



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

XP-SWMM모형을 이용한
울산 중구의 태풍 차바 침수해석

Flood Inundation Analysis of Typhoon Chaba
in Ulsan Jung-gu Using XP-SWMM Model

蔚山大學校 大學院
建設環境工學科
朴俊炯

XP-SWMM모형을 이용한
울산 중구의 태풍 차바 침수해석

Flood Inundation Analysis of Typhoon Chaba
in Ulsan Jung-gu Using XP-SWMM Model

指導教授 趙弘濟

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2018年 12月

蔚山大學校 大學院
建設環境工學科
朴俊炯

朴俊炯의 工學碩士 學位論文을 認准함

審査委員長 민 덕 기 (印)

審査委員 김 종 호 (印)

審査委員 조 흥 제 (印)

蔚山大學校 大學院

2018年 12月

감사의 글

2018년 12월
박 준 형 드림

수자원연구실에 들어온 지 3년 6개월이라는 시간이 지나고 뒤돌아보니 시간이 물 흐르듯 자연스럽게 빠르게 흘러갔던 것 같습니다. 석사과정동안 학업에 몰두할 수 있도록 넘치는 격려와 지도를 해주시고, 항상 지지해주시는 조홍제 교수님께 진심으로 감사드립니다. 어리숙하고 부족한 제가 사회에 나가서도 잘하기 위해 졸업하기 직전까지도 항상 신경써주시고 막내아들처럼 생각해주시고 아껴주셔서 감사합니다. 언제나 이 감사한 마음을 간직하며, 앞으로도 살아가는데 많은 조언 감사히 듣고 마음에 새기겠습니다.

바쁘신 와중에도 논문지도를 세심히 지도해주신 민덕기 교수님, 그리고 차분히 부족한 부분을 많이 조언해주신 김종호 교수님께 한없이 감사의 뜻을 전합니다. 그리고 많은 조언과 학문적으로 많은 것을 가르쳐주신 건설환경공학부 모든 교수님들께도 감사드립니다.

연구실에 처음 들어와서 연구보조로 있었을 때 같이 연구하였고 제가 석사과정의 고민에 해결을 주신 강호선 선배님께도 감사드리며, 수자원연구실의 영원한 막내둥이를 아껴주시고, 신경써주신 연구실의 모든 선배님들께 감사드립니다. 먼저 대학원 과정을 하고 계셨던 지문환 선배님께도 언제나 가까이서 많은 조언과 격려, 지도해주신 것에 대한 감사의 뜻을 전하고 싶습니다. 그리고 부족하지 않게 항상 챙겨주시고 아껴주신 친구같은 선배님이신 이은호 실장님께도 감사의 말을 전하고 싶습니다. 학부과정부터 석사과정까지 연구실에 있을 때 항상 함께 웃으며 지내온 진웅이형, 진욱이형, 성민이형, 민수에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다.

건설환경공학부 선배, 동기, 후배님들께 감사드리고 학교를 다니면서 저에게 많은 것을 가르쳐준 PIONEER 선배, 후배님들께도 감사드립니다. 그리고 민수는 이제 석사과정을 시작한다고 하니 잘 마치라는 말을 전합니다.

항상 좋은 추억이 되어주었던 보영이, 현종이, 승준이, 상훈이, 재혁이, 광수, 성원이, 재우, 태규, 승화, 지원이에게도 고마운 마음을 전하고, 익선이, 태현이, 종찬이, 민지, 환진이에게도 고마운 마음을 전하고 싶습니다. 그리고 항상 내편이고 제 이야기도 다 들어주던 영원한 절친 동희에게도 감사의 뜻을 전합니다.

마지막으로 저의 선택에 바른 길로 인도해주시고 적극적으로 지원해주시고 사랑해주신 저희 아버지와 어머니, 누나께도 늘 감사의 마음을 전합니다.

그 동안 저를 아껴주시고 사랑해주신 모든 분들께 진심으로 감사드립니다.

국 문 요 약

XP-SWMM 모형을 이용한 울산 중구의 태풍 차바 침수해석

울산대학교 대학원
건설환경공학과
박 준 형

최근 이상기후로 인하여 우리나라의 강수량과 국지성 집중호우가 증가하고 있으며, 태풍의 빈도는 낮아졌지만 강도가 높아지는 추세를 보이고 있다. 더구나 급격한 도시화에 따른 도시지역의 인구집중과 그에 따른 시가지 및 도로, 편의시설 등이 급증하였다. 따라서 불투수층이 증가함에 따라 도시지역의 유출량이 증가하고, 침투량과 증발량이 감소하는 추세를 보이고 있다. 과거의 침수피해는 하천의 범람, 제방 시설 붕괴 등으로 인한 외수 피해와 관거 및 펌프장의 내수배제능력 부족으로 인한 내수피해가 합한 것이 주 원인이었지만, 최근 도시구역의 침수피해는 대부분이 내수침수 및 범람에 의해 발생하는 특징을 보이고 있다.

2016년 태풍 ‘차바’ 당시 300년 빈도를 초과하는 시간당 104.2mm의 강우가 발생하였으며, 울산에 막대한 침수피해를 야기시켰다.

본 연구에서는 피해현황에 대해 조사하고, 기용역보고서들을 검토하였다. 태풍 ‘차바’ 당시의 CCTV 분석을 실시하여 도시유출모형인 XP-SWMM 모형 모델링을 통해 당시 상황을 재현하고 비교·분석 후 몇 가지 모의조건으로 분석하였다. 그 결과 자연재해로 계획빈도를 초과하는 집중호우 53.6%, 수리구조물의 계획빈도에서 내수배제 개선을 위한 펌프장 미설치 9.3%, 태화·우정시장 상류부 혁신도시 개발사업 18.0%, 태화강 수질보전을 위한 우수토실 설치 1.5%, 유곡천 하구 고지배수로 합류 1.7%, 기타원인 15.9%로 분석결과를 볼 수 있었다. 본 연구에서 제시한 결과는 도심지 내수배제 침수피해 관련 방재 정책을 수립하는 기초자료로 활용가능 할 것으로 기대된다.

목 차

감사의 글	i
국문 요약	ii
목 차	iii
표 목 차	v
그림 목차	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구동향	1
1.3 연구내용 및 방법	2
제 2 장 도시유출모형 이론	3
2.1 합리식(Rational Method Formular)	3
2.2 RRL(Road Research Laboratory Method)	4
2.3 ILLUDAS(ILLinois Urban Drainage Area Simulator) 모형	5
2.4 XP-SWMM 모형	6
2.4.1 XP-SWMM 모형의 개요	6
2.4.2 XP-SWMM 모형의 기본 구조	6
2.4.3 RUNOFF 블록	9
2.4.4 TRANSPORT 블록	13
2.4.5 EXTRAN 블록	14
제 3 장 대상지역의 특성분석	16
3.1 연구대상지역의 일반현황	16
3.1.1 일반현황	16
3.1.2 지형·지질 및 하천현황	17
3.1.3 연구대상지역의 유역현황	20
3.1.4 과거 재해현황	20
3.2 대상유역의 강우분석	23
3.2.1 계획빈도	23
3.2.2 강우의 시간분포	24
3.2.3 유효우량	25
3.2.4 실측 호우사상과 방재성능목표 강우량 설정 비교 및 검토	26
3.3 태화·우정시장일대 침수원인	28

3.3.1 현황 및 개요	28
3.3.2 침수발생 원인	29
3.4 XP-SWMM 모형 구축	30
3.5 대상구역의 관망자료	30
3.5.1 연구대상구역의 관망제원	30
제 4 장 모형의 적용 및 분석	31
4.1 대상구역의 침수모의	31
4.2 모형의 검정 및 보정	33
4.2.1 모형 검정의 개요	33
4.2.2 모형 분석 결과	34
4.2.3 모형 검정 결과	42
4.3 CASE별 분석 개요	42
4.4 침수원인 분석 결과	43
4.4.1 CASE 1 : 자연재해 및 인위적 원인 구분	43
4.4.2 CASE 2 : 펌프장 설치효과	44
4.4.3 CASE 3 : 개발사업의 영향	47
4.4.4 CASE 4 : 우수토실의 영향	49
4.4.5 CASE 5 : 고지배수로 영향	52
4.4.6 CASE 6 : 태화강 외수위의 영향	55
4.5 분석결과 종합	56
제 5 장 결 론	59
참 고 문 헌	61
ABSTRACT	64
부 록	66

표 목 차

표 2.1 합리식의 유출계수(하천설계기준·해설, 2005)	4
표 2.2 XP-SWMM 모형 특성(김윤환, 2007)	6
표 2.3 SWMM의 유출해석 블록 기능비교	8
표 2.4 RUNOFF 블록의 소유역 물리적 특성(Ponce, 1989)	10
표 2.5 토양의 표면상태에 따른 저류 깊이	13
표 3.1 울산광역시 경위도 위치	16
표 3.2 울산광역시 중구 풍수해 현황(2000~2016, 통계연보)	21
표 3.3 동별 1998년~2007년 풍수해 현황(울산광역시 중구 풍수해저감종합계획, 2009)	21
표 3.4 울산광역시 중구 침수피해 현황	22
표 3.5 울산관측소 확률강우량(확률강우량도 개선 및 보완연구(2011, 국토해양부))	24
표 3.6 선행토양함수조건(AMC)의 분류	26
표 3.7 울산광역시 방재성능목표	26
표 3.8 설계지침 및 기준의 구조물별 계획빈도	27
표 3.9 침수피해지역의 관련계획별 계획빈도	28
표 4.1 XP-SWMM 모형 적용 인자	33
표 4.2 침수해석 결과 및 침수흔적도 비교	34
표 4.3 CCTV 및 침수해석 모형 결과	37
표 4.4 CASE별 분석내용	42
표 4.5 CASE 1 분석결과	43
표 4.6 CASE 2 분석결과	44
표 4.7 CASE 3 분석결과	47
표 4.8 CASE 4 분석결과	49
표 4.9 CASE 5 분석결과	52
표 4.10 CASE 6 분석결과	55
표 4.11 자연재해 및 인위적 원인 구분	56
표 4.12 인위적 원인(태풍 ‘차바’ 기준)	57
표 4.13 인위적 원인(수공구조물 계획빈도 기준)	58
부록 표 1 맨홀 및 소유역 제원	66
부록 표 2 우수관거 제원	75

그 립 목 차

그림 2.1 XP-SWMM 모형의 구성	7
그림 2.2 RUNOFF 블록 구성	9
그림 2.3 TRANSPORT 블록의 구성	13
그림 2.4 EXTRAN 블록의 구성	14
그림 3.1 울산광역시 중구 위치도(중구청)	16
그림 3.2 태화강 유역 지질도(태화강 하천정비기본계획(변경) 보고서, 2013)	18
그림 3.3 지질계통도(태화 및 우정 자연재해위험개선지구 지정 타당성조사 및 기본계획 보고서, 2017)	19
그림 3.4 울산광역시 중구 하천현황	20
그림 3.5 2016년 태풍 ‘차바’에 의한 태화·우정동 침수피해 사진	23
그림 3.6 태풍 ‘차바’ 강우분석	25
그림 3.7 태화·우정시장 유역도	28
그림 4.1 XP-SWMM 모형도	31
그림 4.2 XP-SWMM 모형도(중구 태화·우정시장 유역)	32
그림 4.3 태화우정시장유역 침수해석 결과 및 침수흔적도	34
그림 4.4 CCTV 8개소 침수분석 위치도(중구 태화·우정시장 유역)	36
그림 4.5 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과	43
그림 4.6 태화·우정시장 계획빈도(80년) 침수해석 결과	44
그림 4.7 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과	45
그림 4.8 태화·우정시장 태풍 ‘차바’(펌프장설치) 침수해석 결과	45
그림 4.9 태화·우정시장 계획빈도(80년) 침수해석 결과	46
그림 4.10 태화우정시장 계획빈도(80년)(펌프장설치) 침수해석 결과	46
그림 4.11 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과	47
그림 4.12 태화·우정시장 태풍 ‘차바’(개발전) 침수해석 결과	48
그림 4.13 태화·우정시장 계획빈도(50년) 침수해석 결과	48
그림 4.14 태화·우정시장 계획빈도(50년)(개발전) 침수해석 결과	49
그림 4.15 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과	50
그림 4.16 태화·우정시장 태풍 ‘차바’(우수토실철거) 침수해석 결과	50
그림 4.17 태화·우정시장 계획빈도(80년) 침수해석 결과	51
그림 4.18 태화·우정시장 계획빈도(80년)(우수토실철거) 침수해석 결과	51
그림 4.19 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과	53
그림 4.20 태화·우정시장 태풍 ‘차바’(고지배수로분리) 침수해석 결과	53
그림 4.21 태화·우정시장 계획빈도(30년) 침수해석 결과	54
그림 4.22 태화·우정시장 계획빈도(30년)(고지배수로분리) 침수해석 결과	54
그림 4.23 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과	55
그림 4.24 태화·우정시장 태풍 ‘차바’(자유방류) 침수해석 결과	56

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 이상기후로 인하여 우리나라의 강수량과 국지성 집중호우가 증가하고 있으며, 태풍의 빈도는 낮아졌지만 강도가 높아지는 추세를 보이고 있다. 더구나 급격한 도시화에 따른 도시지역의 인구 집중과 그에 따른 시가지 및 도로, 편의 시설 등이 급증하였다. 따라서 불투수층이 증가함에 따라 도시지역의 유출량이 증가하고 기저유출이 감소하며, 침투량과 증발량이 감소하는 홍수피해가능성의 증가로 많은 인명피해와 재산피해 또한 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다.

과거의 침수피해는 하천 및 지천들의 범람, 제방시설의 붕괴, 역류 등으로 인한 외수피해와 관거 및 펌프장의 내수배제능력 부족으로 인한 내수피해가 합한 것이 주 원인이었다면, 최근 도시유역의 침수는 대부분이 내수침수 및 범람에 의해 발생하는 특징을 보이고 있다.

지난 2002년 태풍 ‘루사’, 2003년 태풍 ‘매미’, 2006년 태풍 ‘에위니아’, 그리고 2016년 태풍 ‘차바’ 등에 의해 울산지역에서는 집중호우로 인해 많은 피해가 발생하였다. 2016년 태풍 ‘차바’ 당시 300년 빈도를 초과하는 시간당 104.2mm의 강우가 발생하였으며, 울산 시가지를 비롯한 전역에 막대한 침수피해가 발생하였다.

따라서 본 연구는 도시유출모형인 XP-SWMM 모형을 이용하여 피해현황에 대해 조사하고 태풍 ‘차바’ 당시 상황을 모델링하고 몇 가지 모의조건을 두고 분석하여 적절한 대책 마련을 수립하여 제시하는데 목적을 두고 있다.

1.2 연구동향

최근 이상기후로 인한 강수량과 집중호우가 증가하여 도시지역의 침수피해를 방지하기 위해, 치수대책에 대한 활발한 연구가 국내·외적으로 이루어지고 있다.

1970년대부터 도시유역의 하수시스템 내 유량과 수질을 함께 모의할 수 있는 모형들이 미환경청(U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) 등으로부터 개발되기 시작하였고, 간단한 개념적 모형을 시작으로 복잡한 수리모형 등 많은 도시유출모형이 개발되었다.

1980년대에 접어들면서 개발로 인한 도시유역에 대한 관심이 높아지면서 도시수문학의 중요성이 인지되었다. 1988년에 처음으로 도시수문학심포지엄(한국수문학회, 1988)이 개최된 바 있으며, 한국수자원학회(1996)에서 제 4회 수공학워크숍을 통하여 도시유역의 배수계통의 계획을 위한 SWMM모형을 소개하고 설명한 바 있다. 이종태(1998)는 도시지역이 갖는 하천유역인 서울시 홍제천에 유출 및

수질해석모형인 SWMM, ILLUDAS, STORM, HEC-1 모형을 적용한 결과 SWMM 모형이 가장 적합한 결과를 도출해내었다. 안상진 등(1999)이 SWMM과 ILLUDAS를 비교하기 위하여 청주시 용암지구에 적용한 결과 SWMM모형의 RUNOFF블록과 TRANSPORT블록을 사용한 경우 ILLUDAS보다 실측치에 근접하는 결과를 얻었다. 이호진 등(2011)은 강원도 삼척시 자원동지역을 대상으로 강우자료와 지형자료를 분석하고 하천범람과 내수침수 범위를 수치모의하였고 삼척시에서 제작한 침수흔적도와 비교하여 모의된 침수범위가 조사된 침수범위보다 넓게 분포하는 것으로 나타났으며, 이것은 정밀도와 크게 관련된 것으로 나타났다.

1.3 연구내용 및 방법

본 연구에서는 2016년 10월 5일 태풍 ‘차바’ 당시의 강우와 수위를 근거로 태화·우정시장을 대상으로 하여 2차원 도시유출모형인 XP-SWMM 모형을 적용하였다. 그리고 CCTV영상 분석을 통하여 실제 침수심을 조사·비교하였다. 그리고 우정혁신도시 개발 전·후의 침수심을 같이 비교·검토하였다.

도시유출모형인 XP-SWMM 모형의 구성인 Runoff 블록, Transport 블록, Extran 블록, Storage/Treatment 블록, SWMM의 보조블록에 대한 내용 및 기본 이론을 소개하였으며, 본 연구대상지역의 수리·수문 조사, 과거 침수피해 현황을 조사하였다.

또한 대상지역의 침수피해 원인을 파악하고, 방재시설들의 치수능력을 평가하였다.

제 2 장 도시유출모형 이론

2.1 합리식(Rational Method Formular)

소규모 유역의 강우-유출해석에 사용하는 합리식은 강우-유출관계의 간단하고 보편화된 방법이다. 그리고 미국에서는 Kuiching(1889) 방법으로, 영국에서는 Lloyd-Davies(1906) 방법으로 부르고 있으나 Dooge(1957)에 의하면 Mulvaney(1850)가 최초로 합리식에 관한 논문을 발표한 것으로 알려져 있다.

합리식의 기본 가정은 일정한 강우강도가 불투수면에 강하하면 단위면적당 유출률은 점차 증가하다가 결국 강우강도와 동일하게 되어 평형상태에 도달하게 된다. 평형상태에 도달되는 소요시간은 강우가 내렸을 때 그 유수가 유역 내의 가장 먼 지점으로부터 유역출구까지 도달하는데 소요되는 시간과 같으며 이를 집중시간(time of concentration) 또는 도달시간이라 한다.

합리식은 소규모 유역의 배수구조물 이외의 도시유역 우수관거의 설계유량 산정 등에 많이 사용되고 있다. 이 합리식은 몇 가지 가정사항이 전제되고 있으며 식(2.1)은 다음과 같다.

- 강우강도는 도달시간(집중시간) 내에는 변하지 않고 일정하다.
- 집중시간(도달시간)은 유역 내의 가장 먼 지점에서 유역출구까지 물이 유하하는데 소요되는 시간이다.
- 유역의 유출계수는 강우지속기간 동안 일정하다.
- 침투유량의 재현기간은 일정한 강우강도의 재현기간과 같다.

$$Q = 0.2778 CIA \quad (2.1)$$

여기서, Q : 유역출구에서의 침투홍수량(m^3/sec)
0.2778 : 단위환산계수
 C : 강우로부터 유출되는 비로 정의되는 무차원 유출계수
 I : 강우지속기간 t_c 인 강우강도(mm/hr)
 A : 유역면적(km^2)

유역면적 A 는 수치지도에서 산출하며, 필요의 경우 토지이용 및 식생피복 별로 구분된 면적을 가지고 결정한다.

유출계수 C 는 배수유역의 피복특성에 따라 결정되는 감소계수인 상수이다. 표(2.1)은 하천설계기준·해설(2005, 한국수자원학회)에서 도시유역의 유출계수로 적용하도록 제시하고 있으며, Schwab(1971)가 산지, 초지 경작지 등 자연하천유역에 대해 유출계수를 추천하였다. Ponce(1989)는 유출계수 값의 재현기간이 5~10년인 강수에 대해 추천된 값이며 재현기간이 더 긴 강수에 대해서는 침투량 등

손실강우량이 유출에 미치는 영향이 작아져 유출계수는 더 큰 값을 가지게 되고 설계강우의 재현기간이 10년보다 크면 유출계수 보정그래프를 활용하도록 하였으며, 유출계수는 표 2.1과 같다.

표 2.1 합리식의 유출계수(하천설계기준·해설, 2005)

토지이용		유출계수	토지이용		유출계수		
상업 지역	도심지역	0.70~0.95	차도 및 보도		0.75~0.85		
	근린지역	0.50~0.70	지붕		0.75~0.95		
주거 지역	단독주택	0.30~0.50	잔디	사질토	평탄(2%이하)	0.05~0.10	
	독립주택단지	0.40~0.60			보통(2~7%)	0.10~0.15	
	연립주택단지	0.60~0.75			급경사(7%이상)	0.15~0.20	
	교외지역	0.25~0.40		중토	평탄(2%이하)	0.13~0.17	
	아파트	0.50~0.70			보통(2~7%)	0.18~0.22	
산업 지역	산재지역	0.50~0.80	농경지	나지	급경사(7%이상)	0.25~0.35	
	밀집지역	0.60~0.90			평탄한 곳	0.30~0.60	
공원, 묘역		0.10~0.25			거친 곳	0.20~0.50	
운동장		0.20~0.35		경작지	사질토	작물있음	0.30~0.60
철도지역		0.20~0.35				작물없음	0.20~0.50
					중토	작물있음	0.20~0.40
작물없음	0.10~0.25						
미개발지역		0.10~0.30			관개중인 답	0.70~0.80	
도로	아스팔트	0.70~0.95		초지	사질토	0.15~0.45	
	콘크리트	0.80~0.95			중토	0.05~0.25	
	벽돌	0.70~0.85	산지	급경사 산지		0.40~0.80	
		완경사 산지		0.30~0.70			

강우강도 I 는 유역의 도달시간을 강우의 지속기간(rainfall duration)으로 잡고 설계하고자 하는 소규모 수공구조물의 목적 및 중요도에 따라 강우의 허용 재현기간을 선택하여 강우강도-지속기간-재현기간(IDF) 관계곡선으로 결정한다.

합리식의 경우 2.5~5km² 이하 소규모 유역에서 사용하여야 하며, 유역면적 25km² 이상 유역에는 사용하는 것을 지양하여야 한다.

2.2 RRL(Road Research Laboratory Method)

RRL 또는 BRRL 방법은 영국 도로연구소(British Road Research Laboratory)에서 개발한 모형으로 도시 배수관망의 설계홍수량을 계산하는 방법으로 ILLUDAS 모형 개발의 기초가 되었다. RRL방법은 도시지역의 우수관거에 직접 연결되어 있는 불투수지역의 면적만이 도시유역의 유출에 영향을 준다고 가정한

다. RRL 방법은 대상유역에 대하여 면적-시간곡선을 도출하여 각각 강우강도를 적용하고 각 소유역의 시간별 유출량을 합쳐 유입구에 대한 수문곡선을 작성하는 방법이다. 이 방법의 유출량 계산식은 다음 식 2.2와 같다.

$$Q_j = 0.2778 \sum_{i=1}^j I_j A_{j+1-i} \quad (2.2)$$

여기서, I_j : 우량주상도의 i 번째 시간구간의 강우강도(mm/hr)
 A_{j+1-i} : i 번째 시간의 도달시간을 가지는 소유역의 면적(km²)

또한 관거를 통한 흐름은 저류량을 고려한 Kinematic Wave이론에 근거해 연속방정식 및 Manning 공식을 사용하여 다음 식 2.3과 식 2.4와 같다.

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t + S_1 - \frac{1}{2}O_1\Delta t = S_2 + \frac{1}{2}O_2\Delta t \quad (2.3)$$

$$Q_t = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2.4)$$

여기서, Δt : 추적기간
 I_t : 유입량
 S_t : 저류량
 O_t : 유출량
 A : 단면적
 R : 동수반경
 S_0 : 관로의 경사

이 방법은 도시 소유역의 침투홍수량 계산시 쉽게 적용할 수 있는 방법이지만, 시간-면적곡선을 작성하기 위해 필요한 등유하시간선의 작성법이 명확히 제시되지 않으므로 많은 경험이 필요한 것으로 보인다.

2.3 ILLUDAS(ILLinois Urban Drainage Area Simulator) 모형

ILLUDAS 모형은 미국 Illinois주의 Stall과 Terstriep(1974)가 개발한 도시수문 모형이다. ILLUDAS 모형은 도시유역내의 우수관거 설계를 위한 설계홍수량을 산정하여 관거 설계 및 분석에 사용된다. 도시지역의 우수관거에 직접 연결되어 있는 불투수지역의 면적만이 도시유역의 유출에 영향을 준다고 가정하는 RRL 방법의 단점을 보완하여 우수관거에 직접연결 포장유역, 간접연결 포장유역, 유출에 기여하는 포장유역, 유출에 기여하지 않는 비포장유역 등을 고려하여 관거를 설계하는 모형이다. 또한 관거 설계시 원형관거 뿐만 아니라 직사각형 및 사

다리꼴 단면형에 대한 유출모의가 가능하다.

2.4 XP-SWMM 모형

2.4.1 XP-SWMM 모형의 개요

XP-SWMM(eXPert Stormwater & Wastewater Management Model)은 도시 유역 내의 강우사상으로 인한 홍수량을 산정하는 모형 중 하나이다. 1971년 미국 EPA(Environmental Protection Agency)의 지원을 받아 Metcalf & Eddy사, Water Resource Engineers사 및 Florida대학의 공동연구로 도시 우수 유출과 합류식 관거 범람을 재현할 수 있도록 개발되었다. SWMM모형은 도시유역 내의 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등의 모의가 가능한 종합적인 모형이다.

XP-SWMM모형의 특징은 다음 표 2.2와 같다

표 2.2 XP-SWMM 모형 특성(김윤환, 2007)

구 분	특 징
적용 대상유역	-도시+농촌유역 -인위적 배수계통을 갖는 소유역
시간적 특성	-단일 및 연속강우에 의한 계산 가능 -연산시간 간격은 강우사상에 대해 임의로 조절 가능
공간적 특성	-배수구역의 크기에 관계없이 적용 가능 -배수구역 합성 및 분리 가능
물리적 특성	-강우 및 용설로 인해 유출발생 -지표면유출은 비선형 저류방정식 사용 -침투량 산정시 Horton 또는 Green-Ampt식 사용 -저류 측정방법은 수표면이 평행한 것으로 가정한 수정 Pulse 방법 사용
호 환 성	-HEC, STORM, WASP, DYNHYD, QUAL2E

2.4.2 XP-SWMM 모형의 기본 구조

XP-SWMM 모형은 그림 2.1과 같이 4개의 실행블록과 6개의 보조블록으로 구성되어 있다. 4개의 실행블록은 RUNOFF, TRANSPORT, EXTRAN,

STORAGE 블록이며, 5개의 보조블록은 EXECUTIVE, STATISTICS, GRAPH, COMBINE, RAIN, TEMP 블록이다. 구성도는 그림 2.1과 같으며, SWMM 모형의 유출해석 블록 기능의 비교는 다음 표 2.3과 같다.

