 차원에서도 중요한 사항이다.

2.6. 지하터널, 지하저류조 등을 조성하는 방안

국내에서는 우수처리에 대한 대심도, 대구경의 지하터널 또는 지하저류조, 침수시설 등을 설치하여 침수지 해소 및 수자원의 효율적인 관리에 대처하는 방법이 시행되지 않고 있지만 외국에서는 대구경 지하터널로 우수를 집적하여 바다로 직접 방류하거나 대규모의 지하조절지 등을 설치하여 하천의 유량을 조절하여 침수지의 피해를 경감시키거나 또는 수자원 고갈에 대비한 치수 및 이수의 목적을 함께 하는 방법과 도로 및 주차장시설 등에 침수공법을 도입하여 유출을 억제함과 동시에 지하에 저류하여 용수로서 보존하는 방안 등이 적용되고 있다.

2.7. 건축 표고에 의한 지반고 성토에 의한 방법

침수가 발생하는 저지대 전체의 지반을 성토하여 지반고를 높여 내수침수 및 하천 홍수위에 영향을 받지 않도록 하여 침수해소를 하는 방안이다. 노후 불량 주택이 밀집되어 있는 침수지역이나 하천변에 신설되는 공동주택지에서는 이러한 해소방안이 효과적인 방안으로 사료된다.

2.8. 불합리한 법령 및 제도보완

2.8.1 건물 지하실 축조 지양

한강의 계획홍수위 이하인 저지대인 곳은 지하실을 축조하지 않도록 하고 부득이한 경우는 옥내 강제 배수시설을 설치하고 기존 건물 지하실은 역지면을 설치하여 역류방지 시설 설치로 지하

실 침수 방지

※ 건축법 第44條 (地下層)

- 建築物에 設置하는 地下層은 그 構造 및 設備를 建設交通部令이 정하는 기준에 적합하게 하여야 한다.

2.8.2 하천시설물 설치시 계획빈도 상향

백년에 한번 일어날 홍수에 대비 하여 계획하고 있으나 많은 예산이 수반되는 사항이나 강원도 강릉에 890mm가 내리는 등 기습 강우에 대비하여 점차적으로 200년이상 빈도로 점차로 상향 조정 할 수 있는 근거 마련

- 펌프장설계기준 상향 조정

표 4.1 유량조절용 수공구조물의 설계빈도(하천설계기준, 2000)

구조물종류	설계빈도(년)	설계확률
도시 배수시설		
소도시 우수거	5 ~ 25	0.20 ~ 0.04
대도시 우수거	25 ~ 50	0.04 ~ 0.02
유수지 및 빗물펌프장	10 ~ 20	0.10 ~ 0.05
하천제방		
도시하천	50 ~ 200	0.02 ~ 0.005
배수시설	2 ~ 50	0.50 ~ 0.02

2.9. 홍수 및 상습침수에 대한 근본적 대책방안

대규모 홍수나 침수피해의 영향을 근본적으로 파악하여 그 대책방안을 장기적으로 수립하여야 한다. 급속한 도시화에 따른 무분별한 택지개발 등을 규제하여 잠재적인 홍수 피해를 줄일 수 있는 방법을 강구하여야 하며 유역의 조건을 개선하여 우수를 지체시켜 하류의 유량을 감소시킬 수 있는 방안으로서는 기

확대된 불투수면의 면적을 줄일 수 있는 식재계획과 하상조도의 개선방안이 요구된다. 저지대 침수지는 도시미관을 고려한 도시 재개발을 시행함으로써 침수에 대한 주변 환경요소를 제거하고 상습침수지에 도움을 줄 수 있는 유역내에 저류시설을 확대하여 해소방안을 마련할 수 있을 것으로 기대된다. 자연재해란 그 발생원인을 근본적으로 막을 수는 없다 하여도 예방대책의 수립을 통해 피해를 최소화할 수 있다는 적극적인 재해관으로의 인식유도가 가장 필요한 시점이라고 할 수 있으며, 이러한 인식변화를 토대로 하여 아래와 같은 문제점들을 개선함으로써 선진 체계를 구축할 수 있을 것이라고 판단된다.

첫째, 홍수피해원인의 근본적인 해소를 위한 예방사업의 투자가 미흡하였다는 것이다. 이에 따라서 홍수재해 취약요소인 재해위험지구와 소하천에 대한 정부투자가 계속 증가하고는 있으나 아직까지는 미흡하고 재해의 근원적 해소에 미치지 못하고 있는 실정이 문제점으로 지적할 수 있다.

둘째, 세계적 기상이변에 대비한 과학화 및 총체적인 국가방재 체제 구축이 미흡함에 따라 정부주도의 정책으로 일관되어 산·학·연·관이 보유 또는 관리하고 있는 연구결과를 국가역량으로 승화시키지 못하였기 때문에 완전한 재해예방대책이 안되었으며, 셋째 홍수정보체제 구축지연으로 상황대처상에 문제가 있다는 것이다. 그러므로 홍수관련 유관기관간 정보교환체제와 각 정보체제를 충분하게 활용할 수 있는 예경보 시스템과 기상예보 시스템의 미흡이 신속한 상황대처를 어렵게 하는 요인이다.

제 5 장 결 론

도시의 침수상태는 도시화가 초고속으로 진행됨에 따라 그 심각성이 더 해가고 있다.

따라서, 본 논문에서는 인위적인 배수계통을 가지는 도시하천의 유출현상을 모의할 수 있는 SWMM(Storm Water Management Model) 강우-유출 모형을 통하여 침수원인을 분석하였으며 그 분석을 바탕으로 도시지역의 침수방지대책방안을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도시화에 따른 불투수층의 증가는 유출율(runoff rate)의 증가로 나타나며 유출이 2~4배까지 증가되는 결과를 가져와 도시지역의 상습적인 홍수 피해의 원인이 되고있다.

따라서, 유역관리에 의한 유출율의 감소가 요망된다.

2. 도시 지역의 홍수 피해는 주로 저지대에서 내수침수의 발생이 원인이 되며 이들 대부분의 지역은 과거에도 비슷한 침수 경험을 겪었던 상습침수지역으로서 지반이 평탄하여 우수의 신속한 배수가 곤란하며 지반고가 하천의 계획홍수위보다 상대적으로 낮은 지역이다.

내수침수의 대책은 충분한 시설용량의 배수계통 시설 확보(유수지 및 빗물펌프장)가 이루어짐으로 침수피해의 저감이 가능하다.

3. 유수지 및 배수펌프시설의 용량 부족으로, 제내지 저지대 및 평탄지 등에 노면수가 유입하여해 침수피해를 입는 형태로 발생한다.

노면수의 유입으로 인한 침수피해방지를 위해서는 집수구의 확대, 침투성포장, 저류조 설치, 건물의 구조개선과 역류방지장치 및 배수펌프설치 등이 요망된다.

