

LID 적용 설계기준 설정 및 WWHM-SWMM 기반 한국형 LID-해석모형 개발

# K-LIDM Technical Reference

---

2017. 01.

국토교통부 도시물순환인프라-저영향개발 연구단  
주관연구기관: 부산대학교, 위탁연구기관: 핵코리아

# -목차-

1. K-LIDM 소개	1
1.1 K-LIDM 개발의 개요	1
1.2 K-LIDM 프로젝트 구성	2
1.3 유출계산 기본 모형 HSPF	3
1.4 K-LIDM의 LID 계산	4
1.5 K-LIDM의 차별성	5
2. K-LIDM의 투수면 유출계산 (HSPF모형의 PERLND)	6
2.1 PERLND 모듈의 PWATER 섹션	6
2.1.1 목적	6
2.1.2 배경	6
2.1.3 필요자료 및 자료처리	7
2.1.4 계산방법	7
2.2 차단 시뮬레이션 (ICEPT 모듈)	9
2.2.1 목적	9
2.2.2 방법	9
2.3 침투와 유출에 의한 수량의 분포 (SURFAC 모듈)	10
2.3.1 목적	10
2.3.2 방법	10
2.4 수분 공급량의 처리 (DISPOS 모듈)	11
2.4.1 목적	11
2.4.2 방법	11
2.5 상층부 유입량의 계산 (서브루틴 UZINF1, UZINF2)	12
2.5.1 목적	12
2.5.2 방법	12
2.6 지표면 유출의 계산 (서브루틴 PROUTE)	13
2.6.1 목적	13
2.6.2 추적방법	13
2.7 중간유출 계산 (서브루틴 INTFLW)	15
2.7.1 목적	15
2.7.2 중간유출 결정 방법	15
2.8 상층부의 거동 (서브루틴 UZONE)	16
2.8.1 목적	16
2.8.2 침투계산 방법	16

2.9	저층부의 거동 (서브루틴 LZONE).....	16
2.9.1	목적.....	16
2.9.2	침투 계산방법.....	16
2.10	지하수의 거동: 서브루틴 GWATER.....	17
2.10.1	목적.....	17
2.10.2	지하수 플럭스의 계산 방법.....	17
2.11	증발산 계산 (서브루틴 EVART).....	18
2.11.1	목적.....	18
2.11.2	실제 증발산량 결정 방법.....	18
3.	K-LIDM의 불투수면 유출계산 (HSPF모형의 IMPLND).....	20
3.1	불투수면 계산의 기본개념.....	20
3.2	불투수면 물수지 시뮬레이션 (IMPLND 모듈의 IWATER).....	21
3.2.1	목적.....	21
3.2.2	방법.....	21
3.3	수분공급 유출량의 결정 (ROUTE).....	22
3.3.1	목적.....	22
3.3.2	방법.....	22
4.	수리구조물 및 LID 수리수문기작 계산(RCHRES 모듈).....	23
4.1	수리수문기작 계산의 기본개념.....	23
4.2	부유물의 침강 시뮬레이션: SINK.....	24
4.2.1	목적.....	24
4.2.2	방법.....	24
4.3	수리학적 거동 시뮬레이션: RCHRES 모듈의 HYDR 섹션.....	25
4.3.1	목적.....	25
4.3.2	플럭스와 저류의 스키메틱 뷰.....	25
4.3.3	유출과 VOL의 계산.....	26
4.3.4	RCHRES의 지형 및 수리학적 특성.....	28
4.3.5	보조변수.....	29
4.4	수리학적 추적에 사용하는 유출의 계산: 서브루틴 ROUTE.....	29
4.4.1	목적.....	29
4.4.2	방법.....	29
4.5	RCHTAB의 특정행과 관계되는 유출수요 찾기 (서브루틴 DEMAND).....	31
4.5.1	목적.....	31
4.5.2	방법.....	31
4.5.3	유출구 N의 수요 평가.....	31

4.5.4	fN(VOL) 컴퍼넌트 찾기	31
4.5.5	gN(t) 컴퍼넌트 찾기	32
4.5.6	fN(VOL)과 gN(t) 컴퍼넌트의 결합	32
4.6	라우팅 식의 해 (서브루틴 SOLVE)	32
4.6.1	목적	32
4.6.2	일반적 접근방법	32
4.6.3	연속 선형방적식의 해법	32
4.7	수문학적 추적이 없는 유출의 계산 : 서브루틴 NOROUT	33
4.7.1	목적	33
4.7.2	방법	33
4.8	보조 상태변수 값의 계산 (서브루틴 AUXIL)	34
4.8.1	목적	34
4.8.2	수심계산의 방법	34
5.	유출 및 수리계산 로직의 UCI 파일 구성	37
5.1	PERLND 모듈의 UCI 파일구성	37
5.2	IMPLND 모듈의 UCI 파일구성	39
5.3	RCHRES 모듈의 UCI 파일구성	40
6.	LID 시설: 투수성포장	43
6.1	포장면에 대한 유역유출 모의	43
6.2	투수성 포장 LID 기작의 계산	44
6.3	투수성 포장 계산을 위한 입력자료 및 F-Table 적용	45
6.4	투수성포장 전, 후 유역유출계산	47
7.	LID 시설: 옥상녹화	48
7.1	옥상녹화 모델링의 기본개념	48
7.2	옥상녹화 계산을 위한 주요 입력매개변수	51
7.3	옥상녹화 적용 전후의 유역유출 모델링	51
8.	LID 시설: 침투형시설 (침투트렌치, 침투저류지)	54
8.1	침투형 시설 모델링을 위한 HYDR 모듈	54
8.2	침투형 시설 계산을 위한 주요 입력매개변수	54
8.3	침투형시설의 F-Table 의 작성	55
8.4	LID 설치 효과 모델링(침투트렌치의 예)	56
9.	LID 시설: 식생형시설(식생수로, 수목여과박스, 식생체류지, 식생여과대)	57

9.1 식생형 시설 모델링을 위한 HYDR 모듈의 기작	57
9.2 식생형 시설의 주요 입력매개변수	58
9.3 F-table의 작성(식생체류지, 예)	60
9.4 LID 설치 효과 모델링(수목여과박스, 예)	62
10. LID 시설: 빗물집수통	63
10.1 빗물집수통 모델링을 위한 HYDR 모듈	63
10.2 빗물집수통 주요 입력매개변수	63
10.3 빗물집수통 F-table의 작성	64
10.4 빗물집수통 설치 전후의 LID 설치 효과 모델링	65
11. LID 시설의 침투계산, 방류계산 이론	66
11.1 침투계산 이론	66
11.2 방류구 수리계산의 이론	68
11.2.1 수직관(Flat) 유출량	68
11.2.2 수직관(Notch) 유출량 계산	68
11.2.3 오리피스스의 계산	69
Appendix 1) K-LIDM 의 유출계산로직(PERLND) 입력 토양 및 매개변수	71
Appendix 2) K-LIDM 의 유출계산로직(IMPLND) 입력 토양 및 매개변수	83
Appendix 3) K-LIDM에 적용된 토양침투관련 매개변수	85

# 1 K-LIDM 소개

## 1.1 K-LIDM 개발의 개요

- **유역유출 연속모의, 홍수유출모의 : HSPF 기반 강우-유출해석**

- **LID 시설의 상세제원을 이용한 F-table 기반 홍수추적**

투수성포장, 식생체류지, 옥상녹화, 빗물집수통, 식생여과대, 수목여과박스, 침투저류지, 침투트렌치, 식생수로, 모래여과 등 10개 LID 시설 탑재

### Enhanced Development

- 하도, 암거, 저수지(사다리꼴, 자연형, SSD table), 유량분배시설등의 수리구조물 해석
- LID 시설의 최적설계 제원 도출
- SWMM 연동모의 (유역연계, 하도추적연계)
- LID 시설 설치전, 후 유출계산결과의 각종 통계치 제시(초과확률, 빈도)
- 입력자료, 계산결과의 각종 통계치 제공: 시간각격별 평균, 최대, 최소치 추출
- 관측소별 장기 기상자료 DB, 설계강우량 DB 활용 및 사용자 입력 기상자료 적용

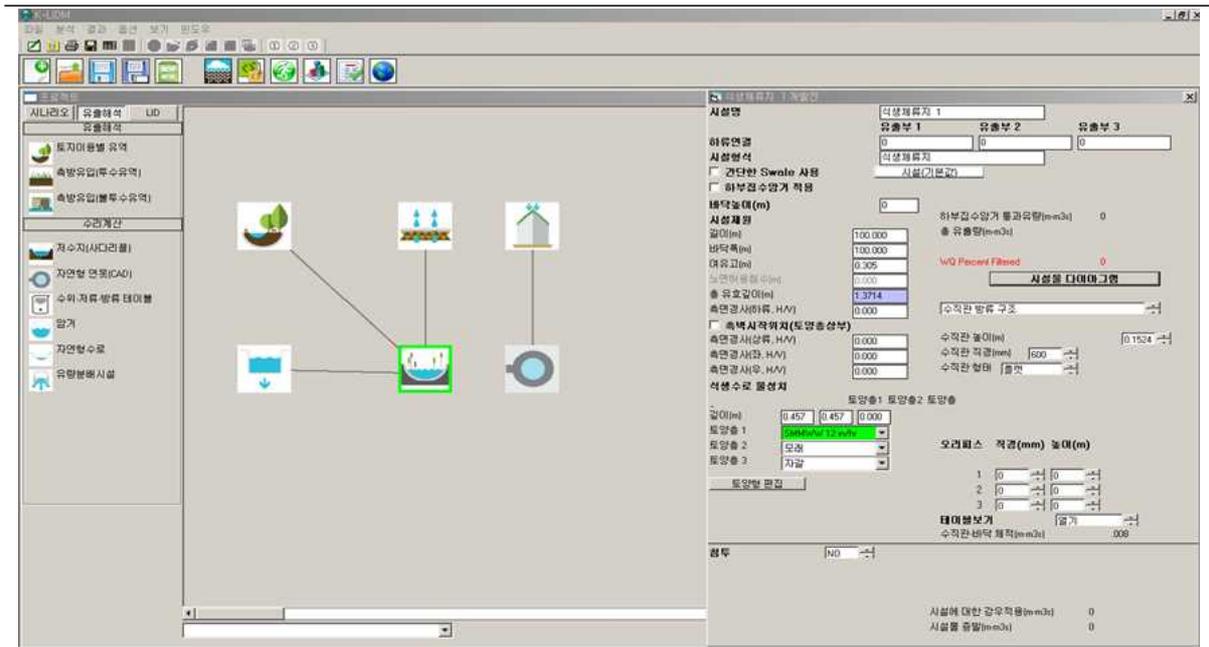
K-LIDM은 국토교통과학기술진흥원의 건전한 도시물순환 인프라의 저영향개발(LID) 및 구축·운영기술 연구단의 1세부과제인 국가 GI&LID 실증단지 구축 및 해석기술개발의 연구성과로 주식회사 핵코리아에서 개발하였다.

K-LIDM는 HSPF 모형을 기반으로 한 강우유출해석이 가능하며 LID시설의 상세제원에 대한 홍수추적을 엄밀하게 수행할 수 있다. 또한, SWMM과의 연동해석이 가능하다.

K-LIDM의 강우유출해석은 홍수유출해석, 유역유출연속모의를 수행할 수 있으며 개별 토지 이용별 유역, 측방유입(투수유역), 측방유입(불투수유역)에 대한 해석을 개별적 혹은 복합적으로 수행할 수 있다. 수리구조물의 영향은 하도, 암거, 저수지, 유량분배시설 등에 대한 수리수문학적 하도추적을 고려할 수 있다. 모형에서 가장 중요한 부분인 LID 시설은 투수성토장, 식생체류지, 옥상녹화, 빗물집수통, 식생여과대, 수목여과박스, 침투저류지, 침투트렌치, 식생수로, 모래여과 등 10개 LID 시설이 탑재되어 있다. 또한, SWMM의 유역유출모의 및 우수관로 홍수추적 연계가 가능하다.

모형의 입력자료는 강우, 증발량 등이 있으며 1시간간격으로 기 입력되어 있는 국내 10개 지점에 대한 강우자료 DB 및 확률강우량을 자동으로 로딩하여 모형을 수행할 수 있다. 또한, 사용자 입력 단기, 장기 기상자료의 입력 및 모형수행도 가능하다.

모형의 출력자료는 초과확률, 빈도해석결과, 유출수문곡선, 지하수함양 계산결과를 그래프, 표, 통계값의 형태로 제공된다. 모형 구동에 관한 내용은 K-LIDM User's manual에 상세히 수록되어 있다.



[그림 1.1 K-LIDM 모형]

## 1.2 K-LIDM 프로젝트 구성

K-LIDM은 시나리오에서 개발전, 후 수행과정 선택이 가능하며 강우자료 입력은 단, 장기 강우를 자동입력(모형탑재) 또는 사용자 입력이 가능하다. 강우유출계산의 경우 HSPF의 투수지형(pervious land)에서의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND 모듈과 불투수지형(impervious land)의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND 모듈이 적용되며 LID 시설은 투수성포장, 식생체류지 등 10개 항목 입력이 가능하며 SWMM 연계모듈 탑재되어 있다.

구분	세부구성
시나리오	개발전 개발후
강우자료 입력	장기간(30년) 기상자료 DB 자동입력 설계 강우 DB 자동입력 단기, 장기 기상자료 사용자 입력
강우-유출계산	유역유출 계산 기본입력 측방유입(투수유역, 불투수유역) 입력
수리분석	저수지(사다리꼴, 자연형) 수위-저류-방류(SSD) 테이블, 암거 자연 하천, 유량분배시설
LID 시설 입력	투수성포장, 식생체류지, 옥상녹화, 식생여과대, 수목여과박스 등 10개 항목
SWMM 연계	SWMM 연계 수리 계산 Extran 블록, 수리학적 하도추적

[그림 1.2 K-LIDM 프로젝트]

### 1.3 유출계산 기본 모형 HSPF

HSPF는 서로 다른 기능을 가진 수문순환의 개별 모델들을 결합시킨 수량-수질의 복합 유출모델으로 강우-유출 연속 모의모델 HSP, 수질 모의를 위한 ARM, NPS, SERATRA를 결합시킨 새로운 모의체계를 갖추고 있다.

지표면, 지표하층의 수문현상과 수질계산, 하천/호소 수리해석과 수질 계산을 수행 할 수 있으며 시계열데이터 관리와 저장(WDM file 형식)이 되며 시계열데이터의 통계분석과 제어 가 가능하다. HSPF는 도시지역과 비도시지역 모두에 적합한 모델로 도시지역의 유출은 build-up/wash-off 모델을 사용하고, 비도시지역의 투수지역은 경험식과 토사 침식 기작을 상세히 묘사할 수 있다. 또한, 광범위한 유역조건에 적용이 가능하고, 모형을 효과적으로 사용할 수 있도록 HSPFEXP, ANNIE, WDMutil, METCMP, IOWDM 등과 같은 보조프로그램이 개발되어 있다.

K-LIDM에서는 HSPF의 유출계산을 위한 PERLND, IMPND모듈과 수리구조물의 하도추적 계산을 위한 RCHRES모듈을 기본엔진으로 활용한다. 본 기술매뉴얼에서는 K-LIDM에서 구동되는 PERLND, IMPLND, RCHRES에 대한 상세 계산과정을 포함하였다.

[표 1.1 HSPF 장·단점]

구분	모형
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tTime-series를 기본으로 하여 자료를 직접적으로 접근하기 때문에 방대한 파일을 입력하고 수정하는데 편리</li> <li>• 모형이 상대적으로 단일화되었기 때문에 조작성이 간단</li> <li>• 시스템은 top-down programming 기술에 의해 개발되었기 때문에 모형을 수정하거나 새로운 모듈을 추가하는데 상대적으로 용이</li> <li>• 유역내의 토지이용에 따른 특정 오염물질의 비점오염부하를 계산하며, 강우에 따른 물의 흐름을 하천의 수질오염 모의와 연결</li> <li>• 미국 내 충분한 기초자료를 바탕으로, USEPA와 USGS 등과 같은 여러 기관들의 지원을 받아 여러 지역에 적용되고 있으며 계속해서 유지 발전</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시간별 기온, 강수량, 증발량과 같은 엄청난 양의 자료를 필요로 함</li> <li>• 비분산형 모델로써 소유역에 대해 평균적인 매개변수 값을 가짐</li> <li>• 하천의 흐름을 한 방향으로 가정하여 조석을 반영하지 못하는 수리학적 한계와 하천 바닥의 조류나 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤 등과 같은 조류에 관계된 수질 모의에 한계가 있음</li> <li>• 우리나라의 경우 충분한 자료의 축적도가 낮으므로 모델 적용을 위해서는 필요한 자료의 지속적인 확보가 우선 필요</li> </ul>

### 1.4 K-LIDM의 LID 계산

K-LIDM은 개별 LID 시설의 유입, 저류, 침투, 방류량(지체) 계산은 유출모의모형(HSPF)과 연동하여 계산된다. LID시설 컴포넌트는 10개로 Detention(Retention) Basin, Constructed Wetlands, Porous Pavement, Infiltration Trench, Bioretention, Green roofs, Vegetated Filter Strip, Vegetated Swale, Tree Box filter, Rainwater Harvesting 으로 구성되어 있다.

[표 1.2 K-LIDM 모형의 LID 요소 및 특징]

구분	요소명	특징
	투수성포장	·포장층의 제원 및 하부토양의 침투관련 매개변수를 입력 ·특히 Underdrain 계산을 위해 관직경과 높이 입력
	식생체류지	·1~3개의 토양층으로 구성되어 있으며 침투를 통한 유출량을 분석 ·길이, 바닥폭, 여유고, 홍수 체적, 총 유효깊이, 바닥경사, 측면경사, 토양형 및 토양층의 깊이 입력
	옥상녹화	·타 LID요소와 다르게 식생종류 및 Roof의 높이, 경사, 식생수로 면적, 깊이를 입력하여 모형수행: HSPF의 PERLND 로직으로 계산
	빗물집수통	·빗물집수통은 시설물의 바닥고, 형태, 직경, 폭, 길이 입력
	식생여과대	·식생여과대는 유출부에 별도의 방류구조물이 없으며 식생여과대의 토양을 통해서 표면 유출과 침투가 일어남
	수목여과박스	·면적, 직경, 오리피스 직경, 길이, 바닥고, 여유고, 총 유효깊이를 입력 ·토양은 상층부와 하층부로 구분되고 토양형과 깊이를 각각 입력
	침투저류지	·면적, 바닥길이, 바닥폭, 유효수심, 측면경사, 바닥경사, 표면경사를 입력 ·침투 기작으로 인하여 모의 실행시 총 침투체적, 수직관 총 통과체적, 시설물 총 통과체적, 침투율이 산정됨
	침투트렌치	·침투트렌치의 시설규모, 상부토양의 침투매개변수와 하부토양의 침투매개변수, 유출구 제원을 입력
	식생수로	·식생수로는 식생수로의 상세제원(길이, 폭, 여유고, 수심, 바닥경사) 및 하부토양의 침투매개변수를 층별로 입력
	모래여과	·모래여과는 수질 정화 기능이 있으며 침투 기능은 없지만 여과에 의한 유체 이동이 가능 ·시설물 입력제원은 바닥길이, 바닥폭, 유효수심, 측면경사(좌, 우), 바닥경사, 표면경사가 있음

### 1.5 K-LIDM의 차별성

K-LIDM은 미국 EPA의 SWMM과 비교하여 지하수연동모의 기능이 우수하며 LID 컴포넌트의 경우 10개를 탑재하고 있다. LID 효율성 계산의 경우 수리수문학적인 상세해석이 가능하여 LID 시설의 명확한 효과분석이 가능하다. 또한, SWMM과 연계하여 압력관에 대한 계산을 수행할 수 있다.

구분	K-LIDM	SWMM
유출기반모형	HSPF	비선형저류방정식
하도추적	우수 (수리수문학적 하도추적)	우수(동역학파 계산)
지하수연동모의	우수 (장기유출모의 기반)	보통 (검증필요)
LID componet	10개	7개
LID 계산	매우우수(유입-저류-방류-침투 계산)	보통(물수지기반 계산)
사용 편의성	우수	비교적 우수
연계기능	SWMM 연계 압력관 계산	2D 연계 침수범람도 작성
Time Step	보통(1분 이상)	우수(1초 이상)

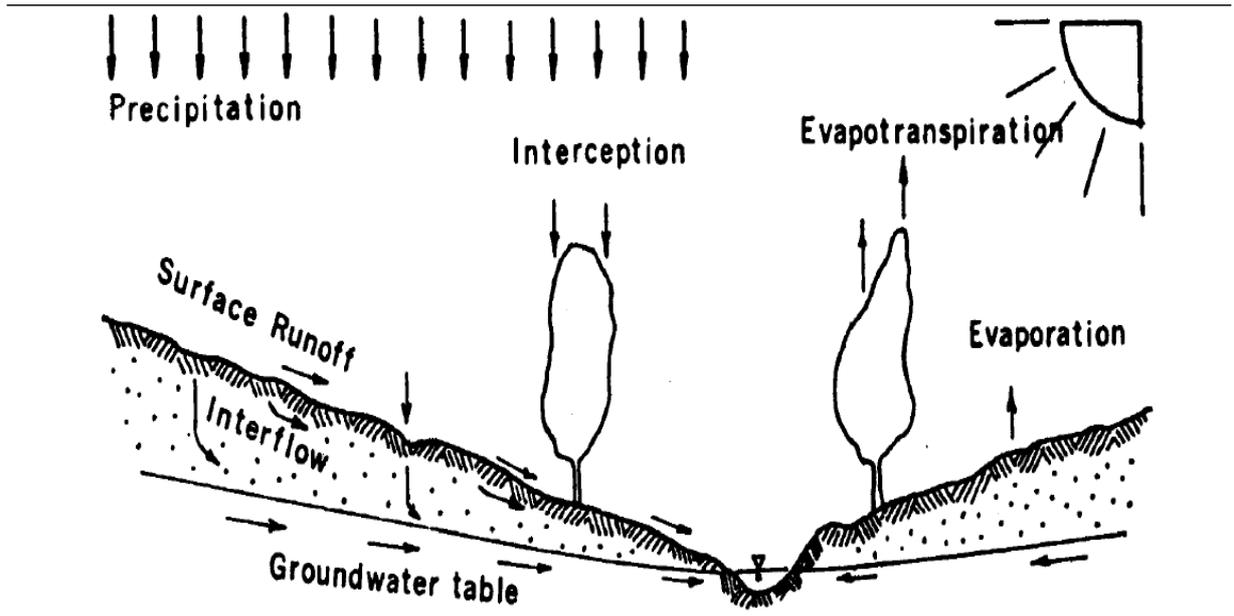
2.1 PERLND 모듈의 PWATER 섹션

2.1.1 목적

PWATER는 투수면적으로부터 총 유출을 예측하기 위한 물수지 컴퍼넌트 계산에 사용되는 섹션이다. PWATER는 PERLND 모듈의 중요 컴퍼넌트이며 이후 PERLND의 주요 섹션(예, SEDMNT)들은 이 섹션의 결과에 따라 계산되게 된다.