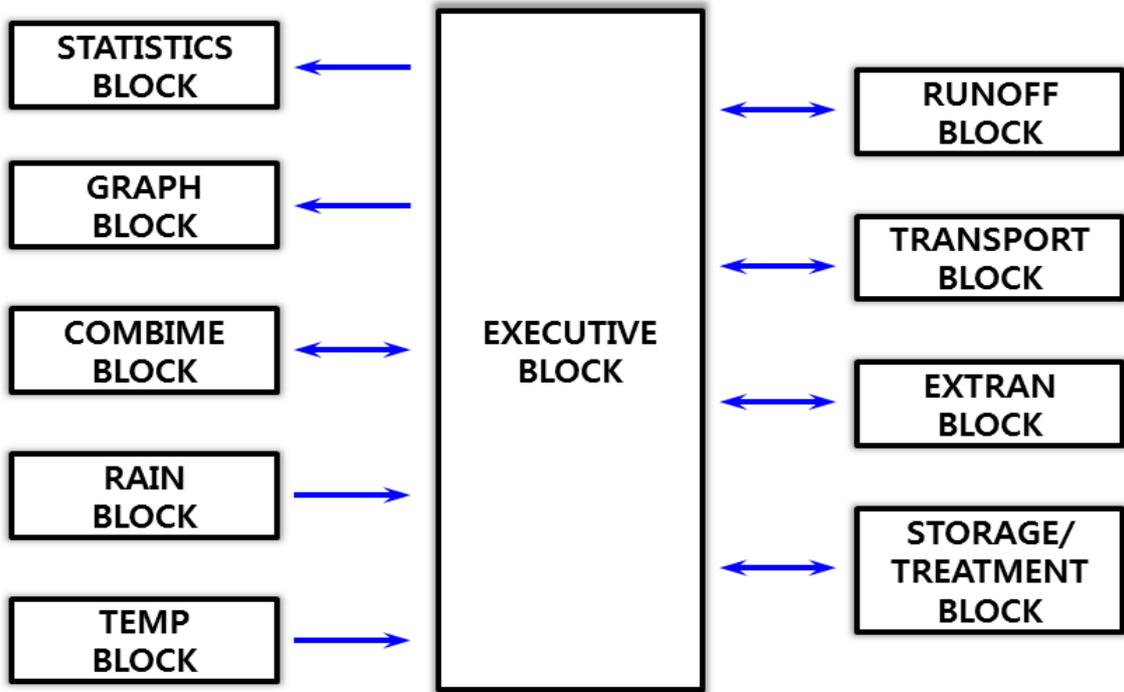


그림 2.1 XP-SWMM 모형의 구성

1) RUNOFF 블록

강우사상에 대하여 배수구역에서의 유출과 수질변화를 모의하며, SWMM 모형에서 초기 연산이 수행되는 부분이다. RUNOFF 블록에서는 임의의 강우량도, 선행강우조건, 토지이용도, 지형도 등의 자료를 이용하여 지표면 및 지표하유출을 모의한다.

RUNOFF 블록에서는 배수시스템의 유량과 오염물을 모의하고, 주 관거에서의 수문곡선과 오염도 곡선을 출력하며, 타 블록에서 입력 자료로 사용 가능하도록 INTERFACE 자료로 구성된다.

2) TRANSPORT 블록

RUNOFF 블록에서 계산된 결과를 입력 자료로 사용하여 강우 및 건기 시 하수시스템 내의 유량과 오염물질을 추적하고, 하수시스템의 침투과정을 모의한다.

3) EXTRAN 블록

EXTRAN 블록은 배수관망시스템 내의 유량 및 수심을 계산하기 위해 개수로

/관수로 등에서 동수역학적 방정식에 의한 흐름을 모의하는 블록이며, 합·분류시스템으로 구성되는 도시 배수유역에 적용하기 위하여 개발되었다.

4) STORAGE/ TREATMENT 블록

유량 및 수질에 대한 조절 및 처리시설의 영향을 평가하며, 단일모의와 연속모의가 모두 가능하다. 이 시설들은 여러 형태로 배열되어 연결되고 부가적으로 각 시설에 대해 가동 및 유지비용 연산이 가능하다. STORAGE 블록에서 저류지 운영 조작기준은 수위와 유량이다.

표 2.3 SWMM의 유출해석 블록 기능비교

No	구분	RUNOFF	TRANSPORT	EXTRAN
1	해석방법	비선형 저류방정식	Kinematic Wave	Saint-Venant eq.
2	관망해석	작음	중간	높음
3	수문곡선의 합성	가능	가능	가능
4	수문곡선의 민감도	작음	높음	높음
5	관로 저류	가능	가능	가능
6	배수 효과	불가	불가	가능
7	역류 현상	불가	불가	가능
8	Surcharge 해석	작음	작음	가능
9	압력류 해석	불가	불가	가능
10	tree 관망해석	가능	가능	가능
11	loop형 관망해석	불가	불가	가능
12	해석 단면형태 수	3개	16개	8개
13	수리구조물 해석	불가	가능	가능
14	기저유량 관내 침투해석	불가	가능	가능
15	오염물질 산정	가능	가능	불가

5) SWMM의 보조블록

1) EXECUTIVE 블록

EXECUTIVE 블록은 다른 실행블록들을 조절하고 블록 간의 자료전송 역할을 한다.

2) GRAPH 블록

다른 블록에서 모의된 결과의 수문곡선과 오염도곡선을 출력한다.

3) COMBINE 블록

선행 결과들을 연속되는 다른 블록의 결과치와 합성하여 보다 큰 배수유역의

로 적용할 수 있도록 INTERFACE 자료를 관리하며, 자료를 ASCII로 변형시킨다. 그리고 INTERFACE 자료 내의 수문곡선과 오염도곡선을 합성하고 SWMM 모형의 메모리를 관리한다.

4) RAIN 블록

강우자료 균을 동시에 10까지 고려할 수 있고, 서로 다른 시간 간격의 강우량 자료 처리가 가능하며, 강우의 시간적, 공간적 분포를 고려할 수 있다.

5) TEMP 블록

기온에 대한 기본 자료로 RUNOFF 블록에서 용설량 계산시 중요한 요소이다. 또한 증·발산량 계산의 기본 자료가 된다.

6) STATISTIC 블록

강우사상에 대한 유역의 유출체적, 평균유량, 첨두유량, 지속시간 등의 인자들과 오염물질 인자들에 대해 Weibul 공식을 이용해 필요한 인자들을 분석한다.

2.4.3 RUNOFF 블록

RUNOFF 블록은 강우사상에 대해 배수유역 유출현상에서의 유량과 수질을 모의하고, SWMM 모형내의 초기연산이 수행되는 부분이며 유출현상을 모의한다. 모형 내의 다른 블록들의 기초자료로 사용되는 수문곡선과 오염도 곡선을 제공하며 배수유역을 단순화된 배수유역과 배수관망으로 재구성하여 해석하는 특징이 있으며, RUNOFF 블록의 구성은 그림 2.2와 같다.

1) RUNOFF 블록 구성

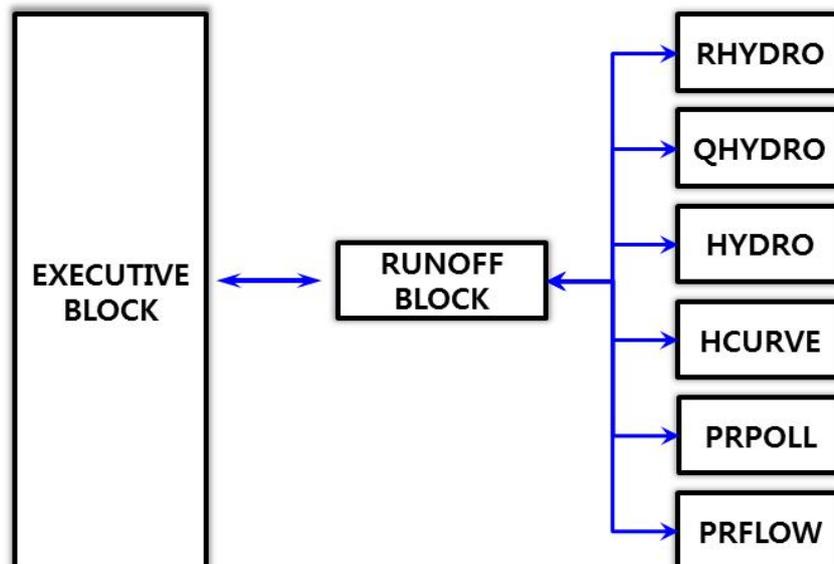


그림 2.2 RUNOFF 블록 구성

- RHYDRO : 강우, 유역특성, 관망자료 등의 입력자료 처리
- QHYDRO : 수질자료 처리
- HYDRO : 주 연산블록으로 각 배수구간의 유출량 및 오염물질 계산
- HCURVE : 수문곡선과 오염도곡선을 출력
- PRPOLL : 수질자료 출력
- PRFLOW : 유출량자료 출력

2) 소유역의 특성인자

소유역의 특성은 5가지로 분류되고, SWMM 모형에서 유역 분할할 때 고려해야 할 특성은 표 2.4와 같다.

표 2.4 RUNOFF 블록의 소유역 물리적 특성(Ponce, 1989)

구 분	특 성
소유역	<ul style="list-style-type: none"> -강우는 시간에 따라 균등하게 분포 -강우는 공간적으로 균등하게 분포 -강우지속기간은 도달시간을 초과 -유출은 주로 지표면유출로 구성 -수로 내 저류의 영향은 무시
분할된 소유역	<ul style="list-style-type: none"> -각 소유역은 유사한 지표면특성을 갖는다. -지표면흐름이 집수로에 유입할 때 지표면에 수직방향으로 유입한다. -유출은 집수로에 유입되며, 다른 유역으로는 흐르지 않는다. -지표면유로의 길이는 지표면 흐름이 집수로와 만나는 거리이다.

소유역과 관련된 입력자료는 소유역의 면적, 불투수지역의 면적, 유역의 평균 경사, 유역폭, 투수·불투수지역의 Manning 계수, 하도 및 관망의 Manning 계수, 지표면저류, 하도 및 관망의 길이, 관경 또는 하도의 폭과 경사, 침수관련 매개변수 등이 있다.

1) 유역면적

소유역은 지형도, 항공사진 등을 이용하여 분리된 균등한 경사, 균질한 토양 등의 일정한 특성을 지닌 배수구역으로 볼 수 있다. 소유역의 면적에 대한 상·하한의 크기는 제한되어 있지 않으나 측정된 유출체적이 측정된 강우 체적을 초과할 경우에는 주의 깊게 검토해야 하는 요소이다.

2) 불투수면적

지역에 따라 분할된 각 소유역의 불투수율을 항공사진과 토지이용도를 이용

하여 정확하게 측정할 수 있다. 단, 이 방법은 시간의 소모가 많아서 해당 유역에서 대표유역을 몇 개 선정하여 세밀하게 측정한 후 나머지 유역 중 토지이용 현황이 유사한 지역을 외삽법으로 보간하는 방법이 일반적이다. SWMM 모형에서의 주의해야 할 점은 불투수유역은 수리학적으로 배수시스템이 직접적으로 연결된 유역만 고려해야 한다는 점이다.

3) 유역경사

소유역에서 경사는 표면유출 유로를 따라 유역 상류 시작부터 하류 유출부까지의 평균길이를 사용한다. 유역의 형태가 단순한 경우 경사는 표고차를 유로길이로 나눈 값이 된다. 그러나 유역의 형태가 복잡한 경우에는 단순하게 계산하기 위해 여러 표면유출 유로를 생략하고, 생략된 유로길이를 가중 값으로 사용하여 전체유역의 경사 값을 결정한다.

4) 유역폭

지표유출은 직사각형 집수유역에서 수로에 대하여 수직하게 흐르는 것으로 가정하고 유역폭은 지표면의 물리적 폭을 말한다. 실제 유역에서는 대칭되고 균등한 사각형의 형태가 없으므로 자연상태의 유역폭을 결정하기 위해서는 고려할 사항이 있다. 유역의 경사와 조도계수가 결정되면 유역폭을 조절하여 유출수문곡선의 형태를 변형시킬 수 있으므로 유역폭의 결정은 중요하다. 유출에 있어서 유역폭이 증가하면 유출은 빠르게 평형상태로 도달하며 지면저류량을 감소시키게 된다. RUNOFF 블록에서 배수유역이 불규칙하고, 수로가 배수유역의 중심부에 위치하지 않을 경우에 무차원 왜곡도계수를 이용하여 직사각형 형태의 유역으로 폭을 보정 후 유출량을 계산한다.

왜곡도 계수의 식은 다음 식 2.5와 같다.

$$S_k = \frac{(A_2 - A_1)}{A} \quad (2.5)$$

여기서, S_k : 왜곡도 계수
 A_1 : 수로를 중심으로 좌안 유역면적
 A_2 : 수로를 중심으로 우안 유역면적
 A : 유역의 전체면적($A_1 + A_2$)

유역폭에 따라 유역 특성이 변화되고 식 2.6과 같다. 유역폭이 결정된 후에는 조도계수와 경사를 이용하여 유역의 유출특성을 보정한다.

$$W = (2 - S_k) \times L \quad (2.6)$$

여기서, W : 유역폭
 L : 주 배수로 길이

5) 조도계수

지표면 상태는 다양하기 때문에 수로에서와 같이 일반적인 Manning 계수 값이 설정되어 있지 않다. 대상유역 지표면의 n 값은 수심, 유량, 또는 Reynolds 수에 영향을 받는다. 소유역을 합성할 경우에는 조도계수는 다음 식 2.7과 같다.

$$\frac{1}{n} = \frac{X}{n_1} + \frac{(1-X)}{n_2} \quad (2.7)$$

여기서, X : 불투수유역의 면적비
 n_1 : 불투수유역의 조도계수
 n_2 : 투수유역의 조도계수

6) 지표면저류

투수유역과 불투수유역에 강우가 내려 지면에 충분하게 저류가 되기 이전에는 지표면유출이 발생하지 않는다고 가정한다. RUNOFF 블록에서는 투수유역에 지면저류된 물은 침투와 증발로 인해 손실되고, 불투수유역에서는 오로지 증발에 의해서만 손실이 발생한다고 본다. SWMM 모형에서 평균지표면 저류 깊이(mm)는 다음 식 2.8로 나타낼 수 있다.

$$\text{평균 지표면 저류 깊이} = X \cdot d_1 + (1-X) \cdot d_2 \quad (2.8)$$

여기서, X : 불투수유역의 면적비
 d_1 : 불투수유역의 지표면 저류 깊이(mm)
 d_2 : 투수유역의 지표면 저류 깊이(mm)

SWMM 모형 내의 지면저류는 유출체적을 보정하기 위한 검증인자로 사용된다. 지면저류 값은 여러 강우사상의 강우량에 대한 유출체적을 나타내므로, 불투수유역에 대한 강우유출 자료에서 얻을 수 있다. 유출이 생기지 않을 때는 강우의 손실 및 차단은 지면저류 된 것으로 본다. 토양의 표면상태에 따른 저류 깊이는 다음 표 2.5와 같다.

표 2.5 토양의 표면상태에 따른 저류 깊이

토양의 표면상태		저류 깊이	
불투수유역	포장된유역	0.13~0.40	
	지붕	수평	0.25~0.80
		경사	0.13~0.25
투수유역	잔디	0.50~1.25	
	수림	0.50~1.50	

2.4.4 TRANSPORT 블록

지표 유출에 관하여 RUNOFF 블록에서 연산된 결과를 기본자료로 사용하며, 강우 및 건기시 하수시스템에서의 유량과 오염물질을 추적하고 하수시스템으로 침투를 계산한다.

TRANSPORT 블록은 24개의 보조블록으로 구성되어 있으며, 주요 블록의 구성은 다음 그림 2.3과 같다.

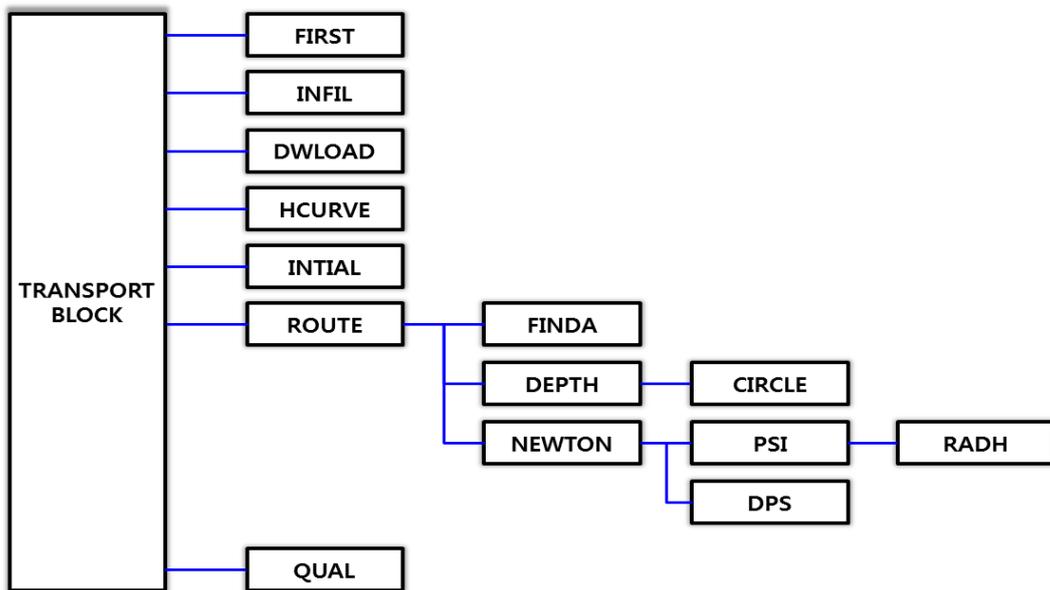


그림 2.3 TRANSPORT 블록의 구성

- INTIAL : 침투와 건기유량의 조건을 초기화하는 블록
- FILTH : 상업, 공업지역에서 수질 및 오염물질의 평균량을 산정
- DWLOAD : 수질을 모의하는 QUAL을 보조하며, 관로에서 오염물질의 침전 누가량을 산정

- ROUTE : 유량에 대하여 추적하는 블록으로 NEWTON 블록을 이용하여 Newton-Raphson 법으로부터 해를 구함
- DEPTH : 관로에서 유량의 수심을 구하는 블록
- FINDA : 유량-면적곡선을 이용하여, 유량을 알고 단면적을 계산
- NEWTON : 유량-면적곡선을 이용하여, Newton - Raphson 법으로 연속방정식을 통해 계수값과 유량과의 적정선을 찾는 블록
- DPS : 일반적으로 무차원 유량-면적의 곡선에서 함수관계를 읽음
- RADH : 관로에서 단면적이 주어졌을때 수리반경을 계산
- QUAL : 수질을 모의하는 블록

2.4.5 EXTRAN 블록

EXTRAN 블록은 샌프란시스코에서 도시유역 유출해석을 위해 Shubinsi(1973)에 의해 개발되었다. 1981년 미 환경청에서는 기존 SWMM 모형의 TRANSPORT 블록을 보완하기 위해 이를 SWMM 모형에 추가하였으며, TRANSPORT 블록과 구분하여 EXTRAN 블록으로 설정하였다. EXTRAN 블록은 기존 도시유출 모형들이 계산할 수 없었던 LOOP형 관망형태의 흐름, 배수, 역류, 압력류 계산과 위어, 오리피스, 저류지, 펌프장 등 흐름 추적계산이 가능하도록 설계된 모형이다. EXTRAN 블록은 배수관망 시스템에서 유량과 수심을 계산하기 위해 개수로와 관수로 등으로 유입되는 RUNOFF 블록 또는 다른 지표면유출 모형의 유입수문곡선으로부터 Dynamic 방정식을 사용하여 추적한다. 이 모형은 합류, 분류, 시스템으로 구성되는 도시배수구역에서 유출현상 모의가 가능하며, 지면수로와 같은 임의의 단면 수로도 사다리꼴로 근사값을 찾아 계산한다. 흐름은 정류로 가정하고 유출해석을 하는 경우 배수곡선을 구할 수 없으므로, 이러한 문제점을 보완하기 위해서 EXTRAN 블록의 흐름을 부정류로 계산하도록 설계되었다.

기본방정식은 1차원 부정류 점변류방정식(St. Venant eq.)인 Dynamic 방정식을 사용하여 수치해석적으로 시간에 대해 전진법인 양해법을 사용한다. 연산 시간간격은 시스템 내의 가장 짧은 수로와 관로를 통과하는 파속의 크기를 고려하여 결정되며 배수시스템은 NODE와 LINK로 구성되어 기존의 유출모형이 관망형태를 수치상 형태로 한정된 점을 보완하였고, LOOP형 배수관망, 위어, 오리피스, 펌프 등 수리구조물로 인한 측방류 유입, 부분적인 압력류 등을 계산이 가능하다.

EXTRAN 블록은 16개의 부 프로그램으로 이루어져 있으며, 그림 2.4와 같다.

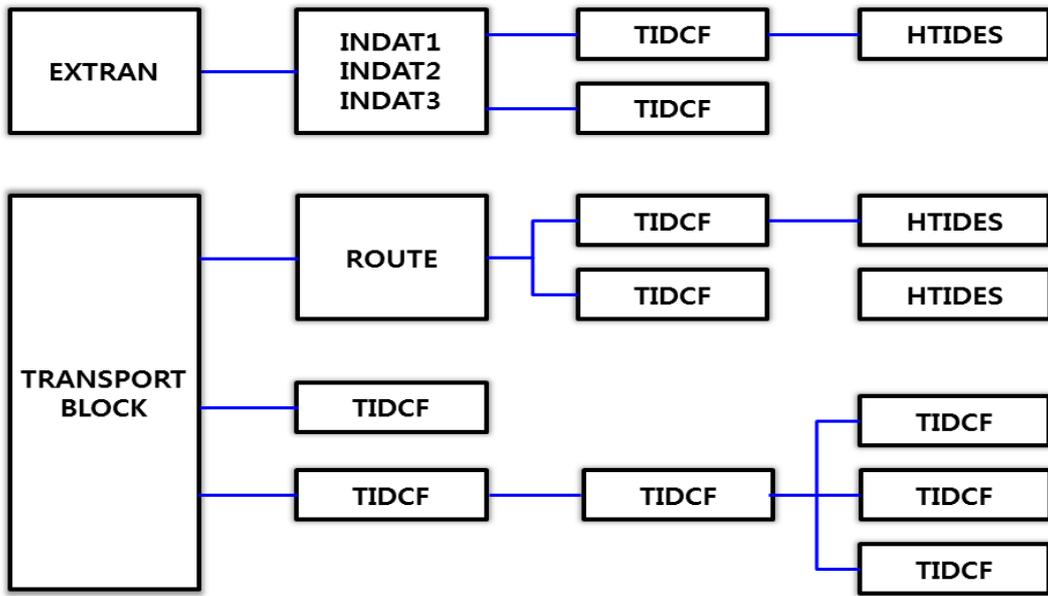


그림 2.4 EXTRAN 블록의 구성

- EXTRAN : 실행 블록
- TRANSX : 주 실행 블록
- X,Y,X ROUTE : 개수로 및 관수로에 적용되는 흐름방정식에 대한 연산을 수행
- INDAT1, INDAT2, INDAT3 : 입력자료를 읽는 블록
- INFLOW : 배수관망 내에서 입력 Node로의 유입수문곡선을 계산
- OUTPUT : 계산된 유출 결과치와 그래프를 출력

제 3 장 대상지역의 특성분석

3.1 연구대상지역의 일반현황

3.1.1 일반현황

연구대상지역이 위치한 울산광역시 중구는 배산임수의 형태로 중구를 대표하는 함월산·입화산 등 산지를 배경으로 시가지가 형성되어 있으며, 남으로는 태화강, 동으로는 동천이 흐른다. 유역의 경위도는 동경 129°15'46" ~ 129°21'20", 북위 35°32'31" ~ 35°35'46" 사이에 위치한다. 울산광역시 중구는 2017년 기준으로 총면적 37km²로서 울산광역시 총 면적의 3.5%를 차지하고 13개의 행정동과 18개의 법정동으로 이루어져 있으며, 경위도의 위치는 표 3.1, 위치도는 그림 3.1과 같다.

표 3.1 울산광역시 경위도 위치

위 치	지 명	경도 • 위도
동 단	중구 병영1동 동천교	동경 129° 21' 20 " 북위 35° 33' 28 "
서 단	중구 다운동	동경 129° 15' 46 " 북위 35° 34' 32 "
남 단	중구 태화동	동경 129° 17' 57 " 북위 35° 32' 31 "
북 단	중구 병영2동	동경 129° 19' 57 " 북위 35° 35' 46 "

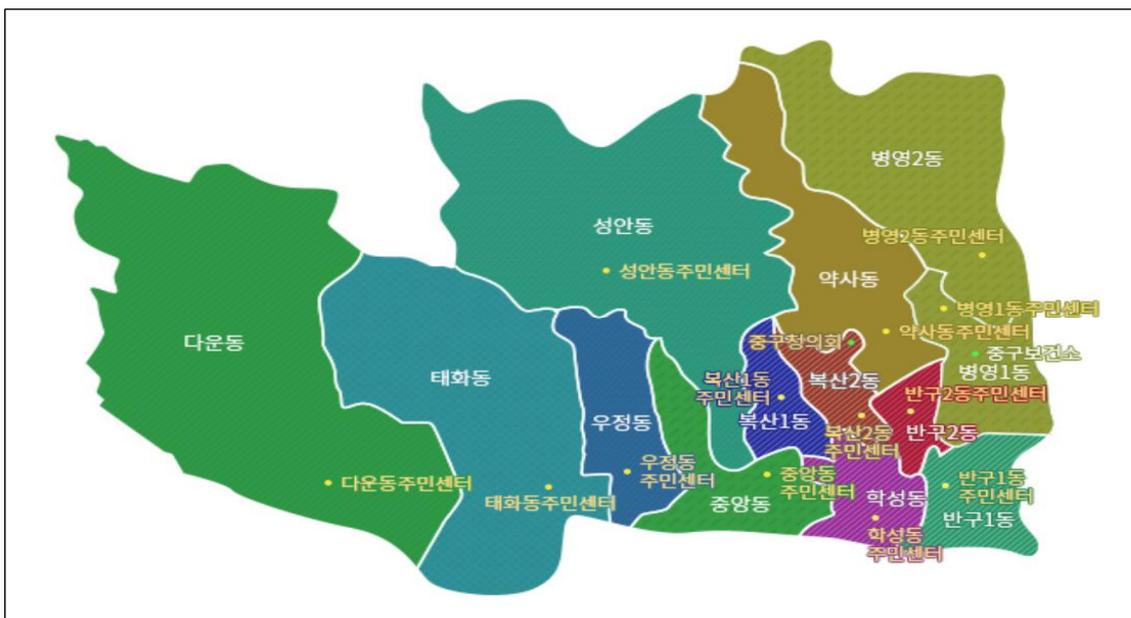


그림 3.1 울산광역시 중구 위치도(중구청)

3.1.2 지형 · 지질 및 하천현황

울산광역시 중구는 태화강수계에 속해 있으며, 태화강은 울주군 상북면 덕현리 가지산에서 발원하여 동쪽으로는 울주군 언양읍을 지나 울산광역시를 통해 흐르며 동해의 울산만으로 유입되는 하천이다. 유역의 북쪽은 형산강수계, 서쪽으로는 낙동강 지류인 양산천수계, 남쪽으로는 회야강수계와 경계하고 있는 동해수계이다.

지질구조는 경상남·북도 일대에 광범위하게 분포하는 상부 쥐라기~백악기에 속하는 경상계 누층 중 일부를 차지하고 있다. 백악기에 속하는 신라통의 퇴적암류는 유역의 남·동부지역에 우세하게 발달되어 있고 화산암류는 동·남서부에 소규모로 분포된다. 산성 화성암류는 서북·북·동남부에, 제 3기에 속하는 안산암류와 역암층은 동부에 비교적 광범위하게 발달되어 있다. 태화강 유역의 지질 분포상 특징은 크게 백악기 퇴적암류, 화산암류 및 화강암류가 전 유역의 90%이상을 차지하고 나머지 잔여부는 제3기 영일통(퇴적암류),과 장기통(화산암류) 및 제4기의 충적층으로 이루어진 한반도 중의 비교적 신생지반에 속하고 있다.

유역의 최하부층인 신라층은 자색 또는 회색셰일, 사암, 이회암, 역암 등의 호층과 이들 암류 중 일부가 백악기 말엽의 화성활동으로 인하여 접촉변질을 받은 Hornfels 등으로 구성된 울산층, 이들 지층을 관입 또는 분출한 신라통 말엽의 석영안산암과 안산편암, 신라통의 누층을 관입한 불국사통의 심성화성암류, 화산암류, 그리고 신라통, 불국사통의 고지층을 관입, 분출 또는 피복하는 제3기의 안산암류 안산암질 응회암 및 역암 등으로 구성되어 있다. 제3기의 정자역암은 비교적 저지대에 퇴적되어 있고, 이들은 울산층의 주향방향에 따라 발달되어 있다.