4. 자연생태계를 무시한 하천정비와 하천복개는 도시침수의 원인이 되기도하므로,
하도개수나 우회수로를 만들어 유황을 개선하여 침수지역을 최소화하는 방안을 수립해야 할것이다.

참고문헌

1. 조원철, 서규우, 도시수문학 (엔지니어즈, 1999년)
2. 서규우, 도시유출모형 (엔지니어즈, 1999년)
3. 윤태훈, 응용수문학(청문각, 1997년)
4. 한국수자원학회, 제 4 회 수공학 Workshop(서울,1996년)
5. 이종학, 부산지방 상습침수 지역의 특성과 대책방안에 관한 연구 (부경대학교 석사학위논문, 1999년)
6. 김영한, 도시 상습침수지구의 토지이용 특성에 관한 연구 (계명대학교 석사학위논문, 1996년)
7. 이종태, '98 홍수피해원인과 하천관리의 문제점 (한국수자원학회, 1998년)
8. 서울시, 하수관거조사 및 하수도정비 기본설계 보고서(1995. 11)
9. '95 수해관련지역 침수방지시설 기본 및 실시설계 보고서 (1996. 3)
10. 서울시, '98년 수해백서 (서울, 1999년)
11. 서울시, '2001년 수해백서 (서울, 2002년)
12. Philip B. Bedient, 2002,Hydrology and Floodplain Analysis(Prentice Hal)
13. Chow, V.T., Maidment, D.R. and L.W. Mays, 1988, Applied Hydrology, McGraw-Hill.
14. Chow, V, T.(ed.), 1964, Handbook of applied Hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y

Abstract

A Study on Cause Analysis of Flooded Area and Reducetion Measure by Umbanization

Jin, Young Kil

(Supervisor : Han, Jong Ok)

Dept. of civil Engineering

Graduate School of Industry and Engineering

Seoul National University of Technology

The impervious area is progressively increased due to the urbanization. The rainfall discharge rate, therefore, is more rapid. In this reason, the flooding damages on urban district are proportion to the impervious area and the rainfall discharge rate increases. Furthermore, a localized extraordinary storm due to climatic anomaly recently makes the flooding danger incremental. Global warming, el nino & la nina account for the occurrence of extraordinary storm causing the flash flood and a localized torrential downpour.

The discharge rate and the time of concentration are illogically high and fast because of high impermeable rate on urban area. The pavement on urban area also accelerates the discharge rate. In case of the river level increase, residential district lower than river level can be flooded within relatively short time due to late drain velocity. Considered all flooding possibility, the detention basin and forced discharge facility by pumping are applied and required.

This study, therefore, put an emphasis on an case study about discharge rate change and on analysis about characteristic discharge pattern within developing basin. Furthermore, this study selects the adequate discharge computation model. The result based on this study is applied on I-mun district, Metropolitan Seoul, where is suffered by habitual flooding damage, and show the reasons resulted from lacking of drain pipe making flooding control. This study also proposed a precaution based on past flooding tendency to make minimize the flooding damage through many-sided considerations.

<INPUT FILE>

```

$RUNOFF
A1 ' EEMOON-Runoff '
A1 ' runoff modeling '
B1 1 0 1 0 0 0 0 0 15 7 2001
*
B2 0 0 1
*
*
B3 3. 15. 40. 1 2000
*
D1 0
*
*
E1 0 12 0 0 0 1 24 5 0.0
E3 3.06 1.48 1.70 2.98 4.75 6.58 8.14 9.26 9.82 9.82 9.30 8.37
E3 7.15 5.80 4.48 3.32 2.43 1.88 1.68 1.75 1.93 1.94 0.62 0.54
G1 1000 1100 1 2.10 780 0.0115 0.0 0.0 0.013 1.60 0
G1 2000 2100 1 1.80 522 0.0087 0.0 0.0 0.013 1.60 0
G1 2100 1100 1 2.00 22 0.0098 0.0 0.0 0.013 2.00 0
G1 1100 1200 1 3.30 607 0.0039 0.0 0.0 0.013 3.00 0
G1 1200 1300 1 6.80 393 0.0048 0.0 0.0 0.013 4.60 0
G1 1300 1400 1 7.30 167 0.0026 0.0 0.0 0.013 4.70 0
G1 3000 3100 1 1.80 431 0.0126 0.0 0.0 0.013 1.70 0
G1 3100 3200 1 2.90 363 0.0031 0.0 0.0 0.013 1.70 0
G1 3200 1400 1 3.00 54 0.0040 0.0 0.0 0.013 1.60 0
G1 1400 1500 1 8.00 374 0.0014 0.0 0.0 0.013 2.80 0
G1 4000 4100 1 2.80 411 0.0386 0.0 0.0 0.013 1.70 0
G1 4100 4200 1 3.70 340 0.0113 0.0 0.0 0.013 2.30 0
G1 4200 4300 1 3.30 734 0.0055 0.0 0.0 0.013 2.20 0
G1 4300 1500 1 3.60 438 0.0061 0.0 0.0 0.013 2.00 0
G1 1500 1600 1 11.00 190 0.0096 0.0 0.0 0.013 3.00 0
G1 1600 170 1 11.00 167 0.0097 0.0 0.0 0.013 3.00 0
H1 1 1 100 1503.50 37.90 30.60 0.01660 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 2 200 384.30 3.10 93.50 0.03100 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 3 210 600.10 10.70 83.20 0.00940 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 4 110 1084.60 16.90 81.10 0.01010 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 5 120 1057.10 17.80 70.00 0.00220 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 6 130 619.80 25.30 81.00 0.00120 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 7 300 1150.40 19.20 68.20 0.03890 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 8 310 651.10 37.60 71.30 0.01180 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 9 320 417.90 11.90 91.60 0.00320 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 10 140 241.20 9.00 87.80 0.00290 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 11 400 624.20 21.80 11.00 0.01510 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 12 410 516.80 27.20 75.40 0.04110 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 13 420 662.80 25.70 89.50 0.01190 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 14 430 775.90 45.50 62.40 0.00590 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 15 150 601.70 36.80 77.70 0.00070 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
H1 1 16 160 299.20 24.70 43.70 0.00500 0.0110 0.300 4.0 12.5 15.00 3.81 0.00115
M1 3 30
M2 1 20010715 20010715
M3 3000 3100 1600
$ENDPROGRAM