2.1.2 배경

PWATER 섹션에 의해 모델링되는 수문학적 프로세스는 아래 그림 1과 같다. 이러한 지면과 관계되는 프로세스 시뮬레이션에 적용되는 알고리즘들은 15년 이상의 연구와 테스트를 통해 만들어졌으며 Stanford Watershed Model IV(Crawford and Linsley, 1966)의 LANDS 부프로그램 개발 기초 연구에 기반을 두고 있다. LANDS는 많은 수문모형에 탑재되어 있으며 폭넓고 다양한 유역의 수문학적 응답을 시뮬레이션 하는데 성공적으로 사용되었다. PWATER 모듈 섹션에 적용된 방정식은 PTR Model(Crawford and Linsley, 1973), HSP(Hydrocomp, 1976), ARM 그리고 NPS모형(Donigian and Crawford, 1976 a, b) 등에 적용된 LANDS의 최신버전과 거의 동일하다. 그러나 계산 시간간격의 범위를 더욱 합리적으로 적용하기 위해 일부 알고리즘은 내부적으로 수정하였다. 또한, 쉬운 설명을 위해 매 개변수의 명칭은 수정되었으며 계절 변동성을 감안한 월 기준 입력자료를 적용할 수 있다.



[그림 2.1 수문 순환]

### 2.1.3 필요자료 및 자료처리

PWATER 모듈 섹션에서 요구되는 시계열의 개수는 적설과 용설의 고려 유무에 따라 달라진다. 이러한 조건들이 고려되지 않는 경우에는 단지 강우와 잠재증발산량만 고려하면 된다. 그러나 강설 조건들이 고려될 때에는 기온, 강우, 적설, 물 공급, 스노우팩의 얼음 함양 등을 입력해야 한다. 또한, 증발자료는 강설이 고려되는 경우에 조정되어진다. 증발 입력값은 스노우팩으로 덮여있는 지면 세그먼트 부분에서는 감소하게 된다. 또한, 이러한 수치는 어떠한 적설면을 통해서 증산될 수 있다는 가정 하에 침염수립으로 덮여있는 지역에도 해당된다. 뿐만 아니라 PET는 기온이 매개변수 PETMIN 아래일 때 0으로 줄어든다. 만약 기온이 PETMAX 아래이고 PETMIN 위에 있으면 PET는 입력값의 50%로 줄어든다. 추정된 잠재증발산량(PET)는 서브루틴 그룹 EVAPT에서 실제 ET로 계산되어진다.

### 2.1.4 계산방법

그림 2.2는 PWATER 모듈 섹션에서 시뮬레이션 되는 플럭스와 저류용량(Storage)을 표현한 것이다. 지면 세그먼트에 공급되는 수분으로 표현되어지는 시계열 SUPY는 강우와 스노우팩으로부터의 용설(강설 조건이 적용되었을 경우)을 포함한다. 그리고 SUPY는 차단(Interception)될 수 있으며 차단용량은 지표흐름평면 상부의 임의의 저장 공간에 의해 보유되는 물이다. 투수지역에 대한 차단용량은 식생이 있는 지역이 대부분이며 차단용량을 초과하는 유량은 지표면 외부의 측방유입량 시계열로 별도로 더해지게 되고 전체 유입량은 지표면 저류용량으로 생성된다.

지표면 저류용량으로의 유입량은 침투와 유출에 기여하는 물을 만들 수 있는 현재 저류용량에 더해진다. 직접 침투되는 수분은 저층부 저류용량과 지하수 저류용량으로 이동하게 된다. 그렇지 않은 물들은 상층부 저류용량으로 이동하거나 지표면 저류나 중간유출 저류용량으로부터 유출되어 추적되거나 지표흐름평면에 남아있게 된다. 지표흐름평면에 남아있는 수분들은 시간이 경과하게 되면 유출이나 침투로 기여하는 성분이다.

침투와 지표흐름 프로세스는 자연상태에서 연속적으로 상호작용하여 발생하게 된다. 완만한 경사의 촘촘한 잔디와 같은 지표면의 상태는 지표 흐름 속도에 제약을 주게 되고 더 많은 침투시간을 허용하여 총 유출량을 줄어든다. 장기적인 침투에 의해 증가된 토양수분은 시간에 따라 침투율은 줄어들고 더 많은 지표 유출이 발생하게 된다. 또한 지표면 저류는 흐름으로 바뀐다. 예를 들어, 큰 강도의 호우는 저류용량에 의해 약해지고 침투 유출량은 감소된다. 지표면에 저류된 물은 시간이 경과하게 되면 중간유출로 다시 침투되거나 상류부 저류용량에 포함되게 된다.

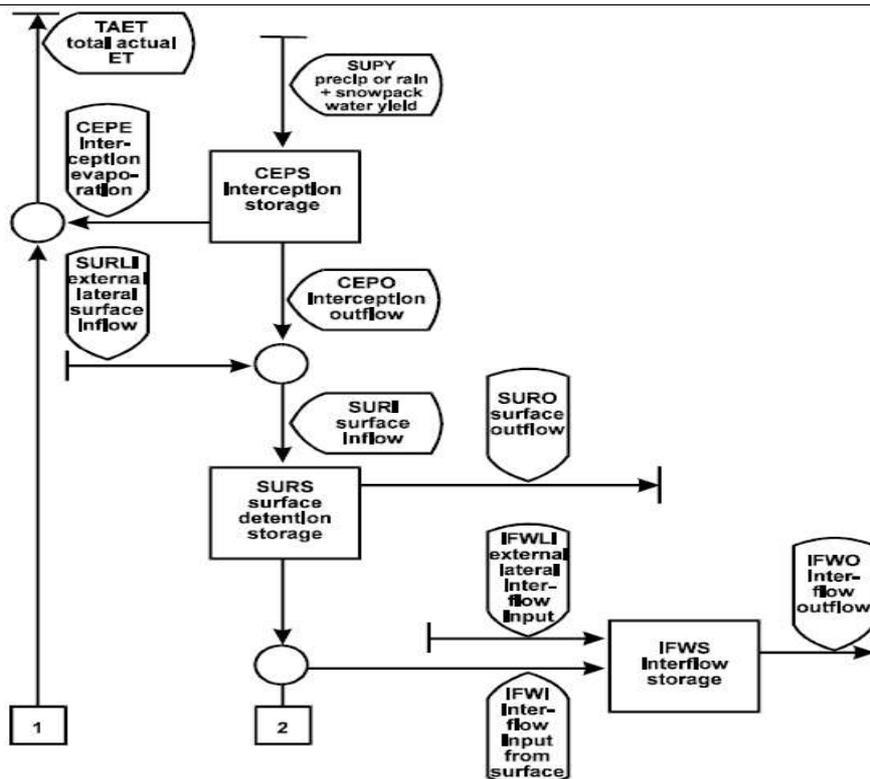
지표면을 통해 침투되는 물과 상류부 저류용량으로부터 하류부 저류용량으로 이동하는 침투는 활성지하수 저류용량으로 흘러가거나 깊은 침투에 의해 유실된다. 궁극적으로 활성지하수는 기저유출로 나타나게 되지만 깊은 침투는 시뮬레이션 시스템으로부터 고려되지 않는 유실된 값이 된다.

중간유출과 활성지하수 저류용량으로의 측방 외부 유입 역시 PWATER 섹션에서 고려할 수 있다. 이러한 고려는 만약 상류경사(upslope) 지면 세그먼트가 하류경사(downslope) 지면 세그먼트를 비교했을 때 분리하는 것이 더 유리할 정도로 많은 차이가 발생하고 경사면 사이에 하천이 없을 때 적용할 수 있다.

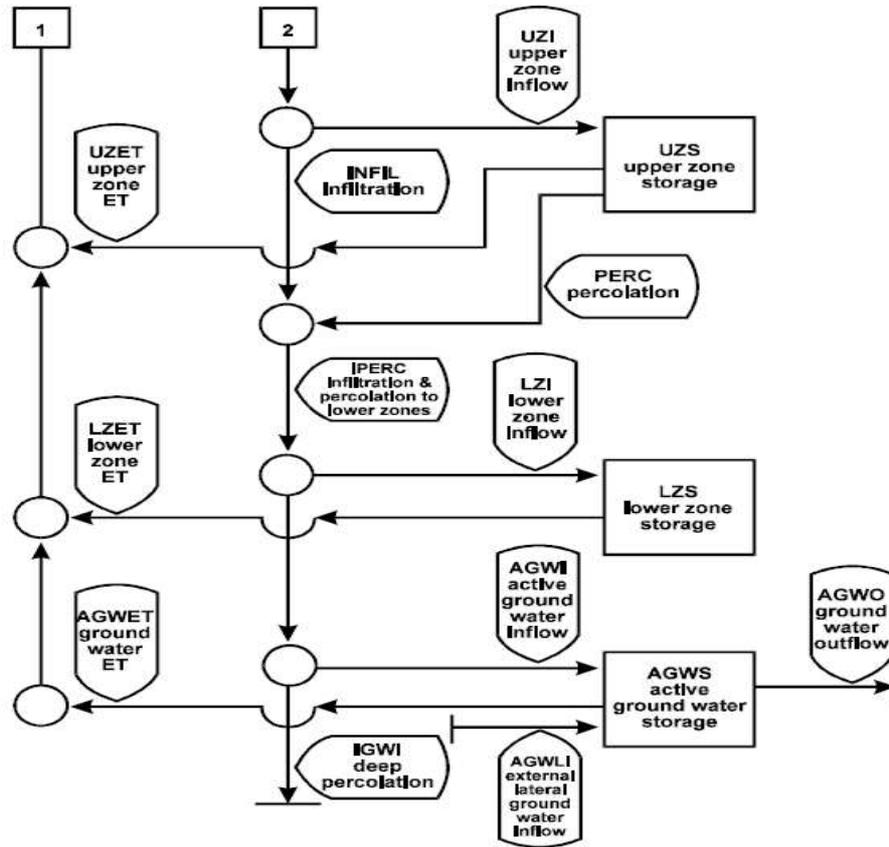
물수지(water budget)의 모델링에서 흐름과 저류용량(storage)은 매우 중요한 요소이다. 앞서 기술한 바와 같이 토양 저류용량은 침투에 영향을 미치게 된다. PERLND 모듈 섹션에서 상층부와 저층부의 2개의 토양 저류용량의 물 보유 가능 저류용량은 명목 저류용량 조건으로 정의된다. 절대적 저류용량보다 명목 저류용량을 적용하는 것은 절대적 저류용량이 한계에 달하였을 때 발생할 수 있는 급격한 변화를 완화시키고자 하는데 목적이 있다. 이러한 저류용량들은 수량변동으로 수문학적 거동을 매끈하게 이행하는 것을 가능하게 한다.

저류용량은 증발산 손실에도 영향을 미친다. 증발산은 차단 저류용량, 상층부 및 저층부의 저류용량, 활성 지하수 저류용량과 기저유출량으로부터 계산할 수 있다.

저류용량과 흐름은 또한 agri-chemical 모듈 섹션에서 계산되어지는 화학성분의 전달과 이동의 도구가 될 수 있다. 토양수분의 수위는 농약과 영양분의 전달과 흡착에 영향을 준다. 토양수분의 양은 지면 세그먼트의 상부에서 비교적 크게 일어난다. 따라서 더욱 자세한 수분양과 플럭스의 표현은 농업화학물의 이동과 반응의 모사가 필요하다.



[그림 2.2 PERLND 모듈의 PWATER에 대한 수량의 이동과 저류용량 흐름모식도]



[그림 2.2 PERLND 모듈의 P-WATER에 대한 수량의 이동과 저류용량 흐름모식도(계속)]

## 2.2 차단 시뮬레이션 (ICEPT 모듈)

### 2.2.1 목적

ICEPT 코드의 목적은 식생이나 다른 지피식물에 의한 수분의 차단을 모델링하는 것이다. 수분은 강우나 강설 조건하에서 공급되어지며 스노우팩 위에 떨어지지 않은 강우와 스노우팩에 의한 물의 공급을 합한 값이다.

### 2.2.2 방법

사용자는 계절적 변동을 설명할 수 있는 매월의 차단용량을 적용하거나 하나의 결정된 고정 용량을 적용할 수도 있다. 차단용량(interception capacity) 매개변수는 지표흐름평면에 도달하지 않거나 침투되지 않은 수분의 저류를 지정하여 적용할 수 있다. 통상적으로 투수 지역에 대한 차단용량은 풀잎, 나뭇잎, 나뭇가지, 나무와 식물의 줄기의 저류용량을 표현한다.

차단 가능용량을 초과하는 수분은 서브루틴 그룹인 SURFAC의 결정에 의해 침투나 유출로 기여하게 된다. 또한, 차단 저류용량에 저장된 수량은 증발로 제거되고 이 양은 서브루틴 EVICEP에서 결정되어 진다.

## 2.3 침투와 유출에 의한 수량의 분포 (SURFAC 모듈)

### 2.3.1 목적

서브루틴 SURFAC은 지표면의 수분의 기작을 계산하는 모듈이다. 지표면 수분은 상층부 저류용량, 중간유출 저류용량으로 침투되거나 지표면 저류용량으로 남아있거나 직접유출 (run off)로 이동한다.

### 2.3.2 방법

침투계산 알고리즘은 토양수분의 함수로서 시간에 따른 침투량의 연속적인 변동과 지면 세그먼트 상부의 침투 면적 변동으로 나타낼 수 있다. 토양수분에 따른 침투량을 표현한 식은 Philip(1957)의 연구에 기반을 두고 있다.

침투되는 토양의 최대량 즉 침투 가능용량은 고정값과 다양한 유역특성 인자의 함수이다. 고정된 특성인자 값은 우선 토양투수성과 지면경사가 있으며, 변수로는 토양 지표면의 상태와 토양수분함수가 있다. 고정 및 변동성 특성인자들은 지표 세그먼트에 따라 공간적으로 다르다. 선형 확률밀도함수는 면적분포를 계산하는데 적용될 수 있다. 그림 2.3은 PWATER 섹션의 침투/중간유출/지표면 유출의 분포 함수를 표현한 것이다. 그림 2.2와 그림 2.3을 상세히 보면 서브루틴인 SURFAC과 종속 서브루틴인 DISPOS, DIVISN, UZINF, PROUTE에 대한 이해가 가능할 것이다.

그림 2.3로 표현되어지는 침투의 분포는 지표면에서 가용한 수분(MSUPY)과 중간유출로 흘러들어가는 침투로 구분된다. 라인 I 과 라인 II의 위치를 결정하는데 사용되는 변수들은 서브루틴인 SURFAC에서 계산되어지며 아래 수식과 같은 관계에 의해 계산된다.

$$IBAR = (INFILT / (LZS/LZSN)**INFEXP)*INFFAC \quad (1)$$

$$IMAX = INFILD*IBAR \quad (2)$$

$$IMIN = IBAR - (IMAX - IBAR) \quad (3)$$

$$RATIO = INTFW*(2.0**(LZS/LZSN)) \quad (4)$$

여기서,

IBAR = 지면세그먼트 상부의 평균 침투가능용량(in/interval)

INFILT = 침투매개변수(in/interval)

LZS = 저층부 저류용량(inches)

LZSN = 저층부 명목 저류용량 매개변수 (inches)

INFEXP = 1보다 큰 지수 매개변수

INFFAC = 동결표면영향 계수 (적용할 경우)

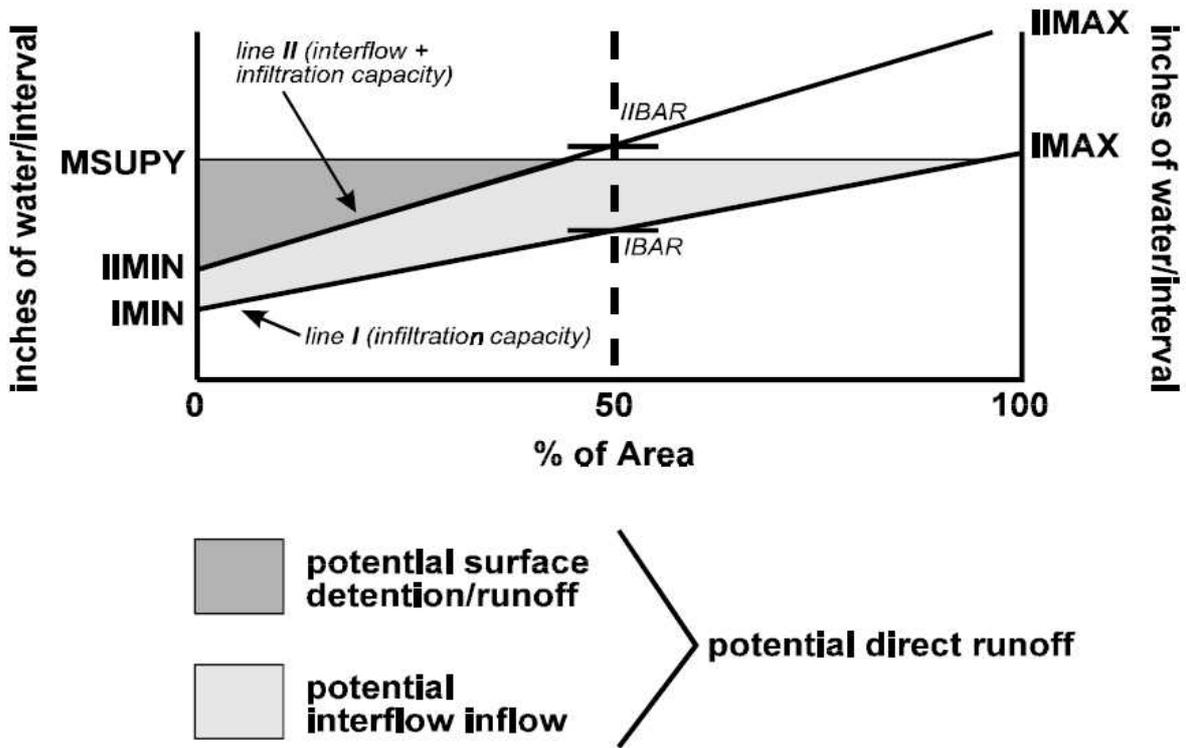
IMAX = 최대 침투 저류용량 (in/interval)

INFILD = 지면 세그먼트 상부의 평균 침투 저류용량에 최대의 비율을 주는 매개변수

IMIN = 최소 침투 저류용량(in/intrval)

RATIO = 라인 II 에서 라인 I의 종좌표의 비율

INTFW = 중간유출 유입 매개변수



[그림 2.3 침투와 중간유출의 결정]

지면의 동결(INFFAC)에 대한 계산을 위해서 침투와 상층부의 여과 감소 계수는 두 가지 방법 중 하나로 계산되나 LID 해석을 위한 HSPF 로직의 구성시에는 용설에 대한 영향을 고려하지 않기 때문에 자세한 설명은 생략한다. 다만, 강설 및 용설의 침투관련 문헌은 HSPF user's manual for release 11(EPA, 1996)를 참고할 수 있다.

## 2.4 수분 공급량의 처리 (DISPOS 모듈)

### 2.4.1 목적

서브루틴 DISPOS는 지면 세그먼트의 수분공급(MSUPY)에 대한 기작을 결정하는 모듈이다.

### 2.4.2 방법

이 서브루틴은 종속되어 있는 DIVISN, UZINF, PROUTE를 호출한다. DIVISN은 얼마나 많은 양의 MSUPY가 라인 I 아래 혹은 위에 떨어졌는지를 결정하기 위해 호출된다(그림 2.3). 라인 I 아래의 양은 침투된 것으로 간주되어진다. 또한 라인 I 위의 양이고 MSUPY라인 아래에 있는 양은 잠재직접유출(PDRO)이다. 잠재직접 유출량은 중간유출, 상층부 저류용량, 그리고 표면에 남아있거나 유출되는 양의 증분을 합한 것이다. PDRO는 라인 II에 의해 세분화된다. 라인 II의 세로좌표는 RATIO에 의해 라인 I의 세로좌표에 RATIO를 곱한 값이다. MSUPY 라인과 라인 II 아래에 있고 라인 I 위에 있는 양은 잠재중간유출

(Potential interflow inflow)라고 부른다. 실제 중간유출량은 상층부저류용량에 증분으로 더해지게 된다. 라인 II 위에 있지만 MSUPY(잠재 표면저류/유출)아래에 있는 양은 수분공급을 위해 분배된 부분으로 지표면에 남아있고 지표흐름추적이 가능하며 더 나아가서 상층부 저류용량을 증가 시킬 수 있는 수량이다. 잠재중간유출과 잠재표면저류/유출 부분은 서브루틴인 UZINF에 의해 결정된다.

## 2.5 상층부 유입량의 계산 (서브루틴 UZINF1, UZINF2)

### 2.5.1 목적

이 코드의 목적은 잠재직접유출(PDRO)가 남아있을 때 상층부의 유입을 계산하는데 있다. 서브루틴 DISPOS에서 결정되어지는 PDRO는 상층부 저류용량이나 중간유출이나 지표유출로 들어갈 수 있다. UZINF1, 2 서브루틴은 잠재직접유출이 상층부 저류용량으로 들어가는 양을 결정하는 서브루틴이다.

### 2.5.2 방법

상층부 저류용량에 유입되어지는 잠재직접유출의 부분은 명목 저류용량에 대한 저류용량비의 함수(UZRAT) 이다. 이 방정식은 아래와 같은 곡선으로 정의 된다.