유역의 지질구조상 특징은 백악기말 이후에서 제3기 마이오세 이전에 판구조론 상 서북 태평양의 지체구조와 관련되어 형성된 우리나라에서 신기단층 중 하나인 양산단층이 대체로 N20W의 방향을 따라 유역의 서쪽에서 화강암류와 신라층군의 퇴적암류들이 서로 단층 접촉하고 있다. 또한 양산단층의 동·서쪽에는 본 단층과 방향성이 비슷한 밀양단층과 동래단층이 발달하고 있으며, 양산단층은 최근 활성단층으로 연구보고되었다. 지질도는 다음 그림 3.2와 같으며 지질계통도는 다음 그림 3.3과 같다.

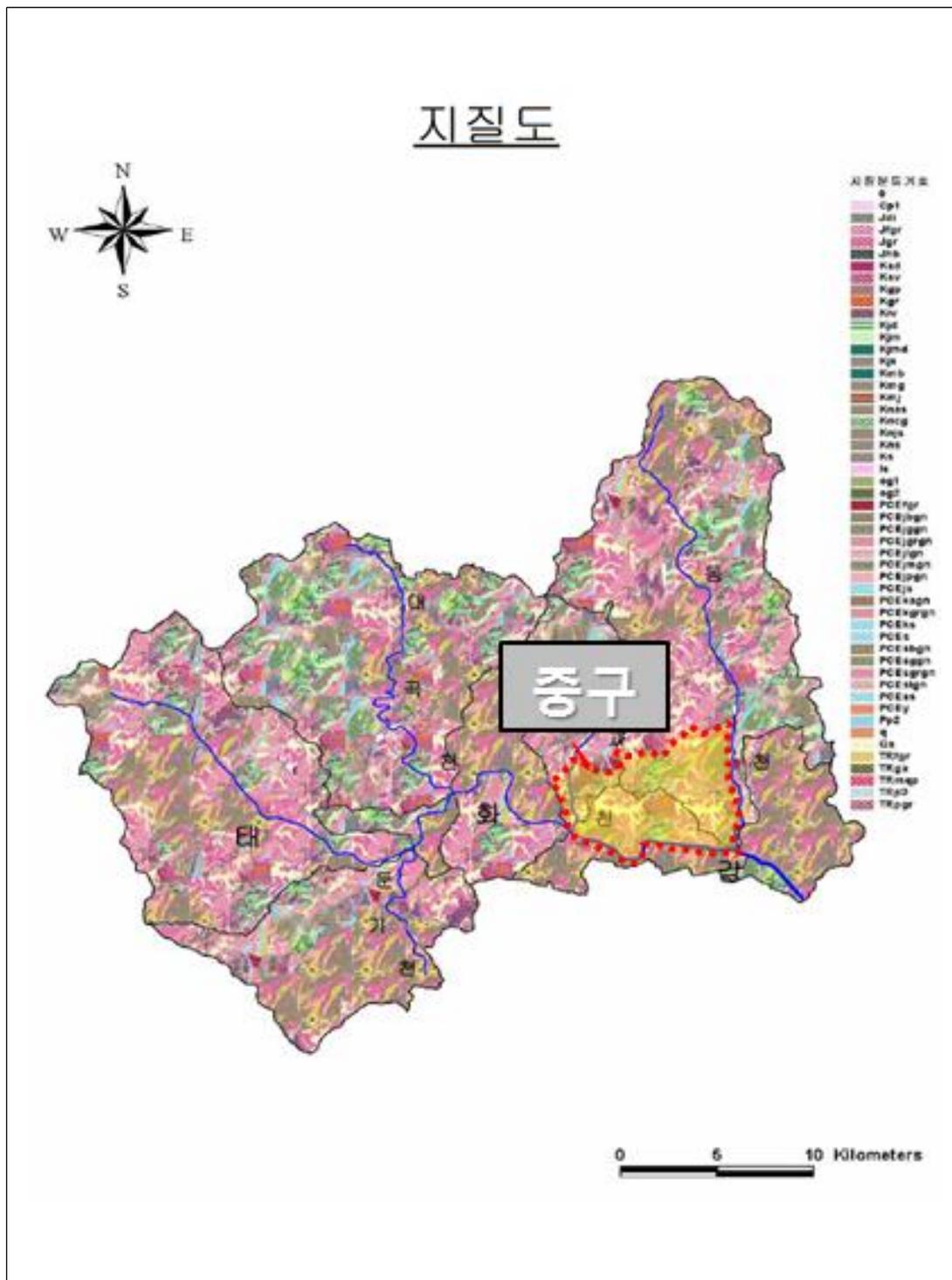


그림 3.2 태화강 유역 지질도(태화강 하천정비기본계획(변경) 보고서, 2013)

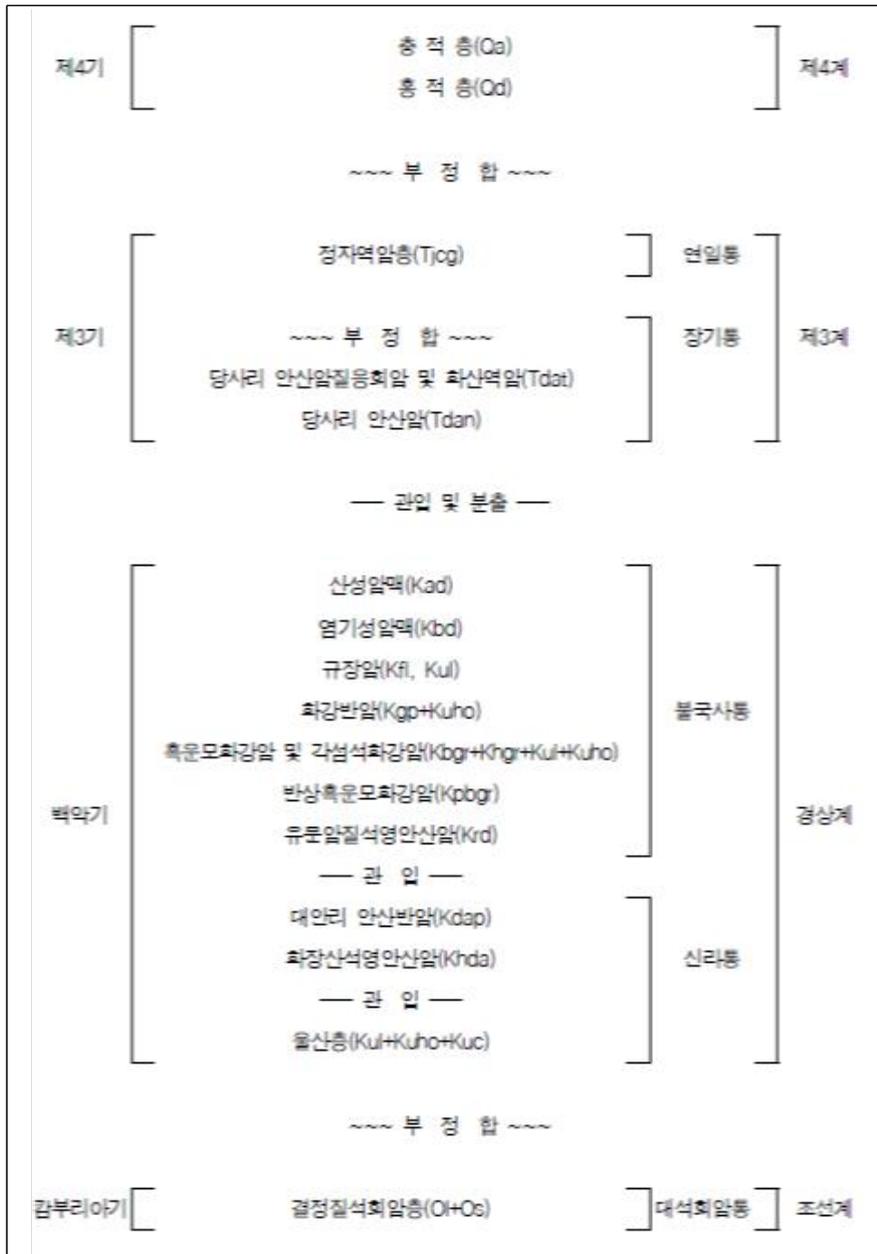


그림 3.3 지질계통도(태화 및 우정 자연재해위험개선지구 지정 타당성조사 및 기본계획 보고서, 2017)

중구 관내 하천은 국가하천인 태화강 1개소(8km), 지방하천인 동천 및 유곡천 등 7개소(21.3km), 소하천인 유곡천 및 사곡천 등 8개소(6.8km)으로 이루어져 있다. 국가하천인 태화강은 중구의 주요하천으로 중구와 남구를 사이로 흐르고 있으며 북구와 동구 경계를 따라 지방하천인 동천이 흐르고 있다. 동천은 태화강으로 유입되어 동해안으로 빠져나간다. 울산광역시 중구의 하천현황은 다음 그림 3.4와 같다.

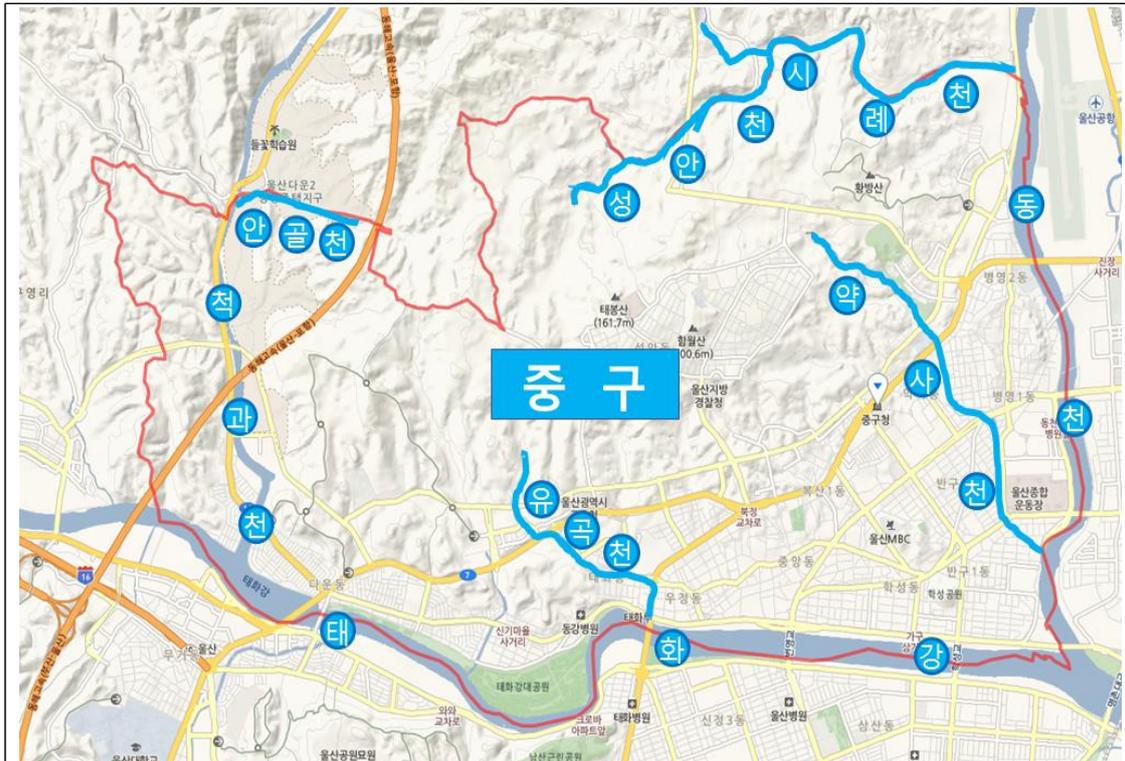


그림 3.4 울산광역시 중구 하천현황

3.1.3 연구대상지역 유역현황

본 연구대상지역은 울산광역시 중구 태화·우정동 일원으로 중구 혁신도시 개발사업지구를 포함한 태화강 주변의 구도심 개발이 완료된 시가화지역과 북측의 산지, 태화강변의 개발제한구역으로 나뉘어져 있다.

3.1.4 과거 재해현황

2000년도부터 2016년도까지 총 17년간의 울산광역시 중구의 피해현황을 재해연보를 근거로 하여 피해유형별로 정리하였으며, 표 3.2와 같다.

1998년도부터 2007년도까지 울산광역시 중구 풍수해저감종합계획(2009)를 근거로 하여 동별 풍수해 현황에 대해 정리하였으며 표 3.3과 같다.

표 3.2 울산광역시 중구 풍수해 현황(2000~2016, 통계연보)

연도	지역	이재민 (명)	인명 피해 (명)	침수 면적 (ha)	피해액(백만원)					
					건물	선박	농경지	공공 시설	기타	소계
2000	중구	-	1	-	5	-	-	94	12	111
2001	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	중구	-	-	-	-	-	-	107	14	121
2003	중구	63	3	-	90	-	-	1,119	26	1,235
2004	중구	-	-	-	-	-	-	13	-	13
2005	중구	1	-	-	29	-	-	213	127	370
2006	중구	-	-	-	-	-	-	-	41	41
2007	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	중구	1	1	-	-	-	-	-	1.87	1.87
2009	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	중구	1	-	2.3	-	-	-	-	-	-
2013	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	중구	1	-	0.7	-	-	-	-	17	17
2015	중구	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	중구	934	1	52.5	255.6	-	415.9	3,399	100.5	4,171
평균	중구	59	-	3.4	22.3	-	24.5	290.9	20	357.7

1998년부터 2007년까지 울산광역시 중구에 발생한 동별 풍수해 현황을 조사한 결과이다.

표 3.3 동별 1998년~2007년 풍수해 현황(울산광역시 중구 풍수해저감종합계획, 2009)

행정구역	산사태 사면붕괴		하천		내수침수		토사유출		풍해		기타		계	
	건	피해액	건	피해액	건	피해액	건	피해액	건	피해액	건	피해액	건	피해액
학성동									2	32,000			2	32,000
반구1동									3	21,900			3	21,900
반구2동														
북산1동														
북산2동									4	9,581			4	9,581
북정동	1	16,832							7	165,524			8	182,356
옥교동														
성남동									1	805,538			1	805,538
우정동	1	8,144											1	8,144
태화동									16	65,163	1	34,460	17	99,623
다운동			1	68,282					3	13,018			4	81,300
병영1동									1	14,300			1	14,300
병영2동	3	128,607							3	23,234			6	151,841
약사동			1	4,460					1	7,000			2	11,460
총합계	5	153,583	2	72,742					74	1,157,258	1	34,460	49	1,418,043
비율	10.2	10.9	4.1	5.1					83.7	81.6	2.0	2.4	100	100
순위	2		3						1		4			

1) 주요 침수피해 현황

울산광역시 중구의 침수피해현황을 조사해본 결과, 태풍 및 집중호우로 인해

피해가 가장 많이 발생하였으며, 집중호우 발생시 외수 및 내수배제 불량에 의한 침수가 주요 원인으로 나타났다. 울산광역시 중구 침수피해에 대한 내용은 표 3.4와 같으며, 2016년 태풍 ‘차바’에 의한 태화·우정시장 침수피해사진은 그림 3.5와 같다.

표 3.4 울산광역시 중구 침수피해 현황

재난피해	발생일시	피해현황	피해내용
태풍 글래디스	1991.08.22.	강우량 : 547mm	- 태화강둔치 침수 - 종합운동장 앞 도로 침수 - 반구동 저지대 침수
태풍 예니	1998.09.29.~2010.01	강우량 : 234mm	- 태화강둔치 침수 - 종합운동장 앞 도로 침수
태풍 루사	2002.08.10	강우량 : 428mm	- 태화강둔치 침수 - 종합운동장 앞 도로 침수
태풍 나비	2005.09.06	강우량 : 400mm	- 태화강둔치 침수 - 종합운동장 앞 도로 침수
태풍 에위니아	2006.07.09.~07.10	강우량 : 253mm	- 태화강둔치 침수 - 종합운동장 앞 도로 침수
집중호우	2008.07.26	강우량 : 67mm	- 건물 3동 침수(0.3ha)
집중호우	2014.08.18	강우량 : 211.6mm	- 건물 4동 침수(0.81ha)
태풍 차바	2016.10.05	강우량 : 266mm	- 사망 1명 - 건물 450동 침수(11.5ha)



태화동 주민센터 부근



우정동 우정시장



태화동 태화시장



태화동 LG베스트샵 부근

그림 3.5 2016년 태풍 '차바'에 의한 태화·우정동 침수피해 사진

3.2 대상구역의 강우분석

3.2.1 계획빈도

강우현상은 기상형태나 지형요소에 의해 지속적으로 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하기는 어렵기 때문에 수문학적인 해석은 해당지점의 과거부터 현재까지의 관측 자료들을 근거로 통계학적인 기법을 사용하고 있다.

2016년 10월 5일 발생한 태풍 '차바'는 시간당 104.2mm의 집중호우로서 설계기준인 "확률강우량도 개선 및 보완연구(2011, 국토해양부)"에서 울산지역의 확률강우량과 비교하였을 때 시우량 300년 빈도 이상, 3시간 강우량 500년 빈도 이상에 해당된다.

태풍 '차바'의 빈도 및 "확률강우량도 개선 및 보완연구(2011, 국토해양부)"에서 제시한 울산지역의 확률강우량은 다음 표 3.5와 같다.

표 3.5 울산관측소 확률강우량(확률강우량도 개선 및 보완연구(2011, 국토해양부))

재현 기간	확률강우량(mm)							
	60분	120분	180분	240분	540분	720분	1080분	1440분
30년	72.0	105.1	129.7	149.8	217.7	244.1	280.2	303.2
50년	78.5	114.9	141.6	163.3	237.1	266.2	306.3	332.1
80년	84.4	123.6	152.3	175.8	255.5	286.9	330.4	358.3
100년	87.3	127.8	157.4	181.6	263.8	296.3	341.4	370.5
200년	95.9	140.5	173.2	199.9	290.7	326.5	375.7	407.0
300년	101.0	147.9	182.3	210.5	306.3	343.9	395.7	428.5
500년	107.5	157.5	194.1	223.9	325.4	365.6	421.4	457.2
태풍차바	104.2	-	203.3	-	-	-	-	-

침수피해가 발생한 울산광역시 중구 관련계획에서는 태화·우정시장 일원에 유곡천이 80년 빈도, 우수 간선관거 30년 빈도, 펌프장 30년 빈도, 저류지 50년 빈도 등이 계획되어져 있는 것으로 확인되었다.

3.2.2 강우의 시간분포

태풍 ‘차바’의 강우 분포는 Huff분포 3분위와 유사한 형태로 나타나고 있으며, “확률강우량도 개선 및 보완 연구(2011, 국토해양부)”에서 우리나라 대부분의 강우분포 형태가 Huff분포 2분위 및 3분위로 나타난다고 명시되어 있다. 태풍 ‘차바’의 강우주상도와 울산지역의 80년 빈도 Huff분포 3분위를 비교한 그림은 다음 그림 3.6과 같으며, 울산지역 80년 빈도 강우지속시간은 태풍 ‘차바’ 강우지속시간과 동일한 지속시간을 적용하였다.

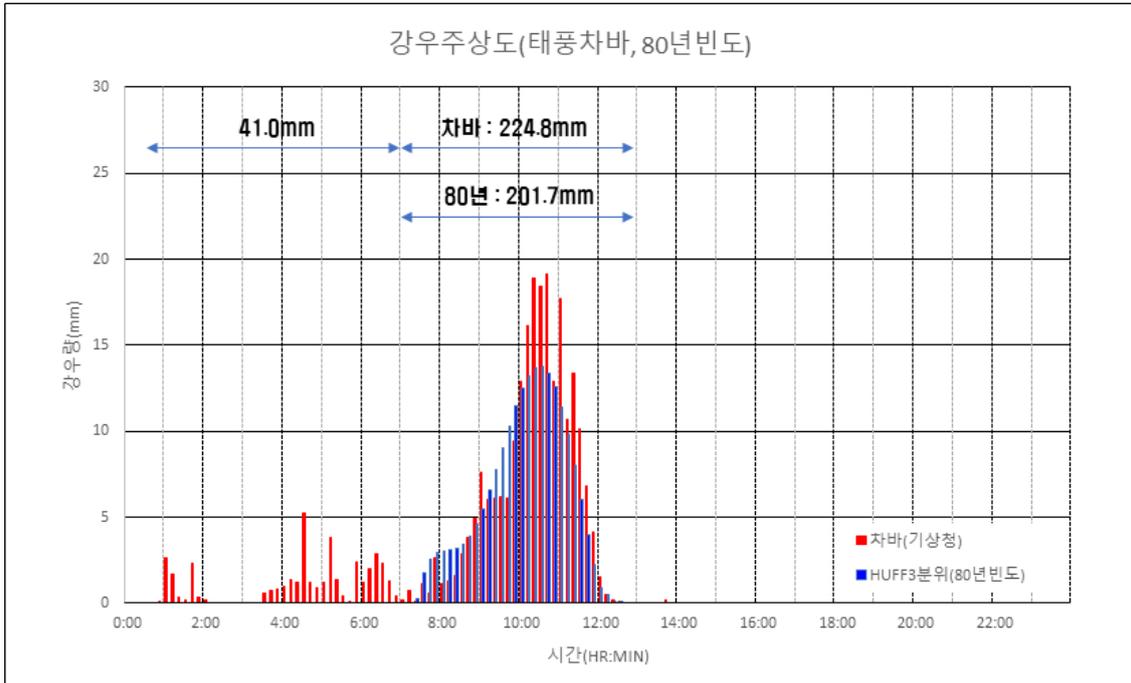


그림 3.6 태풍 ‘차바’ 강우분석

태풍 ‘차바’ 시간분포 형태를 검토한 결과 주 강우지속시간은 320분으로 224.8mm의 강우가 발생하였으며, 선행강우가 약 41.0mm 발생하였다. 강우의 집중시간은 10시 10분부터 11시 10분 사이에 약 104.2mm의 강우가 발생하였으며, 이때 발생한 강우에 의해 대부분의 침수피해가 발생한 것으로 확인되었다.

3.2.3 유효우량

유역의 유출능력은 선행함수량의 크기에 따른 선행토양함수정도에 크게 영향을 받으며, 실무에서 주로 적용하고 있는 미토양보존국(NRCS)의 유효우량 산정 방법에 의하면 유역의 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition; AMC)을 5일 선행강수량의 크기에 따라 AMC-I, AMC-II, AMC-III의 세 가지로 분류하고 있다. 우리나라의 경우 비성수기는 대략 10월~5월, 성수기는 6월~9월로 간주할 수 있으며, AMC-I, II, III의 순으로 토양의 수분함유량이 크므로 유역의 유출률은 높은 것임을 알 수 있다. 선행토양함수조건의 분류는 다음 표 3.6과 같다.

태풍 ‘차바’의 선행강우량은 약 41.0mm가 발생하였으며, 이는 AMC-III 조건에 해당하는 높은 유출률이 발생한 것으로 나타났다.

표 3.6 선행 토양함수조건(AMC)의 분류

AMC group	초기함수상태	5일 선행 강수량, P5 (mm)	
		비성수기	성수기
I	매우 건조함	$P5 < 12.70$	$P5 < 35.56$
II	보통임	$12.70 < P5 < 27.94$	$35.56 < P5 < 53.34$
III	매우 포화되어 있는 상태	$P5 > 27.94$	$P5 > 53.34$

3.2.4 실측 호우사상과 방재성능목표 강우량 목표 설정 비교 및 검토

최근 이상기후로 인해 한반도에 발생하는 강우의 형상과 특성이 과거와는 다르게 변화하고 있는 추세이다. 따라서 “재연재해대책법 제16조의2(지역별 방재성능목표 설정운용)”를 참고하여 울산시에서 공고(제2012-1276호, 2012)한 강우량을 본 연구의 방재성능 목표로 두었다. 방재성능목표란 홍수, 호우 등으로부터 재해를 예방하기 위한 방재정책 등에 적용하기 위해 처리가능한 시간당 강우량 및 연속강우량의 목표이다. 태풍 ‘차바’의 강우량은 울산광역시 방재성능목표를 상회하는 강우량이다. 울산광역시 방재성능목표에 대한 내용은 다음 표 3.7과 같다.

표 3.7 울산광역시 방재성능목표

구 분	지속기간별 강우량(mm)		
	60분	120분	180분
방재성능목표 강우량(재현기간 30년)	75.0	110.0	130.0

수리구조물의 규모를 산정하기 위해서는 각 지침에서 수리구조물의 중요성에 따라 계획빈도를 선정하도록 하고 있으며, 각 설계기준의 수리구조물 계획빈도는 다음 표 3.8과 같다.

표 3.8 설계지침 및 기준의 구조물별 계획빈도

구 분	계 획 빈 도	
하천설계기준 및 해설 (2009)	배수로	20이상
	배수펌프	20이상
	유수지 및 저류지	20이상
	국가하천	100~200
	지방하천	50~200
	홍수조절용 저류지	50~SPF
하수도시설기준(2005)	하수관거	5~10
하수도시설기준(2011)	하수관거	10~30
	빗물펌프장	30~50

태풍 ‘차바’는 수리구조물의 계획빈도를 상회하는 집중호우이며, 계획빈도를 상회하는 강우로 인한 침수피해에 대해서는 수리구조물의 통수능을 초과하는 강우이므로 이는 자연재해로 간주할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 각 수리구조물의 계획빈도 개념을 적용하여 계획빈도를 상회하는 침수량은 ‘자연재해’로 간주하고 계획빈도 내에서 발생하는 침수에 대해서는 ‘인위적 원인’으로 간주하였다.

아울러 침수피해가 발생한 울산광역시 중구는 유역 내 수리구조물의 계획빈도가 상이하고 적용된 확률강우량의 산정방법이 상이한 것으로 확인되었다. 따라서 침수피해가 발생한 유역의 수리구조물을 포괄할 수 있는 계획빈도를 적용하여 자연재해 및 인위적 원인으로 구분하였다.

또한 각 관련계획에서 적용된 확률강우량이 상이하여 계획빈도 확률강우량 적용 시 일관된 확률강우량의 적용이 필요하다. 따라서 정부에서 제정한 “확률강우량도 개선 및 보완 연구(2011, 국토해양부)”의 울산지역 확률강우량을 적용하여 자연재해 및 인위적 원인으로 구분하였다. 울산광역시 중구 일원의 관련계획에 적용된 확률강우량은 다음 표 3.9와 같다.

표 3.9 침수피해지역의 관련계획별 계획빈도

구 분	수리 구조물	설계 년도	계획 빈도	설계홍수량 산정방법	설계홍수량 (m3/s)	적용 확률강우량 (시우량)	시간 분포
유곡천 기본계획 (2006)	하구	2006	80년	Clark단위도	83.0	국토교통부(2000) 85.86mm	HUFF 2분위
	펌프장				65.0		
내공사, 혁신도시개발사업 (2007~2012)	저류지	2010	50년	SCS단위도	37.4	66.5mm (자체산정)	HUFF 4분위
중구청, 추가저류지 (2013)	저류지	2013	50년	SWMM모델	설치전 : 34.2 설치후 : 24.5	77.5mm (자체산정)	HUFF 3분위
	유곡천하구	2013	80년	SWMM모델	97.5		

3.3 태화·우정시장일대 침수원인

3.3.1 현황 및 개요

태화·우정시장 유역은 지방하천인 유곡천이 위치하고 있으며, 유곡천 중·상류 부에는 2007~2012년까지 우정혁신도시 개발사업이 시행되었고, 기존 농경지 및 산지유역이 개발사업에 따라 도시화되었다. 태화·우정시장 유역의 면적은 5.65km²이며, 태화·우정시장의 유역도는 그림 3.7과 같다.