```

<OUTPUT FILE>

```
#####
#       File names by SWMM Block           #
#       JIN  -> Input to a Block           #
#       JOUT -> Output from a Block        #
#####

JIN for Block #    1 File #    9 PCTmpla.int
JOUT for Block #    1 File #    9 PCTmpla.int

#####
# Scratch file names for this simulation.  #
#####

NSCRAT #    1 File #   21 SCPT1.UF
NSCRAT #    2 File #   22 SCRT2.UF
NSCRAT #    3 File #   23 SCRT3.UF
NSCRAT #    4 File #   24 SCRT4.UF
NSCRAT #    5 File #   25 SCPT5.UF
NSCRAT #    6 File #   26 SCPT6.UF
NSCRAT #    7 File #   27 SCRT7.UF
NSCPAT #    8 File #   28 SCRT8.UF

*****
*   Parameter Values on the Tapes Common Block   *
*****

Number of Subcatchments in the Runoff Block (NW)..... 1000
Number of Channel/Pipes in the Runoff Block (NG)..... 1000
Number of Connections to Runoff Channels/Inlets (NCP).    6
Number of Water Quality Constituents (MQUAL).....    20
Number of Runoff Land Uses per Subcatchment (NLU).....    20
Number of Groundwater Subcatchments in Runoff (NGW)...   100
Number of Interface Locations for all Blocks (NIE).... 1000
Number of Elements in the Transport Block (NET).....   500
Number of Storage Junctions in Transport (NTSE).....   100
Number of Transport interface input locations (NTHI)..   500
Number of Transport interface output locations (NTHO).  500
Number of Transport input locations on R lines (NTHR).   80
Number of Transport printed output locations (NTOA)...   80
Number of Tabular Flow Splitters in Transport (NTSP)..   50
Number of Elements in the Extran Block (NEE)..... 4000
Number of Pumps in Extran (NEP).....    75
Number of Orifices in Extran (NEO). ....    200
Number of Tide Gates/Free Outfalls in Extran (NTG).... 200
Number of Extran Weirs (NEW).....    400
Number of Extran Printout Locations (NPO).....    150
Number of Tide Elements in Extran (NTE).....    50
Number of Natural Channels (NNC)....    1200
Number of Storage Junctions in Extran (NVSE)..... 1000
Number of Time History Data Points in Extran (NTVAL)..  500
Number of Data Points for Variable Storage Elements
    in the Extran Block (NVST).....    25
Number of Input Hydrographs in Extran (NEH). ....   500
Number of Allowable Channel Connections to
    Junctions in the Extran Block (NCHN).....    15
Number Rain Gages in Rain and Runoff (MAXRG) .....   200
```

Number PRATE/VRATE Points for Extran Pump
 Input (MAXPRA)..... 10
 Number of Variable Orifices in Extran (NVORF)..... 50
 Number of Variable Orifice Data Points (NVOTIM)..... 50
 Number of Allowable Precip. Values/yr in Rain (LIMRN). 5000
 Number of Storm Events for Rain Analysis (LSTORM).....20000
 Number of Plugs for Plug-flow in S/T (NPLUG)..... 3000
 Number Conduits for Extran Results to ASCII
 File (MXFLOW)..... 400

EEMOON-Runoff+EXTRAN

Control information for simulation

Integration cycles.... 5500

Length of integration step is..... 6.00 seconds

Simulation length..... 3.17 hours

Do not create equiv. pipes (NEQUAL). 0

Use metric units for I/O..... 1

Printing starts in cycle..... 1

Intermediate printout intervals of. 100 cycles

Intermediate printout intervals of. 10.00 minutes

Summary printout intervals of..... 50 cycles

Summary printout time interval of . 5.00 minutes

Hot start file parameter (JFEDO)... 0

Initial time (TZERO) 0.00 hours

This is time displacement from JIN interface file starting date/time wh
 interface file is used.

This also describes starting hour in K3 line hydrograph input when K3
 lines are used.

Initial date (default)..... 19880101 (yr/mo/day)

NOTE: Initial date from JIN interface file will be used, if accessed,
 unless IDATZ is negative.

Iteration variables: ITMAX..... 30

SURTOL..... 0.0500

Default surface area of junctions.. 1.22 square meters.

EXTRAN VERSION 3.3 SOLUTION. (ISOL = 0).

Sum of junction flow is zero during surcharge.

NORMAL FLOW OPTION WHEN THE WATER

SURFACE SLOPE IS LESS THAN THE

GROUND SURFACE SLOPE (KSUPER=0) .

NJSW INPUT HYDROGRAPH JUNCTIONS.... 0

Printed output for the following 3 Conduits

3000 3100 1600

Flow rate will be plotted for the following 1 Conduits

1600

INTERMEDIATE HEADER LINES ARE PRINTED AS IN ORIGINAL PROGRAM

IDS ARE WRITTEN AS IN ORIGINAL PROGRAM

CONDUIT LENGTHS ON C1 LINE MUST EQUAL IRREGULAR SECTION LENGTH ENTERED ON THE C3 OF X1 LINES (IWLEN = 0

JELEV = 0 (DEFAULT). STANDARD INPUTS ARE DEPTHS NOT ELEVATIONS

JDOWN = 0 - Minimum of normal or critical depth will be used at free outfalls (I1).

Characteristic depth for M1 and S1 water surface profiles will be computed as per the instructions of ETRPA (I1) = 0.

SEDIMENT DEPTHS WILL NOT BE READ FROM C1 LINES

Intermediate continuity output will not be created

* Conduit Data *

LINE NO.	CONDUIT NUMBER	LENGTH (M)	CONDUIT CLASS	RPEP (SQ.')	ROUGH COEFF.	INVERT DEPTH (M)	DEPTH (M)	JOINTS BT THE ENDS	INVERT HEIGHT ABOVE JUNCTIONS	TR SIDE
1	1000	780.	RECTANGLE	3.36	0.01300	2.10	1.60	100	110	
2	2000	522.	RECTANGLE	2.88	0.01300	1.80	1.60	200	210	
3	2100	22.	RECTANGLE	4.00	0.01300	2.00	2.00	210	110	
4	1100	607.	RECTANGLE	9.90	0.01300	3.30	3.00	110	120	
5	1200	393.	RECTANGLE	31.28	0.01300	6.80	4.60	120	130	
6	1300	167.	RECTANGLE	34.31	0.01300	7.30	4.70	130	140	
7	3000	431.	RECTANGLE	3.06	0.01300	1.80	1.70	300	310	
8	3100	363.	RECTANGLE	4.93	0.01300	2.90	1.70	310	320	
9	3200	54.	RECTANGLE	4.80	0.01300	3.00	1.60	320	140	
10	1400	374.	RECTANGLE	22.40	0.01300	8.00	2.80	140	150	
11	4000	411.	RECTANGLE	4.76	0.01300	2.80	1.70	400	410	
12	4100	340.	RECTANGLE	8.51	0.01300	3.70	2.30	410	420	
13	4200	734.	RECTANGLE	7.26	0.01300	3.30	2.20	420	430	
14	4300	438.	RECTANGLE	7.20	0.01300	3.60	2.00	430	150	
15	1500	190.	RECTANGLE	33.00	0.01300	11.00	3.00	150	160	
16	1600	167.	RECTANGLE	33.00	0.01300	11.00	3.00	160	170	