URRAT ≤ 2 경우:

$$FRAC = 1 - (UZ RAT/2) * (1 / (4 - URAT) ) ** (3 - UZRAT) \quad (5)$$

UZ RAT > 2 경우:

$$FRAC = (0.5 / (UZ RAT - 1) ) ** (2*UZ RAT - 3) \quad (6)$$

여기서,

FRAC = 상류층 저류용량에 의해 남아있는 PDRO의 비율

UZ RAT = UZS / UZSN

UZS와 FRAC는 동적으로 유입 프로세스에 의해 영향을 받는다. 따라서 상층부의 유입량을 찾기 위한 구간 값의 합계 계산이 필요하며 특히 큰 시간간격일 때 바람직하다. 이것은 서브루틴 UZINF 1에서 계산되어 지며 계산된 결과는 상층부로부터의 유입량과 유출량은 분리되어 계산된다는 가정 하에 단순화되어진다. 유입량은 아래의 미분방정식으로 계산된다.

$$d(UZS) / dt = (d(UZRAT) / dt)*UZSN = PDRO*FRAC \quad (7)$$

$$d(UZRAT)/FRAC = (PDRO/UZSN)*dt \quad (8)$$

또한, 이 방정식의 양쪽의 적분은 아래와 같다.

$$INTGRL = \int_{UZ RAT_{t1}}^{UZ RAT_{t2}} \frac{d(UZRAT)}{FRAC} = (PDRO/UZSN)(t2 - t1) \quad (9)$$

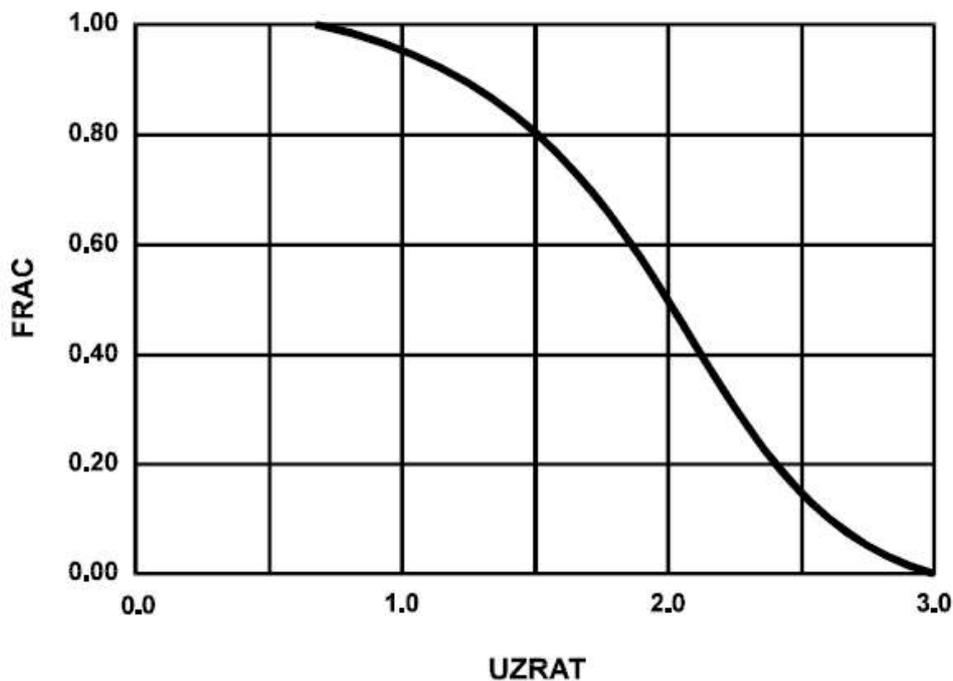
여기서,

t1 = 시작시간의 간격

t2 = 종료시간의 간격

좌변에 있는 적분값은 수치적으로 평가되어야 한다. 서브루틴 UZINF1은 그 값을 평가하기 위하여 INTGRL과 UZRAT의 통계적으로 일치된 값을 사용한다. 이러한 관계를 통해 시간이 경과 UZRAT의 변화와 유입량을 찾을 수 있다.

UZINF1의 대안으로 적용 가능한 서브루틴 UZINF2 는 프로세서 모델인 HSP, ARM, NPS 에 사용되는 알고리즘을 사용한다. FRAC 계산식은 직접적으로 상층층에 남아있는 PDRO 의 비율을 직접적으로 추정한다. UZRAT 값만 모의시작부터 적용되어지므로 단일시간 간격 내에서 상층부에 유입을 정상상태 감소로 계산할 수 없다(그림 2.4).



[그림 2.4 상층부 토양수분비율(UZRAT)의 함수인 상층부잠재직접유출 비율(FRAC)]

## 2.6 지표면 유출의 계산 (서브루틴 PROUTE)

### 2.6.1 목적

서브루틴 PROUTE의 목적은 얼마나 많은 잠재 지표면 저류용량이 시간 간격당 유출되는지를 결정하는 것이다.

### 2.6.2 추적방법

지표면 흐름은 복잡한 흐름과정에 의해서 계산되어 진다. 이것은 Chezy-Manning 공식, 유출깊이와 저류용량의 관계를 표현하는 경험공식 등을 사용하여 모의될 수 있다. 더 자세한 설명과 공식의 유도등은 HSPF User's Manual (EPA, 1996)의 background discussion 편을 참고할 수 있다. 지표면 유출유량의 비율은 아래의 식으로 계산되어진다.

SURSM < SURSE 일 경우:

$$SURO = \Delta 60 \times SRC \times (SURSM \times (1.0 + 0.6(SURSM/SURSE)^3)^{1.67} \quad (10)$$

SURSM >= SURSE 일 경우:

$$SURO = \Delta 60 \times SRC \times (SURSM \times 1.6)^{1.67} \quad (11)$$

여기서,

SURO = 지표면 유출 (in/interval)

$\Delta 60$  =  $\Delta/60.0$  (hr/interval)

SRC = 추적 변수

SURSM = 시간 간격당 평균 지표면 저류용량 (in)

SURSE = 공급량(current supply rate)에 대한 증가(equilibrium) 지표면 저류용량 (in)

$\Delta 60$ 은 공식을 시간 간격(DELTA)에 적용할 수 있도록 하는 환산계수이다. 첫 번째 식은 지표면 유출량이 증가하는 경우에 적용되며, 두 번째 식은 지표면 유출이 평형상태를 유지하거나 감소하는 경우에 적용된다. 증가 지표면 저류용량은 다음과 같이 계산된다.

$$SURSE = DEC * SSUPR ** 0.6 \quad (12)$$

여기서,

DEC = 계산된 추적변수

SSUPR = 수분공급량에 대한 지표면 흐름량의 비

SSUPR와 SURSM를 결정하는 방법은 2가지가 있다. 첫 번째 방법은 서브루틴 DISPOS에서 계산되는 잠재 지표면 저류용량(PSUR)에서 시간간격 시점의 지표면 저류용량(SURS)을 빼서 SSUPR을 추정한다. 이 방법은 프로세서 모델인 HSP, ARM, NPS에서 적용된 방법과 동일하다. 또한, SURSM은 SURS와 PSUR의 평균값으로 계산된다. 두 번째 방법은 단위 환산계수  $\Delta 60$ 으로 나누어지는 결과를 제외하고는 프로세서 모델인 HSP, ARM, NPS에서 적용된 것과 동일한 방법으로 SSUPR을 추정하는 방법이다. SURSM은 SURS와 동일하게 설정되어있으며 임의 시간 간격에서 단위가 일관되게 유지된다. DEC와 SRC변수는 추적과 관련된 공식이나, 서브루틴 SURFAC에서 계산되어진다.

$$DEC = 0.00982 * (NSUR * LSUR / SQRT(SLSUR)) ** 0.6 \quad (13)$$

$$SRC = 1020.0 * (SQRT(SLSUR) / (NSUR * LSUR)) \quad (14)$$

여기서,

NSUR = 지표흐름 평면의 Manning's n

LSUR = 지표흐름 평면의 길이 (ft)

SLSUR = 지표흐름 평면의 경사 (ft/ft)

NSUR = 지표흐름 평면의 단위 환산계수(년단위-월단위)

## 2.7 중간유출 계산 (서브루틴 INTFLW)

### 2.7.1 목적

중간유출은 얇고 작은 투수토양층에 의해 수직방향으로의 투수가 지체되었을 때 특히 호우의 수문곡선에 중용한 영향을 미칠 수 있다. 중간유출 컴퍼넌트에 더해진 양은 저류용량에 남아있거나 지면으로부터 라우팅된다. 중간유출 컴퍼넌트로 들어오는 유입량은 지표면 혹은 상류경사 외부측면흐름으로부터 발생하게 된다. 이 서브루틴의 목적은 중간유출량을 계산하고 저류용량을 업데이트하는데 있다.

### 2.7.2 중간유출 결정 방법

중간흐름 유출량의 계산은 저류용량과 선형적인 관계라는 가정에서 시작된다. 따라서 유출량은 감소계수, 유입, 저류의 함수이다. 남아있는 수분의 양은 중간유출 저류용량에 저장된다. 중간유출 유량은 다음 식과 같이 계산된다.

$$IFWO = (IFWK1*INFLO) + (IFWK2*IFWS) \quad (15)$$

여기서,

IFWO = 중간유출 (in/interval)

INFLO = 중간유출 저류용량으로의 유입 (in/interval)

IFWS = 시작시간의 중간유출 저류용량 (inches)

IFWK1 과 IFWK2 는 변수로 다음과 같이 결정된다.

$$IFWK1 = 1.0 - (IFWK2/KIFW) \quad (16)$$

$$IFWK2 = 1.0 - \text{EXP}(-KIFW) \quad (17)$$

$$KIFW = -\text{ALOG}(\text{IRG}) * \text{DELT60} / 24.0$$

(18)

여기서,

IRC = 중간유출 감소계수 (per day)

DELT60 = 구간당 시간의 수

24.0 = 일당 시간의 수

IRC는 만약 유입이 없는 경우 24시간 이전의 값에 대한 중간유출 현재용량의 비이다. IRC는 연간 토양특성의 변화에 대한 매일자료를 기반으로 입력할 수도 있다.

## 2.8 상층부의 거동 (서브루틴 UZONE)

### 2.8.1 목적

UZONE 서브루틴과 부수적인 서브루틴인 UZONES는 상층부로부터의 물의 침투를 계산하는 데 사용된다. 침투되지 않은 물은 상층부 저류용량에 남아있고 이 물들은 서브루틴인 ETUZON에서 증발산으로 기여할 수 있다.

### 2.8.2 침투계산 방법

DISPOS에 계산되어진 상층부 유입량은 먼저 상층부 저류용량에 더해지며 상층부로부터 침투될 수 있는 전체 유량을 계산할 수 있게 된다.

침투는 단지 UZRAT에서 LZRAT를 뺀 수치가 0.01 보다 클 경우에 발생하게 된다. 이러한 현상이 일어날 때 상층부 저류용량으로부터의 침투는 경험식에 의해 계산되어 진다.

$$PERC = 0.1 * INFILT * INFFAC * UZSN * (UZRAT - LZRAT) ** 3 \quad (19)$$

여기서,

PERC = 상층부로부터의 침투 (in/interval)

INFILT = 침투 매개변수 (in/interval)

INFFAC = 동결지면으로부터 계산되어지는 인자

UZSN = 상층부의 명목 저류용량 (inch)

UZRAT = UZSN과 상층부 저류용량의 비율

LZRAT = LZSN과 저층부 저류용량의 비율

상층부의 명목 저장용량은 연간의 변화에 대한 매월자료를 기반으로 입력할 수 있으며 매월의 값은 매일의 값을 취득하기 위해 보간하여 적용할 수 있다.

## 2.9 저층부의 거동 (서브루틴 LZONE)

### 2.9.1 목적

서브루틴 LZONE는 저층부로 유입되는 침투/여과된 물의 양을 계산한다. 이 침투된 수분 공급은 서브루틴 DISPOS에서 결정되어 진다. 상층부에서 여과된 수분은 서브루틴 UZONE에서 있다.

### 2.9.2 침투 계산방법

저층부 저류용량(LZS)로 들어오는 직접적인 침투 및 여과량은 저층부 저류용량비 LZS/LZSN의 비율에 기반을 두고 있다. 여기서 LZSN은 저층부의 명목 저류용량이다. 유입하는 양은 아래의 경험식에 의하여 계산되어진다.

$$LZFRAC = 1.0 - LZRAT * (1.0 / (1.0 + INDX)) ** INDX \quad (LZRAT \leq 1) \quad (20)$$

$$LZFRAC = (1.0 / (1.0 + INDX)) ** INDX \quad (LZRAT > 1) \quad (21)$$

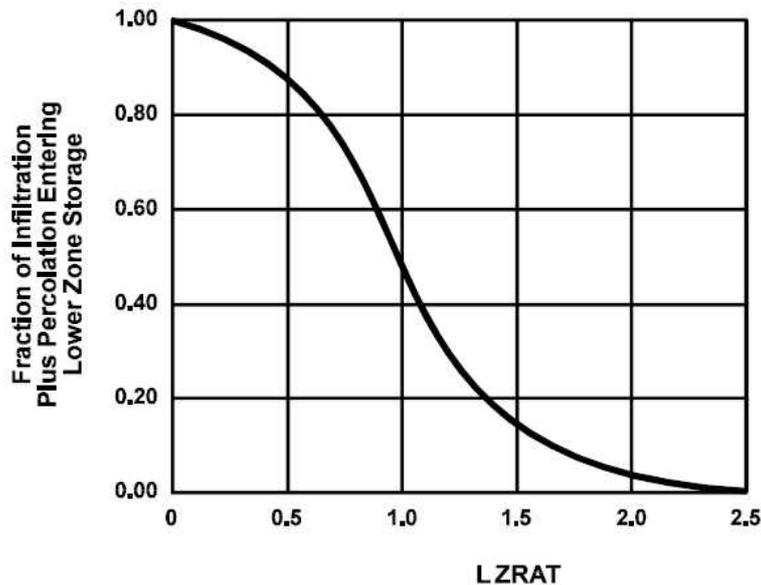
$$INDX = 1.5 * ABS(LZRAT - 1.0) + 1.0 \quad (22)$$

여기서,

LZFRAC = LZS로 들어가는 침투여과 비율

LZRAT = LZS / LZSN

위와 같은 관계를 아래 그림 2.5에 도시하였다. 지표, 상층부, 저층부 컴퍼넌트에 남아 있는 수분공급의 일부에서 차감되어지고 지하수 저류용량은 증가하게 된다.



[그림 2.5 저층부 저류용량으로 들어오는 침투와 여과 합 의 비율]

## 2.10 지하수의 거동: 서브루틴 GWATER

### 2.10.1 목적

GWATER 서브루틴의 목적은 지하수 유입량을 계산하는데 있다. 지하수 유입량 산정은 활성지하수 유출의 양을 결정하기 위한 것과 깊은 비활성 지하수 손실을 계산하는 것으로 나눌 수 있다. 이 두 플럭스는 활성지하수 저류용량에 영향을 비치게 된다.

### 2.10.2 지하수 플럭스의 계산 방법

상층부로부터 직접적으로 침투와 여과된 양이면서 저층부로 가지 않은 활성 또는 비활성 지하수로 유입되게 된다. 활성 및 비활성 지하수의 분포는 매개변수인 DEEPFR에 의해 사용자가 지정 매개변수이다. DEEPFR는 비활성 지하수로 흘러가는 지하수의 비율을 말한다. 여과되고 있는 물과 모든 외부 측방 유입수의 남아있는 비율은 활성지하수 저류의 전체 유입량으로 구성된다.

활성지하수 저류용량으로부터의 유출은 기본적으로 간략한 모델을 사용한다. 모델의 가정은 대수층의 유량은 횡단면적과 유량의 에너지경사에 비례한다는 것이다. 더욱이, 흐름의 횡단면적의 표현은 계산시간의 시작에서 지하수 저류용량의 관계를 통해 가정되어진다. 에너지경사는 기본적인 경사에서 과거 활성지하수의 누적 양에 의존한 다양한 경사의 합으로 가정될 수 있다. 지하수 유출은 다음 식과 같이 계산된다.

$$AGWO = KGW*(1.0 + KVARY*GWVS)*AGWS \quad (23)$$

여기서,

AGWO = 활성지하수 유출 (in/interval)

KGW = 지하수 유출 매개변수 (/interval)

KVARY = 활성지하수 저류 유출 매개변수(/inches)

GWVS = 지하수 경사 지수 (inches)

AGWS = 시간간격 시점 활성지하수 저류 (inches)

GWVS는 활성지하수 유입으로 매시간당 증가하는 반면, 활성지하수는 일당 3%씩 감소한다. 증감을 통해 선행 활성지하수의 유입을 가능할 수 있다. KVARY는 지하수감소 가변율을 허용하는 것으로 나타난다. KVARY이 0이 아닐 때, 시간과 유량을 세미로그플롯하면 비선형 관계를 보인다. 이 매개변수는 지하수유출 시뮬레이션에서 많은 유역을 시뮬레이션하는 데 유용하도록 유연성을 제공한다. 매개변수 KGW는 다음 식에 의해 계산된다.

$$KGW = 1.0 - (AGWRC)**(DELT60/24.0) \quad (24)$$

여기서,

AGWRC = KVARY 또는 GWVS가 0.0일 때, 지하수 흐름의 일단위 감쇠상수(현재 지하수 유량에 대한 24시간 전 지하수 유량의 비율)

DELT60 = hr/interval

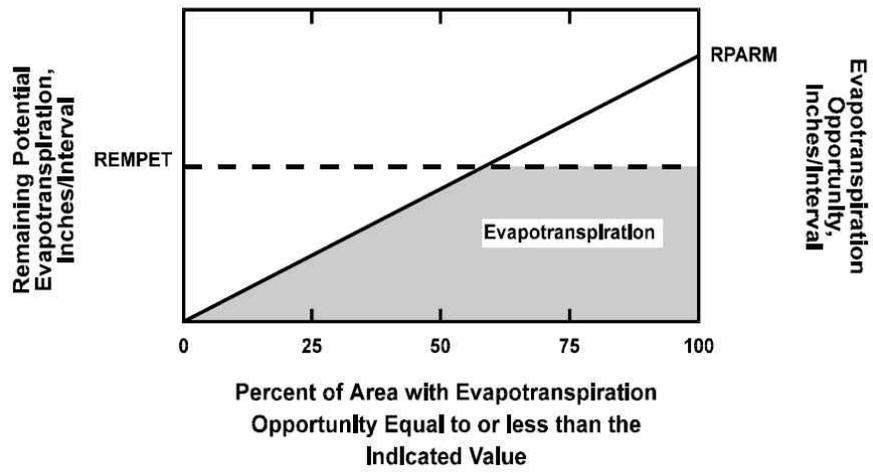
## 2.11 증발산 계산 (서브루틴 EVART)

### 2.11.1 목적

EVAPT 및 종속 서브루틴의 목적은 증발과 투수성토양 세그먼트의 모든 영역으로부터의 증발산 플럭스를 시뮬레이션 하는 것이다. 대부분의 수문학적 기법에서 유역에서 증발산되는 물의 부피는 하천유량의 총 부피를 초과하는데 이것은 물수지 측면에서 매우 중요하다.

### 2.11.2 실제 증발산량 결정 방법

증발산(ET) 산정에는 2가지 중요한 사항이 있다. 증발산량 추정을 위해서는 먼저 잠재 증발산량을 추정을 해야 한다. 잠재 증발산량 또는 잠재 증발산 요구량은 입력 시계열 자료로 적용되어 진다. 입력 시계열자료는 일반적으로 U.S. Weather Bureau Class A pan 자료에서 조정계수를 더하여 사용한다. 이 자료는 이후 기본 서브루틴 PWATER에서 조절된다. 다음으로 실제 증발산량을 계산해야 하는데 실제 증발산량은 일반적으로 수분 저류용량과 잠재 증발산량의 함수로 계산되어 진다(그림 2.6). 실제 증발산량은 서브루틴 ETBASE, EVICEP, ETUZON, ETAGW, ETLZON의 5개의 서브루틴으로부터 수요량을 충족하도록 추정된다. 이 4개의 소스로부터의 증발산량의 합은 지표 세그먼트로부터의 총 실제 증발산이다.