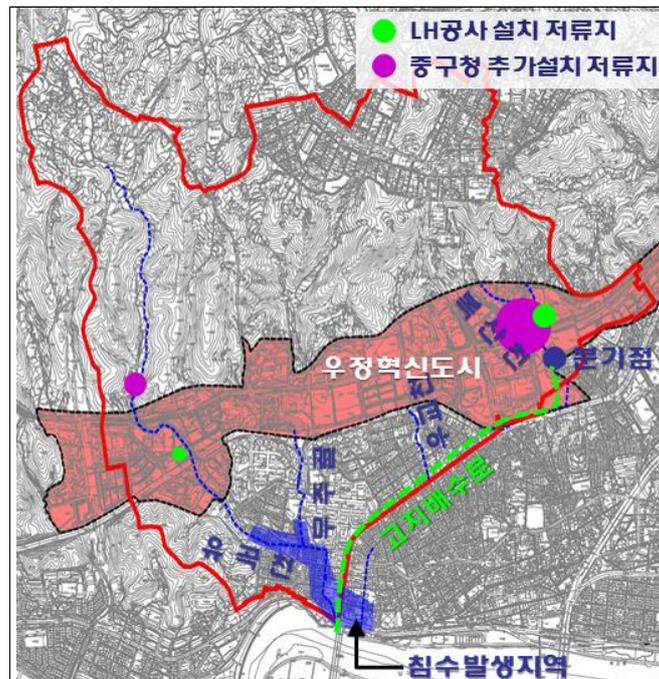


그림 3.7 태화·우정시장 유역도

3.3.2 침수발생 원인

태풍 ‘차바’가 발생한 직후 국립재난안전연구원에서는 현장 초동조사를 실시한 바 있으며, 주요 침수원인으로는 자연적 원인과 인위적 원인으로 제시하고 있다. “국립재난안전연구원 현장 초동조사”에 대한 내용은 다음과 같다.

* 국립재난안전연구원 초동 현장조사

1. 침수개요

10월 5일 약 11시부터 침수가 시작되었고, 최대침수심은 약 1.6m

2. 침수원인

① 자연적 원인

- 500년 빈도 이상의 역대 최대 강우량
- 급한 하상경사로 인한 홍수량의 집중과 만조위로 인한 태화강 수위상승

② 인위적 원인

- 하천복개로 인한 배수불량
- 저류지 구조적 문제로 인한 지체효과 미흡
- 위험경보 미발령

③ 기타 원인

- 저지대 개발, 내수배제시설 미비, 규제완화 등

또한 울산광역시 중구에서 수행한 “울산 중구 태풍 차바 홍수피해 원인분석 및 방지대책 수립용역(2018)”에서는 태화·우정시장 유역의 주요 침수피해원인에 대하여 다음과 같이 명시하고 있다.

- 우정혁신도시 개발사업으로 인한 저감효과 설치 미흡
- 복산천 고지배수로 합류로 인한 병목현상
- 유역 내 우수관거 통수능 부족

본 연구에서는 수공구조물의 계획빈도 개념을 적용하여 침수피해 원인에 대해 ‘자연적 원인’ 및 ‘인위적 원인’으로 구분하여 설정하였으며 다음과 같다.

- 계획빈도 이상의 강우 : 시우량 300년 빈도 이상, 3시간 강우량 500년 빈도 이상
- 내수배제 불량(펌프장 미설치)
- 우정혁신도시 개발사업 : 재해저감시설 미비
- 우수토실 설치 : 태화강 수질보전을 위하여 유곡천 하류부에 설치된 우수토실로 인한 수리적 영향
- 고지배수로 합류 : 유곡천 하류부와 고지배수로 합류부에서 발생하는 병목현상
- 기타 : 태화강 외수위, 고무판으로 인한 관거 유입구 차단

3.4 XP-SWMM 모형 구축

본 대상지역은 도시유역이며, 도시유출해석 모형에서 널리 사용되고 있는 모형의 종류는 BRRL 모형, ILLUDAS 모형, SWMM 모형 등이 있다.

BRRL 모형은 관거의 저류효과를 고려하지 못하며, 시간-면적곡선 작성시에 등시간선의 작성에 일관성이 없어 유출량 산정시 주관적인 결과를 나타내고 있다. 관로의 홍수추적이 없으므로 저류 및 홍수파 등의 유출특성을 반영할 수 없는 단점을 지니고 있다.

ILLUDAS 모형은 우수관거시스템을 고려하는 장점을 가지고 있으나 관거의 흐름을 등류로 가정하기 때문에 관로내의 수심 변화나 배수효과 및 각종 수리구조물의 모의를 포함하는 유출해석을 할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

SWMM 모형은 도시유역의 유출량 산정, 우수관거 추적, 저수지 추적 등을 통해 우수관거와 저류지 설계 등과 같은 수량부분과 더불어 수질부분까지 분석 가능한 종합적인 모형이다. 기존의 모형에서 구현할 수 없는 우수관거 통수능을 초과할 경우의 월류현상, 하류 배수영향을 받는 조건 및 각종 수리구조물을 포함하는 조건에서의 해석 등이 가능하므로 기존 모형의 한계를 대부분 극복 가능한 우수한 모형이다.

본 연구에서는 태풍 '차바'로 인한 침수피해원인을 분석하기 위해 도시지역의 복잡한 우수관망 및 각종 수리구조물의 영향을 포함하는 유출해석과 2차원 침수해석 모델인 XP-SWMM모형을 적용하여 분석을 실시하였다.

3.5 대상유역의 관망자료

3.5.1 연구대상유역의 관망제원

대상유역의 침수구역과 수공구조물을 통한 침수해소 및 유출저감효과를 검토하기 위한 XP-SWMM 모형 입력자료의 현황은 부록에 참조하였다.

제 4 장 모형의 적용 및 분석

4.1 대상구역의 침수모의

본 연구의 침수원인분석 대상구역인 태화·우정시장 유역은 지방하천인 유곡천이 태화시장 중심부를 지나며, 태화·우정시장 우측 유역은 고지배수로가 합류하여 유곡천 하류부에서 합류되어 태화강으로 방류된다. 그 외의 주요 간선관거로는 무주골 및 우교천 등이 있다.

재해저감시설로는 유곡천 상류부 저류지 2개소, 복산천 상류부 저류지 2개소 등이 위치하고 있다. 태화·우정시장 유역의 관망구성에 대한 관망도는 다음 그림 4.1과 그림 4.2와 같다.

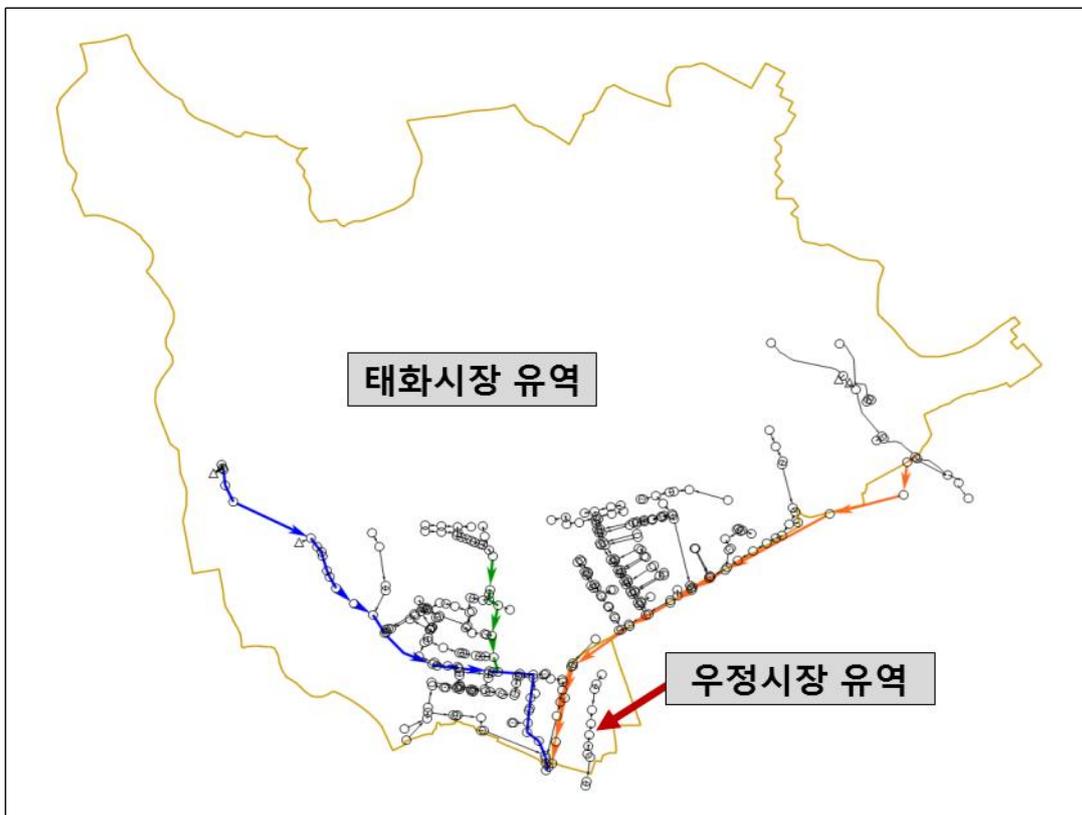


그림 4.1 XP-SWMM 모형도

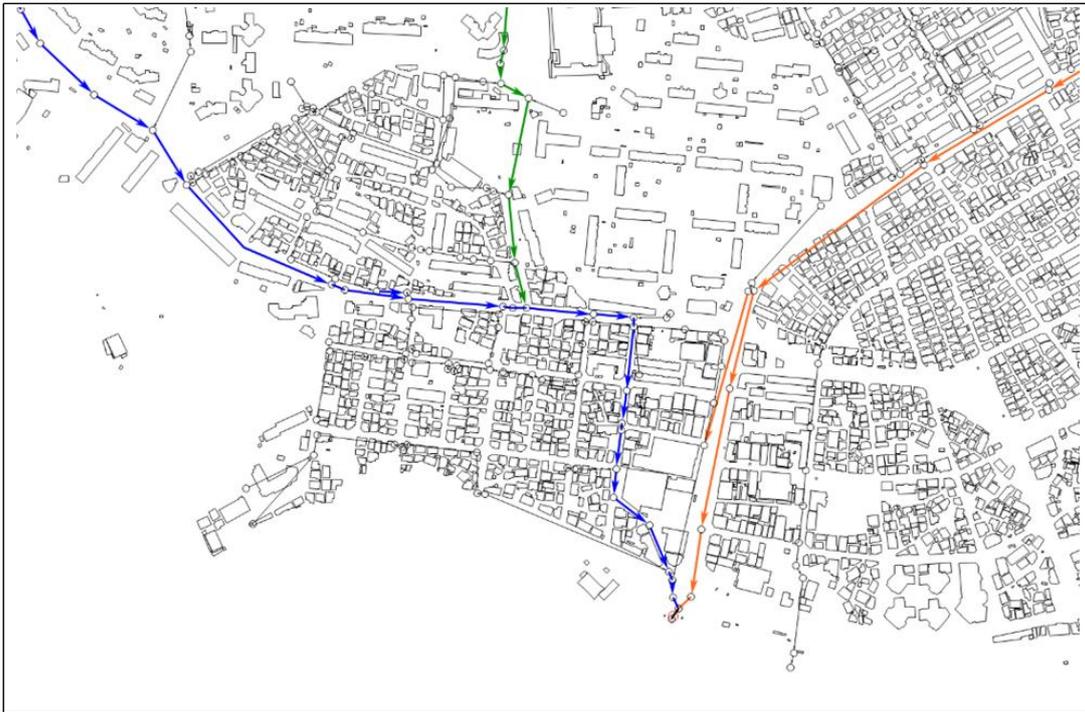


그림 4.2 XP-SWMM 모형도(중구 태화·우정시장 구역)

XP-SWMM 모형에 의한 침수원인 분석을 수행하기 위한 모형의 적용내용은 다음 표 4.1과 같다.

XP-SWMM 모형은 도심지 관망해석을 위한 모형로 태화·우정시장 구역의 상류부 산지유역을 모의하기 위해 HEC-HMS 모형에 의한 직접수문곡선을 입력하는 방식을 채택하였다. HEC-HMS 모형은 농경지 및 산지 유역의 홍수유출해석 모형로 하천기본계획 및 사전재해영향성 검토 등에서 홍수유출해석 시 주로 사용되는 모형이다.

더불어, 태화·우정시장 구역의 상류부인 우정혁신도시의 현재는 도시유역이나, 개발 전에는 농경지 및 산지유역으로서, 동일 유역에 대해 상반된 해석모형을 적용할 시 침수해석 결과가 상이하게 나타날 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 태화·우정시장 구역은 XP-SWMM 모형에 의한 관망해석을 적용하고, 상류부 우정혁신도시 및 산지유역은 HEC-HMS 모형에 의한 분석결과를 직접수문곡선으로 입력하는 방식을 채택하였다.

표 4.1 XP-SWMM 모형 적용 인자

구 분			내 용	
유역면적(km ²)			5.76	
노드 및 관거수			노드 338개, 관거 337개	
적용강우량			태풍 '차바'	
유출구 경계조건			태화교 수위	
유출량 산정			산지유역 : HEC-HMS 도시유역 : XP-SWMM	
1D 관망	Runoff Block	손 실	침 투	-horton
			조도계수	-불투수 지역 : 0.014 -투 수 지역 : 0.030
		즉시유출	불투수지역	-25%
		증발산	증발량	-미고려
		라우팅 기법		-SCS 단위도
	Extran Block	관 로	조도계수	-0.014
		맨 흘		-2D 지반고 연결
2D 모델	격자제어		격자크기	- 5m×5m
	작업제어		시간간격	-1sec

4.2 모형의 검증 및 보정

4.2.1 모형 검증의 개요

침수해석을 수행하기 위한 수리·수문모형의 결과는 실제 발생된 침수 현황과 유사하게 재현해야 하며, 수리·수문모형의 결과는 실제 발생된 침수범위, 침수량 및 최대 침수 발생시각에 최대한 근접하게 모델링 되어져야 한다. 침수해석 결과는 침수해석 시 적용된 수문인자에 따라 결과는 상이하게 나타날 수 있다. 현재 실무에서 적용하는 수문인자들은 각 유역에 대한 수문인자의 관측기록이 부족하여 대부분 미계측 유역에 대한 수문인자 결정방법을 적용하고 있는 실정이다. 따라서 침수해석을 수행하기 위한 모형의 수문인자 결정시에는 이러한 수문인자를 조정하여 발생된 침수상황을 재연할 수 있도록 모형에 대한 검증 절차가 필요하다.

4.2.2 모형분석 결과

태화·우정시장 유역은 태풍 ‘차바’로 인한 침수발생 후 한국국토정보공사에서 침수흔적조사를 실시하였으며, 본 연구에서는 XP-SWMM 모형에 의해 분석된 침수해석 결과와 침수흔적조사에서 분석된 침수흔적범위를 비교하였으며, 그 내용은 다음 표 4.2와 그림 4.3과 같다.

표 4.2 침수해석 결과 및 침수흔적도 비교

구 분	면적(m ²)	침수량(m ³)	비 고
침수해석결과(①)	124,175	125,121	
침수흔적도(②)	90,138	102,601	평균침수심 기준
증 감(①-②)	▲34,037	▲22,520	

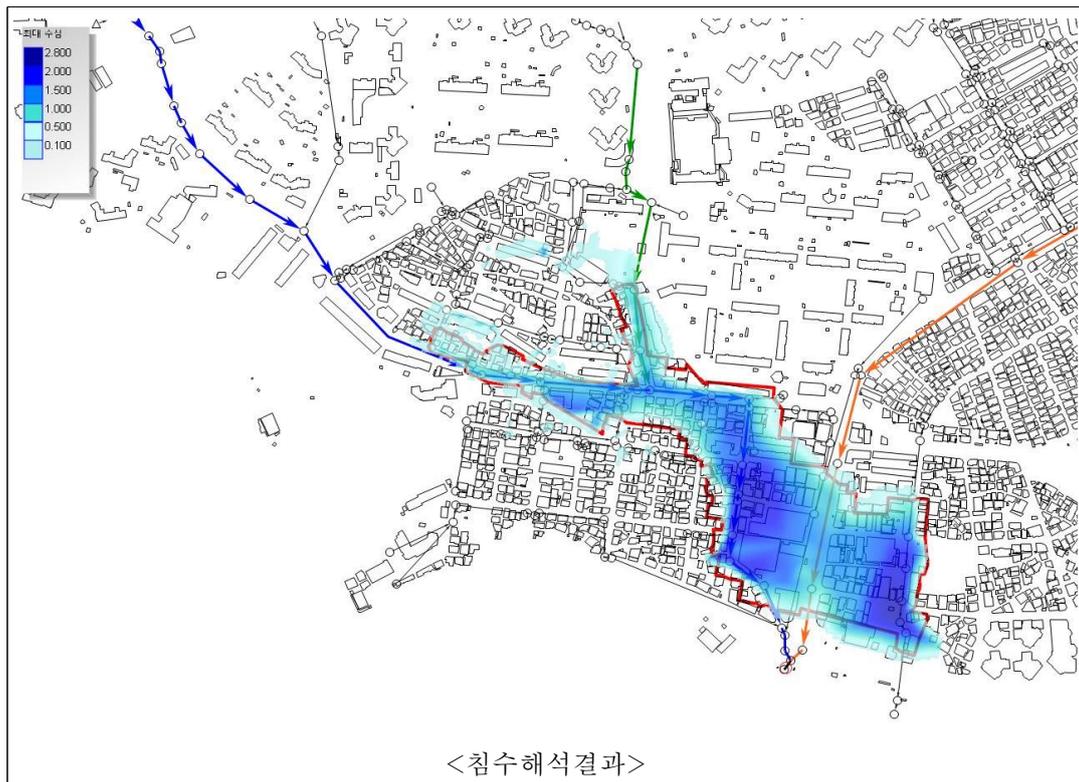


그림 4.3 태화우정시장유역 침수해석 결과 및 침수흔적도



그림 4.3 태화우정시장구역 침수해석 결과 및 침수흔적도(계속)

XP-SWMM 모형에 의한 침수해석 결과, 침수흔적도의 침수면적 결과보다 34,037㎡ 크게 산정되었으며, 침수량은 22,520㎥ 크게 산정된 것으로 나타났다.

침수면적의 경우 SWMM 모형에서는 1cm이상의 얇은 침수심도 침수가 발생한 것으로 인식하여 결과로 도출하기 때문에 얇은 침수심을 제외하면 실제 발생한 침수범위와 유사한 것으로 나타난다. 침수량의 경우 실제 침수발생 시에는 건물의 지하층으로 유량이 유입되나, 지하로 유입되는 유량을 현재상황과 유사하게 재현하기에는 어려우므로 분석에서는 제외하였다.

상기 침수해석 모형에 의한 분석결과와 침수흔적도의 침수범위 및 평균침수량을 비교하였을 때, 본 연구에서 분석한 태화·우정시장 구역의 침수해석 모형은 실제 침수 범위와 근접하게 유사하다고 판단할 수 있다.

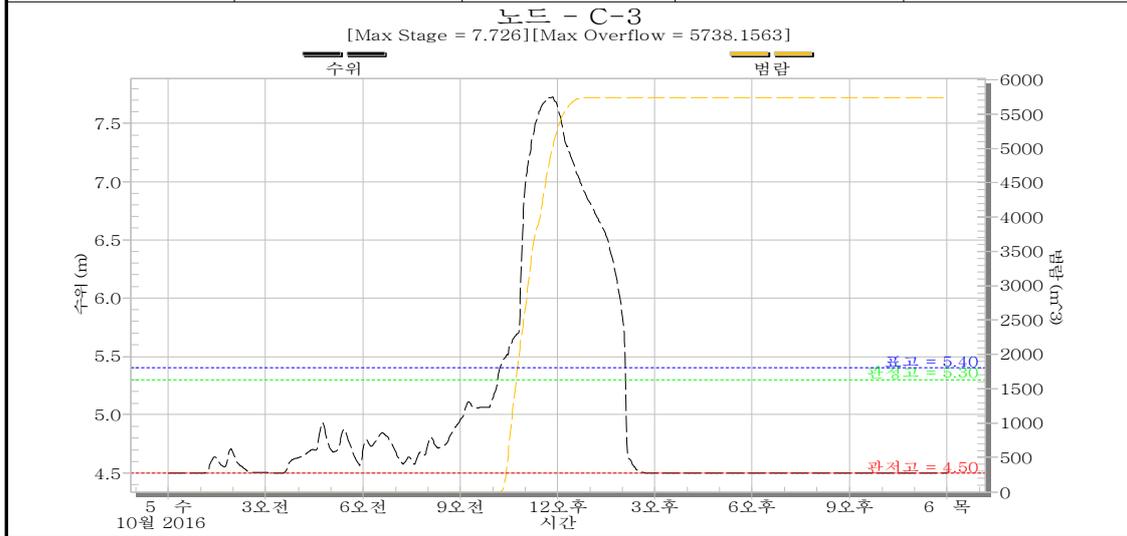
더불어, 침수해석 모형에 대한 정확한 검·보정을 위해 태화·우정시장 구역의 CCTV 영상의 최대 침수 발생시각과 침수해석 모형의 지점별 최대 침수 발생시각을 비교하였으며 그 내용은 다음 그림 4.4와 표 4.3과 같다.



그림 4.4 CCTV 8개소 침수분석 위치도(중구 태화·우정시장 유역)

표 4.3 CCTV 및 침수해석 모형 결과

구 분	침수시작시각	최대침수 발생시각	최대침수심(m)	비고
CCTV No.64	10:26	11:24	2.73	우정시장
SWMM결과	10:12	11:50	2.48	



<10:25 서쪽침수시작>



<10:26 북쪽침수시작>



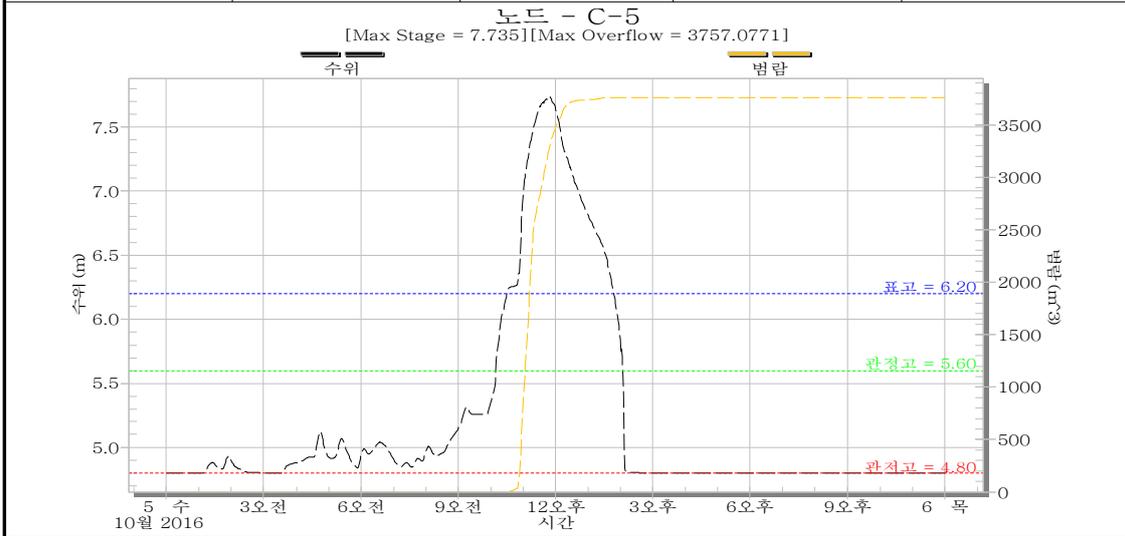
<11:25 서쪽최대침수>



<11:25 북쪽최대침수>

표 4.3 CCTV 및 침수해석 모형 결과(계속)

구분	침수시작시각	최대침수 발생시각	최대침수심(m)	비고
CCTV No.66	11:00	11:59	1.16	우정시장
SWMM결과	10:31	11:50	1.24	우측노드지점



<11:02 동쪽침수시작>



<11:01 서쪽침수시작>



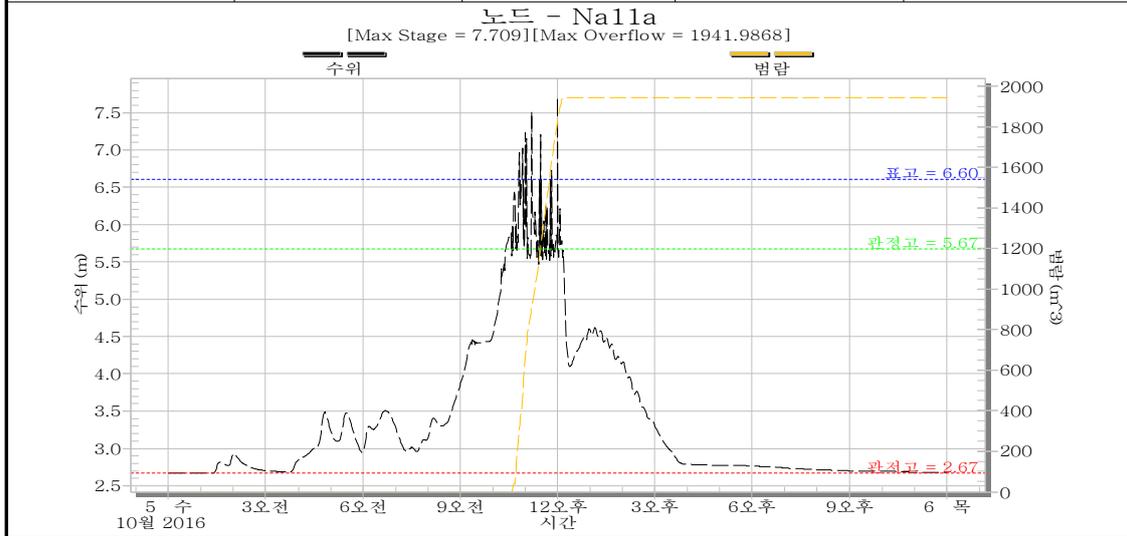
<11:25 동쪽최대침수>



<11:25 서쪽최대침수>

표 4.3 CCTV 및 침수해석 모형 결과(계속)

구 분	침수시작시각	최대침수 발생시각	최대침수심(m)	비고
CCTV No.73	10:25	11:30	1.50	축협우측
SWMM결과	10:40	12:00	1.46	홍수유입



<10:24 서쪽침수시작>



<10:36 동쪽침수시작>



<11:26 서쪽최대침수>



<11:27 북쪽최대침수>

표 4.3 CCTV 및 침수해석 모형 결과(계속)

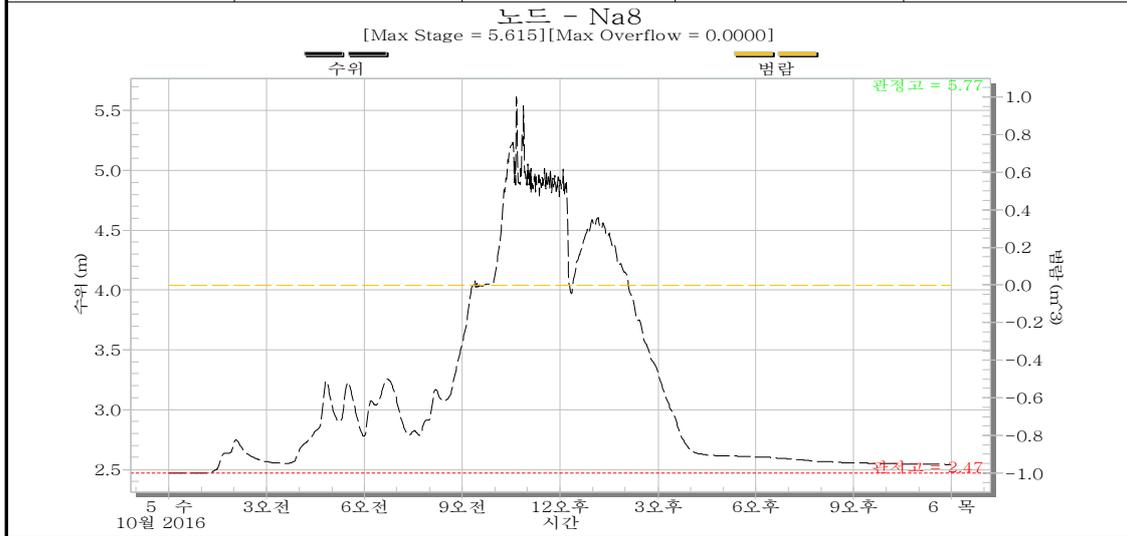
구 분	침수시작시각	최대침수 발생시각	최대침수심(m)	비고
CCTV No.85	10:27	11:26	1.23	태화초 정문
SWMM결과	10:32	11:41	0.91	

노드 - Na14-b
 [Max Stage = 7.846][Max Overflow = 50001.2930]

<p><10:27 북쪽침수시작></p>	<p><10:27 남쪽침수시작></p>
<p><11:26 북쪽최대침수></p>	

표 4.3 CCTV 및 침수해석 모형 결과(계속)

구 분	침수시작시각	최대침수 발생시각	최대침수심(m)	비고
CCTV No.75	10:31	11:05~11:26	1.92	리버스위트 뒤
SWMM결과	-	10:20	2.21	



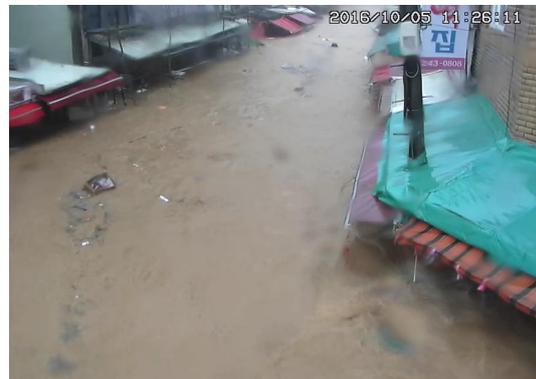
<10:32 동쪽침수시작>



<10:38 북쪽침수시작>



<11:26 동쪽최대침수>



<11:26 북쪽최대침수>

4.2.3 모형 검정 결과

태화·우정시장 유역에 대한 태풍 ‘차바’시 CCTV 분석결과는 침수가 발생하는 시간을 정확히 판독하기 어려워 침수가 명확하게 나타나는 시간을 침수시작 시각으로 나타내었으며, XP-SWMM 모형 결과는 실제 침수현황과 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 각 침수원인에 대한 분석 시 태풍 ‘차바’ 당시 침수상황을 재현한 모형을 기본으로 활용하고자 한다.