EEMOON-Runoff+EXTRAN

* Junction Data *

INP NUM	JUNCTION NUMBER	GROUND ELEV.	CROWN ELEV.	INVERT ELEV.	QINST CMS	INITIAL DEPTH(M)	CONNECTING CONDUITS
1	170	17.50	10.38	7.38	0.00	0.00	1600
2	160	15.07	12.00	9.00	0.00	0.00	1500 1600
3	150	14.84	13.85	10.85	0.00	0.00	1400 4300 1500

4	430	16.78	16.54	14.34	0.00	0.00	4200	4300	
5	420	21.11	20.93	18.63	0.00	0.00	4100	4200	
6	410	25.17	24.77	22.47	0.00	0.00	4000	4100	
7	400	41.92	40.62	38.92	0.00	0.00	4000		
8	140	15.71	15.05	10.35	0.00	0.00	1300	3200	1400
9	320	14.29	13.96	12.26	0.00	0.00	3100	3200	
10	310	16.41	15.51	13.81	0.00	0.00	3000	3100	
11	300	21.75	21.45	19.75	0.00	0.00	3000		
12	130	16.31	15.40	10.70	0.00	0.00	1200	1300	
13	120	15.80	15.58	10.98	0.00	0.00	1100	1200	
14	110	15.41	14.61	11.61	0.00	0.00	1000	2100	1100
15	210	15.51	14.82	12.82	0.00	0.00	2000	2100	
16	200	18.05	17.15	15.55	0.00	0.00	2000		
17	100	23.30	22.90	21.30	0.00	0.00	1000		

 * INTERNAL CONNECTIVITY INFORMATION *

CONDUIT	JUNCTION	JUNCTION
-----	-----	-----
90017	170	0

 * BOUNDARY CONDITON INFORMATION *
 * DATA GROUPS J1-J4 *

BC NUMBER.. 1 HAS NO CONTROL WATER SURFACE.

 # Header information from interface file: #
 #####

Title from first computational block:
 EEMOON-Runoff
 2001.7.15

Title from immediately preceding computational block:
 EEMOON-Runoff
 2001.7.15

Name of preceding block:.....Runoff Block
 Initial Julian date (IDATEZ)..... 2001196
 Initial time of day in seconds (TZERO).. 0.0
 No. transfered input locations..... 17
 No. transfered pollutants..... 0
 Size of total catchment area (acres)..... 916.99
 ID numbers (JCE=0) or alphanumeric (JCE=1)..... 0

r Element numbers of interface inlet locations: #
 #####

170	100	200	210	110	120	130	300	310
320	140	400	410	420	430	150	160	

Conversion factor to cfs for flow units

on interface file. Multiply by: 35.31467

>>> STARTING DATE AND TIME OF EXTRAN RUN ARE:

JULIAN DATE: 2001196

YR/MO/DA: 2001/ 7/15

TIME OF DAY: 0.000 HRS

THIS IS 0.000 HOURS BEYOND INTERFACE FILE STARTING TIME

AS PROVIDED BY TZERO ON LINE B1.

TZERO = 2001196 0.0000000E+00

* INITIAL MODEL CONDITION *

* INITIAL TIME = 0.00 HOURS *

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.

170/	0.00 /	7.38	160/	0.00 /	9.00	150/	0.00 /	10.85
430/	0.00 /	14.34	420/	0.00 /	18.63	410/	0.00 /	22.47
400/	0.00 /	38.92	140/	0.00 /	10.35	320/	0.00 /	12.26
310/	0.00 /	13.81	300/	0.00 /	19.75	130/	0.00 /	10.70
120/	0.00 /	10.98	110/	0.00 /	11.61	210/	0.00 /	12.82
200/	0.00 /	15.55	100/	0.00 /	21.30			

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/	0.00	2000/	0.00	2100/	0.00	1100/	0.00
1200/	0.00	1300/	0.00	3000/	0.00	3100/	0.00
3200/	0.00	1400/	0.00	4000/	0.00	4100/	0.00
4200/	0.00	4300/	0.00	1500/	0.00	1600/	0.00
90017/	0.00						

CONDUIT/ VELOCITY

1000/	0.00	2000/	0.00	2100/	0.00	1100/	0.00
1200/	0.00	1300/	0.00	3000/	0.00	3100/	0.00
3200/	0.00	1400/	0.00	4000/	0.00	4100/	0.00
4200/	0.00	4300/	0.00	1500/	0.00	1600/	0.00

CONDUIT/ CROSS SECTIONAL AREA

1000/	0.00	2000/	0.00	2100/	0.00	1100/	0.00
1200/	0.00	1300/	0.00	3000/	0.00	3100/	0.00
3200/	0.00	1400/	0.00	4000/	0.00	4100/	0.00
4200/	0.00	4300/	0.00	1500/	0.00	1600/	0.00

CONDUIT/ HYDRAULIC RADIUS

1000/	0.00	2000/	0.00	2100/	0.00	1100/	0.00
1200/	0.00	1300/	0.00	3000/	0.00	3100/	0.00
3200/	0.00	1400/	0.00	4000/	0.00	4100/	0.00
4200/	0.00	4300/	0.00	1500/	0.00	1600/	0.00

CONDUIT/ UPSTREAM/ DOWNSTREAM ELEVATION

1000/	21.30/	11.61	2000/	15.55/	12.82	2100/	12.82/	11.61
1100/	11.61/	10.98	1200/	10.98/	10.70	1300/	10.70/	10.35
3000/	19.75/	13.81	3100/	13.81/	12.26	3200/	12.26/	10.35
1400/	10.85/	10.35	4000/	38.92/	22.47	4100/	22.47/	18.63
4200/	18.63/	14.34	4300/	14.34/	10.85	1500/	10.85/	9.00
1600/	9.00/	7.38						

==> System inflows (file) at 0.17 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00	100/ 1.92E-01	200/ 5.27E-02	210/ 9.97E-02	110/ 1.70E-01	120/ 1.03E-01
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

130/ 5.84E-02 300/ 2.19E-01 310/ 1.65E-01 320/ 5.77E-02 140/ 3.33E-02 400/
4 75E-02
410/ 1.99E-01 420/ 1.62E-01 430/ 1.46E-01 150/ 4 56E-02 160/ 5.27E-02

CYCLE 100 TIME 0 HRS - 10.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.
170/ 0.00 / 7.38 160/ 0.01 / 9.01 150/ 0.00 / 10.85
430/ 0.02 / 14.36 420/ 0.03 / 18.66 410/ 0.04 / 22.51
400/ 0.01 / 38.93 140/ 0.01 / 10.36 320/ 0.04 / 12.30
310/ 0.09 / 13.90 300/ 0.08 / 19.83 130/ 0.01 / 10.71
120/ 0.01 / 10.99 110/ 0.05 / 11.66 210/ 0.03 / 12.85
200/ 0.03 / 15.58 100/ 0.06 / 21.36