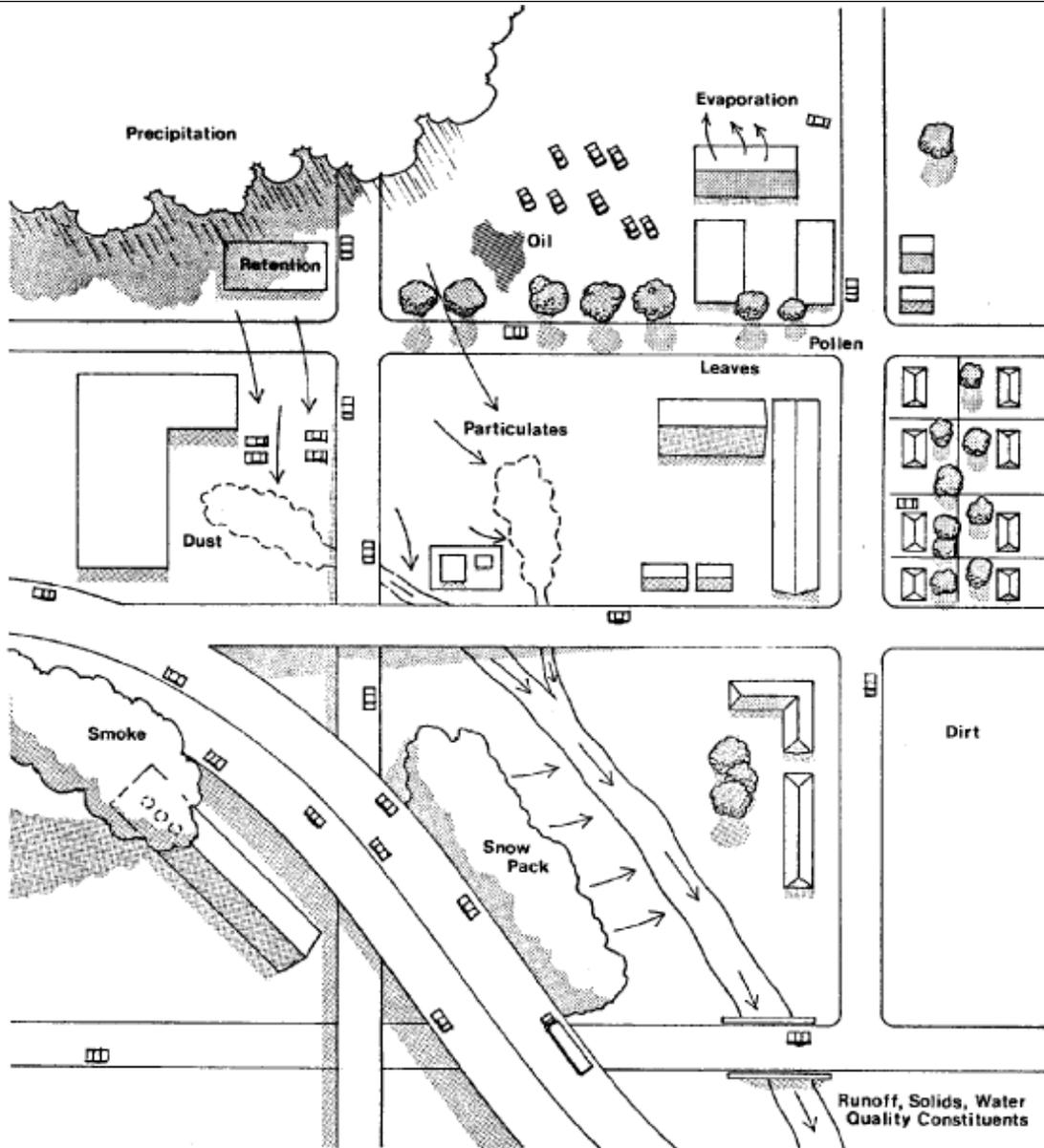


[그림 2.6 저층부로부터의 잠재 및 실제 증발산량]

### 3 K-LIDM의 불투수면 유출계산 (HSPF모형의 IMPLND)

#### 3.1 불투수면 계산의 기본개념

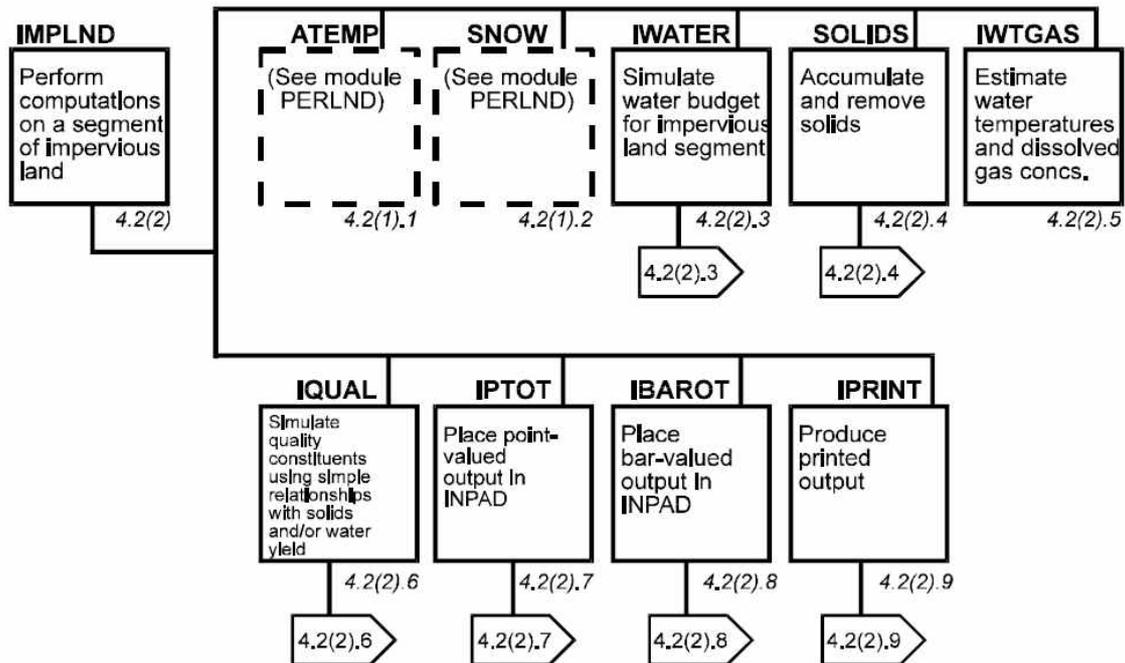
불투수면의 세그먼트에서는 침투가 발생하지 않거나 약간의 침투만 발생한다. 지표면 프로세스는 아래 그림 3.1과 같이 발생할 수 있다. 눈은 축적되고 녹을 수 있고 물은 저장되거나 증발될 수 있으며 다양한 수질성분은 축적되거나 제거되어진다. 물, 고형물과 다양한 오염물은 측방이동에 의해 세그먼트들로부터 하류 세그먼트 또는 하천, 저수지로 흘러가게 된다.



[그림 3.1 불투수면 세그먼트의 프로세스]

IMPLND 모듈은 다음의 프로세스로 시뮬레이션 된다. IMPLND의 항목과 기능들을 아래 그림 3.2의 구조도에 도시하였다. 각각의 항목은 PERLND 모듈의 대응할 수 있는 항목들과 유사하다. 실제

SNOW와 ATEMP 부문은 투수 혹은 불투수 세그먼트에 적용될 수 있는 항목들을 수행하기 때문에 두 모듈로 나누어진다. IWATER는 PERLND 모듈에 있는 PWATER와 유사하고, SOLID는 SEDIMENT 와 유사하며, IWTGAS는 PWTGAS와, IQUAL은 PQUAL과 유사하다. 즉 IMPLND 부문은 침투가 없으며 따라서 지표하 유출이 일어나지 않는다는 점을 제외하면 PERLND와 유사하다.



[그림 3.2 IMPLND 모듈의 구조도]

### 3.2 불투수면 물수지 시뮬레이션 (IMPLND 모듈의 IWATER)

#### 3.2.1 목적

IWATER는 불투수 세그먼트로부터 물의 지체, 추적 그리고 증발을 시뮬레이션 하는 부문이다.

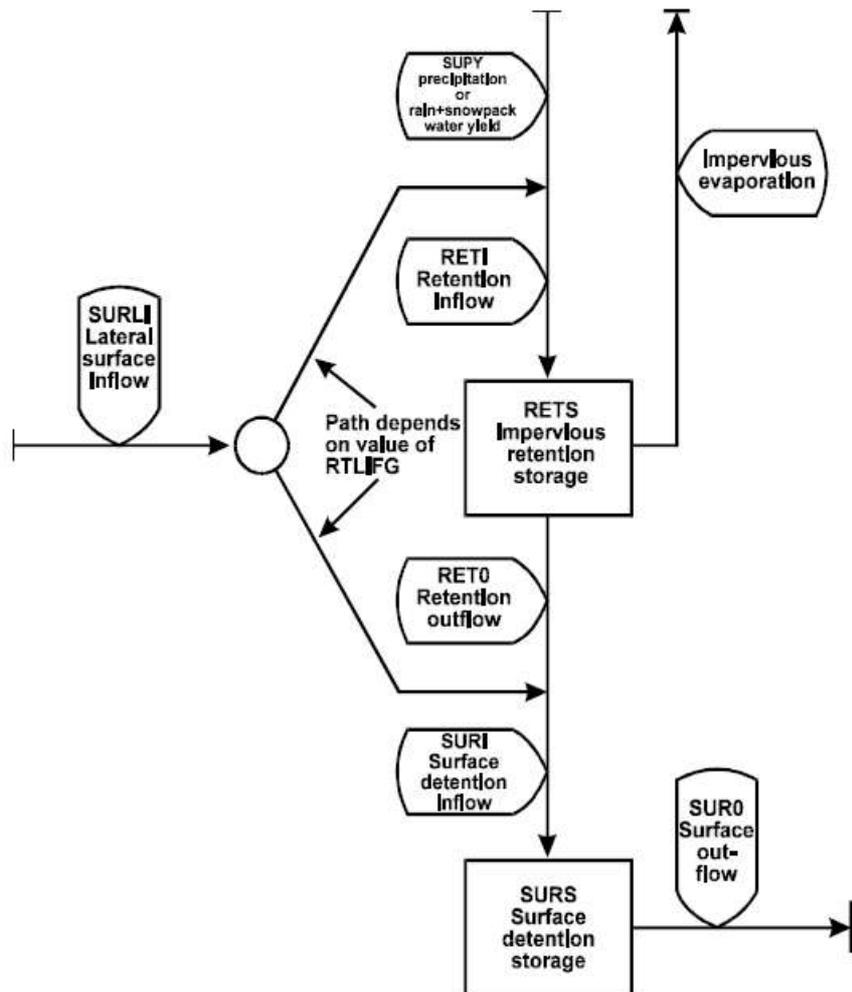
#### 3.2.2 방법

IWATER 부문은 PERLND 모듈의 PWATER 부문과 유사하다. 그러나 IWATER는 침투가 발생하지 않아 지표하의 프로세스가 없다. IWATER는 모 서브루틴과 3개의 종속된 서브루틴(RETN, IROUTE, EVRETN)으로 구성된다. RETN은 PWATER 부분의 ICEPT와 유사하고, IROUTE는 PROUTE, EVRETN은 EVICEP와 유사하다. 시계열 입력자료는 PWATER부분과 동일하다.

그림 3.3은 IWATER 모듈 부문을 시뮬레이션 하는 저류용량과 플렉스를 개략적으로 표현한 것이다. 수분(SUPY)는 스노우팩에 떨어지지 않은 강우와 스노우팩에 의해 공급되어지는 물이 있다. 이 수분은 서브루틴 RETN에 저류되어지며 저류 기능들을 구성하게 된다. 측방 지표면 유입(SURLI)은 만약 사용자가 플래그 매개변수 RTLIFG=1로 정의하면 유지하게 되고 그렇지 않으면 저류유입량(RETI)은 SUPY와 동일하다. 보유용량을 초과하는 수분은 저류공간을 넘치게 되어 유출된다.

매개변수 RETSC로 정의되는 저류용량은 지표하를 평면으로 흐르지 않는 수분의 어떠한 저류도 정의할 수 있다. RETSC는 유역의 유역의 지붕면, 아스팔트의 유량저장, 도시 식생, 부적정 유역 또는 어떠한 지표 세그먼트로부터 유출되지 않는 수량의 저장에도 사용할 수 있다. 사용자는 계절적 변동

을 설명하는데 기반을 둔 월간의 저류용량을 공급할 수 있으며 설계된 값을 고정용량으로 공급할 수도 있다.



[그림 3.3 수문학적 프로세스]

저류용량이 보유하고 있는 물은 증발(IMPEV)에 의해 제거되어진다. 이 증발된 양은 서브루틴 EVRETN에서 결정되어진다. 이때 잠재증발산은 입력자료 시계열이다. RTLIFG=0 일 때, 저류유출량 (RETO)는 측방유입량과 합쳐지고 전체 유입량은 저류용량(SURI)에 기여하게 된다.

저류용량에 남아있는 물은 수분공급 되어지는 어떠한 유입량과 더해진다. 이 수분공급은 서브루틴 IROUTE에서 지표면으로부터 추적되어진다.

### 3.3 수분공급 유출량의 결정 (IROUTE)

#### 3.3.1 목적

서브루틴 IROUTE의 목적은 수분공급을 모의간격당 불투수면적의 유출을 계산하는 것이다.

#### 3.3.2 방법

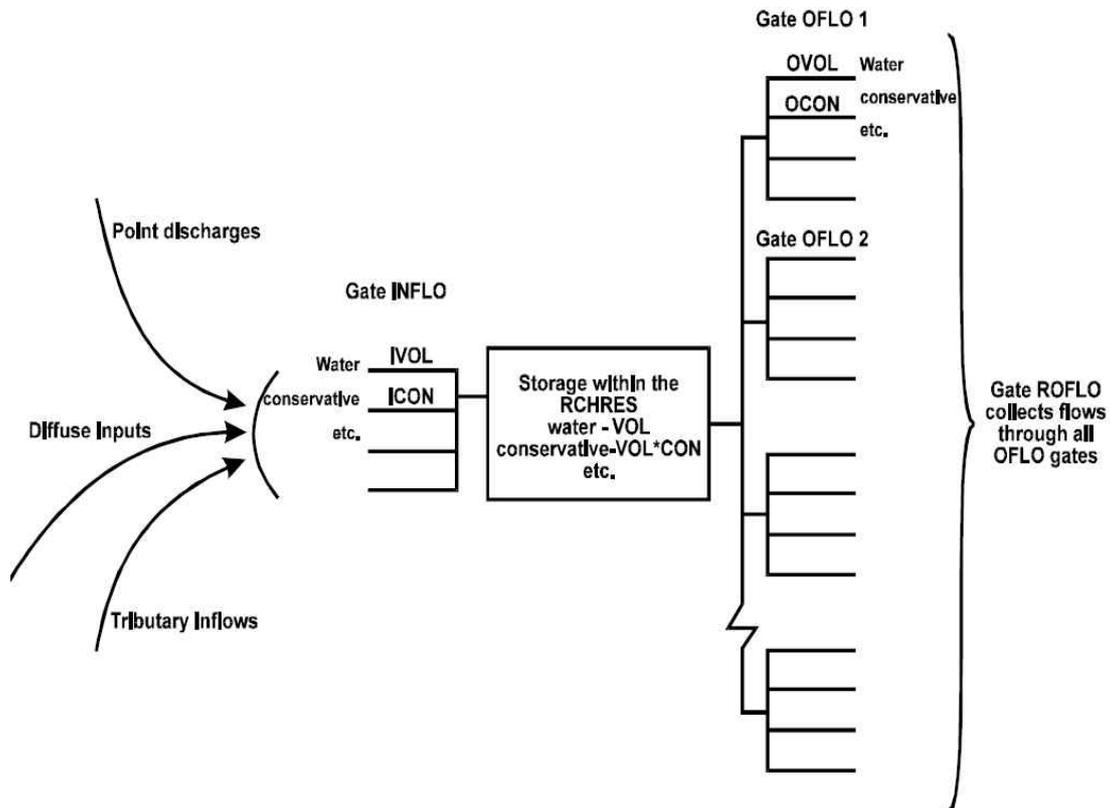
시물레이션방법은 PERLND모듈의 지표유출추적과 동일하다.

## 4 수리구조물 및 LID 수리수문기작 계산(RCHRES 모듈)

### 4.1 수리수문기작 계산의 기본개념

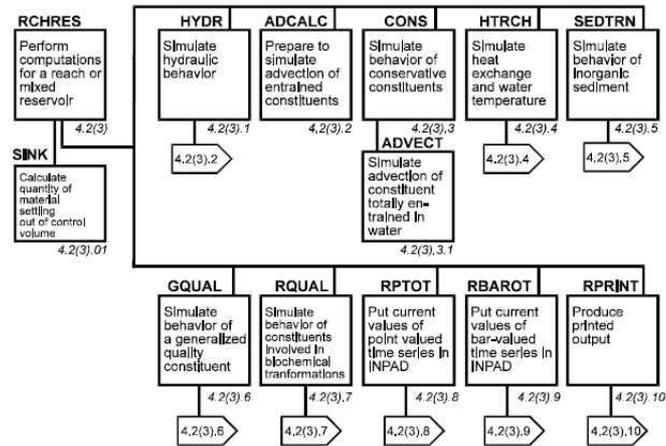
RCHRES 모듈은 개수로나 관수로, 완전혼합 저수지의 단일 하도에서 발생하는 프로세스를 시뮬레이션 한다. 편의상 이 보고서에서는 이러한 프로세스 단위를 RCHRES로 언급하였다. 완전 혼합 가정에 따라서, RCHRES는 두 개의 노드사이에서 하나 영역을 차지하는 것으로 구성되어 있다.

RCHRES를 통한 흐름은 단일 방향으로 가정되어 있다. RCHRES를 통한 재료들의 유입과 유출은 아래 그림 4.1과 같다. 다른 RCHRES와 지역적으로 들어오는 소스로부터 도착되어지는 물과 다른 성분들은 단일 게이트(INFLO)를 통해 RCHRES로 들어가게 된다. 유출은 다양한 게이트 중 하나와 유출구(OFLO)를 통해서 RCHRES를 떠나게 된다. RCHRES는 5가지의 OFLO 출구를 사용할 수 있다. 강우, 증발, 그리고 다른 플럭스들은 항상 RCHRES에서 발생하는 프로세스에 영향을 준다. 그렇지만 유출구를 통해서 통과되지 않는다.



[그림 4.1 RCHRES를 통한 재료의 흐름]

RCHRES 모듈의 10개의 주요 하위 모듈과 각 모듈의 기능을 아래 그림 4.2에 도시하였다. RPTOT, RBAROT 그리고 RPRINT는 RCHRES의 다른 모듈섹션(HYDR부터 RQUAL)의 결과를 저장하고 출력하는 역할을 수행한다. 모듈 섹션 내부에서, 물리적 프로세스(이류, 강하, 저층이동) 시뮬레이션은 생물학적 프로세스의 시뮬레이션 이전에 수행되게 된다.



[그림 4.2 RCHRES모듈의 구조도]

모듈 섹션들의 사용자 지정은 활성화로 이루어진다. 만약 어떤 수질 섹션(CONS로부터 RQUAL)이 활성화 되면, 섹션 ADCALC는 활성화 되어야 한다. ADCALC는 수질성분의 이류 시뮬레이션이 필요한 수량을 계산한다. 이러한 요구사항의 충족하기 위해서, 사용자는 활성화 섹션에서 요구하는 모든 시계열 자료가 가용하게 해야 하고 이러한 입력자료는 다른 모듈섹션에서 계산되는 데이터로 사용된다. 예를 들어 만약 RQUAL이 활성화 되면, 입력시계열자료로서 수온이 입력되어야 한다. 그렇지 않으면 수온을 계산할 수 있는 HTRCH 가 활성화 되어야 한다.

#### Water Rights 카테고리

RCHRES의 HYDR 세션은 물의 권리나 소유권 모델링을 가능하게 하는 물 “CATEGORY”의 옵션 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 만약 이 옵션이 켜져 있는 경우(UCI 파일에 CATEGORY가 포함되어 있는 경우) 수행되는 각각의 RCHRES는 유입, 저류, 유출, 강우, 증발 플렉스의 사용자가 정의한 카테고리의 기록을 따른다. 상세한 설명은 CATEGORY block 문서를 참조하면 된다.

## 4.2 부유물의 침강 시뮬레이션: SINK

### 4.2.1 목적

SINK는 RCHRES의 부유수량의 침강을 계산하고 그 결과를 RCHRES 내에서 재료의 농도로 환산한다.

### 4.2.2 방법

계산시간 간격동안 RCHRES의 재료의 침강 부분은 아래의 식으로 계산된다.

$$SNKOUT = CONC*(KSET/AVDEPE) \quad (1)$$

여기서,

SNKOUT = 침강되는 재료의 비율 (농도/계산시간간격의 감소)

CONC = 퇴적되기 전 재료의 농도

KSET = 침강비율 (ft/interval), 재료의 특성이나 형태에 따른 변수

AVDEPE = 평균수심 (feet)

KSET의 시간간격이 AVDEPE보다 크면 모든 재료는 RCHRES에서 물속으로 침강된다.

RCHRES에 침강되어지는 재료의 질량은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{SNKMAT} = \text{SNKOUT} * \text{VOL} \tag{2}$$

여기서,

SNKMAT = 시간간격동안 침강되는 재료의 질량  
(mass. ft<sup>3</sup>/1/ interval 또는 mass m<sup>3</sup>/1/interval)

VOL = RCHRES에 있는 물의 체적 (ft<sup>3</sup> 또는 m<sup>3</sup>)

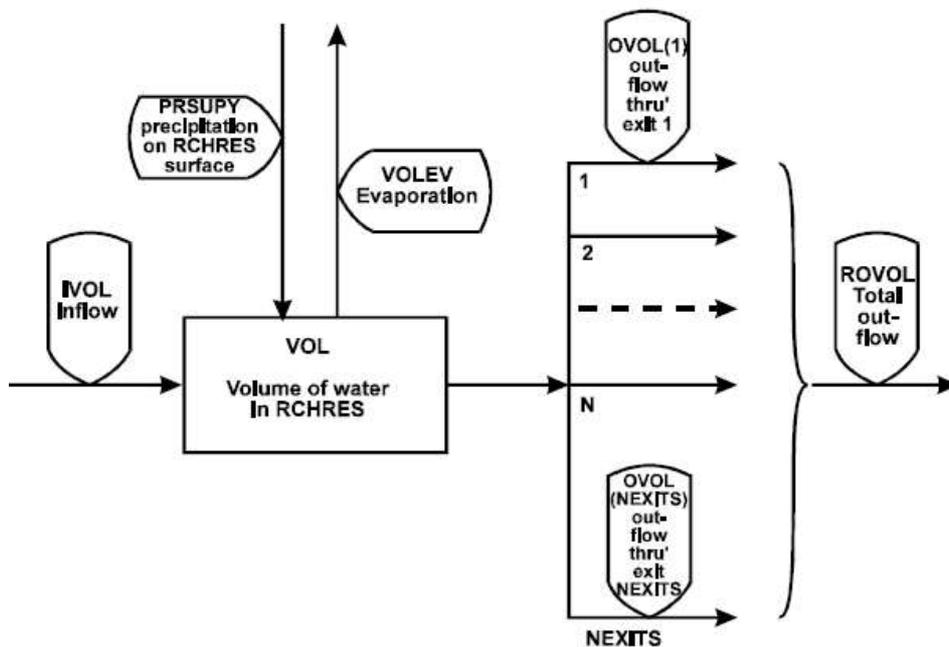
### 4.3 수리학적 거동 시뮬레이션: RCHRES 모듈의 HYDR 섹션

#### 4.3.1 목적

이 코드의 목적은 하도나 혼합 저수지(RCHRES)에서 발생하는 수리학적 프로세스를 시뮬레이션 하는 것이다. 이 프로세스의 최종적인 목적은 홍수추적, 저수지 거동 연구, 물 속에 용해되어있는 성분의 분석 등을 수행하는 것이다.