4.3 CASE별 분석 개요

태풍 ‘차바’의 계획빈도는 300년 빈도 이상의 집중호우이며, 각 수공구조물은 시설물의 설계빈도에 따라 계획되었으며, 계획빈도를 상회하는 침수피해에 대해서는 자연재해로 보고, 계획빈도 내에서 침수피해가 발생하는 부분에 대해서는 인위적 원인으로 보았다. 각 CASE별 비교·분석 결과는 침수량과 침수심으로 비교하였으며, 침수면적으로 비교할 경우 XP-SWMM 모형에서는 얇은 침수심에서도 결과를 도출하기에 본 연구에서는 CASE별 비교·분석 결과를 침수량에 의해 비교분석하는 것으로 채택하였다. CASE별 비교·분석시 자연재해 및 인위적 원인에 대하여 태풍 ‘차바’ 및 계획빈도의 침수량을 비교하였으며, 인위적 원인에 대하여는 각 수공구조물의 계획빈도에서 설치 전·후, 개발 전·후의 침수량을 비교·분석하였다. CASE별 분석내용은 표 4.4와 같다.

표 4.4 CASE별 분석내용

구 분		적용내용	비 고
CASE 1	자연재해 구분	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 강우 : 태풍차바, 계획빈도(80년) ▪ 지형 : 태풍차바 당시 	자연재해
CASE 2	펌프장 설치효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 강우 : 계획빈도(80년) ▪ 지형 : 태풍차바 당시 ▪ 기타 : 펌프장 설치전후 적용 	
CASE 3	개발사업의 영향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 강우 : 계획빈도(50년) ▪ 지형 : 태풍차바 당시 및 개발전 상황 	인위적 원인
CASE 4	우수토실의 영향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 강우 : 계획빈도(80년) ▪ 지형 : 태풍차바 당시 및 개발전 ▪ 기타 : 우수토실 설치전후 비교 	
CASE 5	고지배수로 영향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 강우 : 계획빈도(30년) ▪ 지형 : 태풍차바 당시 및 개발전 ▪ 기타 : 고지배수로 합류 및 분리시 	
CASE 6	태화강 외수위 영향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 강우 : 태풍차바 ▪ 지형 : 태풍차바 당시 ▪ 기타 : 태화강 외수위 및 자유방류시 	기타

4.4 침수원인 분석 결과

4.4.1 CASE 1 : 자연재해 및 인위적원인 구분

계획빈도 및 인위적 원인을 구분하기 위해 태풍 ‘차바’ 당시 침수량과 유극천 계획빈도인 80년빈도에 의한 침수량을 산정하였으며, CASE1의 분석결과는 표 4.5와 같으며, 침수해석 결과는 그림 4.5 및 그림 4.6과 같다.

표 4.5 CASE 1 분석결과

구 분	침수량 (m^3)	태풍 ‘차바’ 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
		변화량(m^3)	비율(%)		
태풍 ‘차바’ 시 침수량	125,121	-	-	1.01	
계획빈도(80년) 침수량	58,051	-	46.4	0.54	인위적원인
계획빈도를 상회하는 침수량	-	67,070	53.6	0.69	자연재해

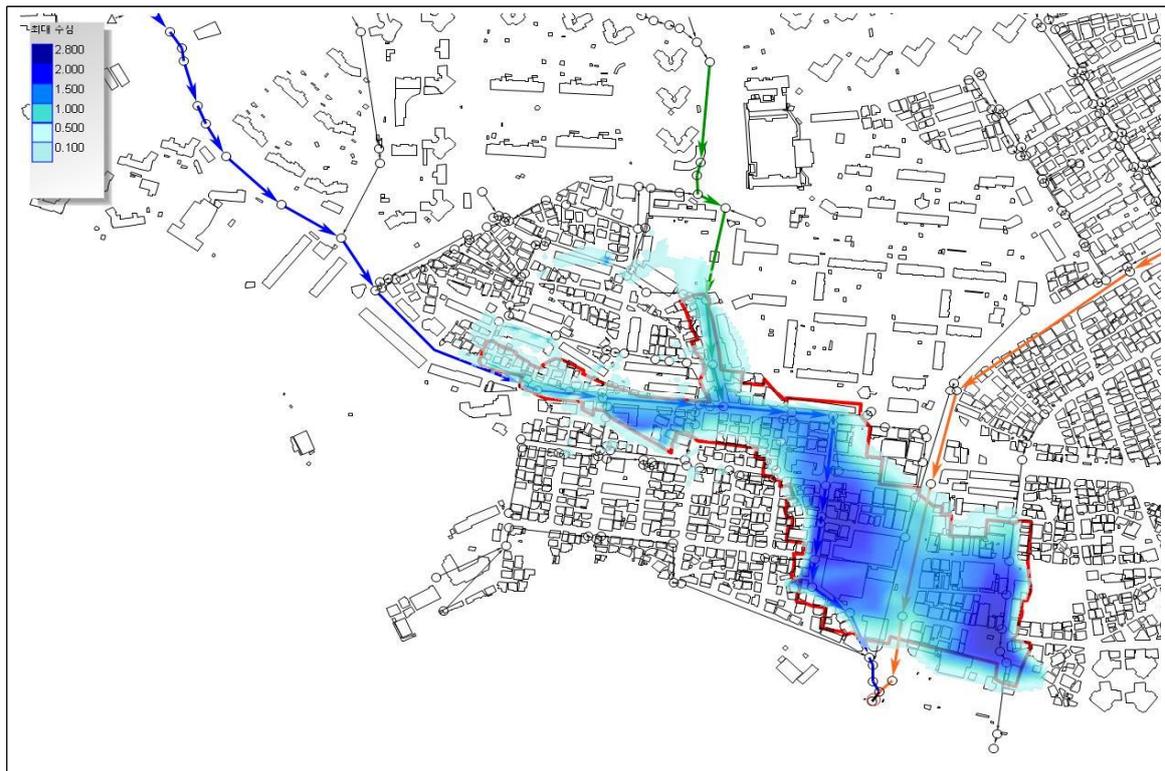


그림 4.5 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과



그림 4.6 태화·우정시장 계획빈도(80년) 침수해석 결과

4.4.2 CASE 2 : 펌프장 설치효과

“유곡천 하천정비기본계획(2006, 울산광역시)”에서는 하천개수방안의 대안으로 펌프장 설치를 제안하였다. 본 연구에서는 유곡천 기본계획에서 제시된 펌프장 설치내용을 적용하여 태풍 ‘차바’ 시 및 계획빈도 시 침수량을 분석하였다. CASE 2의 분석결과는 표 4.6과 같으며, 침수해석 결과는 그림 4.7 ~ 4.10과 같다.

표 4.6 CASE 2 분석결과

구 분		침수량 (m^3)	태풍 ‘차바’ 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
			변화량(m^3)	비율(%)		
CASE 2 (태풍 ‘차바’ 시)	태풍 ‘차바’	125,121	-	-	1.01	
	태풍 ‘차바’ (펌프장설치)	106,480	18,641	14.9	0.86	
CASE 2 (계획빈도 시)	계획빈도 (80년)	58,051	-	-	0.54	
	계획빈도 (80년) (펌프장설치)	46,397	11,654	9.3	0.45	



그림 4.7 태화·우정시장 태풍 '차바' 침수해석 결과

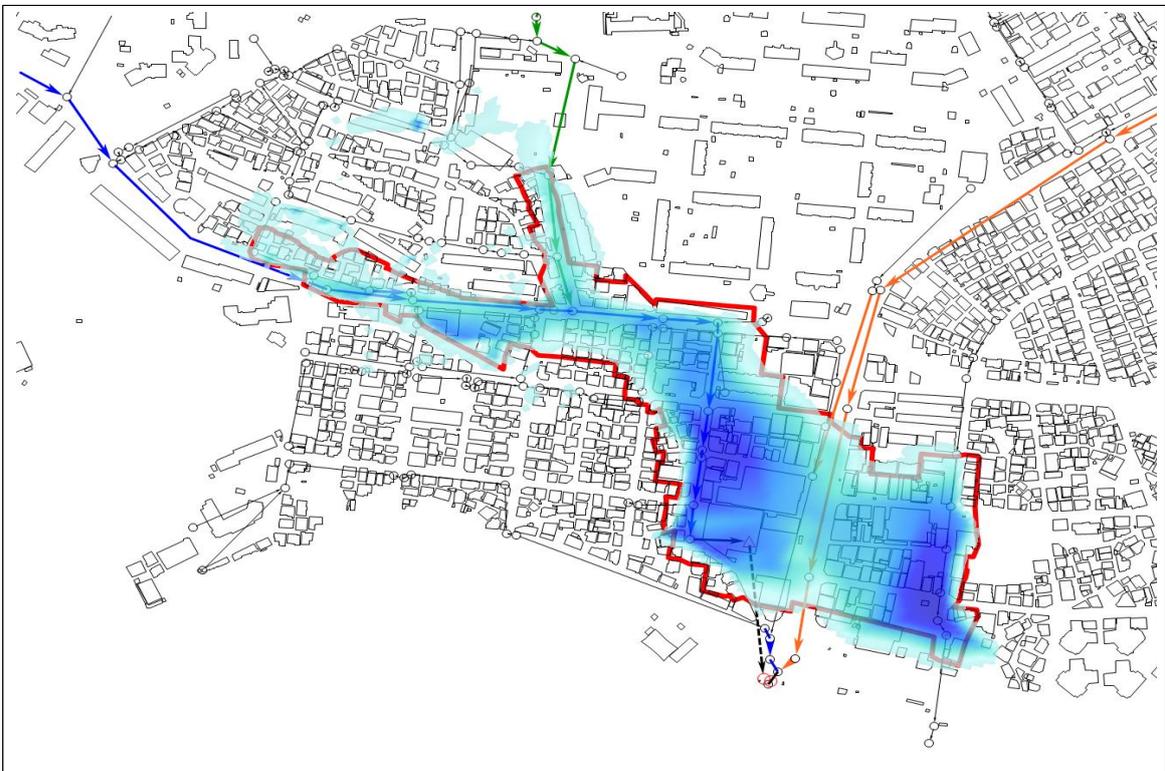


그림 4.8 태화·우정시장 태풍 '차바'(펌프장설치) 침수해석 결과



그림 4.9 태화·우정시장 계획빈도(80년) 침수해석 결과



그림 4.10 태화우정시장 계획빈도(80년)(펌프장설치) 침수해석 결과

4.4.3 CASE 3 : 개발사업의 영향

주요 관심을 받고 있는 침수 원인 중 하나인 우정혁신도시 개발사업이 있으며, 본 연구에서는 우정혁신도시 개발사업 이전의 토지피복 형태를 적용하여 개발 전·후 침수량을 분석하였다. CASE 3의 분석결과는 표 4.7과 같으며, 침수해석 결과는 그림 4.11 ~ 14과 같다.

표 4.7 CASE 3 분석결과

구 분		침수량 (m ³)	태풍 '차바' 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
			변화량(m ³)	비율(%)		
CASE 3 (태풍 '차바' 시)	태풍 '차바'	125,121	-	-	1.01	
	태풍 '차바' (개발전)	86,685	38,436	30.7	0.77	
CASE 3 (계획빈도 시)	계획빈도 (50년)	43,851	-	-	0.44	
	계획빈도 (50년) (개발전)	21,356	22,495	18.0	0.14	



그림 4.11 태화·우정시장 태풍 '차바' 침수해석 결과



그림 4.12 태화·우정시장 태풍 '차바'(개발전) 침수해석 결과

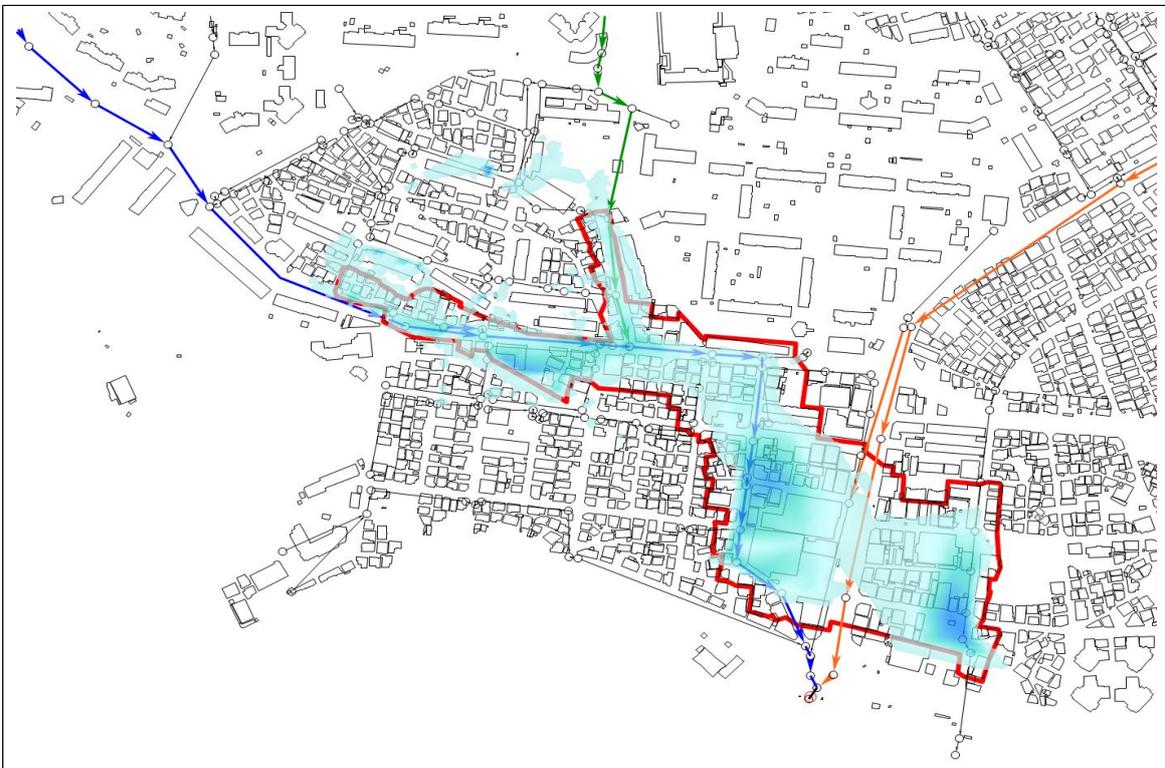


그림 4.13 태화·우정시장 계획빈도(50년) 침수해석 결과

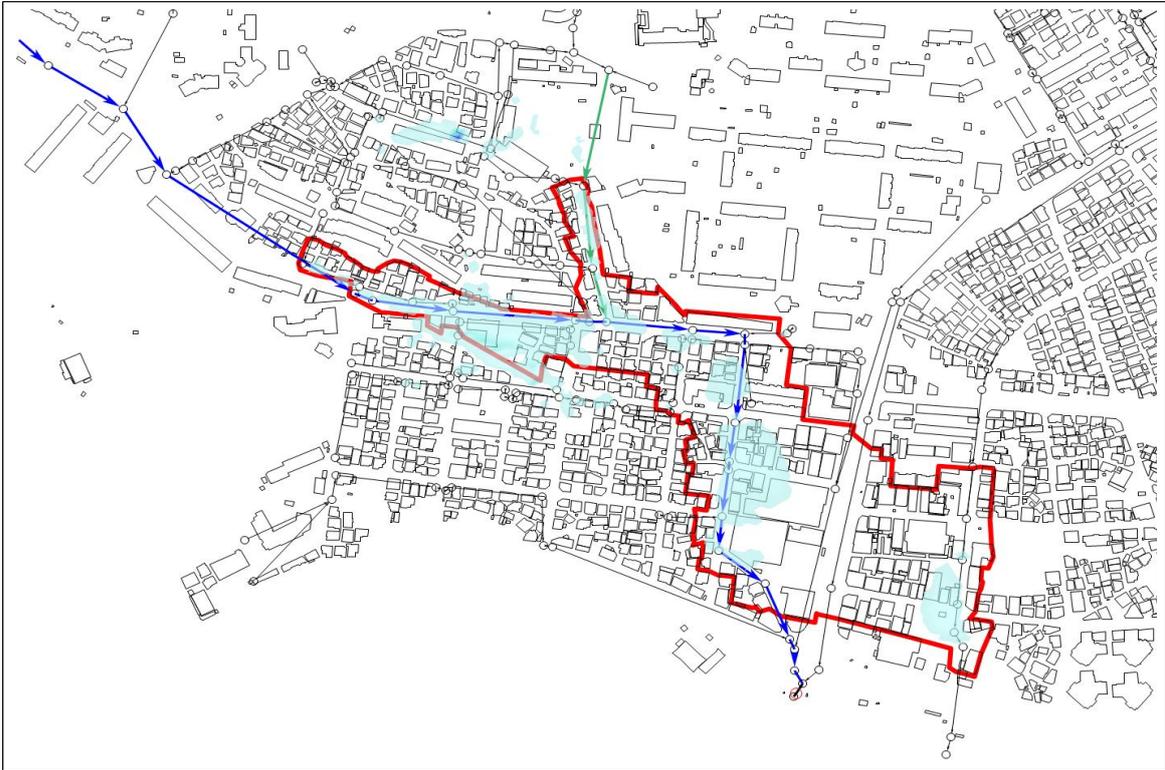


그림 4.14 태화·우정시장 계획빈도(50년)(개발전) 침수해석 결과

4.4.4 CASE 4 : 우수토실의 영향

주요 관심을 받고 있는 침수 원인 중 하나로 태화강 수질보전을 위한 우수토실 설치에 있으며, 본 연구에서는 우수토실 설치 전을 가정하여 설치 전·후의 침수량을 분석하였다. CASE 4의 분석결과는 표 4.8과 같으며, 침수해석 결과는 그림 4.15 ~ 18과 같다.

표 4.8 CASE 4 분석결과

구 분	침수량 (m^3)	태풍 '차바' 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고	
		변화량(m^3)	비율(%)			
CASE 4 (태풍 '차바' 시)	태풍 '차바'	125,121	-	-	1.01	
	태풍 '차바' (우수토실철거)	120,850	4,271	3.4	0.97	
CASE 4 (계획빈도 시)	계획빈도 (80년)	58,051	-	-	0.54	
	계획빈도 (80년) (우수토실철거)	56,152	1,899	1.5	0.54	



그림 4.15 태화·우정시장 태풍 '차바' 침수해석 결과

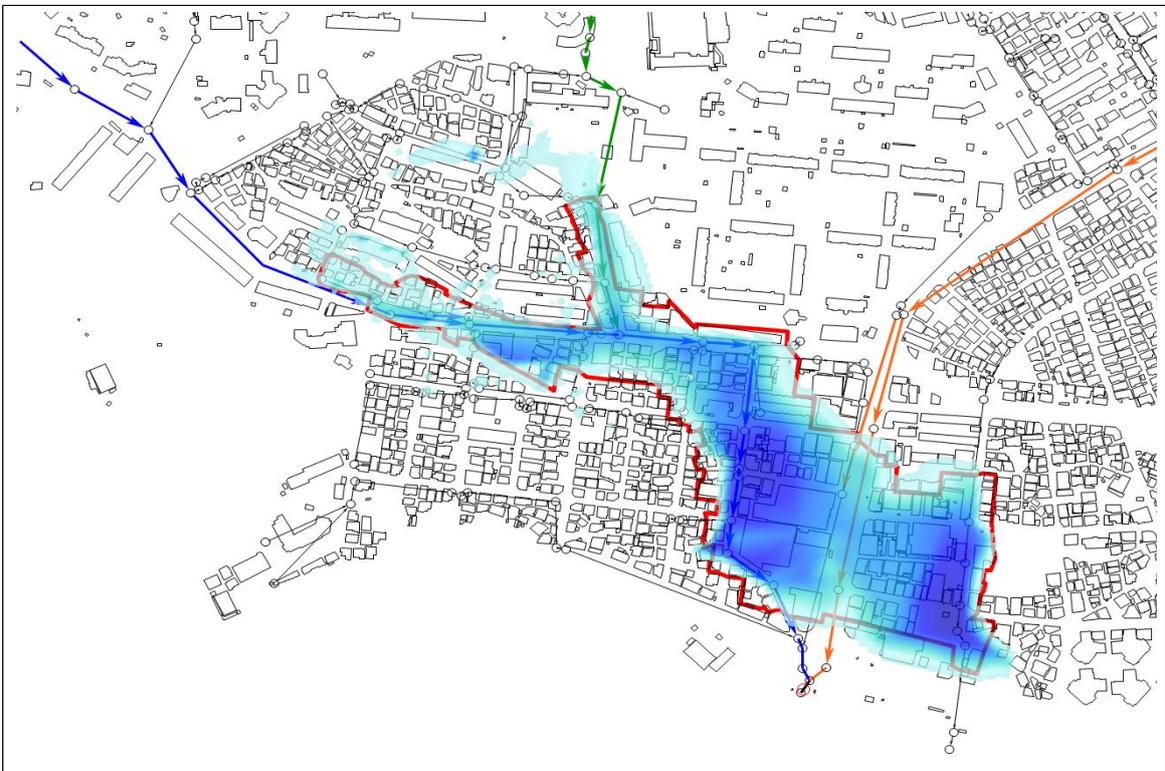


그림 4.16 태화·우정시장 태풍 '차바'(우수토실철거) 침수해석 결과



그림 4.17 태화·우정시장 계획빈도(80년) 침수해석 결과



그림 4.18 태화·우정시장 계획빈도(80년)(우수토실철거) 침수해석 결과

4.4.5 CASE 5 : 고지배수로 영향

주요 관심을 받고 있는 침수 원인 중 하나로 고지배수로 합류에 의한 병목현상이 있으며, 본 연구에서는 고지배수 분리를 가정하여 분리 전·후의 침수량을 분석하였다. 고지배수로의 분리효과는 합류부의 유출량이 커짐에 따라 그 차이는 크게 나타난다. 즉, 합류부에서 발생하는 병목현상은 유출량이 커짐에 따라 분리 전·후의 효과가 크게 발생되며, 유출량 증가는 우정혁신도시 개발사업에 의해 가중효과가 발생하게 되므로, 계획빈도 시 고지배수로 분리효과는 우정혁신도시 개발사업의 가중효과가 발생하지 않는 개발 전 상황에서 비교분석하였다. CASE 5의 분석결과는 표 4.9와 같으며, 침수해석 결과는 그림 4.19 ~ 22와 같다.