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.
1000/ 0.14 2000/ 0.03* 2100/ 0.11* 1100/ 0.03
1200/ 0.01 1300/ 0.01* 3000/ 0.22* 3100/ 0.15
3200/ 0.09 1400/ 0.00* 4000/ 0.04* 4100/ 0.13
4200/ 0.05 4300/ 0.02 1500/ 0.01* 1600/ 0.01
90017/ 0.01

==> System inflows (file) at 0.33 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00 100/ 9.65E-01 200/ 2.58E-01 210/ 5.32E-01 110/ 8.94E-01 120/
5.71E-01
130/ 3.55E-01 300/ 1.10E+00 310/ 9.45E-01 320/ 3.35E-01 140/ 1.97E-01 400/
2.23E-01
410/ 1.08E+00 420/ 9.11E-01 430/ 8.51E-01 150/ 2.85E-01 160/ 3.08E-01

CYCLE 200 TIME 0 HRS - 20.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.
170/ 0.02 / 7.40 160/ 0.06 / 9.06 150/ 0.04 / 10.89
430/ 0.21 / 14.55 420/ 0.20 / 18.83 410/ 0.14 / 22.61
400/ 0.04 / 38.96 140/ 0.24 / 10.59 320/ 0.14 / 12.40
310/ 0.37 / 14.18 300/ 0.21 / 19.96 130/ 0.06 / 10.76
120/ 0.13 / 11.11 110/ 0.35 / 11.96 210/ 0 10 / 12.92
200/ 0.10 / 15.65 100/ 0.17 / 21.47

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.
1000/ 0.81* 2000/ 0.20 2100/ 0.67* 1100/ 0.80
1200/ 0.31 1300/ 0.25* 3000/ 1.03* 3100/ 1.31
3200/ 1.48* 1400/ 0.11* 4000/ 0.21* 4100/ 1.05*
4200/ 1.20* 4300/ 0.72 1500/ 0.40* 1600/ 0.34
90017/ 0.34

==> System inflows (file) at 0.50 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00 100/ 2.49E+00 200/ 6.35E-01 210/ 1 66E+00 110/ 2.67E+00 120/
2.03E+00
130/ 1.64E+00 300/ 2.82E+00 310/ 3.69E+00 320/ 1.37E+00 140/ 8.49E-01 400/
5.41E-01
410/ 3.60E+00 420/ 3.42E+00 430/ 3.50E+00 150/ 1.41E+00 160/ 1.28E+00

CYCLE 300 TIME 0 HRS - 30.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.
170/ 0.31 / 7.69 160/ 0.32 / 9.32 150/ 0.34 / 11.19
430/ 0.83 / 15.17 420/ 0.57 / 19.20 410/ 0.31 / 22.78
400/ 0 07 / 38.99 140/ 1.27 / 11.62 320/ 0.36 / 12.62

310/	0.97 /	14.78	300/	0.40 /	20.15	130/	0.81 /	11.51
120/	0.63 /	11.61	110/	1.02 /	12.63	210/	0.20 /	13.02
200/	0.20 /	15.75	100/	0.33 /	21.63			

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/	2.35*	2000/	0.59*	2100/	2.20*	1100/	5.46
1200/	4.03	1300/	6.43	3000/	2.76*	3100/	5.55
3200/	6.71*	1400/	-7.82	4000/	0.53*	4100/	3.87*
4200/	6.15*	4300/	7.77	1500/	12.57	1600/	11.74
90017/	11.74						

==> System inflows (file) at 0.67 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00	100/ 4.43E+00	200/ 9.45E-01	210/ 2.82E+00	110/ 4.46E+00	120/ 3.69E+00
130/ 3.91E+00	300/ 4.79E+00	310/ 7.25E+00	320/ 2.77E+00	140/ 1.83E+00	400/ 1.11E+00
410/ 6.32E+00	420/ 6.43E+00	430/ 7.19E+00	150/ 3.75E+00	160/ 2.68E+00	

CYCLE 400 TIME 0 HRS ~ 40.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.

170/ 0.76 /	8.14	160/ 0.77 /	9.77	150/ 0.74 /	11.59
430/ 1.40 /	15.74	420/ 0.93 /	19.56	410/ 0.46 /	22.93
400/ 0.11 /	39.03	140/ 2.04 /	12.39	320/ 0.57 /	12.83
310/ 1.62 /	15.43	300/ 0.58 /	20.33	130/ 1.77 /	12.47
120/ 1.49 /	12.47	110/ 1.49 /	13.10	210/ 0.28 /	13.10
200/ 0.27 /	15.82	100/ 0.49 /	21.79		

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/	4.27*	2000/	0.93*	2100/	3.71*	1100/	11.14
1200/	13.31	1300/	10.20	3000/	4.73*	3100/	11.21
3200/	13.82*	1400/	-25.48	4000/	1.07*	4100/	7.20*
4200/	12.77*	4300/	18.27	1500/	46.83*	1600/	48.96
90017/	48.96						

==> System inflows (file) at 0.83 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00	100/ 6.16E+00	200/ 1.01E+00	210/ 3.31E+00	110/ 5.21E+00	120/ 4.58E+00
130/ 5.75E+00	300/ 5.76E+00	310/ 9.29E+00	320/ 3.55E+00	140/ 2.48E+00	400/ 1.81E+00
410/ 7.68E+00	420/ 7.87E+00	430/ 9.51E+00	150/ 6.20E+00	160/ 3.58E+00	

CYCLE 500 TIME 0 HRS ~ 50.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.

170/ 1.01 /	8.39	160/ 1.02 /	10.02	150/ 0.99 /	11.84
430/ 1.77 /	16.11	420/ 1.13 /	19.76	410/ 0.55 /	23.02
400/ 0.15 /	39.07	140/ 2.63 /	12.98	320/ 0.69 /	12.95
310/ 2.60*/	16.41	300/ 0.67 /	20.42	130/ 2.32 /	13.02
120/ 2.06 /	13.04	110/ 1.94 /	13.55	210/ 0.31 /	13.13
200/ 0.28 /	15.83	100/ 0.62 /	21.92		

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/	6.01*	2000/	1.01*	2100/	4.31*	1100/	14.60
1200/	18.36	1300/	21.18	3000/	5.73*	3100/	14.64
3200/	18.18*	1400/	-41.45	4000/	1.78*	4100/	9.34*
4200/	16.86*	4300/	25.65	1500/	73.03*	1600/	76.40
90017/	76.40						

CUMULATIVE OVERFLOW VOLUME FROM NODE 310 2.91E+01 CU.MET. FLOOD FLOW = 0.4 CMS AT HOUR 0.83

==> System inflows (file) at 1.00 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00	100/ 6.89E+00	200/ 8.67E-01	210/ 3.02E+00	110/ 4.75E+00	120/ 4.47E+00
130/ 6.22E+00	300/ 5.31E+00	310/ 9.23E+00	320/ 3.44E+00	140/ 2.50E+00	400/ 2.36E+00
410/ 7.32E+00	420/ 7.39E+00	430/ 9.67E+00	150/ 7.41E+00	160/ 3.69E+00	

CYCLE 600 TIME 1 HRS - 0.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.