#### 4.3.2 플럭스와 저류의 스키매틱 뷰

아래 그림 4.3은 HSPF에서 다루어지는 저장되는 체적의 주요 상태변수와 플럭스이다. 지표면과 지표하로부터 RCHRES로 유입되는 모든 물은 "gate" INFLO를 통해 도착하게 된다. 이 양은 IVOL이다. 유저는 UCI(User's Control Input)의 EXT SOURCES 나 NETWORK 블록의 gate로 유입되는 시계열을 지정한다. 만약 시계열자료가 지정되어 있지 않으면 시스템은 RCHRES로 유입되는 유량이 없는 것으로 가정한다.



[그림 4.3 RCHRES 적용 모듈의 HYDR 섹션 흐름도]

Gate OFLO(N)을 통해 시뮬레이션 시간 간격동안 RCHRES를 벗어나는 물의 체적은 OVOL(N)이라 불리고 총 유출량은 ROVOL이다.

수표면의 직접적으로 떨어지는 강우로 인해 발생하는 물의 입력자료와 지표면으로부터의 증발로 인한 물의 손실은 고려할 수 있다. 사용자는 사용자입력인 External Sources block에 PREC, POTEV 시계열자료를 입력하여 이 옵션을 활성화 할 수 있다. 이러한 시계열 자료는 depth/interval의 단위를 가진다. 이 코드는 이러한 양들과 RCHRES 현재의 면적을 곱하게 되고 입력과 출력 볼륨이 계산되어 진다. 만약 시계열 자료가 없다면 이 옵션은 비활성화 되고 해당 플럭스는 0이 된다.

기본방정식은 연속식으로 다음과 같다.

$$VOL - VOLS = IVOL + PRSUPY - VOLEV - ROVOL \quad (3)$$

여기서,

VOL = 시간간격 마지막 시점의 체적

VOLS = 시간간격 시작 시점의 체적

VOL은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$VOL = VOLT - ROVOL \quad (4)$$

여기서,

$$VOLT = IVOL + PRSUPY - VOLEV + VOLS$$

이 서브루틴의 주된 임무는 ROVOL와 마지막 시점에서의 체적(VOL)을 추적하는 것이다.

### 4.3.3 유출과 VOL의 계산

만약 물이 가용하다면 계산 시간간격당 RCHRES를 떠나는 물의 총 체적은 다음 식과 같이 가정된다.

$$ROVOL = (KS*ROS + COKS*ROD) * DELTS \quad (5)$$

여기서,

KS = 가중치 ( $0 \leq KS \leq 0.99$ )

COKS =  $1.0 - KS$  (KS의 저장)

ROS = 시간간격 시점의 RCHRES로부터의 유출 총 비율

ROD = 시간간격 끝의 유출 수요 총비율

DELTS = 초당 계산되는 간격

여기서 유출의 평균비율은 시간간격 당 시작점, 끝점에서의 비율의 가중 평균으로 가정된다. 가중인자 KS는 사용자 입력이 가능하고 디폴트 값으로도 적용할 수 있다. KS 값은 0.0부터 1.0까지로서 선택되는 값에 매우 주의가 필요하다. 왜냐하면 유출비율의 계산이 불안정한 값이 되는 위험성이 증가할 수 있기 때문이다. 이론적으로 KS값을 0.5로 결정하게 되면 대부분 진동이 발생하지 않는 정확한 결과를 도출한다. 디폴트 값인 0.0은 위험도가 없다. 그러나 정확한 결과를 도출할 수 없다. 사용자가 만약 0이 아닌 값을 적용하고자 할 때 각별한 주의가 요구되는 경우 0.5보다 큰 값을 적용하지 않는 것이 좋다.

$$VOL = VOLT - (KS*ROS + COKS*ROD)*DELTS \quad (6)$$

위 식에서 두 개의 알지 못하는 값은 VOL과 ROD이다. 따라서 문제를 풀기 위해서는 두 값의 관계식이 필요하며 두 관계의 함수를 제공하기 위해 각각의 출구에서 요구되는 유출 아래 형태로 가정된다.

$$\begin{aligned}
 OD(1) &= f_1(VOL, t) \\
 OD(2) &= f_2(VOL, t) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 OD(NEXITS) &= FNEXITS(VOL, t)
 \end{aligned} \tag{7}$$

각각의 출구로부터 요구되는 유출은 체적, 시간, 조합의 함수이다.

총 유출 요구량은 아래와 같은 형태이다.

$$ROD = \text{funct}(VOL, t) \tag{8}$$

주어진 계산시간에서 t는 주어졌으며, 위 함수는 아래와 같이 줄일 수 있다.

$$OD(N) = f_N(VOL) \tag{9}$$

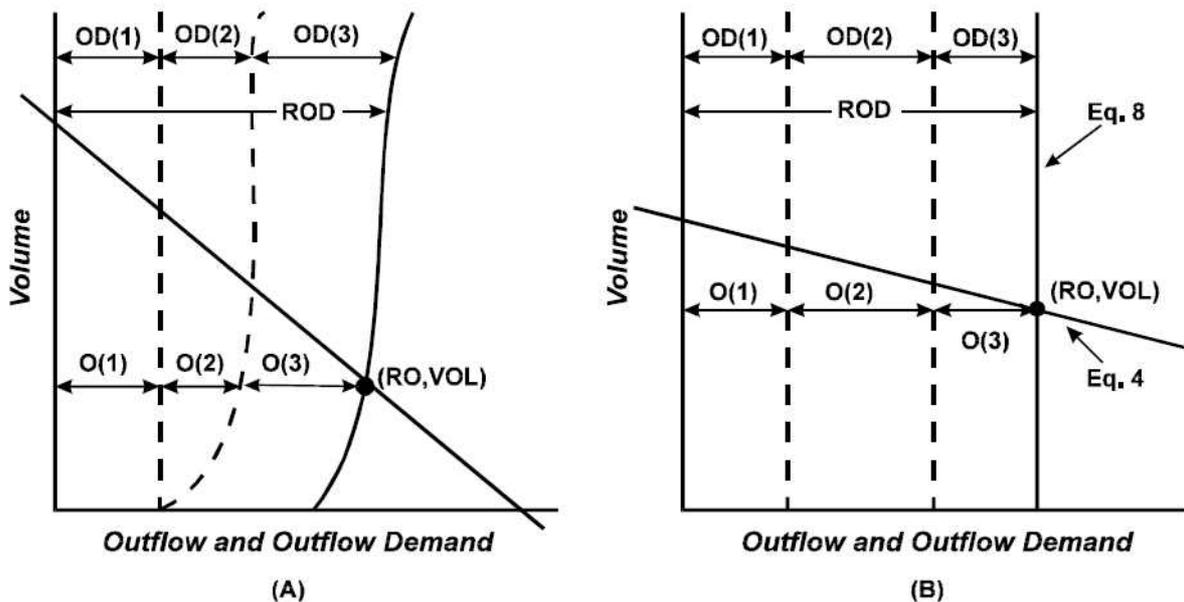
$$ROD = \text{funct}(VOL) \tag{10}$$

식 10은 이 문제를 풀기 위한 두 번째의 관계식을 제공한다. 식 6, 9, 10는 아래 그림 4.4와 같다. 식 6과 10의 교차하는 지점은 RO, VOL 및 O(1), O(2) 값을 준다.

여기서,

RO = 시간간격의 끝에서 RCHRES로부터 유출되는 총 비율

O(N) = 시간간격의 끝에서 exit으로부터 유출되는 비율



[그림 4.4 유출비율과 체적을 계산하기 위한 수식의 도식화]

HSPF에서 각각의 유출수요는 하나 혹은 아래의 두 가지 타입의 컴퍼넌트로 표현 할 수 있다.

Component =function(VOL). 이것은 RCHRES의 시뮬레이션에 있어 가장 유용하다. 여기서는 유출량 이상의 흐름은 컨트롤되지 않으며 수위의 함수로 gate를 셋팅할 수 있다. 이 컴퍼넌트

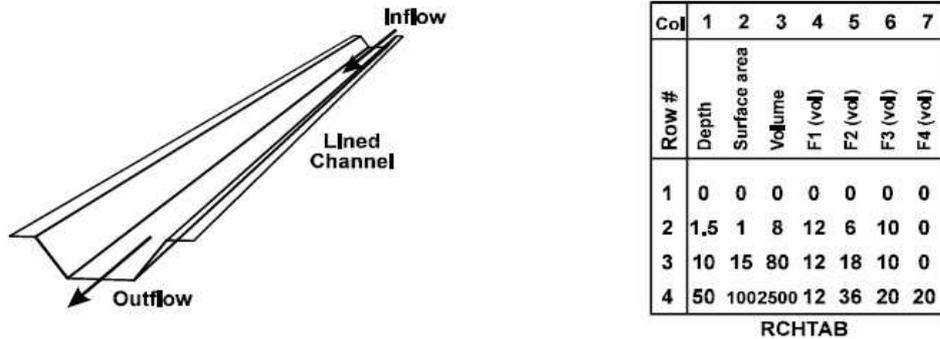
는 FTABLE의 형태로 프로그램에서 적용되어 진다.

Component = function(time). 이것은 지자체, 산업체 나 농촌지역에서 사용되어지는 수요에 의해 조절될 수 있다. 유저는 사계열의 형태로 이 컴퍼넌트를 제공해야 한다.

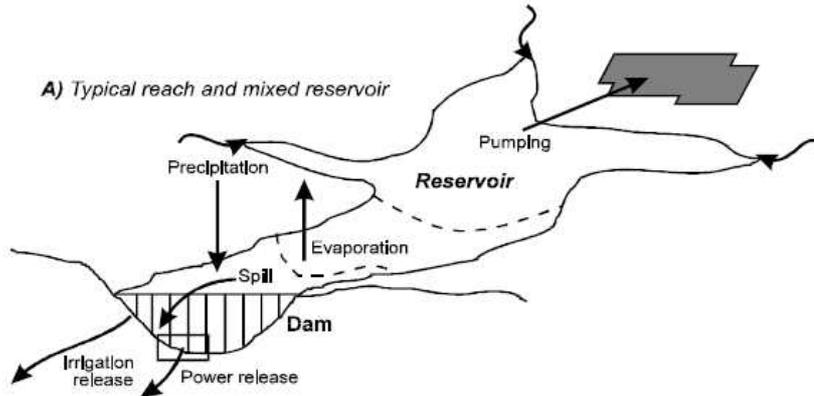
만약 사용자가 위 두 타입의 컴퍼넌트로 유출수요를 표현하는 것으로 결정했다면 유저는 그것들이 어떠한 조합이 되어 있는 지를 정의해야 한다. HSPF는 아래의 옵션을 따른다.

1.  $OD(N) = \text{Min} [fN(\text{VOL}), gN(t)]$
2.  $OD(N) = \text{Max} [fN(\text{VOL}), gN(t)]$
3.  $OD(N) = fN(\text{VOL}) + gN(t)$

만약 하나 또는 그 이상의 유출수요를  $f(\text{VOL})$ 이 가지고 있을 때 서브루틴 ROUT는 추적 수식을 호출한다. 이 경우 유출수요의 평가와 방정식의 계산은 매우 복잡해진다. 만약  $f(\text{VOL})$ 이 어떠한 수요를 가지지 않는 경우에는 매우 단순하며 서브루틴 NOROUT가 호출된다.



B) Function table used to specify geometry and hydraulic properties of a RCHRES



[그림 4.5 지형학적, 수리학적 특성을 포함하는 방법과 RCHRES의 구성]

#### 4.3.4 RCHRES의 지형 및 수리학적 특성

HSPF는 RCHRES의 형태에 관한 가정 없이 만들어 졌다. 따라서 사다리꼴 형태나 각주형태의 횡단 자료를 요구하지 않는다. 이것은 동일한 적용 모듈에 의해서 하도와 저수지들을 자유롭게 적용할 수 있는 이유이다. HSPF의 지형, 수리 특성에 대한 가정은 다음과 같다.

1. 수심(RCHRES에 가장 깊은 포인트로부터)과 표면적, 체적 간의 고정 관계에 있다.

2. f(VOL)컴퍼넌트의 유출수요를 위한 함수적 관계는 시간에 따라 일정하다.

이러한 가정은 역방향의 흐름이 있는 경우, 하나의 RCHRES가 시간에 따라 다른 상류 하도에 영향을 미치는 경우는 배제한 것이다. 이러한 추적기법은 저수지추적 혹은 Kinematic wave방법으로 알려져 있다.

테이블에 있는 RCHRES의 사용자 지정 특성은 RCHTAB를 호출한다. 컬럼들은 수심, 지표면적, 체적, 체적함수( $f_N(VLO)$ )이다. 각각의 행은 특정한 수심에 대한 적절한 값을 포함하고 있다. 시스템은 보간에 의해서 중간값을 얻을 수 있다. 따라서 RCHTAB에 있는 행의 개수는 요구되는 해상도와 단면의 크기에 의존한다. Table은 사용자 컨트롤 입력자료나 그것이 저장될 수 있는 WDM파일을 포함한다. 부수적으로 독립된 프로그램으로 RCHRES의 테이블을 작성할 수도 있다.

#### 4.3.5 보조변수

RCHRES에서 유출 비율과 체적을 계산하는 것 외에 몇몇 다른 보조의 상태 변수의 값을 계산할 수도 있다.

##### 1. AUX1FG=1

DEP, STAGE, SAREA, AVDEP, TWID와 HRAD가 계산되어진다.

여기서, DEP는 가장 깊은 포인트에서의 수심, STAGE는 포인트와 관계되는 수위, SAREA는 RCHRES의 물의 표면적, AVDEP는 평균수심, TWID는 상부의 폭(surface/length), HRAD는 수리수심

##### 2. AUX2FG=1

AVSECT와 AVVEL이 계산되어 진다.

여기서, AVSECT는 평균 횡단면(Volume/length), AVVEL은 평균유속(discharge/AVSECT)

##### 3. AUX3FG=1

USTAR과 TAU가 계산되어 진다.

여기서, USTAR은 하상 전단속도이고 TAU는 하상전단응력이다.

사용자는 AUX1FG, AUX2FG, AUX3FG를 ON, OFF 할 수 있다. 만약 어떤 성분이 모의되어졌을 때에는 플래그에 한 개 혹은 그 이상의 ON이 요구되어 진다. 예를 들어 oxygen (group OXR) 가 시뮬레이션 되었을 때 AUX1FG와 AUX2FG를 ON 해야 한다. 그리고 만약 sediment가 시뮬레이션 되었을 때는 AUX3FG가 ON 되어야 한다.

### 4.4 수리학적 추적에 사용하는 유출의 계산: 서브루틴 ROUTE

#### 4.4.1 목적

ROUTE는 RCHRES로부터의 유출의 비율과 체적을 계산한다. 그리고 각각의 경우에 신규 볼륨은 적어도 하나의 유출수요를 가지는 f(VOL) 컴퍼넌트를 가지고 있다.

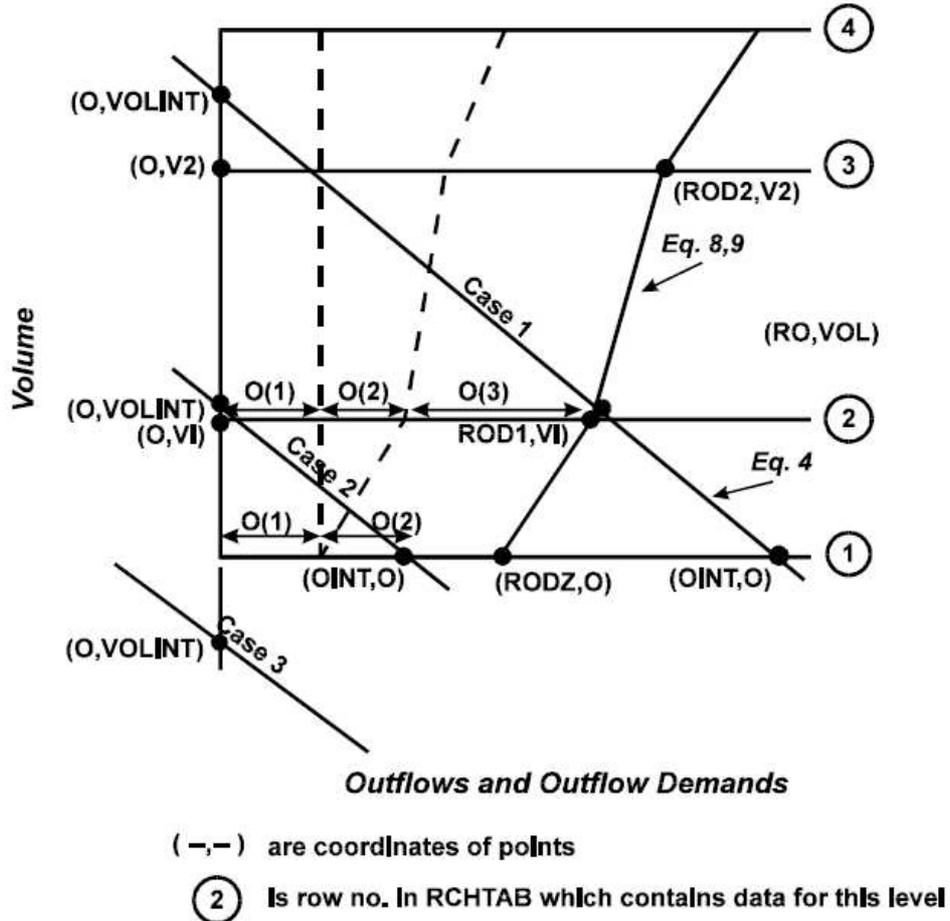
#### 4.4.2 방법

가장 중요한 문제는 식 6, 10를 연속적으로 푸는 것이다. 발생할 수 있는 경우를 아래 그림 4.6에 도시하였다. 식 9, 10은 직선 세그먼트의 시리즈로 표현된다. 이 선의 브레이크 포인트들은

RCHTAB에 행으로 일치한다. 식 10의 세그먼트는 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$(VOL - V1) / (ROD - ROD1) = (V2 - V1) / (ROD2 - ROD1) \quad (11)$$

여기서, V1, V2는 RCHTAB와 접하는 열에 정의되는 체적이다. 이것은 각각 직선라인 세그먼트의 하단 하단의 맨 끝이다. ROD1, ROD2는 총 유출수요와 관계된다.



[그림 4.6 서브루틴 ROUTE에 의해 수행되는 작업의 그래픽 표현]

첫 번째 단계는 식 6과 접하는 체적의 축을 찾는 것이다.

$$VOLINT = VOLT - KS*ROS*DELTS \quad (12)$$

만약, VOILINT 가 0 보다 작으면 이 식은 풀 수 없다. 식 6은 (ROD가 0 이더라도)VOL이 마이너스 값일 때 적용될 수 있다. 물리적으로 프로젝트에서 유출수요를 만족하는 매우 작은 물의 간격을 적용하였을 때 유출을 계산시간의 끝에서 0에 가까운 것을 의미한다. 따라서 이 코드는

$$\begin{aligned} VOL &= 0.0 \\ RO &= 0.0 \\ O(*) &= 0.0 \\ ROVOL &= VOLT \end{aligned}$$

만약 VOLINT가 0보다 크거나 0의 값이면 계산간격의 마지막 유출비율을 0이 아니다. 이 경우에는

1. 체적축에 있는 Equation 4의 절편을 찾는다

$$OINT = VOILNT / (DELTS * COKS) \quad (13)$$

2. 체적이 0(RODZ)가 되는 최고 유출수요를 찾는다.

만약 OINT가 RODZ보다 크면 식 6, 10은 풀 수 있다(CASE 1). 이 해는 그래프의 절편의 점을 포함하는 식 10의 세그먼트로부터 찾아지고 관계되는 point (RO, VOL)을 찾을 수 있다. 이것은 서브루틴 SOLVE에서 완료된다.

만약 OINT가 RODZ가 같거나 작으면 식 6, 10은 풀 수 없다(CASE 2). 물리적으로 RCHRES는 OINT와 같은 시간에서의 총 유출율의 간격의 끝에서 지속적으로 말라가는 것을 의미한다. 따라서 이 코드는 RCHRES 체적을 0으로 표현하고 총 유출값은 식 6의 절편값과 같다. 가용한 개별적인 수요는 가용한 물의 전체로 충족된다. 남아있는 물은 요구 우선순위가 높은 순으로 일부 충족되고, 그 외에는 충족되어지지 않는다.

## 4.5 RCHTAB의 특정행과 관계되는 유출수요 찾기 (서브루틴 DEMAND)

### 4.5.1 목적

DEMAND는 RCHTAB에 있는 특정 수위(행)에 대해 현재의 마지막시점에 적용되어지는 총 유출수요를 개별적으로 찾는다.

### 4.5.2 방법

유출수요를 찾는 방법은 각각의 동적 출구에 대한 유출수요와 총 수요를 찾기 위한 누적값을 결정해야 한다.

### 4.5.3 유출구 N의 수요 평가

각각의 출구점에 대한 유출수요는 하나 또는 두 개의 컴퍼넌트로 구성된다. 이것은 아래의 두 플래그로 나타낼 수 있다.

Component	Flag
fN(VOL)	ODFVFG(N)
gN(t)	ODGTFG(N)

### 4.5.4 fN(VOL) 컴퍼넌트 찾기

만약 ODFVFG(N) 이 0 이면 fN(VOL) 컴퍼넌트는 존재하지 않는다

만약 ODFVFG(N) 이 0보다 크면 fN(VOL) 컴퍼넌트는 존재하며, 플래그의 값은 컴퍼넌트를 찾는데 사용되는 값을 포함하는 RCHTAB의 컬럼 갯수이다.

$$col = ODFVFG(N)$$

$$ODFV = fN(VOL) = (column\ value) * CONV$$

여기서, CONV는 1년의 기간 동안 다르게 적용할 수 있는 변환 인자 이다. 그것은 UCI 파일의 RCHRES 블록에서 사용자에게 의해 적용될 수 있으며 시뮬레이션에 영향을 미칠 수 있다. (예를 들어 조도계수의 계절적 변동)

만약 ODFVFG(N) 이 0보다 작으면 fN(VOL) 컴퍼넌트는 존재한다. 그러나 함수 fN는 시간에 따라

바뀐다. 이 경우 컴퍼넌트의 결정은 직접적이지 않다. ODFVFG(N)의 절대적 값은 사용자가 지정한 시계열에 포함되는 벡터 COLIND()의 요소수로 주어진다. 이 시계열의 값은 fN(VOL)을 보간하는데 사용되는 RCHTAB의 행 조합으로 지정된다. 예를 들어 만약 주어진 시간간격 동안 COLIND() = 4.6 이면 이 값은 컬럼 4와 5 사이에서 보간된다.

$$ODFV - fN(VOL) = [0.6 * \text{column5 value} + 0.4 * (\text{column4 value})] * CONVF \quad (14)$$

만약 사용자가 이 옵션을 선택하면 시계열 COLIND(I)는 UCI의 EXT SOURCES 블록에 적용되어야 한다.