표 4.9 CASE 5 분석결과

구 분		침수량 (m ³)	태풍 '차바' 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
			변화량(m ³)	비율(%)		
CASE 5 (태풍 '차바' 시)	태풍 '차바'	125,121	-	-	1.01	
	태풍 '차바' (고지배수로 분리)	106,962	18,159	14.5	0.90	혁신도시개발 에 의한 가중효과
CASE 5 (계획빈도 시)	계획빈도 (30년)	8,592	-	-	0.17	
	계획빈도 (30년) (고지배수로 분리)	6,505	2,087	1.7	0.13	혁신도시개발 에 의한 가중효과

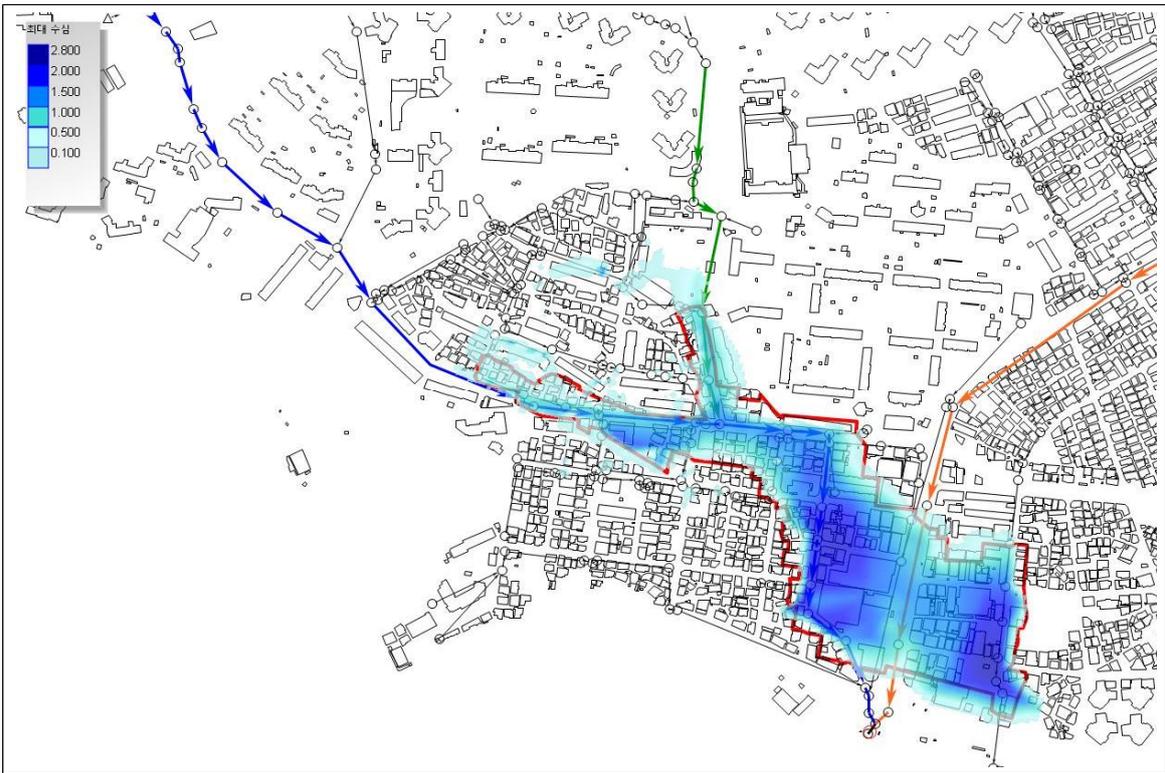


그림 4.19 태화·우정시장 태풍 '차바' 침수해석 결과



그림 4.20 태화·우정시장 태풍 '차바'(고지배수로분리) 침수해석 결과

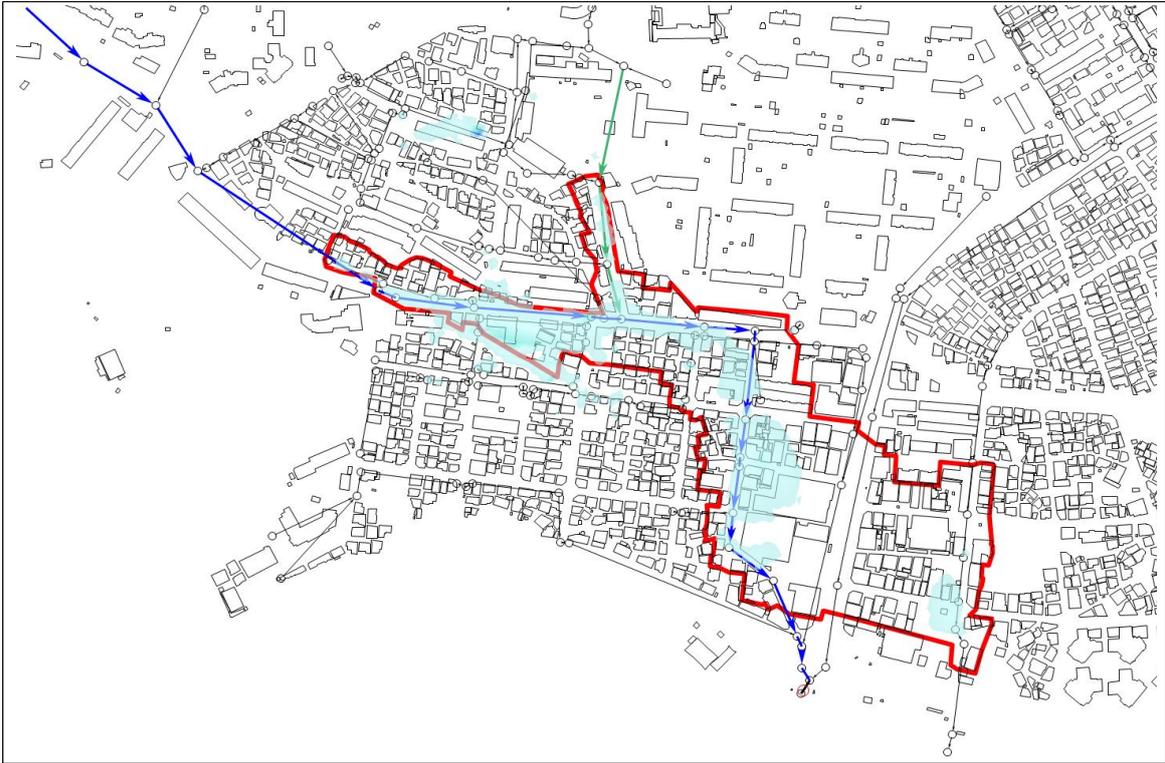


그림 4.21 태화·우정시장 계획빈도(30년) 침수해석 결과

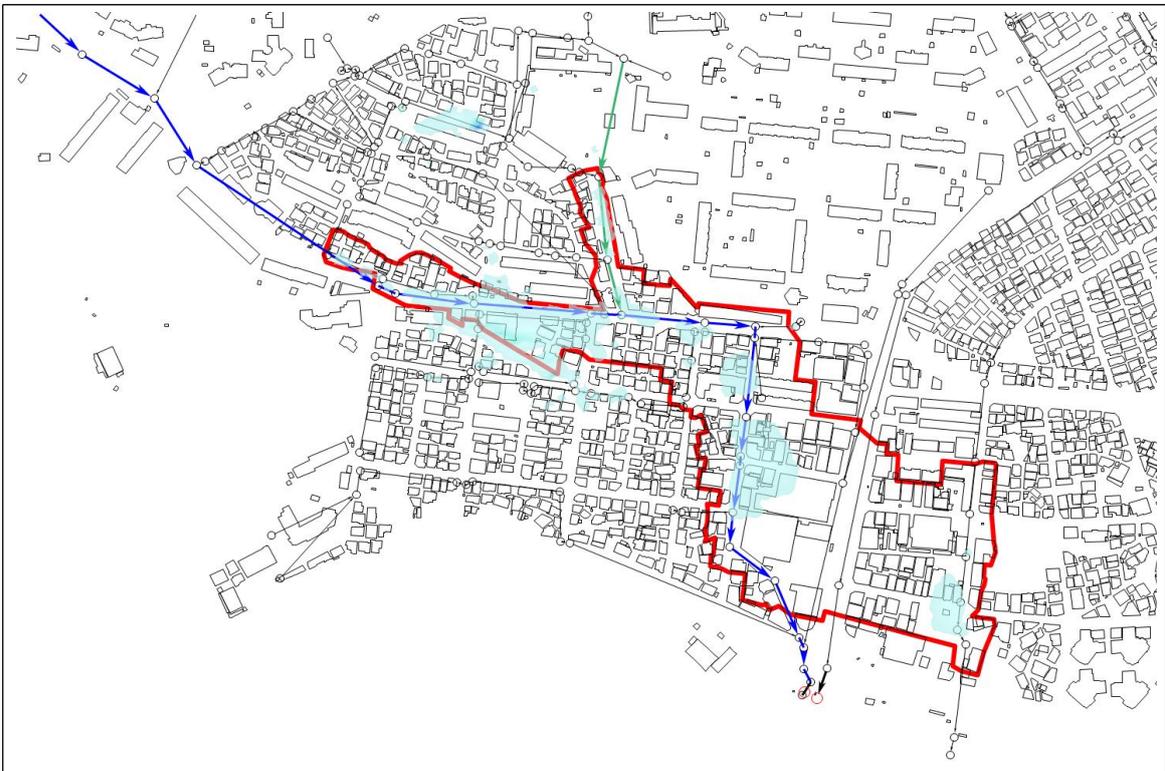


그림 4.22 태화·우정시장 계획빈도(30년)(고지배수로분리) 침수해석 결과

4.4.6 CASE 6 : 태화강 외수위의 영향

주요 관심을 받고 있는 침수 원인 중 하나로 태화강 외수위의 영향이 있으며, 본 연구에서는 유출구의 경계조건을 태풍 ‘차바’ 당시 태화강 수위 및 자유방류로 가정하여 분석하였다. CASE 6의 분석결과는 표 4.10과 같으며, 침수해석 결과는 그림 4.23 및 그림 4.24와 같다.

표 4.10 CASE 6 분석결과

구 분		침수량 (m ³)	태풍 ‘차바’ 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
			변화량(m ³)	비율(%)		
CASE 6 (태풍 ‘차바’ 시)	태풍 ‘차바’	125,121	-	-	1.01	
	태풍 ‘차바’ (자유방류)	123,457	1,664	1.3	1.01	

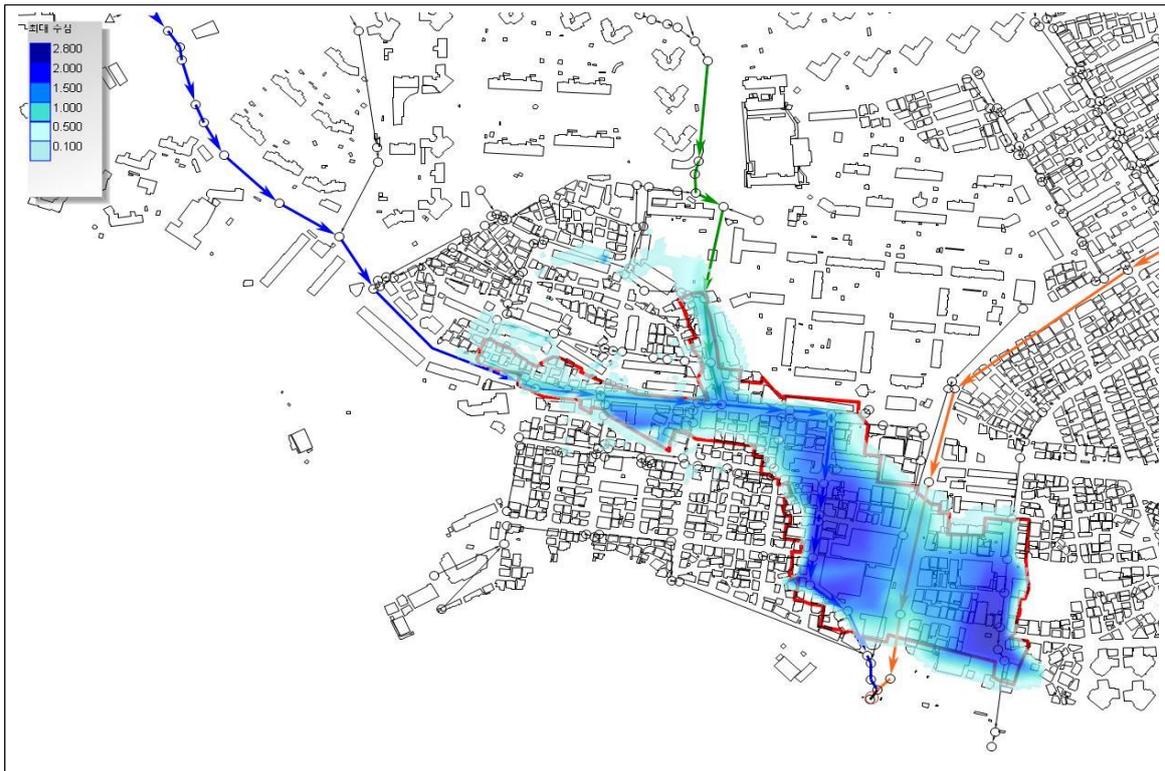


그림 4.23 태화·우정시장 태풍 ‘차바’ 침수해석 결과

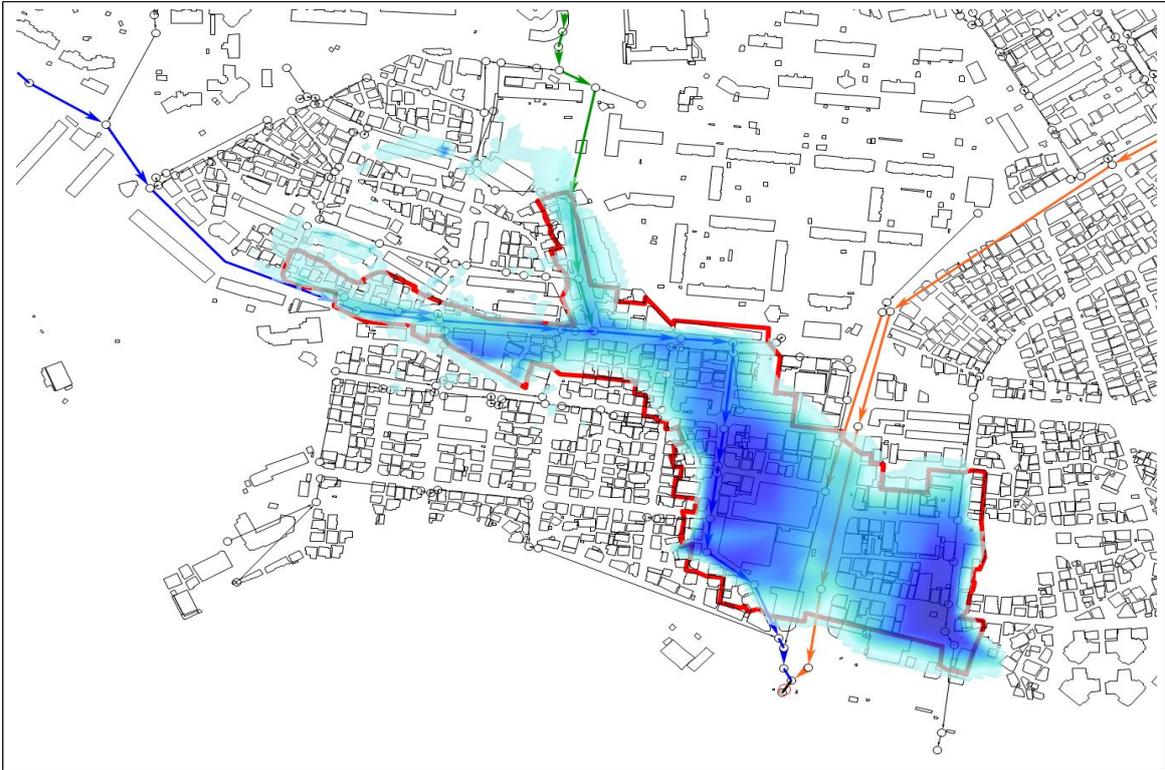


그림 4.24 태화·우정시장 태풍 '차바'(자유방류) 침수해석 결과

4.5 분석결과 종합

침수해석 분석 결과 XP-SWMM 모형의 오차범위는 각 CASE별로 상이하으나 약 1.8 ~ 2.0% 나타나는 것으로 나타났다. 침수해석 분석결과의 내용은 다음 표 4.11 ~ 13과 같다.

표 4.11 자연재해 및 인위적 원인 구분

구 분	침수량 (m^3)	태풍 '차바' 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
		변화량(m^3)	비율(%)		
태풍 '차바' 시 침수량	125,121	-	-	1.01	
80년 계획빈도 침수량	58,051	-	46.4	0.54	인위적 원인
계획빈도 상회하는 침수량	67,070	-	53.6	0.69	자연적 원인
태화강 외수위 영향	123,457	1,664	1.3	-	

표 4.12 인위적 원인(태풍 '차바' 기준)

구 분		침수량 (m ³)	태풍 '차바' 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
			변화량(m ³)	비율(%)		
태풍 '차바' 시 침수량		125,121	-	-	1.01	
펌프장 설치효과 (CASE 2)	태풍 '차바'	125,121	18,641	14.9	1.01	
	태풍 '차바' (펌프장설치)	106,480			0.86	
개발사업의 영향 (CASE 3)	태풍 '차바'	125,121	38,436	30.7	1.01	
	태풍 '차바' (개발전)	86,685			0.77	
우수토실의 영향 (CASE 4)	태풍 '차바'	125,121	4,271	3.4	1.01	
	태풍 '차바' (우수토실 철거)	120,850			0.97	
고지배수로 분리 (CASE 5)	태풍 '차바'	125,121	18,159	14.5	1.01	개발에 의한 가중효과
	태풍 '차바' (고지배수로 분리)	106,962			0.90	

표 4.13 인위적 원인(수공구조물 계획빈도 기준)

구 분	침수량 (m ³)	태풍 '차바' 침수량 대비		평균침수심 (m)	비 고
		변화량(m ³)	비율(%)		
태풍 '차바' 시 침수량	125,121	-	-	1.01	
계획빈도시 침수량	58,051	-	46.4	0.54	
펌프장 설치효과 (CASE 2)	계획빈도(80년)	58,051	11,654	9.3	0.54
	계획빈도(80년) (펌프장 설치)	46,397			0.45
개발사업의 영향 (CASE 3)	계획빈도(50년)	43,851	22,495	18.0	0.44
	계획빈도(50년) (개발전)	21,356			0.14
우수토실의 영향 (CASE 4)	계획빈도(80년)	58,051	1,899	1.5	0.54
	계획빈도(80년) (우수토실 철거)	56,152			0.54
고지배수로 분리 (CASE 5)	계획빈도(30년)	8,592	2,087	1.7	0.17
	계획빈도(30년) (고지배수로 분리)	6,505			0.13
기타	-	19,916	15.9	-	

제 5 장 결론

본 연구는 2차원 도시유출모형인 XP-SWMM 모형을 이용하여 태풍 ‘차바’ 당시의 울산광역시 중구 태화·우정시장일대 침수 분석을 수행하였으며, 분석을 통해 수자원관리자의 효율적인 관리나 정책수립을 반영할 수 있도록 하는 것을 본 연구의 목적으로 두고, 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 2016년 10월 5일 태풍 “차바”로 인한 24시간 최대강우량 266.0mm, 시간당 104.2mm의 강우가 발생하였고, 중구 일대 태화·우정시장의 침수피해가 발생하였다.
- 2) 침수원인은 계획빈도 이상의 강우로 인하여 시우량이 300년 빈도를 초과, 하천기본계획 대안으로 제시된 펌프장 미설치로 인한 내수배제 불량, 우정혁신도시 개발사업과 동시에 재해저감시설 설치 부족, 태화강 수질보전을 위한 유곡천 하류부 우수토실 설치, 유곡천 하류부에 유곡천과 고지배수로가 합류하여 병목현상 발생, 태화강 외수위 상승, 관거에 유입되는 맨홀 등이 고무판에 막힘 등이 있는 것으로 검토되었다.
- 3) CCTV 영상 분석 후 현장조사를 실시하여 혼적수위 및 실제침수심을 국립재난안전연구원 침수혼적도와 비교 분석하였다. 또한 기용역보고서들을 검토하였으며, XP-SWMM 모형을 통해 나온 결과를 토대로 검·보정하였다.
- 4) 본 연구에서 침수피해 원인 분석에서는 자연재해 및 인위적 원인을 각 수공구조물의 계획빈도 개념을 적용하여 구분하였으며, 계획빈도 내에서 침수가 발생했을 시 인위적 원인으로 간주하였다. 검토된 태화·우정시장 지역의 침수피해 원인 분석에 대한 주요 내용은 다음과 같다.
 - 주요 재해원인은 계획빈도 강우를 상회하는 집중호우로 인한 자연재해(53.6%)로 인함.
 - 그 외의 계획빈도 강우에서도 침수가 발생하는 인위적 원인(46.4%)에 의해 침수가 가중되었음.
 - 태풍 ‘차바’ 및 계획빈도의 강우에서 발생하는 침수의 인위적 원인은 서로 복합적인 상호·연계 작용에 의함.
 - 주요 인위적 원인으로는
 - 내수배제 개선을 위한 펌프장 미설치(9.3%)
 - 태화·우정시장 상류부 우정혁신도시 개발사업(18.0%)
 - 태화강 수질보전을 위한 우수토실 설치(1.5%)
 - 유곡천 하류부 고지배수로 합류로 인한 병목현상(1.7%)

등이 있다. 그 외의 지선관거 월류 및 각종 수공구조물의 계획빈도 차이에 의한 침수량의 차이가 발생하는 부분(15.9%)은 수치상으로 계산하기 어려운 부분이며, 각 인위적 원인은 상호 복합적으로 작용한다.

- 5) 방지대책으로는 현재 시행중인 “태화 자연재해위험개선지구 정비사업(2018, 울산광역시 중구)”사업이 있다. 그 내용은 유곡천 중·상류부 유역은 고지배수 터널에 의하여 태화강으로 유역을 분리하고 하류부 유역의 간선관거 및 지선관거에 대한 통수능을 확보 및 배수펌프장을 설치하여 강제배수하는 것으로 계획되었다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000), 수자원관리기법개발연구조사 보고서, 1999: 1권, 확률강우량 도작성
2. 국토해양부(2011), 확률강우량도 개선 및 보완연구
3. 국토해양부(2012), 설계홍수량 산정요령
4. 기상청(<http://www.kma.go.kr>)
5. 김윤환(2007), SWMM 모형을 이용한 도시화 유역에서의 유출 특성 분석, 호남대학교, 석사학위 논문
6. 김진수(2012), XP-SWMM 모형을 이용한 침수해석 - 청주시 개신지구를 사례로 -, 국립한국교통대학교, 석사학위 논문
7. 부산지방국토관리청(2013), 태화강 하천기본계획[변경] 보고서
8. 송영민(2006), 도시유출모형(XP-SWMM)을 이용한 우수관로 최적화 연구, 울산대학교 일반대학원, 석사학위 논문
9. 안상진, 김진극(1999), 도시유출모형을 이용한 도시유역의 유출분석, 한국수자원학회논문집, Vol. 32. No. 4, pp.479-488.
10. 울산광역시 시정백서
11. 울산광역시 중구 구정백서
12. 울산광역시 중구(2018), 울산 중구 태풍 차바 홍수피해 원인분석 및 방지대책 수립용역 보고서
13. 울산광역시 중구(2018), 태화 자연재해위험개선지구 정비사업 기본설계보고서
14. 울산광역시(2018), 태풍(차바) 침수피해 종합대책 연구 보고서
15. 울산광역시(2006), 염포천·창평천·유곡천·미포천 하천정비기본계획

16. 윤용남(2007), 수문학, 청문각
17. 이보림(2016), 피복상태를 고려한 공원의 합리식 유출계수 산정, 경남과학기술대학교, 석사학위 논문
18. 이종태(1998), 도시유역에서의 유출 및 수질해석모형, 한국수자원학회논문집
19. 이종태, 강태호, 김정환(1996), 도시유역에서의 배수계통설계를 위한 SWMM 모형, 한국수자원학회. 제 4회 수공학익습교재, pp.97-2004.
20. 이종형, 연기석(2008), XP-SWMM 모형을 적용한 도시지역의 침수해석, 한국방재학회논문집, Vol. 8, No. 5, pp.155-161.
21. 이호진, 장창덕, 전계원(2011), XP-SWMM 모형을 이용한 침수지역의 수치모의, 한국위기관리논집, Vol. 7, No. 2, pp.75-86.
22. 정순찬(2015), XP-SWMM모형을 이용한 해안도시지역 내수침수위험 평가에 관한 연구, 아주대학교 대학원, 석사학위 논문
23. 정종호, 윤용남(2007), 수자원설계실무, 구미서관
24. 진영규, 이상호, 정태훈(2015), EPA SWMM을 기반으로 한 유역 유출모형(XP-SWMM, PCSWMM) 소개 및 비교, 한국수자원학회 물과미래, Vol. 48, No. 6, pp. 47-53.
25. 채희창(2012), XP-SWMM을 이용한 도시지역에서의 우수저류지의 최적위치, 한양대학교 공학대학원, 석사학위 논문
26. 하수도 시설기준(2011), 한국상하수도협회
27. 한국수자원학회(2009), 하천설계기준·해설
28. 한희찬(2015), 기후변화로 인한 해수면상승과 내배수시스템 범람에 따른 해안도시지역의 침수해석, 인하대학교 대학원, 석사학위 논문
29. Hydrosoft(2010), XP-SWMM 사용자 매뉴얼

30. Hsu, M. H., Chen, S. H., & Chang, T. J.(2000), Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system, Journal of Hydrology, Vol. 231, No. 1, pp.21-37.
31. Huber, W. C., Dickinson, R. E., Barnwell Jr, T. O., & Branch, A.(1988), Storm water management model, version 4. US Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory
32. Philp B. B, Wayne C. H and Baxter E. V(1992), “Hydrology and Floodplain Analysis”, Prentice-Hall. Inc, pp.356-443.
33. Ponce, V. M.(1989), Engineering hydrology: Principles and practices, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, Vol. 640

ABSTRACT

Flood Inundation Analysis of Typhoon Chaba in Ulsan Jung-gu Using XP-SWMM Model

Park Jun Hyoung
Civil Engineering
Graduate School, University of Ulsan

Recently due to abnormal climate, the rainfall and localized torrential rain in Korea are increasing, and the frequency of typhoons has been decreased but the intensity is increasing. In addition, population concentration in urban area due to rapid urbanization, as a result urban areas, roads, and convenience facilities has increase rapidly. Since the rapid urbanization increases resulting the increase in impervious layers, the amount of infiltration and evaporation decreases. In the past, flood damage was mainly due to damage from external demand due to inundation of river, collapse of embankment facility, etc. and domestic demand damage due to lack of drainage capacity but recent flood damage in urban basin are characterized by domestic flooding and inundation.

In 2016, Typhoon 'Chaba' had an annual rainfall of 104.2mm per hour, exceeding the frequency of 300 years, causing massive flood damage in Ulsan.

In this study, we investigated the damage situation of Ulsan, and reviewed the carried out service reports. CCTV analysis of the typhoon 'Chaba' was carried out and the situation was reproduced through XP-SWMM modeling which is an urban runoff model and analyzed by some simulation conditions after comparison and analysis. As a result, torrential rain exceeding the planned frequency due to natural disasters is 53.6%, hydraulic structures not installed at pumping station area for improvement of domestic water exclusion from planned frequency is 9.3%. Innovative city development project at upstream of Taehwa and Wojeong market is 18%. Establishment of storm

overflow chamber for water quality maintenance of Taehwa River is 1.5%. Mouth of Yugokcheon confluence with highland drainage is 1.7% and other causes are 15.9% were analyzed. The results presented in this study are expected to be used as basic data for establishing disaster prevention policy related to flood damages in urban areas.