170/ 1.08 / 8.46	160/ 1.09 / 10.09	150/ 1.05 / 11.90
430/ 1.82 / 16.16	420/ 1.15 / 19.78	410/ 0.56 / 23.03
400/ 0.18 / 39.10	140/ 2.79 / 13.14	320/ 0.69 / 12.95
310/ 2.58* / 16.39	300/ 0.63 / 20.38	130/ 2.45 / 13.15
120/ 2.21 / 13.19	110/ 2.16 / 13.77	210/ 0.32 / 13.14
200/ 0.27 / 15.82	100/ 0.68 / 21.98	

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/ 6.81*	2000/ 0.93	2100/ 3.28	1100/ 15.92
1200/ 19.61	1300/ 26.26	3000/ 5.32*	3100/ 14.54
3200/ 18.00*	1400/ -46.09	4000/ 2.34*	4100/ 9.64*
4200/ 17.14*	4300/ 27.07	1500/ 80.43*	1600/ 83.84
90017/ 83.84			

==> System inflows (file) at 1.17 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00	100/ 6.39E+00	200/ 6.07E-01	210/ 2.26E+00	110/ 3.54E+00	120/ 3.63E+00
130/ 5.46E+00	300/ 3.96E+00	310/ 7.63E+00	320/ 2.72E+00	140/ 2.06E+00	400/ 2.54E+00
410/ 5.74E+00	420/ 5.71E+00	430/ 8.21E+00	150/ 7.10E+00	160/ 3.20E+00	

CYCLE 700 TIME 1 HRS - 10.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.

170/ 1.02 / 8.40	160/ 1.43 / 10.43	150/ 0.99 / 11.84
430/ 1.59 / 15.93	420/ 1.02 / 19.65	410/ 0.51 / 22.98
400/ 0.19 / 39.11	140/ 2.65 / 13.00	320/ 0.60 / 12.86
310/ 1.70* / 15.51	300/ 0.52 / 20.27	130/ 2.31 / 13.01
120/ 2.09 / 13.07	110/ 1.86 / 13.47	210/ 0.81 / 13.63
200/ 0.21 / 15.76	100/ 0.65 / 21.95	

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/ 6.41*	2000/ 0.64*	2100/ -0.54	1100/ 13.18
1200/ 18.24	1300/ 24.40	3000/ 4.00*	3100/ 11.89
3200/ 14.67*	1400/ -41.90	4000/ 2.53*	4100/ 8.35*
4200/ 14.48*	4300/ 23.66	1500/ 73.20*	1600/ 76.68
90017/ 76.68			

==> System inflows (file) at 1.33 hours (Junction / Inflow, cu m/s)

170/ 0.00E+00	100/ 5.18E+00	200/ 3.56E-01	210/ 1.45E+00	110/ 2.25E+00	120/ 2.57E+00
130/ 4.17E+00	300/ 2.50E+00	310/ 5.52E+00	320/ 1.86E+00	140/ 1.47E+00	400/ 2.38E+00
410/ 3.88E+00	420/ 3.79E+00	430/ 6.17E+00	150/ 5.88E+00	160/ 2.49E+00	

CYCLE 800 TIME 1 HRS - 20.00 MIN

JUNCTION / DEPTH / ELEVATION ==> "*" JUNCTION IS SURCHARGED.

170/	0.88 /	8.26	160/	1.15 /	10.15	150/	0.85 /	11.70
430/	1.24 /	15.58	420/	0.82 /	19.45	410/	0.43 /	22.90
400/	0.19 /	39.11	140/	2.35 /	12.70	320/	0.48 /	12.74
310/	1.35 /	15.16	300/	0.38 /	20.13	130/	2.00 /	12.70
120/	1.78 /	12.76	110/	1.57 /	13.18	210/	0.43 /	13.25
200/	0.15 /	15.70	100/	0.57 /	21.87			

CONDUIT/ FLOW ==> "*" CONDUIT USES THE NORMAL FLOW OPTION.

1000/	5.26*	2000/	0.38*	2100/	7.70*	1100/	10.30
1200/	14.49	1300/	19.77	3000/	2.55*	3100/	8.57
3200/	10.53*	1400/	-33.03	4000/	2.39*	4100/	6.39
4200/	10.72*	4300/	18.03	1500/	57.77*	1600/	61.39
90017/	61.39						

```
#####
# Time History of Flow and Velocity #
# Q(cms), Vel(m/s), Total(cubic meters) #
#####
```

EEMOON-Runoff+EXTRAN
2001.7.15

Time	Conduit:	3000	Conduit:	3100	Conduit:	1600
Hr:Mn:Sc	Flow	Veloc.	Flow	Veloc.	Flow	Veloc.
-----	----	-----	----	-----	----	-----
0: 5: 0	0.0656	0.9467	0.0083	0.2403	0.0006	0.0652
0:10: 0	0.2187	1.4617	0.1541	0.7914	0.0084	0.1876
0:15: 0	0.4544	1.6851	0.5077	1.2599	0.0496	0.3812
0:20: 0	1.0337	1.9968	1.3124	1.7812	0.3401	0.8162
0:25: 0	1.8482	2.1554	3.0940	2.3876	2.4300	1.8184
0:30: 0	2.7556	2.2303	5.5503	2.8686	11.7403	3.3508
0:35: 0	3.7767	2.3177	8.4231	3.2457	30.9845	4.8508
0:40: 0	4.7256	2.3850	11.2123	3.5211	48.9593	5.7998
0:45: 0	5.4089	2.5638	13.9383	4.0617	62.8331	6.3588
0:50: 0	5.7323	2.6875	14.6394	4.2237	76.3961	6.8347
0:55: 0	5.6824	2.6704	14.6551	4.2252	82.4341	7.0317
1: 0: 0	5.3175	2.5335	14.5450	4.2060	83.8438	7.0366
1: 5: 0	4.7204	2.3013	13.2800	3.9094	79.7537	6.2355
1:10: 0	3.9950	2.0057	11.8851	3.5751	76.6826	5.6995
1:15: 0	3.2441	1.8191	10.2355	3.4055	69.8344	5.5903
1:20: 0	2.5504	1.6377	8.5651	3.2307	61.3881	5.4986
1:25: 0	1.9779	1.4728	7.0322	3.0478	52.8349	5.4132
1:30: 0	1.5651	1.3432	5.7972	2.8774	45.0997	5.3083
1:35: 0	1.3235	1.2740	4.9242	2.7398	38.4700	5.1518
1:40: 0	1.2335	1.2748	4.4108	2.6505	33.8355	4.9976
1:45: 0	1.2429	1.3205	4.1862	2.6096	30.7217	4.8484
1:50: 0	1.2373	1.3363	4.0679	2.5866	28.9669	4.7404
1:55: 0	0.8063	1.0204	3.4051	2.4400	26.7518	4.6006
2: 0: 0	0.5884	0.8761	2.7239	2.2717	23.4425	4.3931
2: 5: 0	0.3657	0.6638	2.1204	2.0912	19.8714	4.1167
2:10: 0	0.2378	0.5216	1.6358	1.9163	16.6680	3.8521
2:15: 0	0.1654	0.4266	1.3028	1.7717	13.9220	3.6075
2:20: 0	0.1191	0.3539	1.0660	1.6511	11.8320	3.3768