유출수요정의 방법은 저수지로부터 정의되는 롤 커브(f(VOL)의 셋에서 유용하고 그것은 시뮬레이션이 진행되는 시간과정 동안 다른 하나의 커브로부터 다른 커브로 이동하게 된다.

#### 4.5.5 gN(t) 컴퍼넌트 찾기

만약 ODGTFG(N)이 0이면 gN(t) 컴퍼넌트는 존재하지 않는다. 또한 만약 ODGTFG(N)이 0보다 크면 gN(t) 컴퍼넌트는 존재한다. 이 플래그의 값은 시계열이 요구를 포함한 벡터 OUTDGT()의 요소수이다.

$$\begin{aligned} FG2 &= ODGTFG(N) \\ ODGT &= gN(t) = OUTDGT(FG2) \end{aligned} \quad (15)$$

#### 4.5.6 fN(VOL)과 gN(t) 컴퍼넌트의 결합

만약 출구수요가 위에 설명한 두 개의 컴퍼넌트를 동시에 가지는 경우, 시스템은 사용자가 아래의 옵션과 같이 그것들의 조합을 지시할 것을 요구한다.

1. OD(N) = Min [fN(VOL), gN(t)]
  2. OD(N) = Max [fN(VOL), gN(t)]
  3. OD(N) = fN(VOL) + gN(t)
- (16)

### 4.6 라우팅 식의 해 (서브루틴 SOLVE)

#### 4.6.1 목적

SOLVE 서브루틴은 식 6과 식 10의 교차하는 지점을 찾는 모듈이다.

#### 4.6.2 일반적 접근방법

일반적인 아이디어는 식 10의 세그먼트와 식 6이 교차하는 지점을 찾는 것이다. 만약 이 포인트가 선택된 세그먼트의 바깥에 있는 경우 교차하는 방향에 있는 인접한 세그먼트를 선택한다. 이것은 검토 중인 세그먼트 안에 놓여 있는 포인트까지 지속시킨다.

#### 4.6.3 연속 선형방적식의 해법

식 6과 식 11은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$A1 * VOL + B1 * ROD = C1 \quad (17)$$

$$A2 * VOL + B2 * ROD = C2 \quad (18)$$

이 식들은 행렬 평가에 의해 풀 수 있다.

$$\begin{array}{l} \text{DET} = \begin{array}{l} \text{A1 B1} \\ \text{A2 B2} \end{array} \quad \text{DETV} = \begin{array}{l} \text{C1 B1} \\ \text{C2 B2} \end{array} \quad \text{DETO} = \begin{array}{l} \text{A1 C1} \\ \text{A2 C2} \end{array} \end{array} \quad (19)$$

이 서브루틴의 코드는 아래와 같다.

$$\text{FACTA1} = \text{A1} = 1.0/(\text{COKS}*\text{DELTS}) \quad (20)$$

$$\text{FACTA2} = \text{A2} = \text{ROD1} - \text{ROD2} \quad (21)$$

$$\text{FACTB1} = \text{B1} = 1.0 \quad (22)$$

$$\text{FACTB2} = \text{B2} = \text{V2} - \text{V1} \quad (23)$$

$$\text{FACTC1} = \text{C1} = \text{OINT} \quad (24)$$

$$\text{FACTC2} = \text{C2} = (\text{V2}*\text{ROD1}) - (\text{V1}*\text{ROD2}) \quad (25)$$

행렬은 아래와 같이 평가된다.

$$\text{DET} = \text{FACTA1}*\text{FACTB2} - \text{FACTA2} \quad (26)$$

$$\text{DETV} = \text{OINT}*\text{FACTB2} - \text{FACTC2} \quad (27)$$

$$\text{DETO} = \text{FACTA1}*\text{FACTC2} - \text{FACTA2}*\text{OINT} \quad (28)$$

교차점의 좌표는 아래와 같이 계산된다.

$$\text{VOL} = \text{DETV}/\text{DET} \quad (29)$$

$$\text{RO} = \text{DETO}/\text{DET} \quad (30)$$

## 4.7 수문학적 추적이 없는 유출의 계산 : 서브루틴 NOROUT

### 4.7.1 목적

NOROUT는 RCHRES로부터 유출되는 양과 체적의 계산, 그리고 f(VOL) 컴퍼넌트에서 유출수요를 가지지 않는 새로운 체적을 계산한다. 여기서 모든 유출수요는 시간의 함수이다.

### 4.7.2 방법

식 6과 식 10은 이러한 상황을 묘사하기 위해 그림 4.7에 도시하였다. 이 해법은 서브루틴 ROUTE에 사용하는 방법과 동일하다. 다만 예외적인 것은 볼륨에 유출수요가 없기 때문에 참고하고 보간할 수 있는 테이블이 없이 그것들의 평가가 요구되어 진다. 그리고 식 6과 10의 해는 보다 쉽게 찾을 수 있다.

식 12를 사용하면 체적축에 있는 식 6의 교차점을 찾을 수 있다. 만약 VOLINT가 0.0보다 작으면 해는 존재하지 않는다(Case 3). 이 코드는 이 case를 위한 서브루틴 ROUTE에 의해 얻을 수 있는 동일한 조치로 얻을 수 있다.

만약, VOLINT가 0.0보다 크거나 같으면 해는 case 1이나 case 2 중 하나이다. 이 경우, 첫 번째 단계는 유출수요를 아래와 같이 평가해야 한다.

$$\text{FG} = \text{ODGTFG}(\text{N})$$

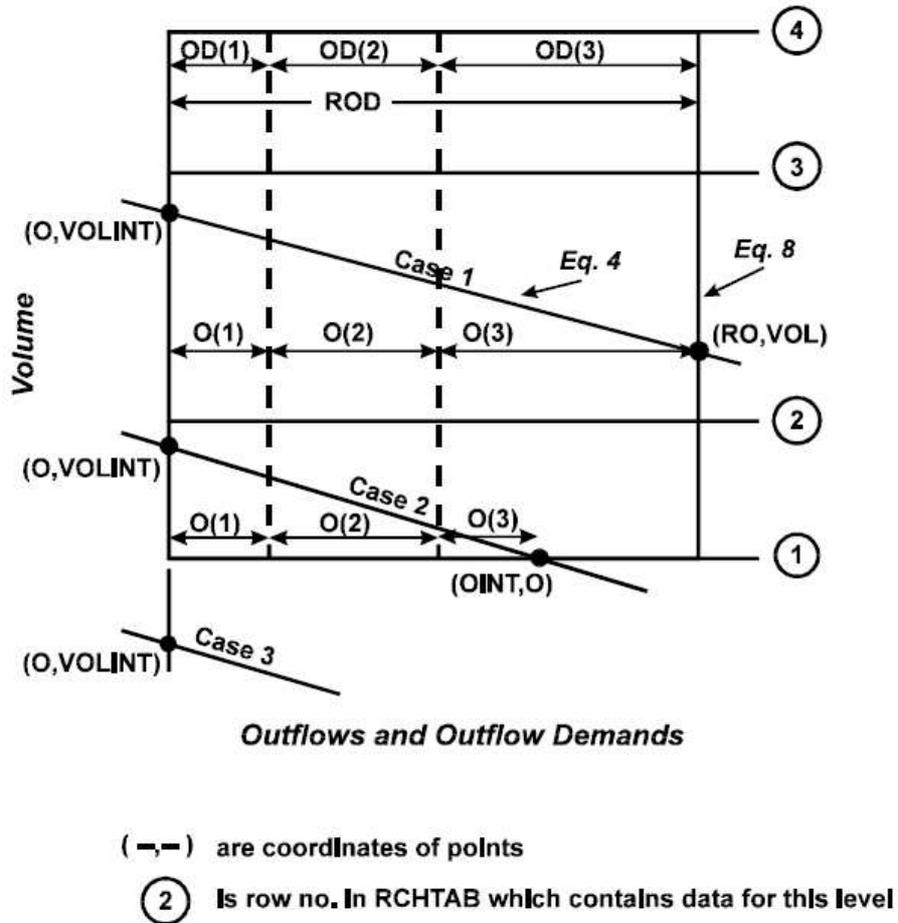
$$\text{OD}(\text{N}) = \text{OUTDGT}(\text{FG}) \quad (31)$$

$$\text{ROD} = \text{OD}(1) + \dots + \text{OD}(\text{NEXITS}) \quad (32)$$

체적축(OINT)에 있는 식 6의 교차점은 식 11을 사용하여 찾을 수 있다. 만약 OINT가 ROD 보다 크면 식 6과 11는 (CASE 1)로 풀 수 있다.

$$\begin{aligned} RO &= ROD \\ O(*) &= OD(*) \end{aligned} \tag{33}$$

만약 OINT가 ROD와 같거나 작으면 식 6과 10는 풀 수 없다(CASE2).



[그림 4.7 서브루틴 NOROUT에 의해 수행되는 작업의 그래픽 표현]

## 4.8 보조 상태변수 값의 계산 (서브루틴 AUXIL)

### 4.8.1 목적

AUXIL은 RCHRES에 주어진 물의 체적에 관계되는 수심, 수위, 물의 표면적, 평균 깊이, 상부 폭, 수리수심을 계산하는데 사용되는 모듈이다.

### 4.8.2 수심계산의 방법

AUXIL 모듈에서 가장 기본적인 문제는 RCHTAB에 불연속적인 체적값들 사이에서 수심값을 보간하

는 것이다. 이것은 보간방법(예를 들어 선형보간, 2차보간)이 적절한 지에 대해 질문이 생긴다. 어떠한 보간방법을 사용하는지는 체적은 수심과 표면적의 적분이라는 사실에 기초하여 결정된다. 대부분의 RCHRES는 길고 상대적으로 좁다(그림 4.8). 보간을 수행하기 위해 수표면은 RCHTAB에 있는 근처의 수위와 수심사이에서 선형적이라는 가정 하에 아래와 같은 식을 적용한다.

$$SAREA = SA1 + (SA2 - SA1) * RDEP \quad (34)$$

여기서,

SAREA는 수심 DEP의 표면적, SA1, SA2는 SAREA 위와 아래에 있는 표면적의 table내의 숫자, REDEP는 상대 수심 $(DEP - DEP1) / (DEP2 - DEP1)$ , DEP1, DEP2는 DEP 위와 아래에 table 수심값이다.

수심에 대응되는 위 식의 적분은 체적의 결과와 동일하게 된다.

$$(A * RDEP ** 2) + (B * RDEP) + C = 0.0 \quad (35)$$

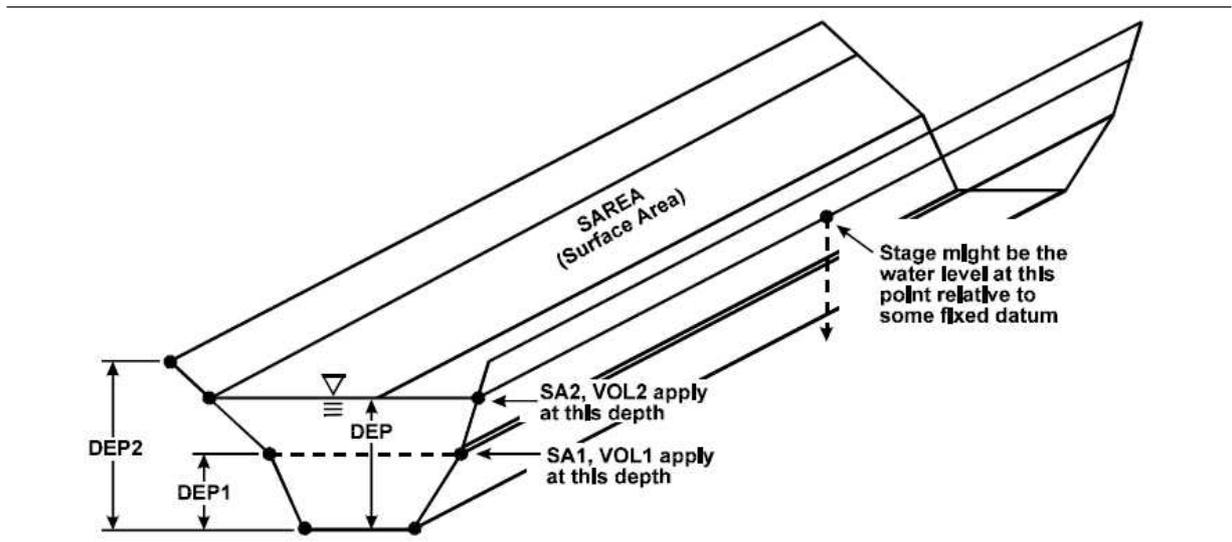
여기서,

$$A = SA2 - SA1$$

$$B = 2.0 * SA1$$

$$C = -(VOL - VOL1) / (VOL2 - VOL1) * (B + A)$$

식 11는 보간된 수심과 주어진 체적의 평균을 제공한다. 여기서 RDEP와 VOL는 이차적 관계가 있다. 이 식은 분석적으로 RDEP에 대한 해라고 할 수 있으나 HSPF에서는 Newton's 방법으로 해를 추정한다.



[그림 4.8 수심계산 도해]

■ 다른 상태변수의 계산

STAGE(수위)는 지속적인 DEP의 차이의 양적인 수치로 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$STAGE = DEP + STCOR \quad (36)$$

여기서,

STCOR = the difference, supplied by the user

Surface area(물의 표면적) 는 식 10에 기초한 공식을 사용하여 계산된다.

$$SAREA = SA1 + A * RDEP^2 \quad (37)$$

Average depth(평균수심)은 아래와 같이 계산된다.

$$AVDEP = VOL / SAREA \quad (38)$$

The mean top width(평균 상부 폭)은

$$TWIN = SAREA / LEN \quad (39)$$

여기서,

LEN = RCHRES의 길이 (사용자가 입력한 값)

The hydraulic radius 는 평균 수심(AVDEP)와 평균 상부폭(TWID)의 함수로 계산된다.

$$HRAD = (AVDEP * TWID) / (2.0 * AVDEP + TWID) \quad (40)$$

### 5.1 PERLND 모듈의 UCI 파일구성

PERLND 모듈에서 유역유출계산을 위한 주요 항목을 입력하는 부분은 PWAT-PARM1, PARM2, PARM3, PARM4 등이 있다.

```

PWAT-PARM1
<PLS > PWATER variable monthly parameter value flags ***
# - # CSNO RTOP UZFG UCS UUZ UNN VIFW UIRC ULE INFC HWT ***
2      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
6      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
END PWAT-PARM1

PWAT-PARM2
<PLS > PWATER input info: Part 2 ***
# - # ***FOREST LZSN INFILT LSUR SLSUR KUARY AGWRC
2      0      127      50.8      100      0.1      7.62      0.996
6      0      127      38.1      100      0.15      7.62      0.996
END PWAT-PARM2

PWAT-PARM3
<PLS > PWATER input info: Part 3 ***
# - # ***PETMAX PETMIN INFEXP INFILD DEEPFR BASETP AGWETP
2      0      0      2      2      0      0      0
6      0      0      2      2      0      0      0
END PWAT-PARM3

PWAT-PARM4
<PLS > PWATER input info: Part 4 ***
# - # CEPSC UZSN NSUR INTFW IRC LZETP ***
2      5.08      12.7      0.35      0      0.7      0.7
6      3.81      12.7      0.3      0      0.7      0.4
END PWAT-PARM4

```

[그림 5.1 PWATER 매개변수 구성]

PARM1은 그림 5.1과 같이 CSNO, RTOP, UZFG 등의 플래그(Flag)로 구성된다. 첫 번째 플래그 항목인 CSNOFG가 1인 경우, PWATER 섹션은 적설과 용설을 고려할 수 있다. SNOW가 고려되면 적설과 용설의 시계열은 내부(실행을 통해 생성)에서 적용되거나 외부(예. 이전 실행에서 생성) 소스를 통해 입력된다. CSNOFG가 0이면 이러한 내부, 외부 시계열 자료가 요구되지 않는다. RTOPFG는 지표유출을 계산하기 위한 알고리즘을 선택하는 플래그이다. RTOPFG가 1인 경우, 지표유출 추적은 기존에 개발된 HSPX, ARM, NPS모형으로 계산되어 진다. RTOPFG 값이 0인 경우에는 다른 알고리즘이 사용된다. UZFG는 상층부로의 유입을 계산하기 위한 방법을 선택하는 플래그이다. UZFG가 1이면, 상층부 유입은 HSPX, ARM, NPS의 선행 모형과 같은 방법으로 계산된다. 값이 0인 경우, DELT의 변화에 덜 민감한 다른 알고리즘이 사용된다. (자세한 내용은 HSPF 매뉴얼 참조)

“V”로 시작하는 플래그는 평균화된 월 기반자료를 모든 년도에 동일하게 월자료로 적용할

것인지 않을지를 선택하는 옵션이다. 플래그의 값이 1인 경우에는 월 기반자료를 모의기간에 전체에 걸친 모든 년도의 월 입력자료에 동일하게 적용된다. 반면 플래그 값이 0인 경우는 이 옵션이 적용되지 않는다.

VCSFG	차단 저류용량
VUZFG	상층부 명목 저류용량
VNNFG	지표흐름평면에 대한 Manning 조도계수(n)
VIFWFG	중간유출 유입 매개변수
VIRCFG	중간유출 감쇠 상수
VLEFG	저층부 증발산 (E-T) 매개변수

위와 같은 플래그의 값이 (1)인 경우, 반드시 해당 매개변수에 대한 월단위 값을 입력해야 한다. 테이블유형 MON-xxx, 본 섹션의 뒷부분 참조)

IFFCFG가 1인 경우, 침투율에 대한 동결 지반의 영향은 스노우팩(PACKI)에서 얼음의 양으로부터 계산된다. CSNOFG는 반드시 설정해주어야 하며, SNOW 섹션이 PACKI를 계산하지 않는다면(ICEFG가 해제되었거나 섹션이 비활성상태이므로) PACKI에 시계열을 반드시 입력해주어야 한다. IFFCFG가 2인 경우, 침투조정계수는 저층부/지하수층에서의 토양온도로부터 결정된다. 이는 PSTEMP 섹션에서 계산되거나 입력 시계열로부터 주어진다. (테이블유형 PWAT-PARM5 참조)

PARM2은 FOREST, LZSN, INFILT 등으로 구성된다. 첫 번째 항목인 FOREST는 숲으로 덮여있는 PLS의 일부분으로 겨울에도 계속 증산작용을 할 것이다. 따라서 이 항목은 강설이 고려되는 경우에만 관련 있다. (즉, CSNOFG = 1)

LZSN은 저층부 명목 저류용량, INFILT은 토양 침투용량의 인덱스, LSUR은 가정된 지표 흐름 평면의 길이, SLSUR은 지표흐름 평면의 경사이다.

KVARY는 기저유출 거동에 영향을 미치는 매개변수로서, 시간에 따라서 비지수적으로 감쇠되도록 하는 역할을 한다. AGWRC는 기저지하수 감쇠율(basic groundwater recession rate)이다. KVARY가 0인 경우, 지하수로의 유입이 없는 것을 의미한다. AGWRC는 오늘의 유량비율을 어제의 유량비율로 나눈 값으로 정의된다.

PARM3는 PETMAX, PETMIN, INFEXP 등으로 구성된다. 먼저, PETMAX은 증발산(E-T)이 입력 시계열로부터 얻은 값에서 임의로 감소되는 최저기온이다. 다음으로, PETMIN은 증발산(E-T)이 입력 시계열 값에 관계없이 0이 되는 최저기온이다. 이 값들은 강설이 고려되는 경우에만 적용된다. (즉, CSNOFG= 1) INFEXP는 침투방정식에서 지수이며, INFILT는 PLS에 대한 최대 침투용량과 평균 침투용량의 비율이다. DEEPPFR는 깊은(비활성) 지하수로 유입되는 지하수의 일부이다. 따라서, HSPF에서 정의되었듯이 시스템에서 손실되어질 수 있다. BASETP는 양이 충분할 경우에 기저유출(지하수유출)로 처리될 수 있는 잔여 잠

재증발산의 일부이다. AGWETP는 양이 충분할 경우에 활성지하수 저류용량으로 처리될 수 있는 잔여 잠재증발산의 일부이다. PARM4는 연간 변하지 않는 매개변수에 대한 값으로만 구성된다. 변하는 경우(테이블유형 PWAT-PARM1에서 지정된 대로), 월별 값은 (MON-xxx)에 나와있다.

CEPSC는 차단 저류용량, UZSN는 상층부 명목 저류용량, NSUR는 가정된 지표흐름평면에 대한 Manning 조도계수(n)이다. 또한, INTFW는 중간유출 유입 매개변수이다.

IRC는 중간유출 감쇠 매개변수이다. 유입이 0보다 작다면(Under zero inflow), 어제 중간유출에 대한 오늘 중간유출의 비율을 의미한다. LZETP는 저층부 증발산(E-T) 매개변수이다. 이는 깊은 뿌리의 식물의 밀도에 대한 인덱스이다.