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Na0	9.10	7.70				
Nb0	9.40	7.80				
Na1	9.40	7.80				
Na2	9.30	4.65				
Na3	9.06	4.90				
Na4	6.50	4.79				
Na5	5.70	5.57	129	0.314	100	0.03
Na6	5.70	5.70	102	0.227	100	0.116
			191	1.484	100	0.015
Na6-1	13.70	13.50	178	0.485	100	0.096
Na6-2	13.70	13.52	70	0.462	100	0.024
Na3-1	23.00	13.30	120	0.306	100	0.117
Na3-2	23.00	13.40				
Na3-4	14.90	14.90				
Na3-5	21.30	20.90				
Na3-6	21.50	21.50	194	0.43	100	0.065
Na3-8	21.60	21.40				
Na14-a-19	34.30	34.00	701	4.191	8.6	0.139
			201	0.249	100	0.059
Na3-10	34.10	28.90				
Na3-11	30.80	30.65	204	0.463	100	0.082
Na3-17	36.70	36.55	194	0.619	10.6	0.199
			226	0.329	100	0.045
Na3-14	38.40	38.24	143	0.432	86.1	0.098
Na14-a-10	27.60	27.60	159	0.277	100	0.087
Na14-a-18	27.70	27.50	138	0.309	16.3	0.489
			87	0.76	E-01100.00	0.143
Na14-a-17	21.50	21.30	203	0.253	100	0.052
Na14-a-16	21.50	21.20	203	0.249	100	0.051
Na14-a-9	19.40	19.40	109	0.131	100	0.225
Na14-a-12	19.50	19.50	82	0.62	E-01100.00	0.049
			205	0.242	100	0.018
Na14-a-14	19.70	19.50	198	0.273	100	0.016
			83	0.66	E-01100.00	0.036
Na14-a-4	19.40	18.60	163	0.313	100	0.055
Na14-a-5	19.40	18.80	108	0.102	100	0.224
Na14-a-26	18.20	17.50	205	0.237	100	0.002
Na10-21	17.90	17.60	207	0.246	100	0.005
Na14-a-3	14.20	12.83	117	0.136	100	0.122
			115	0.148	100	0.106
Na10-20	17.90	13.80	87	0.81	E-01100.00	0.085
Na10-19	17.90	13.40	195	0.25	100	0.012
Na10-18	13.50	13.20	209	0.31	100	0.021

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Na10-17	13.20	12.80	78	0.66	E-01100.00	0.068
Na10-16	11.30	11.20				
Na10-15	10.40	10.30	137	0.221	100	0.07
Na10-13	10.20	10.10	159	0.194	100	0.068
			89	0.62	E-01100.00	0.041
Na10-12	8.70	8.60	214	0.292	100	0.069
Na10-10	8.40	8.40	159	0.329	100	0.052
			119	0.115	100	0.025
Na7	5.80	5.75	92	0.161	100	0.008
Na8	5.80	5.77	138	0.267	100	0.01
Na9	6.10	5.80	140	0.376	100	0.108
			51	0.328	100	0.042
Na10-3	6.40	6.20	125	0.16	100	0.011
			182	0.305	100	0.011
Na2-1	6.80	5.65	207	0.401	100	0.002
Na2-8	7.30	6.50	101	0.112	100	0.01
Na-2-9	8.60	6.70				
Na2-19	10.50	7.30				
Na10-2	10.50	9.00	195	0.413	100	0.032
Na10-1	8.90	8.80				
Na11-1	8.20	6.30	697	10.01	100	0.035
Na11-2	8.90	6.80				
Na11	6.70	5.93				
Na10	6.60	5.90				
Na10-5	6.70	6.70	200	0.465	100	0.011
Na10-8	6.72	6.72	157	0.257	100	0.002
Na12	8.60	5.22	230	0.872	100	0.002
Na13-a	6.50	5.23				
Na14-a	6.50	5.14	234	0.168	100	0.001
Na14-a-1	6.70	6.50				
Na14-a-2	6.90	6.50				
Na14-a-8	11.17	10.15				
Na14-a-7	7.30	7.30	169	0.263	100	0.002
Na17-a	6.90	6.12				
Na17-a-1	6.90	6.40	185	0.419	100	0.095
			206	0.495	100	0.117
Na20-a	7.20	6.85	153	0.21	100	0.005
Na17-a-2	7.10	6.84				
Na13-b	7.10	6.70				
Na13-b-1	11.98	10.70	116	0.132	100	0.049
Na13-b-2	15.00	14.90				
Na13-b-3	16.80	16.30	93	0.139	100	0.196

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Na13-b-4	20.00	19.30	143	0.247	100	0.042
			240	0.466	100	0.108
Na13-b-5	20.10	19.80				
Na13-b-6	20.10	19.97				
Na13-b-7	21.67	21.00	121	0.214	100	0.012
Na17-a-4	7.60	7.40	187	0.361	100	0.004
Na21-a	7.60	7.50	127	0.16	100	0.309
Na17-a-5	8.30	8.10				
Na17-a-6	19.60	19.30				
Na13-b-8	23.00	21.70				
Na13-b-9	23.00	22.50				
Na27-a	10.60	10.40	710	4.044	38.5	0.15
Na27-a-1	11.00	11.00	168	0.605	100	0.068
Na27-a-2	11.00	11.00				
Na27-a-3	22.60	21.10				
Na27-a-4	16.80	16.80				
Na27-a-6	22.00	21.80				
Na27-a-8	22.60	22.40				
Na27-a-7	22.60	22.40				
Na13-b-10	23.40	22.90	231	0.372	100	0.008
			299	0.962	100	0.021
Na27-a-22	23.40	23.20	189	0.377	100	0.014
Na27-a-21	23.40	22.90				
Na27-a-20	23.40	23.30	164	0.896	96.5	0.015
Na17-b-8	12.70	11.92				
Na14-b-4	12.70	8.50				
Na14-b-3	8.30	7.60				
Na14-b-2	7.80	7.30				
N14-b-1	7.80	7.10				
Na17-b-5	8.70	8.60	308	1.406	7.3	0.029
Na17-b-4	16.05	11.35	87	0.157	96.6	0.068
Na17-b-12	19.20	18.80	183	0.184	96.9	0.046
Na27-a-18	19.35	19.35				
Na14-b	7.00	7.00				
Na27-a-11	24.50	24.20				
Na27-a-9	21.55	21.40				
Na27-a-12	21.50	21.30				
Na27-a-13	21.20	21.20	110	0.221	100	0.062
Na27-a-16	21.10	21.10				
Na27-a-14	21.10	21.10				
Na27-a-15	21.63	21.37	260	0.443	92.9	0.004
Na17-b-7	21.63	20.78	188	0.45	99.9	0.054
Na17-b-6	19.64	18.55				

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Na17-b-3	12.64	10.69				
Na17-b-2	11.17	10.19				
Na17-b-1	9.99	8.84				
Na17-b	8.90	8.40				
Na18-b	9.20	9.00				
Na19-b	9.40	9.22				
Na29-a-4	14.20	13.90				
Na29-a-3	14.20	13.38				
Na29-a	12.00	11.60				
Na32-a	14.10	13.25				
Na39-a	20.10	17.40				
Na37-a	18.80	17.20				
Na36-a	16.70	16.30				
Na34-a	15.70	15.00				
Na29-a-5	20.50	20.20				
Na29-a-6	21.50	21.00				
Na20-b-16	32.90	31.55	362	0.291	99.8	0.022
Na20-b-11	33.40	28.85	358	0.393	100	0.027
Na20-b-15	30.70	29.55				
Na20-b-10	30.30	28.25				
Na20-b-12	30.30	28.40				
Na20-b-9	29.30	28.00				
Na20-b-8	29.00	26.30				
Na20-b-14	30.30	28.15	592	0.517	94.2	0.034
Na20-b-6	27.50	24.90				
Na20-b-5	23.60	21.00				
Na20-b-4	18.50	16.00				
Na20-b-3	18.20	15.80				
Na20-b-2	15.40	14.00				
Na20-b-1	13.50	10.60				
Na21-b	12.00	11.50				
Na20-b	11.20	11.20	604	11.059	80.8	0.066
Na15-b	8.10	7.70				
Na15-b-1	20.30	12.15	240	0.798	97.6	0.099
Nb1	7.10	5.54				
Nb2	8.40	5.98				
Na2-4	13.20	13.20				
Nb3	13.30	6.15				
Na2-6	14.40	14.20	104	0.99	E-01100.00	0.042
Na2-7	17.10	16.90	241	0.222	100	0.02
Nb5-3	14.00	14.00	238	0.734	100	0.053
Nb5-2	14.00	13.94				
Nb5	13.50	11.02				

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Nb5-1	14.00	13.80				
Nb5-124	18.80	18.30	172	0.276	100	0.047
Nb5-125	19.00	18.90	140	0.164	100	0.043
Nb5-5	15.40	15.40	102	0.122	100	0.023
Nb5-7	15.50	15.50	173	0.228	100	0.051
			178	0.21	100	0.05
Nb5-10	16.80	16.80				
Nb5-8	16.60	16.60	169	0.205	100	0.053
			79	0.68	E-01100.00	0.028
Nb5-12	17.90	17.70				
Nb5-11	17.80	17.60				
Nb5-107	20.22	20.22	156	0.291	100	0.021
Nb5-108	20.44	20.44	146	0.31	100	0.016
Nb5-119	20.60	20.40				
Nb5-122	20.40	20.20	95	0.75	E-01100.00	0.034
Nb5-121	20.40	20.20				
Nb5-120	20.50	20.30				
Nb5-123	22.80	22.60	119	0.195	100	0.052
Nb5-118	22.10	21.90	79	0.58	E-01100.00	0.038
Nb5-113	22.30	22.10				
Nb5-117	22.20	22.00	165	0.334	100	0.007
Nb5-114	22.30	22.10				
Nb5-106	25.10	23.90				
Nb5-110	24.10	23.90				
Nb5-111	23.80	23.60				
Nb5-109	24.80	23.60	152	0.289	100	0.033
Nb5-102	25.30	25.10				
Nb5-105	25.10	24.90	149	0.275	100	0.003
Nb5-104	25.10	24.90				
Nb5-103	25.30	25.10				
Nb5-17	19.50	19.30				
Nb5-18	20.20	20.00				
Nb5-19	19.70	19.50				
Nb5-14	19.50	19.40				
Nb5-83	22.80	22.60				
Nb5-85	22.10	21.90	159	0.329	100	0.029
Nb5-84	21.90	21.70				
Nb5-82	22.80	22.60	244	0.589	100	0.019
Nb5-100	25.80	25.60				
Nb5-99	26.00	25.80				
Nb5-98	26.10	25.90	115	0.183	100	0.03
Nb5-101	25.80	25.60	147	0.296	100	0.006

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Nb5-80	26.00	25.80	540	3.494	90.2	0.024
			219	0.688	100	0.045
Nb5-79	26.20	26.20	143	0.308	100	0.043
Nb5-81	26.00	26.00				
Nb5-54	38.60	37.05	193	0.266	99.9	0.031
Nb5-57	35.60	34.10	414	0.457	100	0.003
Nb5-55	37.00	35.60				
Nb5-58	34.70	33.70				
Nb5-60	34.50	34.00	223	0.344	100	0.061
Nb5-63	34.90	33.90	217	0.222	100	0.018
Nb5-86	34.70	33.80	346	1.424	100	0.037
Nb5-87	34.90	33.70	179	0.385	100	0.025
Nb5-89	34.00	33.70				
Nb5-90	32.70	32.50				
Nb5-91	32.50	32.40				
Nb5-93	32.00	31.80				
Nb5-92	32.00	31.90				
Nb5-94	29.50	29.30				
Nb5-96	29.30	29.10				
Nb5-95	29.50	29.40				
Nb5-97	29.10	29.00				
Nb5-62	35.20	34.10				
Nb6-64	37.50	36.20				
Nb6-63	38.10	36.60				
Nb6-65	36.70	35.40				
Nb6-66	37.80	36.50	215	0.152	100	0.025
Nb6-69	40.70	40.50	263	0.361	100	2.602
Nb6-68	41.10	40.90	292	0.373	100	0.059
Nb6-38	40.70	40.50	320	0.761	100	0.138
Nb6-37	38.20	38.10				
Nb6-36	30.40	29.90				
Nb6-70	38.80	38.60	285	0.352	100	0.065
Nb6-71	37.70	37.50	222	0.813	100	0.086
Nb6-83	28.90	28.60	236	0.284	100	0.056
Nb6-84	29.00	28.80	188	0.434	100	0.072
Nb6-85	28.90	28.70	73	0.425	100	0.002
Nb6-82	31.70	30.50	111	0.158	100	0.048
Nb6-81	31.40	31.20	236	0.289	100	0.077
Nb6-78	33.70	33.50	246	0.537	100	0.077
			247	0.56	100	0.077
Nb6-77	33.90	33.70				
Nb6-75	34.80	34.60	218	0.218	100	0.085
			235	0.859	100	0.027

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
Nb6-74	34.70	34.50	225	0.301	100	0.081
Nb6-59	20.70	20.40				
Nb6-41	20.90	20.30	173	0.42	100	0.03
Nb6-35	22.20	22.20				
Nb6-32	22.30	22.30				
Nb6-33	22.20	22.20				
Nb6-29	18.20	18.00				
Nb6-28	17.80	17.34	264	1.075	100	0.111
Nb6-26	17.10	16.60				
Nb6-5	19.50	19.30	234	0.705	100	0.037
Nb6-4	19.20	18.60	403	1.216	100	0.129
Nb6-86	22.00	21.80	231	0.558	100	0.059
Nb6-87	17.50	17.30				
Nb6-88	17.60	17.30	194	0.449	100	0.058
Nb6-9	12.00	12.00				
Nb6-8	12.40	11.50				
Nb6-11	11.40	10.90	168	0.175	100	0.024
Nb6-3	11.90	11.70	224	0.804	100	0.018
Nb6-1	11.90	11.70				
Nb6-2	12.10	11.90	398	1.431	100	0.133
Nb6	14.60	14.40				
Nb6-89	14.60	14.40				
Nb6-106	17.40	17.00	111	0.132	100	0.048
Nb6-107	21.40	20.20	148	0.197	100	0.054
Nb6-108	25.30	24.60	109	0.178	100	0.066
Nb6-95	25.50	25.50	119	0.149	100	0.003
Nb6-90	17.50	17.20				
Nb6-91	17.60	17.30	250	0.403	100	0.055
Nb6-98	25.60	24.40	191	0.263	100	0.073
Nb6-100	25.20	25.00	169	0.298	100	0.015
Nb6-103	25.20	25.10	211	0.66	100	0.112
			116	0.135	100	0.018
Nb6-97	25.20	24.90	175	0.165	100	0.005
Nb6-96	25.20	25.00				
Nb6-109	27.70	25.80	163	0.258	100	0.028
Nb6-110	30.00	28.60	185	0.259	100	0.023
Na27-a-16-1	22.10	21.60				
Na19-b-1	11.00	11.00				
c6	20.24	18.78				
c100	36.96	33.90	364	0.605	99.7	0.004
c141	33.29	32.66				
c140	34.39	33.39	409	0.682	99.5	0.021
c135	38.26	36.81	217	0.361	97.4	0.014

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
c126	64.30	63.23	283	0.286	99.8	0.061
c127	56.90	55.90				
c131	53.60	52.15	471	0.608	97.4	0.075
c130	53.60	52.51				
Nb5-a	21.70	11.80				
Nb5-b	13.20	12.20				
Nb6-35-3	40.60	40.50	313	0.401	100	0.143
Nb6-35-1	30.60	30.50				
Nb6-35-2	38.20	38.10				
Nb6-111	32.50	31.80	307	0.661	99.6	0.039
Nb6-112	33.50	32.30	123	0.294	100	0.073
Nb6-114	37.60	36.70				
Na27-a-17	20.60	20.20				
YG1	20.46	18.86				
YG2	20.29	18.89				
YG3	20.24	18.76				
YG4	24.93	23.53				
YG5	39.04	39.04				
D4	13.65	13.15				
D5	36.95	33.85				
D6	32.89	32.59				
c132	39.14	38.14				
N799	38.04	32.60				
N800	9.40	5.32				
Na11a	6.60	5.67				
C-OUT	2.40	1.60				
C-0	3.70	3.36				
C-1	5.60	5.45	378	0.383	100	0.012
C-2	5.30	5.26	174	0.935	100	0.01
C-3	5.40	5.30	264	0.563	100	0.007
			306	1.19	100	0.021
C-4	5.80	5.45	251	0.56	100	0.006
			257	0.676	100	0.005
C-5	6.20	5.60	327	1.984	100	0.057
C-6	7.50	7.30	255	0.76	100	0.016
C-7	11.00	10.80	177	0.636	100	0.005
			237	0.961	100	0.044
C-8	11.80	11.60	207	0.728	100	0.017
C-9	14.10	13.90	262	1.136	100	0.016
YG5.1	39.04	39.04				
MH816	36.94	36.10				
MH817	39.04	39.04				

부록 표. 1 맨홀 및 소유역 제원(계속)

Node명	지반고 (EL.m)	관저고 (EL.m)	유역면적 (ha)	유역폭 (m)	불투수율 (%)	평균경사 (ft/ft)
BS26	13.70	13.40	578	3.2605	70.76	0.072
			689	7.1667	90.28	0.045
BS27	16.00	15.40				
BS28	18.20	17.60	533	3.8555	39.46	0.047
BS29	24.00	22.41				
LH-AR03	33.24	22.54				
YG-OUT01	20.00	16.50				
ON-RVOUT	43.00	39.80				
ON-RV	42.83	41.19				
ON-RVIN	45.01	41.50				
LH-AR02	44.83	41.23				
LH-AR01	45.01	41.50				
BS-AROUT	45.00	43.62				
OFF-RV	42.83	36.12				
BS-AR01	50.00	48.50				
BS-AR02	42.60	35.00				
BS27-1	16.00	15.40				
BS25	13.20	12.90	763	1.5613	98.99	0.03
			290	0.267	100	0.032
YG-OUT02	33.00	15.50				
Nb7	34.50	14.68				
BS24	12.30	12.00	106	0.4776	91.35	0.138
MH819	9.10	7.70				