2:25: 0	0 0872	0.2943	0.8897	1.5479	10.1994	3.1881
2:30: 0	0.0642	0.2437	0.7534	1.4576	8.8937	3.0280
2:35: 0	0.0471	0.1995	0.6451	1.3773	7.8315	2.8886
2:40: 0	0.0341	0.1605	0.5572	1.3049	6.9018	2.7470
2:45: 0	0.0242	0.1258	0.4846	1.2389	6.1687	2.6233
2:50: 0	0.0166	0.0951	0.4239	1.1785	5.5397	2.5124
2:55: 0	0.0109	0.0684	0.3727	1.1228	4.9989	2.4124
3: 0: 0	0.0067	0.0461	0.3291	1.0712	4.5176	2.3188
3: 5: 0	0.0039	0.0291	0.2918	1.0234	4.0909	2.2312
3:10: 0	0.0023	0.0191	0.2599	0.9792	3.7244	2 1518
3:15: 0	0.0015	0.0132	0.2324	0.9383	3.4084	2 0797
3:20: 0	0.0010	0.0093	0.2085	0.8999	3.1314	2.0132
3:25: 0	0.0007	0.0067	0.1874	0.8637	2.8845	1.9508
3:30: 0	0.0005	0.0051	0 1687	0.8294	2.6625	1.8919
3:35: 0	0.0003	0.0040	0.1520	0.7965	2.4616	1.8360
3:40: 0	0.0003	0.0033	0.1370	0.7651	2.2446	1.7672
3:45: 0	0.0002	0.0028	0.1234	0.7347	2.0802	1.7116
3:50: 0	0.0002	0.0024	0.1112	0.7054	1.9302	1.6589
3:55: 0	0.0001	0.0020	0.1001	0.6770	1.7923	1.6089
4: 0: 0	0.0001	0.0018	0.0900	0.6494	1.6653	1.5612
4: 5: 0	0.0001	0.0016	0.0808	0.6226	1.5483	1.5156
4:10: 0	0.0001	0.0015	0.0724	0.5963	1.4404	1.4719
4:15: 0	0.0001	0.0014	0.0647	0.5707	1.3407	1.4300
4:20: 0	0.0001	0.0013	0.0577	0.5457	1.2485	1.3897
4:25: 0	0.0001	0.0012	0.0514	0.5211	1.1631	1.3509
4:30: 0	0.0000	0.0011	0.0455	0.4969	1.0840	1.3135
4:35: 0	0.0000	0.0011	0.0402	0.4732	1.0105	1.2774
4:40: 0	0.0000	0.0010	0.0354	0.4497	0.9423	1.2425
4:45: 0	0.0000	0.0010	0.0309	0.4266	0.8788	1.2087
4:50: 0	0.0000	0.0010	0.0269	0.4037	0.8198	1.1759
4:55: 0	0.0000	0.0010	0.0233	0.3812	0.7648	1.1442
5: 0: 0	0.0000	0.0010	0.0200	0.3589	0.7137	1.1134
5: 5: 0	0.0000	0.0010	0.0171	0.3369	0.6661	1.0835
5:10: 0	0.0000	0.0010	0.0144	0.3153	0.6218	1.0545
5:15: 0	0.0000	0.0010	0.0121	0.2942	0.5805	1.0264
5:20: 0	0.0000	0.0010	0.0101	0.2735	0.5420	0.9990
5:25: 0	0.0000	0.0011	0.0084	0.2537	0.5061	0.9725
5:30: 0	0.0000	0.0011	0.0069	0.2353	0.4726	0.9466
5:35: 0	0.0000	0.0011	0.0058	0.2189	0.4413	0.9214
5:40: 0	0.0000	0.0012	0.0049	0.2045	0.4121	0.8969
5:45: 0	0.0000	0.0012	0.0041	0.1915	0.3849	0.8731
5:50: 0	0.0000	0.0013	0.0035	0.1798	0.3595	0.8500
5:55: 0	0.0000	0.0013	0.0030	0.1692	0.3359	0.8276
6: 0: 0	0.0000	0.0013	0.0026	0.1593	0.3139	0.8057
6: 5: 0	0.0000	0.0014	0.0022	0.1500	0.2933	0.7844
6:10: 0	0.0000	0.0014	0.0019	0.1414	0.2740	0.7638
6:15: 0	0.0000	0.0014	0.0017	0.1333	0.2560	0.7436
6:20: 0	0.0000	0.0015	0.0014	0.1257	0.2392	0.7239
6:25: 0	0.0000	0.0015	0.0012	0.1186	0.2233	0.7045
6:30: 0	0.0000	0.0015	0.0011	0.1121	0.2081	0.6852
6:35: 0	0.0000	0.0016	0.0009	0.1063	0.1941	0.6666
6:40: 0	0.0000	0.0016	0.0008	0.1009	0.1810	0.6485
6:45: 0	0.0000	0.0016	0.0007	0.0960	0.1687	0.6306
6:50: 0	0.0000	0.0017	0.0007	0.0915	0.1571	0.6131
6:55: 0	0.0000	0.0017	0.0006	0.0874	0.1465	0.5964
7: 0: 0	0.0000	0.0017	0.0005	0.0838	0.1366	0.5801
7: 5: 0	0.0000	0.0017	0.0005	0.0804	0.1275	0.5644
7:10: 0	0.0000	0.0017	0.0004	0.0773	0.1189	0.5491
7:15: 0	0.0000	0.0017	0.0004	0.0747	0.1110	0.5344
7:20: 0	0.0000	0.0017	0.0004	0.0720	0.1038	0.5202

7:25: 0	0.0000	0.0017	0.0003	0.0697	0.0970	0.5065
7:30: 0	0.0000	0.0017	0.0003	0.0676	0.0907	0.4931
7:35: 0	0.0000	0.0017	0.0003	0.0654	0.0848	0.4802
7:40: 0	0.0000	0.0017	0.0003	0.0635	0.0793	0.4676
7:45: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0618	0.0742	0.4554
7:50: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0601	0.0694	0.4435
7:55: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0586	0.0649	0.4317
8: 0: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0570	0.0606	0.4202
8: 5: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0555	0.0566	0.4090
8:10: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0542	0.0528	0.3979
8:15: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0528	0.0493	0.3870
8:20: 0	0.0000	0.0017	0.0002	0.0518	0.0459	0.3763
8:25: 0	0.0000	0.0017	0.0001	0.0504	0.0428	0.3657
8:30: 0	0.0000	0.0017	0.0001	0.0495	0.0398	0.3553
8:35: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0484	0.0370	0.3451
8:40: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0472	0.0343	0.3350
8:45: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0462	0.0318	0.3251
8:50: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0454	0.0295	0.3153
8:55: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0445	0.0273	0.3058
9: 0: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0436	0.0253	0.2966
9: 5: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0428	0.0234	0.2875
9:10: 0	0.0000	0.0016	0.0001	0.0420	0.0216	0.2788
Mean	0.5700	0.4246	1.6533	0.9751	10.3627	1.9257
Maximum	5.7323	2.6875	14.6551	4.2252	83.8438	7.0366
Minimum	0.0000	0.0010	0.0001	0.0420	0.0006	0.0652
Total	1.881E+04		5.456E+04		3.420E+05	