## 5.2 IMPLND 모듈의 UCI 파일구성

IMPLND 모듈에서 불투수면에 대한 유역유출계산을 위한 주요 매개변수를 입력하는 부분은 IWAT-PARM1, PARM2, PARM3 등이 있다.

```

IWAT-PARM1
<PLS > IWATER variable monthly parameter value flags ***
# - # CSNO RTOP VRS VNN RTLI ***
12 0 0 0 0 0
END IWAT-PARM1

IWAT-PARM2
<PLS > IWATER input info: Part 2 ***
# - # *** LSLUR SLSUR NSUR RETSC
12 100 0.05 0.1 2.032
END IWAT-PARM2

IWAT-PARM3
<PLS > IWATER input info: Part 3 ***
# - # ***PETMAX PETMIN
12 0 0
END IWAT-PARM3

```

[그림 5.2 IWATER 매개변수 구성]

IWATER섹션의 PARM1은 CSNO, RTOP, VRS, VNN, RTLI 플래그(Flag)가 있다. 먼저, CSNOFG는 1인 경우 IWATER 섹션은 적설과 용설이 고려되는 것으로 가정한다. CSNOFG가 0이면, 적설과 용설 계산을 위한 시계열 자료가 요구되지 않는다. RTOPFG는 지표유출을 계산하기 위한 알고리즘을 선택하는 플래그이다. RTOPFG는 지표유출을 계산하기 위한 알고리즘을 선택하는 플래그이다. RTOPFG가 1인 경우, 지표유출 라우팅은 NPS 모델로 유출계산이 수행된다. RTOPFG가 0인 경우에는 다른 알고리즘이 적용된다(자세한 내용은 HSPF 메뉴얼 참조). “V”로 시작하는 플래그는 평균화된 월 기반자료를 모든 년도에 동일하게 월자료로 적용할 것인지 않을지를 선택하는 옵션이다. 플래그의 값이 1인 경우에는 월 기반자료를 모의기간에 전체에 걸친 모든 년도의 월 입력자료에 동일하게 적용된다. 반면 플래그 값이 0인 경우는 이 옵션이 적용되지 않는다. 위와 같은 플래그의 값이 (1)인 경우, 반드시 해당 매개변수에 대한 월단위 값을 입력해야한다. 테이블유형 MON-xxx, 본 섹

선의 뒷부분 참조). RTLIFG가 1인 경우, ILS로의 임의의 측방 지표면 흐름은 지표면 저류 가능용량에 지배를 받게된다. 만약에 RTLIFG가 0인 경우 측방유입은 저류가능용량에 영향에 지배를 받지 않는다.

VRSFG	저류 가능용량
VNNFG	지표흐름평면의 조도계수 n

IWATER 섹션의 PARM2는 LSUR, SLSUR, NSUR, RETSC로 구성된다. 먼저 LSUR은 지표흐름평면의 길이이고 SLSUR은 지표흐름평면의 경사이다. NSUR은 지표흐름평면의 조도계수이며 RETSC는 지표면의 저류(차단) 저류가능용량으로 정의된다.

IWATER 섹션의 PARM3는 PETMAX와 PETMIN으로 구성되어진다. PETMAX은 증발산(E-T)이 입력 시계열로부터 얻은 값에서 임의로 감소되는 최저기온이다. PETMIN은 증발산(E-T)이 입력 시계열 값에 관계없이 0이 되는 최저기온이다.

### 5.3 RCHRES 모듈의 UCI 파일구성

K-LIDM에서 수리구조물 및 LID시설의 수리수문학적 하도추적모의는 HSPF 모형의 RCHRES 모듈 중 HYDR 모듈 섹션을 이용하여 유입유량을 수리수문학적으로 추적한다. 또한 하도추적을 위한 LID 시설물의 제원 및 침투, 방류에 관련되는 사항은 F-Table 형태로 구성된다.

HYDR 모듈 섹션의 주요 입력자료는 HYDR-PARM1, HYDR-RARM2, HYDR-INT 및 F-Table이 있으며 본 절에서는 수리구조물 및 LID 시설의 하도추적 계산을 위한 HYDR 모듈 섹션의 기본 설정을 위한 입력자료인 HYDR-PARM1, HYDR-RARM2, HYDR-INT에 대하여 설명하고자 한다. K-LIDM에서는 LID 시설의 제원입력을 통해 자동으로 입력자료(UCI 파일)이 생성된다.

첫번째로, HYDR-PARM1 에서는 VCFG, A1FG, ODFVFG 등의 매개변수에 대한 사용자 정의를 수행한다. VCFG는 VCONFIG를 축약하여 입력한 것으로 VCFG를 1로 설정하면 F(vol) 유출 컴퍼넌트는 가중치를 곱하여 적용할 수 있게 설정된다. 가중치 값은 HYDR 모듈에서 테이블 형태( MON-CONVF) 로 입력할 수 있다. A1FG(AUX1FG)를 1로 설정하면 계산수심, 수위, 표면적, 평균수심, 상부폭과 이 매개변수의 값이 출력된다. 한편, 이 값을 0으로 설정하면 이 정보가 출력되지 않고 계산되지 않는다. A2FG(AUX2FG)를 1로 설정하면 평균유속과 평균 횡단 면적이 계산되고 이 매개변수가 출력된다. A3FG(AUX3FG)를 1로 설정하면 전단속도와 하상 전단응력이 계산되어진다. ODFVFG는 는 시간에 독립적인 유출 출력자료를 정의하는 것으로 최대 5개의 F(VOL)항목을 설정할 수 있다. 아래 그림5.3의 4, 5 는 침투트렌치 입력 F-Table의 4번째 열과, 5번째열을 의미하는 것으로 각각의 열은 시설물 방류량 및 침투량으로 정의 된다. 또한 ODGTFG는 시간에 의존하는 유출 출

력자료를 정의하는 것으로 LID시설 모의에서는 적용되지 않는다. 또한, FUNCT는 유출 컴퍼넌트의 조합에 사용되는 함수로 ODFVFG와 ODGTFG를 동시에 모의하지 않는 경우에는 적용되지 않는 값으로 기본수치로 2를 적용하였다.

---

```

HYDR-PARM1
RCHRES  Flags for each HYDR Section                                     ***
# - #   UC A1 A2 A3  ODFVFG for each *** ODGTFG for each  FUNCT for each
          FG FG FG FG  possible exit *** possible exit  possible exit
          * * * *   * * * * *   * * * * *   * * * * *
1         0 1 0 0   4 5 0 0 0   0 0 0 0 0   2 2 2 2 2
END HYDR-PARM1

```

---

[그림 5.3 HYDR-PARM1 설정]

두 번째로, HYDR-PARM2 에서는 FTABNO, LEN, DELTH 등 하도추적과 관련한 매개변수를 정의할 수 있다. 아래 그림 5.4에서 FTBDSN은 F-Table을 포함하는 WDM테이블 데이터세트 번호이다. FTBDSN이 0보다 크면, 시스템은 WDM파일에서 F-Table을 찾는다. FTBDSN이 0인 경우, FTABNO는 RCHRES의 기하학적 및 수리학적 특성을 포함하는 F-Table(FTABLES 블록에 위치)에 대한 ID번호이다. FTBDSN이 0보다 큰 경우, FTABNO는 FTBDSN에 의해 제공된 WDM테이블 데이터세트 내에서 F-Table을 포함하고 있는 테이블을 지정하는 WDM테이블 지표이다. LEN은 RCHRES의 길이이다. DELTH는 RCHRES의 상류에서 하류까지 종단수위차이다. DELTH는 OXRX섹션이 활성화되고 재폭기가 Tsivoglou-Wallace 방정식을 사용하여 계산되는 경우, 또는 SEDTRN섹션이 활성화되고 유사이송용량이 Toffaletti나 Colby 방법에 의해 계산되는 경우에 사용된다. STCOR은 Stage를 계산하는데 RCHRES Depth에 대한 보정항이다.(Depth + STCOR = Stage) KS는 수리학적 라우팅에 대한 가중치이다. DB50은 하상 유사의 중앙의 직경(실행을 통해 일정하다고 가정)이다. DB50은 RCHRES가 호수인 경우에 하상 전단응력을 계산하는데 사용되거나, Toffaletti나 Colby 방법이 적용되는 경우에 유사 이송용량을 계산하는데 사용된다. DB50은 또한 SEDTRN섹션에서 유사 계산에 필요한 모래입자 직경으로 사용된다.

---

```

HYDR-PARM2
# - #   FTABNO      LEN      DELTH      STCOR      KS      DB50      ***
<-----><-----><-----><-----><-----><-----><----->  ***
1         1      0.02      0.0      0.0      0.5      0.0
END HYDR-PARM2

```

---

[그림 5.4 침투트렌치 모의를 위한 HYDR-PARM2 설정]

세 번째로, HYDR-INIT 에서는 초기 입력자료를 정의할 수 있다. 아래 그림 5.5에서 VOL은 RCHRES에서 물의 초기볼륨이다. CAT는 정수값 또는 카테고리 식별자(CATEGORY 블록에 정의된 ID 태그)이다. CAT가 카테고리 식별자일 경우, 모든 초기볼륨은 해당 카테고리에 속한다. CAT가 정수인 경우, 초기볼륨은 CAT 엔트리가 속할 것으로 예상되는 테이블

블-타입 HYDR-CINIT에 따라 나뉜다. CAT가 0이거나 비어있을 경우, 초기볼륨은 각 활성 카테고리에 균등하게 나뉜다. CATEGORY블록이 UCI파일에 없으면 CAT는 무시된다. 출구 I에 대한 COLIND(I)의 값은 FTABLE에서 열의 쌍을 나타낸다. FTABLE은 출구에 대한 유출수요(outflow demand)의 볼륨에 의존하는 F(vol) 컴퍼넌트 초기값을 평가하는 데 사용된다. OUTDGT(I) 열은 출구 I에 대한 유출수요의 초기값을 지정한다. 즉, 시간에 의존하는 G(t) 컴퍼넌트이며, 카테고리 블록이 UCI파일에 있으면 무시된다. COTDGT의 초기값에 대한 내용은 테이블-타입 HYDR-CDEMAND에 기재되어있다. COLIND(I)에서 0이 아닌 값은 출구 I로 부터의 유출이 F(vol) 컴퍼넌트를 갖는 경우에만 의미가 있다. 마찬가지로, OUTDGT(I)에서 0이 아닌 값은 출구 I로 부터의 유출이 G(t) 컴퍼넌트를 갖는 경우에만 의미가 있다.

---

```

HYDR-INIT
RCHRES Initial conditions for each HYDR section ***
# - # *** VOL Initial value of COLIND Initial value of OUTDGT
*** ac-ft for each possible exit for each possible exit
<-----><-----> <---><---><---><---><---> *** <---><---><---><---><--->
1 0 4.0 5.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
END HYDR-INIT

```

---

[그림 5.5 HYDR-INIT 설정]

## 6 LID 시설: 투수성포장

### 6.1 포장면에 대한 유역유출 모의

투수성포장은 도로나 주차장 등에 시공되는 LID시설이다. 투수성포장 시공 전, 후 LID 시설 설치 효과분석을 위해서는 우선 포장면의 유역유출을 계산하여야 한다.

도로, 주차장 등 불투수면에 대한 유역유출계산은 HSPF모형의 IMPLND 모듈을 이용하여 계산할 수 있으며 IWATER 의 주요 입력 매개변수는 LSUR, SLSUR, NSUR 등이 있다. IWATER의 입력매개변수는 도로의 경사에 따라 SLSUR(불투수면에 대한 지표흐름 경로의 경사)와 RETSC(부투수면적 초기 표면저류용량)에 차이가 있다. 또한 투수성포장의 도로노면에 대한 IWATER PARAMETER는 FLAT한 경사의 도로와 동일한 매개변수가 적용된다. K-LIDM의 IWAT 입력매개변수는 표6.1과 같다. 또한, 투수성포장에 대한 IWATER 입력 UCI 파일을 그림 6.1에 도시하였다.

[표 6.1 도로 및 주차장 등 에 적용되는 IWATER 매개변수]

매개변수	FLAT	MOD	STEEP	투수성포장
LSUR	100	100	100	100
SLSUR	0.01	0.05	0.1	0.01
NSUR	0.1	0.1	0.1	0.1
RETSC	2.45	2.032	2.7	2.45
RETS	0	0	0	0
SURS	0	0	0	0

```

IWAT-PARM1
<PLS > IWATER variable monthly parameter value flags ***
# - # CSNO RTOP URS UNN RTLI ***
16      0      0      0      0      0
END IWAT-PARM1

IWAT-PARM2
<PLS > IWATER input info: Part 2 ***
# - # *** LSUR SLSUR NSUR RETSC
16      100      0.1      0.1      2.7
END IWAT-PARM2

IWAT-PARM3
<PLS > IWATER input info: Part 3 ***
# - # ***PETMAX PETHIN
16      0      0
END IWAT-PARM3

```

[그림 6.1 투수성 포장의 IWATER 파라미터 입력]

## 6.2 투수성 포장 LID 기작의 계산

투수성 포장의 LID 기작은 포장층 상부 저류, 투수포장층의 내부의 저류, 포장층 하부의 침투, 하부집수암거를 통한 Underdrain 으로 구성되며 HSPF의 RCHRES 모듈의 HYDR 섹션에서 계산된다. HYDR 섹션 수행을 위해서는 HSPF의 사용자 입력자료인 UCI 파일에서 F-table을 구성하여야 한다. K-LIDM은 LID 시설제원을 입력하면 F-table이 자동으로 생성된다.

투수성 포장에 대한 LID 모델링 수행을 위한 입력자료는 시설물 제원, 투수포장층 내부의 층별 공극 및 두께 및 침투관련 인자가 있으며 상세 내용을 아래 표 에 정리하였다.

[표 6.2 투수성 포장의 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
포장면길이 (m)	Pavement Length (m)
포장면바닥폭 (m)	Pavement Bottom Width (m)
총 유효깊이 (m)	Effective Total Depth (m)
바닥경사 (m/m)	Bottom slope (m/m)
유효체적계수	Effective Volume Factor
투수포장층 (Layers for Porous Pavement)	
포장층 깊이 (m)	Pavement Thickness (m)
포장층 공극율 (0-1)	Pavement porosity (0-1)
상층부 두께 (m)	Sublayer 1 Thickness (m)
상층부 공극율 (0-1)	Surlayer 1 porosity (0-1)
하층부 두께 (m)	Sublayer 2 Thickness (m)
하층부 공극율 (0-1)	Surlayer 2 porosity (0-1)
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Measured Infiltration Rate (mm/hr)
저감인자 (infiltr*factor)	Reduction Factor (infiltr*factor)
침투허용(측면경사)	Use Wetted Surface Area (sidewall)
초기조건(Initial Condition)	
초기수위 (m)	initial Stage (m)
유출조건 (Outlet Condition)	
하부집수암거	Underdrain

투수성 포장 모델링에서 LID 시설의 저류량 계산을 위한 시설물의 총 유효깊이(Effective Total Depth)는 포장면 상부저류깊이(Ponding depth Above Pavement), 포장층 깊이(Pavement Thickness), 상층부두께(Sublayer 1 Thickness), 하층부 두께(Sublayer 2 Thickness)의 합이다. 시설 포장면 상부깊이는 PERLND 모듈에서 계산되는 유량이 저류되는 공간으로 포장면적×시설물 포장면 상부깊이가 저류가능용량이 되며 포장면 및 상층, 하층부의 우수저류 가능량은 (포장면적×포장면 및 상층, 하층부 깊이)\*공극율로 계산할 수 있다.

침투의 계산은 포장면 하부의 침투율(Measured Infiltration Rate, mm/hr)로 정의되며

침투감소계수(infilt×factor)의 적용이 가능하고 투수성포장내부 공간의 측면(sidewalls)의 침투를 고려할 수 있다. 또한, 하부집수암거(Underdrain)은 오리피스식으로 계산된다.

### 6.3 투수성 포장 계산을 위한 입력자료 및 F-Table 적용

앞서 언급한 바와 같이 투수성 포장의 LID 효과분석은 HSPF UCI 파일내의 F-Table을 입력자료로 HYDR 섹션모듈로 해석된다. 본 절에서는 K-LIDM에서 투수성포장의 시설물 제원을 입력하게 되면 F-Table이 어떻게 구성되는지를 실제 자료를 바탕으로 설명하고자 한다.

시설물의 제원은 아래 그림 6.2와 같이 포장면적을 10,000m<sup>2</sup> (포장면 길이: 100m, 포장면 바닥폭 m) 하고 포장면의 총 유효깊이는 0.8m로 구성하였다. 포장면 상부의 저류깊이는 0.2이며 투수포장층의 경우 포장층의 깊이 및 상, 하층부의 두께는 0.2m로 적용하고 포장층의 공극율은 각각 0.4, 0.2, 0.1을 적용하였다. 또한 침투율은 시간당 50mm/hr, 하부집수암거 직경은 1,000m 이다.



[그림 6.2 투수성 포장의 입력자료의 구성(예)]

그림 6. 2와 같이 투수성포장 시설물 입력창에서 LID 시설물의 제원을 입력하면 아래 표와 같은 F-table이 자동으로 생성된다. 표 3에서 수심, 면적, 누가체적, 방류량, 침투량은 K-LIDM의 수행시 자동생성 되는 F-table의 항목이다.

시설물 제원 입력자료로부터 만들어지는 F-Table의 누가체적(m<sup>3</sup>)은 포장면의 면적 × 구간 수심 × 공극율(공극이 있는 경우)로 계산된다. 그림6.2에 입력된 자료와 같이 하부층의 공

극을 0.1에 대한 구간저류 체적은  $0.00889 \times 0.0001 \times 0.1 = 0.000008889$  (100 ha-m)로 상층부 공극을 0.2에 대한 구간 저류 체적은  $0.00889 \times 0.0001 \times 0.2 = 0.0001778$  (100 ha-m) 계산된다. 또한, 포장면 상부의 경우  $0.00889 \times 0.0001 \times 1.0 = 0.00008889$  (100 ha-m)으로 구간 저류 체적이 계산된다.

방류량은  $Q = 2.1574 \times (\text{Orifice Diameter})^2 \times \sqrt{\text{Headr}}$  에 의해 계산되며 투수성 포장체 내부의 내수위가 0.008889 인 경우에  $2.1574 \times (1.0)^2 \times \sqrt{0.008889} = 0.2034 \text{m}^3/\text{s}$  로 계산된다. 한편, 침투량은 단위면적당 침투량 50mm/hr에 대한 포장체 면적에 3600을 나누어 계산하게 되며 계산은  $0.05 \text{m/hr} \times 10,000 \text{m}^2 / 3600 = 0.138889 \text{m}^3/\text{s}$  와 같다.

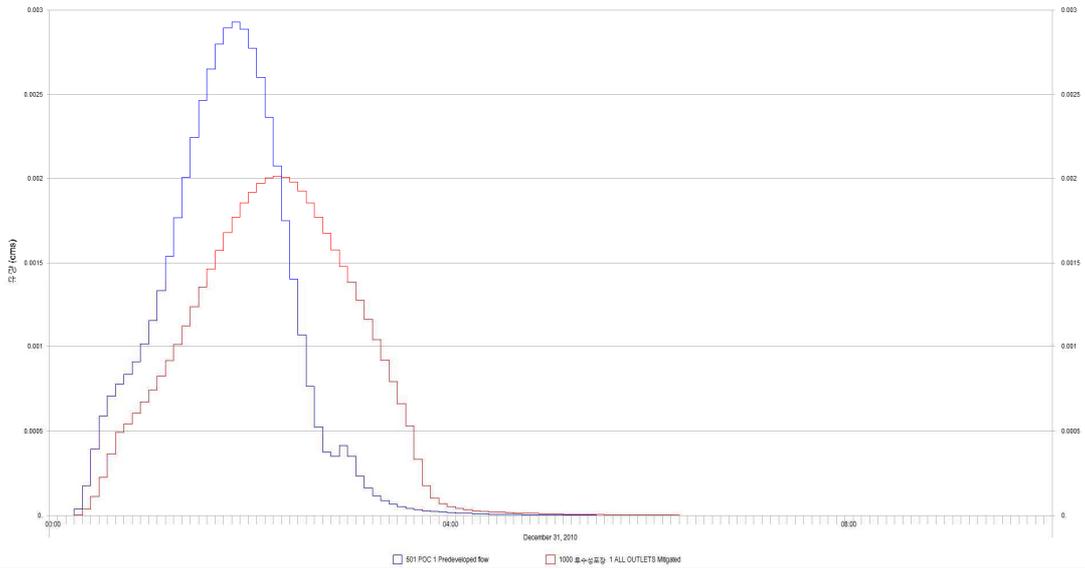
[표 6.3 투수성 포장 F-Table (예)]