부록 표. 2 우수관거 제원

link	상류노드	하류노드	상류관저고 (m)	하류관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
La2	Na2	Na1	2	1.8	Rectangle	8	2.65	23.7	0.0084	0.014
La3	Na3	Na2	2	2	Rectangle	8	2.65	10.5	0	0.014
La4	Na4	Na3	2.14	2	Rectangle	8	2.65	63	0.0022	0.014
Lb1	Nb1	N800	2.04	1.82	Horseshoe	3.5	3.5	89.3	0.0025	0.014
La5	Na5	Na4	2.27	2.14	Rectangle	8	2.65	57	0.0023	0.014
La6	Na6	Na5	2.35	2.27	Rectangle	6	3.3	35.4	0.0023	0.014
La7	Na7	Na6	2.45	2.35	Rectangle	6	3.3	49.8	0.002	0.014
La8	Na8	Na7	2.47	2.45	Rectangle	6	3.3	4.7	0.0043	0.014
La11	Na11	Na10	2.63	2.6	Rectangle	6	3.3	9.1	0.0033	0.014
La10	Na10	Na9	2.6	2.5	Rectangle	6	3.3	83	0.0012	0.014
La9	Na9	Na8	2.5	2.47	Rectangle	6	3.3	44.3	0.0007	0.014
La12	Na12	Na11a	2.72	2.67	Rectangle	6	2.5	78.5	0.0006	0.014
La13-a	Na13-a	Na12	2.73	2.72	Rectangle	6	2.5	17.4	0.0006	0.014
La14-a	Na14-a	Na13-a	2.74	2.73	Rectangle	5	2	11.3	0.0009	0.014
La20-a	Na20-a	Na17-a	4.85	3.19	Rectangle	6	2	79.3	0.0209	0.014
La21-a	Na21-a	Na20-a	5.5	4.85	Rectangle	6	2	17.8	0.0365	0.014
La27-a	Na27-a	Na21-a	8.4	5.5	Rectangle	5	2	228.3	0.0127	0.014
La29-a	Na29-a	Na27-a	9.6	8.4	Rectangle	5	2	82.3	0.0146	0.014
La32-a	Na32-a	Na29-a	11.25	9.6	Rectangle	5	2	86.1	0.0192	0.014
La34-a	Na34-a	Na32-a	13	11.25	Rectangle	5	2	91.2	0.0192	0.014
La36-a	Na36-a	Na34-a	14.3	13	Rectangle	5	2	50	0.026	0.014
La37-a	Na37-a	Na36-a	15.2	14.3	Rectangle	5	2	26.8	0.0336	0.014
La39-a	Na39-a	Na37-a	15.4	15.2	Rectangle	5	2	61.5	0.0033	0.014
La6-2	Na6-2	Na6-1	13.12	13.1	Rectangle	0.4	0.4	8.2	0.0024	0.014
La6-1	Na6-1	Na6	13.1	5.3	Rectangle	0.4	0.4	45.9	0.1699	0.014
La3-4	Na3-4	Na3-2	14.3	13	Rectangle	0.5	0.4	51.1	0.0254	0.014
La3-2	Na3-2	Na3-1	13	12.9	Rectangle	0.5	0.4	8.3	0.012	0.014
La3-1	Na3-1	Na3	12.9	4.5	Rectangle	0.5	0.4	249.4	0.0337	0.014
La3-8	Na3-8	Na3-6	21	20.9	Rectangle	0.4	0.4	6.8	0.0147	0.014
La3-6	Na3-6	Na3-5	20.9	20.3	Circular	0.6	0.6	5.9	0.1017	0.014
La3-5	Na3-5	Na3-4	20.3	14.3	Circular	0.6	0.6	82.4	0.0728	0.014
La3-17	Na3-17	Na3-11	36.15	30.25	Rectangle	0.4	0.4	127.6	0.0462	0.014
La3-14	Na3-14	Na3-11	37.84	30.25	Rectangle	0.4	0.4	137.5	0.0552	0.014
La3-11	Na3-11	Na3-10	30.25	28.5	Rectangle	0.4	0.4	35.8	0.0489	0.014
La3-10	Na3-10	Na3-8	28.5	21	Rectangle	0.4	0.4	102.9	0.0729	0.014
La14-a-19	Na14-a-19	Na14-a-18	33.6	27.1	Rectangle	0.4	0.4	84.8	0.0767	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류 관저고 (m)	하류 관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
Lal4-a-18	Na14-a-18	Na14-a-17	27.1	20.9	Rectangle	0.4	0.4	52.1	0.119	0.014
Lal4-a-17	Na14-a-17	Na14-a-16	20.9	20.8	Rectangle	0.4	0.4	7.2	0.0139	0.014
Lal4-a-16	Na14-a-16	Na14-a-12	20.8	19.1	Rectangle	0.4	0.4	41.9	0.0406	0.014
Lal4-a-14	Na14-a-14	Na14-a-26	19.1	17.1	Rectangle	0.4	0.4	48.8	0.041	0.014
Lal4-a-26	Na14-a-26	Na10-21	17.1	17	Rectangle	0.4	0.4	7.1	0.0141	0.014
Lal0-21	Na10-21	Na10-20	17	13.2	Circular	0.6	0.6	44.9	0.0846	0.014
Lal0-20	Na10-20	Na10-19	13.2	12.8	Circular	0.6	0.6	4.5	0.0889	0.014
Lal0-19	Na10-19	Na10-18	12.8	12.6	Circular	0.6	0.6	7.2	0.0278	0.014
Lal0-18	Na10-18	Na10-17	12.6	12.2	Circular	0.6	0.6	6.2	0.0645	0.014
Lal0-17	Na10-17	Na10-16	12.2	10.6	Circular	0.6	0.6	36.7	0.0436	0.014
Lal0-16	Na10-16	Na10-15	10.6	9.7	Circular	0.6	0.6	6.2	0.1452	0.014
Lal0-15	Na10-15	Na10-13	9.7	9.5	Circular	0.6	0.6	4.5	0.0444	0.014
Lal0-13	Na10-13	Na10-12	9.5	8	Circular	0.6	0.6	40.1	0.0374	0.014
Lal0-12	Na10-12	Na10-10	8	7.8	Circular	0.6	0.6	6.2	0.0323	0.014
Lal0-8	Na10-8	Na10-5	6.32	6.3	Rectangle	0.4	0.4	8	0.0025	0.014
Lal0-10	Na10-10	Na10-8	7.8	6.32	Rectangle	0.4	0.4	71.9	0.0206	0.014
Lal0-5	Na10-5	Na10	6.3	4.6	Rectangle	0.4	0.4	51.1	0.0333	0.014
Lal1-2	Na11-2	Na11-1	6.1	5.5	Circular	0.7	0.7	5.7	0.1053	0.014
Lal1-1	Na11-1	Na11	5.5	5	Circular	0.8	0.8	40.3	0.0124	0.014
Lal4-a-5	Na14-a-5	Na14-a-4	18.2	18	Circular	0.6	0.6	5.2	0.0385	0.014
Lal4-a-4	Na14-a-4	Na14-a-3	18	12.23	Circular	0.6	0.6	91.9	0.0628	0.014
Lal4-a-3	Na14-a-3	Na14-a-2	12.23	5.9	Circular	0.6	0.6	47.6	0.133	0.014
Lal4-a-2	Na14-a-2	Na14-a-1	5.9	5.7	Circular	0.6	0.6	14.9	0.0134	0.014
Lal4-a-1	Na14-a-1	Na14-a	5.9	4.54	Circular	0.6	0.6	10.2	0.1333	0.014
Lal4-a-10	Na14-a-10	Na14-a-9	27.2	19	Rectangle	0.4	0.4	106.1	0.0773	0.014
Lal4-a-9	Na14-a-9	Na14-a-8	19	9.75	Rectangle	0.4	0.4	45.4	0.2037	0.014
Lal4-a-8	Na14-a-8	Na14-a-7	9.75	6.7	Rectangle	0.4	0.4	15	0.2033	0.014
Lal4-a-7	Na14-a-7	Na14-a-1	6.7	5.9	Rectangle	0.4	0.6	110.7	0.0072	0.014
Lal7-a-1	Na17-a-1	Na17-a	6	5.72	Circular	0.4	0.4	7.3	0.0384	0.014
Lal7-a-4	Na17-a-4	Na17-a-2	7	6.44	Circular	0.4	0.4	49.8	0.0112	0.014
Lal7-a-2	Na17-a-2	Na17-a-1	6.44	6	Circular	0.4	0.4	39.8	0.0111	0.014
Lal7-a-6	Na17-a-6	Na17-a-5	18.9	7.7	Rectangle	0.4	0.4	57.4	0.1951	0.014
Lal7-a-5	Na17-a-5	Na17-a-4	7.7	7	Rectangle	0.4	0.4	72.4	0.0097	0.014
Lal3-b	Na13-b	Na12	5.2	3.72	Rectangle	6	1.5	58	0.0255	0.014
Lal3-b-1	Na13-b-1	Na13-b	10.3	6.3	Circular	0.4	0.4	30.6	0.1307	0.014
Lal3-b-2	Na13-b-2	Na13-b-1	14.5	10.3	Circular	0.4	0.4	22.3	0.1883	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류관저고 (m)	하류관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
La13-b-3	Na13-b-3	Na13-b-2	15.9	14.5	Circular	0.4	0.4	17	0.0824	0.014
La13-b-4	Na13-b-4	Na13-b-3	18.9	15.9	Circular	0.4	0.4	42.3	0.0709	0.014
La13-b-5	Na13-b-5	Na13-b-4	19.3	18.9	Circular	0.4	0.4	10.5	0.0381	0.014
La13-b-6	Na13-b-6	Na13-b-5	19.47	19.3	Circular	0.5	0.5	10.8	0.0157	0.014
La13-b-7	Na13-b-7	Na13-b-6	20.5	19.47	Circular	0.5	0.5	64.2	0.016	0.014
La13-b-8	Na13-b-8	Na13-b-7	21.3	20.5	Rectangle	0.4	0.4	113.3	0.0071	0.014
La13-b-9	Na13-b-9	Na13-b-8	22.1	21.3	Circular	0.4	0.4	15.4	0.0519	0.014
La13-b-10	Na13-b-10	Na13-b-9	22.5	22.1	Circular	0.4	0.4	30.6	0.0131	0.014
La29-a-6	Na29-a-6	Na29-a-5	19.5	18.7	Rectangle	1.5	1.5	72.4	0.011	0.014
La29-a-5	Na29-a-5	Na29-a-4	18.7	12.4	Rectangle	3	1.5	164.3	0.0383	0.014
La29-a-4	Na29-a-4	Na29-a-3	12.4	11.88	Rectangle	3	1.5	16.8	0.031	0.014
La29-a-3	Na29-a-3	Na29-a	11.88	9.6	Rectangle	3	1.5	110.45	0.0206	0.014
La21-b	Na21-b	Na20-b	9.5	9.2	Rectangle	3	2	59.5	0.005	0.014
La20-b	Na20-b	Na19-b-1	9.2	9	Rectangle	3	2	28.6	0.007	0.014
La19-b	Na19-b	Na18-b	7.22	7	Rectangle	3	2	17.2	0.0128	0.014
La18-b	Na18-b	Na17-b	7	6.9	Rectangle	6	1.5	24.8	0.004	0.014
La17-b	Na17-b	Na15-b	6.9	6.2	Rectangle	6	1.5	48.3	0.0145	0.014
La27-a-3	Na27-a-3	Na27-a-2	16	10.6	Rectangle	0.5	0.4	10.9	0.4954	0.014
La27-a-2	Na27-a-2	Na27-a-1	10.6	10.4	Rectangle	0.5	0.4	5.48	0.0365	0.014
La27-a-1	Na27-a-1	Na27-a	10.4	9.8	Circular	0.6	0.6	6.1	0.0984	0.014
La27-a-22	Na27-a-22	Na27-a-6	22.8	21.4	Rectangle	0.5	0.4	88.1	0.0159	0.014
La27-a-7	Na27-a-7	Na27-a-6	22	21.4	Rectangle	0.5	0.4	26.4	0.0227	0.014
La27-a-8	Na27-a-8	Na27-a-3	22	20.7	Rectangle	0.5	0.4	112.9	0.0115	0.014
La27-a-18	Na27-a-18	Na17-b-12	18.85	18	Rectangle	0.4	0.5	6.9	0.1232	0.014
La27-a-6	Na27-a-6	Na27-a-4	21.4	16.4	Rectangle	0.5	0.4	81.6	0.0613	0.014
La27-a-4	Na27-a-4	Na27-a-1	16.4	10.4	Rectangle	0.5	0.4	18.2	0.3297	0.014
La27-a-21	Na27-a-21	Na27-a-16-1	22.5	21.2	Circular	0.4	0.4	78	0.0167	0.014
La27-a-19	Na27-a-20	Na27-a-17	22.8	19.7	Rectangle	0.4	0.5	40.9	0.0758	0.014
La27-a-17	Na27-a-16-1	Na27-a-16	21.2	20.7	Circular	0.4	0.4	23.8	0.021	0.014
La27-a-16	Na27-a-16	Na27-a-14	20.7	20.6	Circular	0.4	0.4	3.1	0.0323	0.014
La27-a-14	Na27-a-14	Na17-b-12	20.6	18	Rectangle	0.45	0.5	57.2	0.0455	0.014
La27-a-9	Na27-a-9	Na27-a-12	20.9	20.8	Rectangle	0.45	0.5	6.6	0.0152	0.014
La27-a-12	Na27-a-12	Na27-a-13	20.8	20.7	Rectangle	0.45	0.5	6.6	0.0152	0.014
La27-a-13	Na27-a-13	Na27-a-14	20.7	20.6	Rectangle	0.45	0.5	6.1	0.0164	0.014
La27-a-11	Na27-a-11	Na27-a-12	23.7	20.8	Rectangle	0.45	0.5	36.6	0.0792	0.014
La27-a-15	Na27-a-15	Na27-a-14	20.87	20.6	Rectangle	0.45	0.5	10.45	0.0258	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류관저고 (m)	하류관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
La17-b-7	Na17-b-7	Na17-b-6	20.28	18.05	Circular	0.5	0.5	35.71	0.0624	0.014
La17-b-6	Na17-b-6	Na17-b-4	18.05	10.55	Circular	0.5	0.5	56.26	0.1333	0.014
La17-b-8	Na17-b-8	Na17-b-4	11.12	10.55	Circular	0.8	0.8	57.8	0.0099	0.014
La14-b-5	Na17-b-5	Na14-b-4	8.2	7.9	Rectangle	0.4	0.4	64.8	0.0046	0.014
La14-b-4	Na14-b-4	Na14-b-3	7.9	7	Rectangle	0.4	0.6	35.6	0.0253	0.014
La14-b-3	Na14-b-3	Na14-b-2	7	6.9	Circular	0.4	0.4	43.4	0.0023	0.014
La14-b-2	Na14-b-2	Na14-b-1	6.9	6.7	Circular	0.4	0.4	8.5	0.0235	0.014
La14-b-1	Na14-b-1	Na14-b	6.7	6.5	Circular	0.4	0.4	17.6	0.0114	0.014
La17-b-4	Na17-b-4	Na17-b-3	10.55	9.89	Circular	0.8	0.8	52.93	0.0125	0.014
La17-b-3	Na17-b-3	Na17-b-2	9.89	9.39	Circular	0.8	0.8	11.26	0.0444	0.014
La17-b-2	Na17-b-2	Na17-b-1	9.39	8.04	Circular	0.8	0.8	33.3	0.0405	0.014
La17-b-1	Na17-b-1	Na17-b	8.04	7	Circular	0.8	0.8	23.24	0.0448	0.014
La15-b-1	Na15-b-1	Na15-b	11.65	7	Circular	0.5	0.5	44.2	0.1052	0.014
La15-b	Na15-b	Na14-b	6.2	5.5	Rectangle	6	1.5	123.1	0.0057	0.014
La14-b	Na14-b	Na13-b	5.5	5.2	Rectangle	6	1.5	86.1	0.0035	0.014
La20-b-11	Na20-b-11	Na20-b-10	28.4	27.8	Circular	0.45	0.45	60.4	0.0099	0.014
La20-b-16	Na20-b-16	Na20-b-15	31.1	29.1	Circular	0.45	0.45	59.9	0.0334	0.014
La20-b-15	Na20-b-15	Na20-b-12	29.1	27.6	Circular	0.45	0.45	60	0.025	0.014
La20-b-12	Na20-b-12	Na20-b-9	27.6	27.2	Circular	0.8	0.8	25	0.016	0.014
La20-b-10	Na20-b-10	Na20-b-9	27.8	27.2	Circular	0.45	0.45	59.9	0.01	0.014
La20-b-9	Na20-b-9	Na20-b-8	27.2	25.5	Circular	0.8	0.8	11.2	0.1518	0.014
La20-b-8	Na20-b-8	Na20-b-6	25.5	24.1	Circular	0.8	0.8	19.2	0.0729	0.014
La20-b-6	Na20-b-6	Na20-b-5	24.1	20.2	Circular	0.8	0.8	20.1	0.194	0.014
La20-b-5	Na20-b-5	Na20-b-4	20.2	15.2	Circular	0.8	0.8	16.7	0.2994	0.014
La20-b-4	Na20-b-4	Na20-b-3	15.2	15	Circular	0.8	0.8	17.4	0.0115	0.014
La20-b-3	Na20-b-3	Na20-b-2	15	13.2	Circular	0.8	0.8	19.9	0.0905	0.014
La20-b-14	Na20-b-14	Na20-b-12	27.7	27.6	Circular	0.45	0.45	52	0.0019	0.014
La20-b-2	Na20-b-2	Na20-b-1	13.2	9.8	Circular	0.8	0.8	14.2	0.2394	0.014
La20-b-1	Na20-b-1	Na20-b	9.8	9.5	Circular	0.8	0.8	28.3	0.0106	0.014
La10-2	Na10-2	Na10-1	8.5	8.1	Circular	0.5	0.5	42.1	0.0095	0.014
La10-1	Na10-1	Na10	8.1	4.3	Circular	0.7	0.7	62.3	0.061	0.014
La10-3	Na10-3	Na10	5.8	5.4	Rectangle	0.4	0.4	67.2	0.006	0.014
La2-10	Na2-10	Na2-9	6.7	6.1	Circular	0.6	0.6	31.1	0.0193	0.014
La2-9	Na2-9	Na2-8	6.1	5.9	Circular	0.6	0.6	45.9	0.0044	0.014
La2-1	Na2-1	Na2	4.95	4	Circular	0.6	0.6	176	0.0054	0.014
La2-4	Na2-4	Na2-1	12.5	4.95	Rectangle	0.5	0.7	189.7	0.0398	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류관저고 (m)	하류관저고 (m)	형상	너비 (m)	작경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
La2-7	Na2-7	Na2-6	16.5	13.8	Rectangle	0.4	0.4	132.1	0.0204	0.014
La2-6	Na2-6	Na2-4	13.8	12.5	Rectangle	0.4	0.4	22.8	0.057	0.014
Lb2	Nb2	Nb1	2.48	2.04	Rectangle	3.5	3.5	180.85	0.0024	0.014
Lb3	Nb3	Nb2	2.65	2.48	Rectangle	3.5	3.5	127	0.0013	0.014
Lb5	Nb5	Nb3	7.52	2.65	Rectangle	3.5	3.5	269.1	0.0181	0.014
Lb5-79	Nb5-79	Nb5-81	25.6	25.4	Rectangle	0.6	0.6	5.4	0.037	0.014
Lb5-80	Nb5-80	Nb5-82	25.4	22.2	Rectangle	0.4	0.4	48.3	0.0663	0.014
Lb5-81	Nb5-81	Nb5-83	25.4	22	Rectangle	0.6	0.6	50.5	0.0673	0.014
Lb5-83	Nb5-83	Nb5-85	22	21.3	Rectangle	0.6	0.6	6.6	0.1061	0.014
Lb5-85	Nb5-85	Nb5-19	21.3	18.9	Rectangle	0.6	0.6	53.8	0.0446	0.014
Lb5-82	Nb5-82	Nb5-84	22.2	21.3	Rectangle	0.4	0.4	13.4	0.0672	0.014
Lb5-18	Nb5-18	Nb5-17	19.4	18.7	Rectangle	0.6	0.6	13.9	0.0504	0.014
Lb5-84	Nb5-84	Nb5-18	21.3	19.4	Rectangle	0.4	0.4	49.3	0.0385	0.014
Lb5-19	Nb5-19	Nb5-14	18.9	18.6	Rectangle	0.6	0.6	11	0.0273	0.014
Lb5-14	Nb5-14	Nb5-12	18.6	16.9	Rectangle	1	0.8	37.2	0.0457	0.014
Lb5-17	Nb5-17	Nb5-14	18.7	18.6	Rectangle	0.6	0.6	8.5	0.0118	0.014
Lb5-12	Nb5-12	Nb5-11	16.9	16.8	Rectangle	1	0.8	5.6	0.0179	0.014
Lb5-107	Nb5-107	Nb5-12	19.72	17.2	Rectangle	0.5	0.5	43.6	0.0578	0.014
Lb5-108	Nb5-108	Nb5-11	19.94	17.1	Rectangle	0.5	0.5	50.6	0.0561	0.014
Lb5-113-1	Nb5-113	Nb5-118	21.3	21.1	Rectangle	0.5	0.8	12.5	0.016	0.014
Lb5-11	Nb5-11	Nb5-10	16.8	16	Rectangle	1	0.8	42.9	0.0186	0.014
Lb5-10	Nb5-10	Nb5-8	16	15.8	Rectangle	1	0.8	7.2	0.0278	0.014
Lb5-8	Nb5-8	Nb5-7	15.8	14.7	Rectangle	1	0.8	42.2	0.0261	0.014
Lb5-7	Nb5-7	Nb5-5	14.7	14.6	Rectangle	1	0.8	6.1	0.0164	0.014
Lb5-5	Nb5-5	Nb5-2	14.6	13	Rectangle	1	0.8	49.8	0.0321	0.014
Lb5-119-1	Nb5-119	Nb5-122	19.6	19.4	Rectangle	0.5	0.8	12.5	0.016	0.014
Lb5-118-1	Nb5-118	Nb5-119	21.1	19.6	Rectangle	0.5	0.8	39.6	0.0379	0.014
Lb5-123	Nb5-123	Nb5-120	22.1	19.8	Rectangle	0.5	0.5	41.6	0.0553	0.014
Lb5-112-1	Nb5-122	Nb5-124	19.4	17.5	Rectangle	0.5	0.8	44.8	0.0424	0.014
Lb5-121	Nb5-121	Nb5-125	19.7	18.4	Rectangle	0.5	0.5	50.1	0.0259	0.014
Lb5-125	Nb5-125	Nb5-124	18.4	16.7	Rectangle	0.5	0.4	11.6	0.1466	0.014
Lb5-109	Nb5-109	Nb5-113	22.8	21.3	Rectangle	0.5	0.8	35.3	0.0425	0.014
Lb5-106	Nb5-106	Nb5-109	23.1	22.8	Rectangle	0.5	0.8	13.9	0.0216	0.014
Lb5-111	Nb5-111	Nb5-114	23.1	21.6	Rectangle	0.5	0.5	39.4	0.0381	0.014
Lb5-114	Nb5-114	Nb5-117	21.6	21.5	Rectangle	0.5	0.5	7.3	0.0137	0.014
Lb5-117	Nb5-117	Nb5-120	21.5	19.8	Rectangle	0.5	0.5	42.5	0.04	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류 관저고 (m)	하류 관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
Lb5-120	Nb5-120	Nb5-121	19.8	19.7	Rectangle	0.5	0.5	4.4	0.0227	0.014
Lb5-110	Nb5-110	Nb5-111	23.4	23.1	Rectangle	0.5	0.5	12	0.025	0.014
Lb5-105	Nb5-105	Nb5-106	24.1	23.1	Rectangle	0.5	0.8	32.3	0.031	0.014
Lb5-103	Nb5-103	Nb5-104	24.6	24.4	Rectangle	0.5	0.5	9.1	0.022	0.014
Lb5-104	Nb5-104	Nb5-110	24.4	23.4	Rectangle	0.5	0.5	36.8	0.0272	0.014
Lb5-102	Nb5-102	Nb5-105	24.3	24.1	Rectangle	0.5	0.8	16.2	0.0123	0.014
Lb5-101	Nb5-101	Nb5-102	24.8	24.3	Rectangle	0.5	0.8	35.6	0.014	0.014
Lb5-99	Nb5-99	Nb5-100	25.3	25.1	Rectangle	0.5	0.5	6.1	0.0328	0.014
Lb5-100	Nb5-100	Nb5-103	25.1	24.6	Rectangle	0.5	0.5	41.8	0.012	0.014
Lb5-98-1	Nb5-98	Nb5-101	25.1	24.8	Rectangle	0.5	0.8	12.4	0.0242	0.014
Lb5-96	Nb5-96	Nb5-98	28.3	25.1	Rectangle	0.5	0.8	69.7	0.0459	0.014
Lb5-95	Nb5-95	Nb5-97	28.8	28.4	Rectangle	0.5	0.6	15.2	0.0263	0.014
Lb5-97	Nb5-97	Nb5-99	28.4	25.3	Rectangle	0.5	0.5	64	0.0484	0.014
Lb5-90	Nb5-90	Nb5-93	31.7	31	Rectangle	0.5	0.8	14.2	0.0493	0.014
Lb5-93	Nb5-93	Nb5-94	31	28.5	Rectangle	0.5	0.8	42.5	0.0588	0.014
Lb5-91	Nb5-91	Nb5-92	31.8	31.3	Rectangle	0.5	0.6	14.3	0.035	0.014
Lb5-92	Nb5-92	Nb5-95	31.3	28.8	Rectangle	0.5	0.6	39.5	0.0633	0.014
Lb5-54	Nb5-54	Nb5-55	36.6	35.1	Circular	0.45	0.45	51.6	0.0291	0.014
Lb5-55	Nb5-55	Nb5-57	35.1	33.6	Circular	0.5	0.5	27.2	0.0551	0.014
Lb5-57	Nb5-57	Nb5-58	33.6	33.2	Circular	0.5	0.5	48.4	0.0083	0.014
Lb5-60	Nb5-60	Nb5-62	33.5	33.3	Circular	0.5	0.5	38.3	0.0052	0.014
Lb5-58	Nb5-58	Nb5-63	33.2	33.1	Circular	0.5	0.5	68.2	0.0015	0.014
Lb5-94	Nb5-94	Nb5-96	28.5	28.3	Rectangle	0.5	0.8	8.4	0.0238	0.014
Lb5-62	Nb5-62	Nb5-63	33.3	33.1	Circular	0.8	0.8	24.8	0.0081	0.014
Lb5-63	Nb5-63	Nb5-86	33.1	33	Circular	0.8	0.8	10.2	0.0098	0.014
Lb5-86	Nb5-86	Nb5-89	33	32.9	Circular	0.8	0.8	13.6	0.0074	0.014
Lb5-89	Nb5-89	Nb5-90	32.9	31.7	Rectangle	0.5	0.8	25.8	0.0465	0.014
Lb5-87	Nb5-87	Nb5-91	33.2	31.8	Rectangle	0.5	0.5	42	0.0333	0.014
Lb6-65	Nb6-65	Nb5-63	34.9	33.1	Circular	0.5	0.5	58.3	0.0309	0.014
Lb6-64	Nb6-64	Nb5-62	35.7	33.3	Circular	0.5	0.5	63	0.0381	0.014
Lb6-63-1	Nb6-63	Nb6-64	36.1	35.7	Circular	0.5	0.5	37	0.0108	0.014
Lb6-66-1	Nb6-66	Nb6-65	36	34.9	Circular	0.5	0.5	44.3	0.0248	0.014
Lb6-59	Nb6-59	Nb6-41	18.9	18.8	Rectangle	2.5	1.5	42.6	0.0023	0.014
Lb6-68	Nb6-68	Nb5-91	40.4	31.8	Rectangle	0.5	0.5	130.4	0.066	0.014
Lb6-69-1	Nb6-69	Nb5-92	40	31.3	Rectangle	0.5	0.5	127.7	0.0681	0.014
Lb6-70	Nb6-70	Nb5-95	38.1	28.8	Rectangle	0.5	0.5	132.2	0.0703	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류관저고(m)	하류관저고(m)	형상	너비(m)	직경(m)	길이(m)	관구배(ft/ft)	조도계수
Lb6-71	Nb6-71	Nb5-97	37	28.4	Rectangle	0.5	0.5	129.8	0.0663	0.014
Lb6-74	Nb6-74	Nb5-100	34.2	25.1	Rectangle	0.4	0.3	102.7	0.0886	0.014
Lb6-75	Nb6-75	Nb6-77	34.2	33.3	Rectangle	0.4	0.4	30.5	0.0295	0.014
Lb6-77	Nb6-77	Nb5-103	33.3	24.6	Rectangle	0.4	0.4	104.9	0.0829	0.014
Lb6-78-1	Nb6-78	Nb5-104	33	24.4	Rectangle	0.5	0.5	110.5	0.0778	0.014
Lb6-81	Nb6-81	Nb5-111	30.8	23.1	Rectangle	0.5	0.4	105.5	0.073	0.014
Lb6-82	Nb6-82	Nb6-83	30	28.1	Rectangle	0.5	0.5	45.2	0.042	0.014
Lb6-85	Nb6-85	Nb6-83	28.2	28.1	Rectangle	0.5	0.5	24.5	0.0041	0.014
Lb6-83	Nb6-83	Nb5-114	28.1	21.6	Rectangle	0.5	0.5	133.5	0.0487	0.014
Lb6-84	Nb6-84	Nb5-117	28.3	21.5	Rectangle	0.5	0.5	129.2	0.0526	0.014
Lb6-38	Nb6-38	Nb6-37	40.1	37.7	Circular	0.4	0.4	28.6	0.0839	0.014
Lb6-37	Nb6-37	Nb6-36	37.7	29.5	Circular	0.4	0.4	32.7	0.2508	0.014
Lb6-36	Nb6-36	Nb6-32	29.5	21.9	Circular	0.4	0.4	38.4	0.1979	0.014
Lb6-32	Nb6-32	Nb6-28	21.9	15.84	Rectangle	0.4	0.4	51.4	0.1179	0.014
Lb6-34	Nb6-35	Nb6-33	21.8	21.7	Rectangle	0.5	0.4	6.8	0.0147	0.014
Lb6-29	Nb6-29	Nb6-28	16.2	15.84	Rectangle	2.5	1.5	6.55	0.055	0.014
Lb6-28	Nb6-28	Nb6-26	15.84	15.1	Rectangle	2.5	1.5	13.67	0.0541	0.014
Lb6-26	Nb6-26	Nb6-11	15.1	9.4	Rectangle	2.5	1.5	280.3	0.0203	0.014
Lb6-11	Nb6-11	Nb6-9	9.4	9.35	Rectangle	2.5	1.5	10	0.005	0.014
Lb6-8	Nb6-8	Nb6-9	11	10.9	Circular	0.5	0.5	5.1	0.0196	0.014
Lb6-88	Nb6-88	Nb6-87	17	16.9	Rectangle	0.4	0.3	23.6	0.0042	0.014
Lb6-103	Nb6-103	Nb6-100	24.6	24.5	Circular	0.5	0.5	7.7	0.013	0.014
Lb6-96	Nb6-96	Nb6-97	24.5	24.4	Circular	0.5	0.5	8.1	0.0123	0.014
Lb6-100	Nb6-100	Nb6-97	24.5	24.4	Rectangle	0.5	0.4	14.8	0.0068	0.014
Lb6-95	Nb6-95	Nb6-96	25	24.5	Rectangle	0.5	0.5	36.6	0.0137	0.014
Lb6-97-1	Nb6-97	Nb6-98	24.4	24	Rectangle	0.5	0.4	66.3	0.006	0.014
Lb6-98	Nb6-98	Nb6-91	24	16.8	Rectangle	0.5	0.4	41	0.1756	0.014
Lb6-91	Nb6-91	Nb6-90	16.8	16.7	Rectangle	0.5	0.5	10.1	0.0099	0.014
Lb6-5	Nb6-5	Nb6-3	18.8	11.2	Rectangle	0.5	0.5	222.4	0.0342	0.014
Lb6-4	Nb6-4	Nb6-2	18.2	11.5	Rectangle	0.4	0.4	214.4	0.0312	0.014
Lb6-2	Nb6-2	Nb6-1	11.5	11.2	Circular	0.4	0.4	4.8	0.0625	0.014
Lb6-90	Nb6-90	Nb6	15.7	10.9	Rectangle	2.5	1.5	99.3	0.0483	0.014
Lb6-106	Nb6-106	Nb6-89	16.5	13.9	Rectangle	0.5	0.5	50	0.052	0.014
Lb6	Nb6	Nb5-b	10.9	8.7	Rectangle	3.5	3.5	147.16	0.0149	0.014
Lb6-1	Nb6-1	Nb6-3	11.2	11.17	Circular	0.5	0.5	6.2	0.0048	0.014
Lb6-3	Nb6-3	Nb6-8	11.17	11	Circular	0.5	0.5	74	0.0023	0.014

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류관저고 (m)	하류관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
Lb6-89	Nb6-89	Nb6-1	13.9	11.2	Rectangle	0.5	0.5	70.7	0.0382	0.014
Lb6-107	Nb6-107	Nb6-106	19.7	16.5	Circular	0.5	0.5	68.6	0.0466	0.014
Lb6-108	Nb6-108	Nb6-107	24.1	19.7	Circular	0.5	0.5	55.9	0.0787	0.014
Lb6-110	Nb6-110	Nb6-109	27.8	25.3	Circular	0.5	0.5	21.6	0.1157	0.014
Lb6-109	Nb6-109	Nb6-108	25.3	24.1	Circular	0.5	0.5	41.8	0.0287	0.014
Lb6-86	Nb6-86	Nb5-125	21.4	18.4	Rectangle	0.5	0.4	101.3	0.0296	0.014
Lb5-124	Nb5-124	Nb5-1	16.7	12.3	Circular	1.2	1.2	74.8	0.0588	0.014
Lb5-1	Nb5-1	Nb5	12.3	7.52	Rectangle	2	1.5	4.76	1.0042	0.014
Lb5-3	Nb5-3	Nb5-2	12.5	12.44	Rectangle	2	1.5	11.71	0.0051	0.014
Lb5-2	Nb5-2	Nb5-1	12.44	12.3	Rectangle	2	1.5	29.9	0.0047	0.014
La1	Na1	Nb0	1.8	1.8	M baskhnd	8	6	6.4	0	0.014
Lb6-41	Nb6-41	Nb6-29	18.8	16.2	Rectangle	2.5	1.5	53.2	0.0489	0.014
La17-a	Na17-a	Na14-a	3.19	2.74	Rectangle	5	2	122.3	0.0037	0.014
La19-b-1	Na19-b-1	Na19-b	9	7.22	Rectangle	3	2	137	0.013	0.014
La14-a-12	Na14-a-12	Na14-a-9	19.1	19	Rectangle	0.4	0.4	6.9	0.0145	0.014
La2-8	Na2-8	Na2-1	5.9	4.95	Circular	0.6	0.6	50.6	0.0188	0.014
L717	c135	c140	36.01	32.59	Circular	0.8	0.8	153.61	0.0223	0.014
L718	c140	c141	31.5	31.1	Circular	0.9	0.9	61.33	0.0065	0.014
L732	c126	c127	62.78	55.45	Circular	0.45	0.45	65.66	0.1116	0.014
L733	c127	c130	53.87	52.06	Circular	0.45	0.45	63.56	0.0285	0.014
L734	c130	c131	52.06	51.7	Circular	0.45	0.45	11.37	0.0317	0.014
L736	c131	c132	51	37.69	Circular	0.45	0.45	176.78	0.0753	0.014
L745	Nb6-87	Nb6-9	16.9	11.6	Rectangle	0.4	0.4	58.1	0.0912	0.014
L746	Nb5-b	Nb5-a	8.7	8.3	Rectangle	3.5	3.5	90.64	0.0044	0.014
L747	Nb5-a	Nb5	8.3	7.52	Rectangle	3.5	3.5	183.79	0.0042	0.014
L748	Nb6-33	Nb6-29	21.7	17.5	Rectangle	0.4	0.5	47.7	0.0881	0.014
L749	Nb6-35-3	Nb6-35-2	40.1	37.7	Circular	0.4	0.4	27.1	0.0886	0.014
L750	Nb6-35-2	Nb6-35-1	37.7	30.1	Circular	0.4	0.4	32.6	0.2331	0.014
L751	Nb6-35-1	Nb6-35	30.1	21.8	Circular	0.4	0.4	38.9	0.2134	0.014
L752	Nb6-9	Nb5-b	9.35	9.31	Rectangle	2.5	1.5	8	0.005	0.014
L754	Nb6-114	Nb6-111	35.9	31	Circular	0.8	0.8	52.8	0.0928	0.014
L756	Nb6-111	Nb6-110	31	27.8	Circular	0.8	0.8	51.1	0.0626	0.014
L757	Nb6-112	Nb6-111	31.85	31	Circular	0.45	0.45	38	0.0224	0.014
L758	Na27-a-17	Na27-a-18	19.7	18.85	Rectangle	0.4	0.5	11	0.0773	0.014
L760	YG4	YG3	21.23	16.06	Trapezoid	8.4	2.3	323	0.016	0.03
L761	YG3	YG2	16.06	15.49	Trapezoid	7.64	2.68	40	0.0142	0.03

부록 표. 2 우수관거 제원(계속)

link	상류노드	하류노드	상류 관저고 (m)	하류 관저고 (m)	형상	너비 (m)	직경 (m)	길이 (m)	관구배 (ft/ft)	조도 계수
L762	YG2	YG1	15.49	15.46	Trapezoid	6.2	3.4	25.6	0.0012	0.03
L763	YG1	Na39-a	15.46	15.4	Rectangle	5	2	17	0.0035	0.014
L767	D4	Na21-b	11.15	9.5	Rectangle	3	2	38.65	0.0427	0.014
L770	c100	D5	32.9	32.85	Circular	1	1	9.81	0.0051	0.014
L771	D5	Nb6-59	32.85	18.9	Circular	1	1	50.55	0.276	0.014
L772	c141	D6	30.86	30.79	Rectangle	1.5	1.8	13.6	0.0051	0.014
L773	D6	Nb6-59	30.79	18.9	Rectangle	1	0.6	66.26	0.1794	0.014
L785	c132	Nb6-114	36.67	36	Circular	0.45	0.45	18.35	0.0365	0.014
L795	N800	Nb0	1.82	1.8	Horseshoe	3.5	3.5	10	0.002	0.014
L796	Na11a	Na11	2.67	2.63	Rectangle	6	3	59	0.0007	0.014
LC-9	C-9	C-8	13.4	11.1	Rectangle	0.4	0.5	45.12	0.051	0.014
LC-8	C-8	C-7	11.1	10	Rectangle	0.4	0.5	22.31	0.0493	0.014
LC-7	C-7	C-6	10	6.5	Rectangle	1	0.8	79.75	0.0439	0.014
LC-6	C-6	C-5	6.5	4.8	Rectangle	1	0.8	54.63	0.0311	0.014
LC-5	C-5	C-4	4.8	4.65	Rectangle	1	0.8	36.95	0.0041	0.014
LC-4	C-4	C-3	4.65	4.5	Rectangle	1	0.8	43.98	0.0034	0.014
LC-3	C-3	C-2	4.5	4.46	Rectangle	1	0.8	18.33	0.0022	0.014
LC-2	C-2	C-1	4.46	4.45	Rectangle	1	0.8	17.4	0.0006	0.014
LC-1	C-1	C-0	4.45	2.36	Circular	1	1	94.6	0.0221	0.014
LC-0	C-0	C-OUT	2.36	0.6	Circular	1	1	18.87	0.0933	0.014
L808	YG5	MH816	36.09	33.89	Trapezoid	4	2.21	5	0.44	0.03
L809	MH816	YG4	33.89	21.23	Trapezoid	4	2.21	20	0.633	0.03
L812	YG5.1	MH817	35.83	35.83	Trapezoid	2	3.21	10	0	0.04
L813	MH817	YG5	36.09	36.09	Trapezoid	3	2.95	10	0	0.04
L814	Na17-b-12	Na17-b-8	18	11.12	Circular	0.8	0.8	106.32	0.0647	0.014
L859	ON-RVOUT	BS29	31.98	19.41	Rectangle	3	3	202.8	0.062	0.014
L860	BS29	BS28	16.5	16.1	Rectangle	2	1.5	13	0.0308	0.014
L861	BS28	BS27	16.1	13.9	Rectangle	2	1.5	146.5	0.015	0.014
L863	BS26	BS25	11.9	11.4	Rectangle	2	1.5	60.5	0.0083	0.014
L881	YG-OUT01	YG-OUT02	13	12	Rectangle	3.5	3.5	128	0.0078	0.014
L882	LH-AR03	BS29	21.44	21.11	Circular	1.1	1.1	21.96	0.015	0.014
L883	LH-AR02	ON-RVIN	40.03	39.99	Circular	1.2	1.2	11.5	0.0035	0.014
L884	ON-RVIN	ON-RV	39.7	39.39	Rectangle	1.5	1.8	88.11	0.0035	0.014
L885	LH-AR01	ON-RVIN	40.4	40.3	Circular	1.1	1.1	11.55	0.0087	0.014
L887	BS-AR01	BS-AROUT	46	41.12	Rectangle	2.5	2.5	290	0.0168	0.014
L888	BS-AROUT	ON-RVOUT	41.12	31.98	Rectangle	2	2.5	77	0.1187	0.014