 CONDUIT SUMMARY STATISTICS *

ERMCON-Runoff+EXTRAN
 2001.7.15

CONDUIT NUMBER	FLOW (CMS)	DESIGN VELOCITY (M/S)	CONDUIT VERTICAL DEPTH (M)	MAXIMUM FLOW (CMS)	TIME OF OCCURRENCE HR. MIN.	MAXIMUM VELOCITY (MPS)	TIME OF OCCURRENCE HR. MIN.	RATIO OF		MAXIMUM DEPTH ABOVE		LENGTH CONDUIT	
								MAX. TO DESIGN FLOW	INV. AT CONDUIT ENDS	UPSTREAM (M)	DOWNSIDE (M)	OF NORM (MIN)	SLOPE (M/M)
1000	1.70E+01	5.06	1.600	6.83E+00	1 0	2.85	1 0	0.40	0.68	2.16	539.6	0.01242	
2000	9.04E+00	3.14	1.600	1.02E+00	0 55	1.90	0 44	0.11	0.28	1.04	247.3	0.00523	
2100	4.55E+01	11.36	2.000	1.99E+01	0 59	21.40	0 0	0.44	1.04	2.16	523.5	0.05500	
1100	2.09E+01	2.11	3.000	1.59E+01	1 0	15.32	0 0	0.76	2.16	2.22	284.0	0.00104	
1200	7.93E+01	2.54	4.600	1.99E+01	0 58	11.64	0 0	0.25	2.22	2.45	379.0	0.00071	
1300	1.53E+02	4.47	4.700	2.63E+01	1 0	1.39	1 3	0.17	2.45	2.80	13.7	0.00210	
3000	1.59E+01	5.20	1.700	5.74E+00	0 50	2.69	0 50	0.36	0.67	2.60	540.7	0.01378	
3100	1.63E+01	3.32	1.700	1.47E+01	0 55	29.53	0 0	0.90	2.60	0.69	0.1	0.00427	
3200	4.50E+01	9.38	1.600	1.82E+01	0 55	5.31	0 55	0.41	0.69	2.80	533.5	0.03537	
1400	6.45E+01	2.88	2.800	-4.64E+01	1 0	-3.01	1 0	-0.72	1.05	2.80	22.8	0.00134	
4000	4.79E+01	10.06	1.700	2.53E+00	1 10	2.90	1 36	0.05	0.19	0.56	546.9	0.04002	
4100	5.53E+01	6.50	2.300	9.75E+00	0 55	3.06	1 0	0.18	0.56	1.16	537.6	0.01129	
4200	3.24E+01	4.46	2.200	1.75E+01	0 55	51.26	0 0	0.54	1.16	1.84	530.8	0.00584	
4300	3.68E+01	5.11	2.000	2.72E+01	0 58	5.25	0 58	0.74	1.84	1.05	170.2	0.00797	
1500	2.79E+02	8.47	3.000	8.07E+01	1 1	6.86	0 58	0.29	1.05	1.43	542.9	0.00974	
1600	2.79E+02	8.45	3.000	8.41E+01	0 58	7.07	0 58	0.30	1.43	1.08	2.2	0.00970	

90017 UNDEF UNDEF UNDEF 8.41E+01 0 58

 * SUBCRITICAL AND CRITICAL FLOW ASSUMPTIONS FROM *
 * SUBROUTINE HEAD. SEE FIGURE 5-4 IN THE EXTRAN *
 * MANUAL FOR FURTHER INFORMATION. *

CONDUIT	LENGTH OF DRY	LENGTH OF SUBCRITICAL FLOW (MIN)	LENGTH OF UPSTR. OF DOWNSTR. CRITICAL FLOW (MIN)	LENGTH CRITICAL FLOW (MIN)	MEAN FLOW (CMS)	TOTAL AVERAGE CHANGE	MAXIMUM FLOW CUBIC MET	MAXIMUM HYDRAULIC RADIUS (MET)	MAXIMUM CROSS SECT AREA (SQ.M)
NUMBER	FLOW (MIN)	FLOW (MIN)	FLOW (MIN)	FLOW (MIN)	(CMS)	CHANGE	CUBIC MET	RADIUS (MET)	AREA (SQ.M)
1000	0.10	549.90	0.00	0.00	0.95	0.0146	3.1411E+04	0.5469	2.3970
2000	0.10	549.90	0.00	0.00	0.10	0.0086	3.2255E+03	0.3783	1.1750
2100	0.00	550.00	0.00	0.00	0.43	0.1807	1.4049E+04	0.6004	3.0054
1100	0.00	550.00	0.00	0.00	1.89	0.0498	6.2476E+04	0.9401	7.2108
1200	0.10	549.90	0.00	0.00	2.41	0.0124	7.9553E+04	1.3832	15.8575
1300	0.20	549.80	0.00	0.00	3.15	0.0162	1.0397E+05	1.5249	19.1194
3000	0.10	549.90	0.00	0.00	0.57	0.0132	1.8769E+04	0.5114	2.1318
3100	0.00	550.00	0.00	0.00	1.65	0.0331	5.4496E+04	0.6554	3.4685
3200	0.10	549.90	0.00	0.00	2.02	0.0148	6.6730E+04	0.6497	3.4381
1400	0.80	549.20	0.00	0.00	-5.42	0.0278	-1.7872E+05	1.2988	15.3857
4000	0.10	549.90	0.00	0.00	0.47	0.0019	1.5566E+04	0.2936	1.0402
4100	0.10	549.90	0.00	0.00	1.28	0.0064	4.2350E+04	0.5886	3.1937
4200	0.00	550.00	0.00	0.00	2.08	0.0196	6.8678E+04	0.7858	4.9510
4300	0.10	549.90	0.00	0.00	3.32	0.0269	1.0972E+05	0.8006	5.1905
1500	0.80	549.20	0.00	0.00	9.79	0.0106	3.2296E+05	0.9972	13.3987
1600	0.20	549.80	0.00	0.00	10.36	0.0110	3.4191E+05	1.0059	13.5421
90017	UNDEFINED	UNDEFINED	UNDEFINED	UNDEFINED	10.36		3 4191E+05		