수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)	수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)
0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.400000	1.000000	0.0006044	1.3644530	0.1388890
0.008889	1.000000	0.000089	0.2034010	0.1388890	0.408889	1.000000	0.0006400	1.3795310	0.1388890
0.017778	1.000000	0.000178	0.2876520	0.1388890	0.417778	1.000000	0.0006756	1.3944450	0.1388890
0.026667	1.000000	0.000267	0.3523000	0.1388890	0.426667	1.000000	0.0007111	1.4092010	0.1388890
0.035556	1.000000	0.000356	0.4068010	0.1388890	0.435556	1.000000	0.0007467	1.4238050	0.1388890
0.044444	1.000000	0.000444	0.4548180	0.1388890	0.444444	1.000000	0.0007822	1.4382600	0.1388890
0.053333	1.000000	0.000533	0.4982280	0.1388890	0.453333	1.000000	0.0008178	1.4525720	0.1388890
0.062222	1.000000	0.000622	0.5381480	0.1388890	0.462222	1.000000	0.0008533	1.4667430	0.1388890
0.071111	1.000000	0.000711	0.5753040	0.1388890	0.471111	1.000000	0.0008889	1.4807790	0.1388890
0.080000	1.000000	0.000800	0.6102020	0.1388890	0.480000	1.000000	0.0009244	1.4946840	0.1388890
0.088889	1.000000	0.000889	0.6432090	0.1388890	0.488889	1.000000	0.0009600	1.5084600	0.1388890
0.097778	1.000000	0.000978	0.6746040	0.1388890	0.497778	1.000000	0.0009956	1.5221110	0.1388890
0.106667	1.000000	0.001067	0.7046010	0.1388890	0.506667	1.000000	0.0010310	1.5356420	0.1388890
0.115556	1.000000	0.001156	0.7333720	0.1388890	0.515556	1.000000	0.0010670	1.5490540	0.1388890
0.124444	1.000000	0.001244	0.7610560	0.1388890	0.524444	1.000000	0.0011020	1.5623500	0.1388890
0.133333	1.000000	0.001333	0.7877680	0.1388890	0.533333	1.000000	0.0011380	1.5755350	0.1388890
0.142222	1.000000	0.001422	0.8136030	0.1388890	0.542222	1.000000	0.0011730	1.5886100	0.1388890
0.151111	1.000000	0.001511	0.8386430	0.1388890	0.551111	1.000000	0.0012090	1.6015790	0.1388890
0.160000	1.000000	0.001600	0.8629560	0.1388890	0.560000	1.000000	0.0012440	1.6144430	0.1388890
0.168889	1.000000	0.001689	0.8866030	0.1388890	0.568889	1.000000	0.0012800	1.6272060	0.1388890
0.177778	1.000000	0.001778	0.9096360	0.1388890	0.577778	1.000000	0.0013160	1.6398690	0.1388890
0.186667	1.000000	0.001867	0.9320990	0.1388890	0.586667	1.000000	0.0013510	1.6524350	0.1388890
0.195556	1.000000	0.001956	0.9540340	0.1388890	0.595556	1.000000	0.0013870	1.6649060	0.1388890
0.204444	1.000000	0.002133	0.9754750	0.1388890	0.604444	1.000000	0.0014760	1.6772850	0.1388890
0.213333	1.000000	0.002311	0.9964560	0.1388890	0.613333	1.000000	0.0015640	1.6895730	0.1388890
0.222222	1.000000	0.002489	1.0170030	0.1388890	0.622222	1.000000	0.0016530	1.7017720	0.1388890
0.231111	1.000000	0.002667	1.0371440	0.1388890	0.631111	1.000000	0.0017420	1.7138850	0.1388890
0.240000	1.000000	0.002844	1.0569010	0.1388890	0.640000	1.000000	0.0018310	1.7259120	0.1388890
0.248889	1.000000	0.003022	1.0762950	0.1388890	0.648889	1.000000	0.0019200	1.7378560	0.1388890
0.257778	1.000000	0.003200	1.0953460	0.1388890	0.657778	1.000000	0.0020090	1.7497190	0.1388890
0.266667	1.000000	0.003378	1.1140720	0.1388890	0.666667	1.000000	0.0020980	1.7615020	0.1388890
0.275556	1.000000	0.003556	1.1324870	0.1388890	0.675556	1.000000	0.0021870	1.7732060	0.1388890
0.284444	1.000000	0.003733	1.1506080	0.1388890	0.684444	1.000000	0.0022760	1.7848340	0.1388890
0.293333	1.000000	0.003911	1.1684480	0.1388890	0.693333	1.000000	0.0023640	1.7963860	0.1388890
0.302222	1.000000	0.004089	1.1860200	0.1388890	0.702222	1.000000	0.0024530	1.8078650	0.1388890
0.311111	1.000000	0.004267	1.2033350	0.1388890	0.711111	1.000000	0.0025420	1.8192710	0.1388890
0.320000	1.000000	0.004444	1.2204040	0.1388890	0.720000	1.000000	0.0026310	1.8306060	0.1388890
0.328889	1.000000	0.004622	1.2372380	0.1388890	0.728889	1.000000	0.0027200	1.8418720	0.1388890
0.337778	1.000000	0.004800	1.2538460	0.1388890	0.737778	1.000000	0.0028090	1.8530690	0.1388890
0.346667	1.000000	0.004978	1.2702370	0.1388890	0.746667	1.000000	0.0028980	1.8641980	0.1388890
0.355556	1.000000	0.005156	1.2864190	0.1388890	0.755556	1.000000	0.0029870	1.8752620	0.1388890
0.364444	1.000000	0.005333	1.3024000	0.1388890	0.764444	1.000000	0.0030760	1.8862600	0.1388890
0.373333	1.000000	0.005511	1.3181870	0.1388890	0.773333	1.000000	0.0031640	1.8971950	0.1388890
0.382222	1.000000	0.005689	1.3337880	0.1388890	0.782222	1.000000	0.0032530	1.9080680	0.1388890
0.391111	1.000000	0.005867	1.3492080	0.1388890	0.791111	1.000000	0.0033420	1.9188780	0.1388890

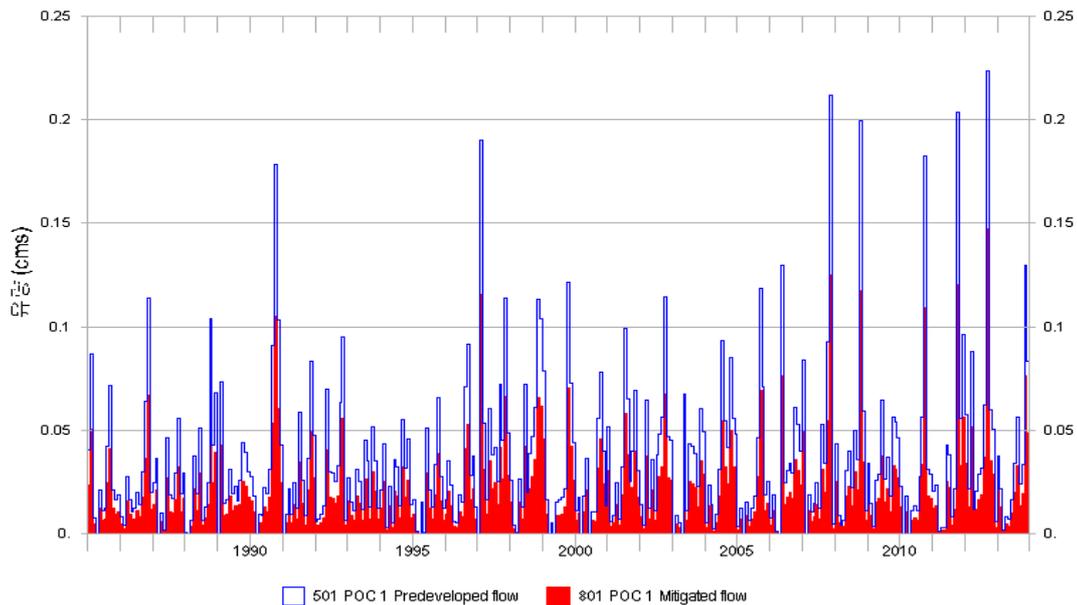
#### 6.4 투수성포장 전, 후 유역유출계산

앞의 입력자료 예)에서 입력한 투수성포장과 투수성포장을 적용하지 않은 경우에 대한 유역 유출계산을 수행하였다. 홍수유출은 부산시의 30년빈도 지속기간 60분 호우를 적용하였으며 유역유출연속모의 경우 2015-2014년 10년 기간에 대한 모델링을 수행하였다.

홍수유출모의 결과, 투수성포장 적용전 첨두유출량은  $0.456\text{m}^3/\text{s}$  이며 투수성포장 적용후 첨두유출량은  $0.314\text{m}^3/\text{s}$  로 약  $0.142\text{m}^3/\text{s}$  첨두유출이 저감되었다(그림 6.3). 한편, 장기유출모의 결과, 2년빈도 유출량은 투수성포장 설치전  $0.106\text{m}^3/\text{s}$ , 설치후  $0.0625\text{m}^3/\text{s}$  이며 연간 침투율은 약 40.4% 증가하는 것으로 검토되었으며 홍수수문곡선은 그림 6.4와 같다.



[그림 6.3 투수성 포장 설치 전, 후 단기유출 모델링(30년빈도 지속기간 60분 호우 적용시)]



[그림 6.4 투수성 포장 설치 전, 후 장기유출 모델링(최근 10년 호우 적용시)]

7.1 옥상녹화 모델링의 기본개념

옥상녹화 모델링은 건물의 지붕면을 녹화하는 경우에 대한 유역유출모의를 대상으로 한다. 옥상면에 대한 모델링시 LID 기작은 HSPF의 PERND 모듈로 계산된다. 즉 다른 LID 시설들과 다르게 저류와 토양으로의 침투가 복합적으로 일어나지 않는 특성을 감안하여 RCHRES 모듈의 HYDR 섹션을 적용하지 않았다. 또한 옥상녹화 모델링을 위한 PERND 모듈의 매개변수는 WWHM을 기반으로 작성되었다. WWHM에 적용한 옥상녹화 매개변수는 미국 Washington 주의 Tacoma 지역에서 관측한 모니터링 자료를 기반으로 추정되었다. 한편, 옥상녹화가 아닌 지붕면에 대한 유역유출모의는 HSPF의 IMPLND 모듈을 적용한다. 옥상녹화가 되지 않은 불투수 지붕면에 대한 IMPLND 모듈의 매개변수는 표7.1 과 같으며 지붕면 입력시 IWATER 입력 UCI 파일은 그림 7.1과 같다.

[표 7.1 불투수 옥상면의 IWATER 매개변수]

매개변수	Roof Tops/Flat
LSUR	100
SLSUR	0.01
NSUR	0.1
RETSC	2.45
RETS	0
SURS	0

```

IWAT-PARM1
<PLS > IWATER variable monthly parameter value flags ***
# - # CSNO RTOP URS UNN RTLI ***
4      0      0      0      0      0
END IWAT-PARM1

IWAT-PARM2
<PLS > IWATER input info: Part 2 ***
# - # *** LSUR SLSUR NSUR RETSC
4      100      0.01      0.1      2.45
END IWAT-PARM2

IWAT-PARM3
<PLS > IWATER input info: Part 3 ***
# - # ***PETMAX PETHIN
4      0      0
END IWAT-PARM3
    
```

[그림 7.1 불투수 옥상면의 IWATER 매개변수입력]

불투수옥상면을 녹화하여 Greenroof LID 시설을 설치한 경우 K-LIDM에서는 Green/ECO/ROOF 모델링 아이콘을 활성화하여 옥상녹화 모델링을 수행할 수 있다. 옥상 녹화는 앞서 언급한 바와 같이 PERLND 모듈을 적용한다. 옥상녹화 모델링시 적용되는 PWATER 입력 UCI 파일의 매개변수는 아래 표와 같다. 옥상녹화는 식생피복의 종류에 따라 LSUR, AGWETP, CEPSC, NSUR, LZETP의 값에 차이가 있으며 식생피복은 지피식물, 관목, 나무로 분류할 수 있다.

그림 7.2는 식생피복을 지피식물로 적용하고 그린루프 길이를 10m, 그린루프 경사 0.001, 그린루프 깊이: 0.5m 로 적용시 HSPF UCI 파일의 PWATER 센션 입력자료이다.

[표 7.2 옥상녹화 적용시 PWATER-PARM2 매개변수]

PWAT_PARM2	LZSN*	INFILT	LSUR***	SLSUR**	KVARY	AGWRC
Ground Cover	125	1.27	100	0.001	12.7	0.1
Shrubs	175	1.27	10	0.001	12.7	0.1
Trees	250	1.27	10	0.001	12.7	0.1

[표 7.3 옥상녹화 적용시 PWATER-PARM3 매개변수]

PWAT_PARM3	PETMAX	PETMIN	INFEXP	INFILD	DEEPER	BASETP	AGWETP
Ground Cover	0	0	2	2	0	0	0.5
Shrubs	0	0	2	2	0	0	0.6
Trees	0	0	2	2	0	0	0.57

[표 7.4 옥상녹화 적용시 PWATER-PARM4 매개변수]

PWAT_PARM4	CEPSC	UZSN	NSUR	INTFW	IRC	LZETP
Ground Cover	0.1	12.5	0.5	1	0.1	0.5
Shrubs	0.15	17.5	0.55	1	0.1	0.6
Trees	0.2	25	0.6	1	0.1	0.7

LZSN\* = 그린루프의 깊이에 따라 변하는 인자

SLSUR\*\* = 지붕경사 무차원

LSUR\*\*\* = 지붕 TOP에서 출구까지의 거리

```

PWAT-PARM1
<PLS > PWATER variable monthly parameter value flags ***
# - # CSNO RTOP UZFG UCS UUZ UNN UIFW UIRC ULE INFC HWT ***
39      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
END PWAT-PARM1

PWAT-PARM2
<PLS >      PWATER input info: Part 2      ***
# - # ***FOREST      LZSN      INFILT      LSUR      SLSUR      KUARY      AGWRC
39      0      125      1.27      10      0.001      12.7      0.1
END PWAT-PARM2

PWAT-PARM3
<PLS >      PWATER input info: Part 3      ***
# - # ***PETMAX      PETMIN      INFEXP      INFILD      DEEPFR      BASETP      AGWETP
39      0      0      2      2      0      0      0.5
END PWAT-PARM3
PWAT-PARM4
<PLS >      PWATER input info: Part 4      ***
# - #      CEPSC      UZSN      NSUR      INTFW      IRC      LZETP      ***
39      0.1      12.5      0.5      1      0.1      0.5
END PWAT-PARM4

```

[그림 7.2 옥상녹화 적용시 PWATER 매개변수입력]

옥상녹화의 깊이에 따라서 LZSN, UZSN 매개변수는 변하게 된다. 예를 들어 옥상녹화 깊이가 0.5m 인 경우 LZSN은 125, UZSN은 12.5 인 반면 옥상녹화 깊이가 1.0m로 깊어지게 되면 LZSN은 250, UZSN은 25로 변하게 된다. 옥상녹화 깊이변화에 따른 LZSN과 UZSN의 변화를 표 7.5에 도시하였다.

[표 7.5 옥상녹화 깊이에 따른 LZSN, UZSN의 변화]

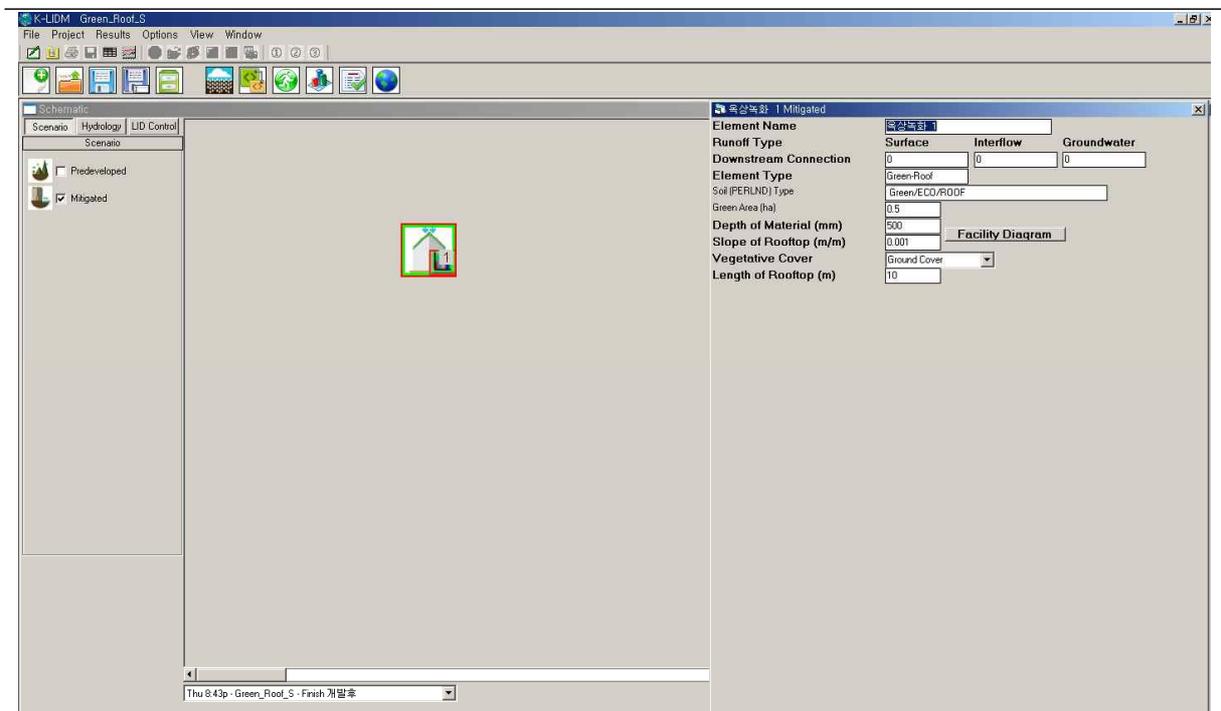
옥상녹화 깊이(m)	LZSN	UZSN
0.50	125	12.5
0.60	150	15.0
0.70	175	17.5
0.80	200	20.0
0.90	225	22.5
0.10	250	25

## 7.2 옥상녹화 계산을 위한 주요 입력매개변수

옥상녹화 계산은 HSPF 모형의 PERLND 모듈을 사용하며 주요 입력자료는 시설면적, 토양층 깊이, 지붕경사, 식생피복의 종류, 옥상녹화 길이 등이 있다. K-LIDM의 옥상녹화 입력창을 아래 그림 3에 도시하였다.

[표 7.6 옥상녹화 계산 입력자료]

시설면적 (ha)	Green Area (ha)
토양층 깊이 (mm)	Depth of Material (mm)
지붕경사 (m/m)	Slope of Roof top (m/m)
식생피복(지피식물, 관목, 나무)	Vegetative Cover
옥상녹화 길이 (m)	Length of Roof top (m)



[그림 7.3 옥상녹화 입력자료 구성 창(예)]

## 7.3 옥상녹화 적용 전후의 유역유출 모델링

### □ 홍수유출모의

옥상녹화 적용 전후의 홍수유출모의는 옥상면이 불투수면인 경우와 잔디, 관목, 나무의 옥상녹화를 적용하였을 경우에 대해 수행하였으며 유역유출연속모의는 옥상녹화 미적용과 잔디 옥상녹화시 모의 결과를 비교검토 하였다. 옥상녹화 모델링 시 적용한 옥상면의 면적은 0.5ha 이다. 모델링 수행을 위한 기상자료는 단기의 경우 서울관측소 30년빈도 60분 호우를 연속유출모의는 서울관측소 최근 10년의 자료를 적용하였다.

홍수유출모의의 상세 모형 수행조건은 아래 표 5와 같다. K-LIDM을 이용하여 LID 적용

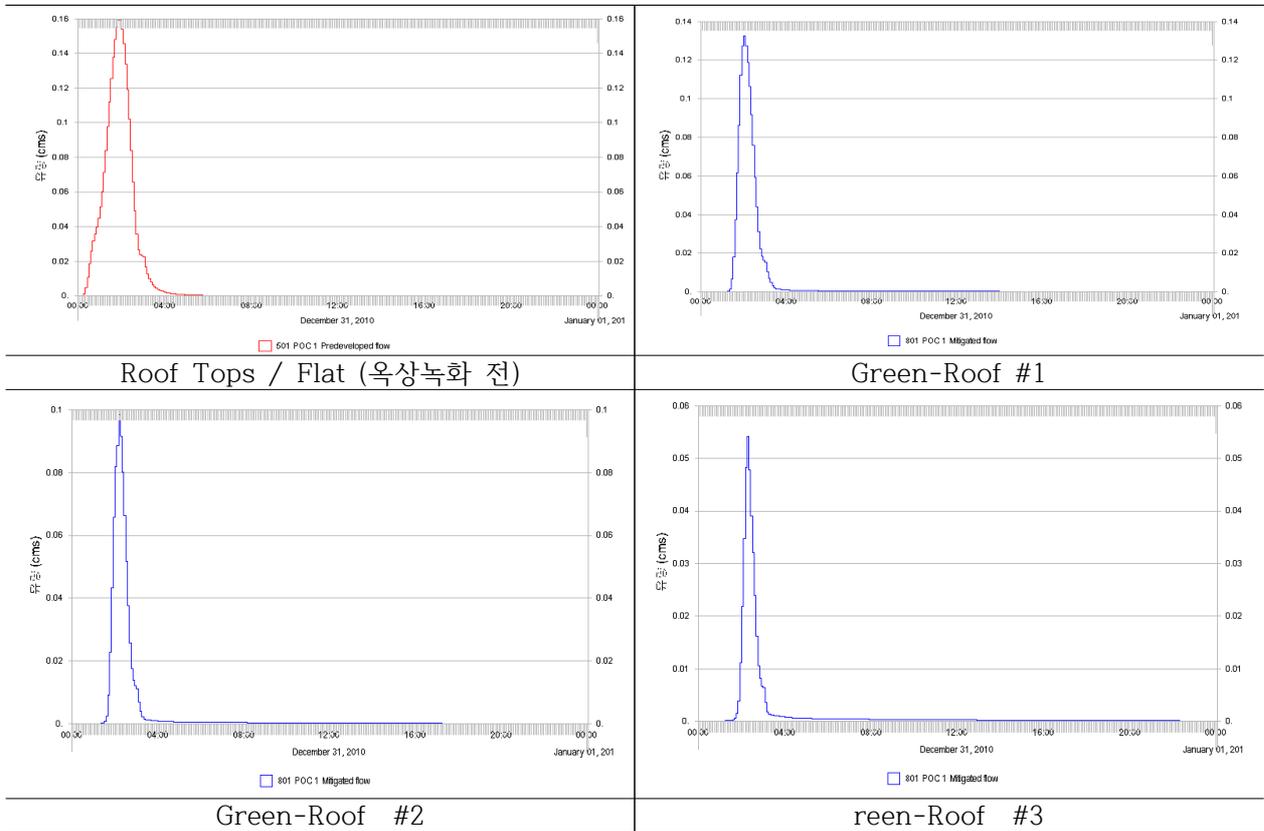
전, 후 홍수유출모의를 수행한 결과 옥상녹화 실시전 첨두 유출량은 0.159m<sup>3</sup>/s 이며 잔디로 옥상녹화를 한 경우 첨두유출량은 0.133m<sup>3</sup>/s, 관목인 경우 0.098m<sup>3</sup>/s, 나무인 경우 0.054m<sup>3</sup>/s로 분석되었다(표 7.7-7.8, 그림 7.4).

[표 7.7 옥상녹화 계산 입력자료]

Roof Tops / Flat	Green-Roof #1	Green-Roof #2	Green-Roof #3
LID 없음	Ground Cover(잔디) 그린루프 길이: 10m 그린루프 경사: 0.001 그린루프 깊이: 0.5m	Shrubs(관목) 그린루프 길이: 10m 그린루프 경사: 0.001 그린루프 깊이: 0.75m	Trees(나무) 그린루프 길이: 10m 그린루프 경사: 0.001 그린루프 깊이: 1.0m

[표 7.8 옥상녹화 계산결과]

구분	Roof Tops / Flat	Green-Roof #1	Green-Roof #2	Green-Roof #3
첨두홍수량(m <sup>3</sup> /s)	0.159	0.133	0.098	0.054



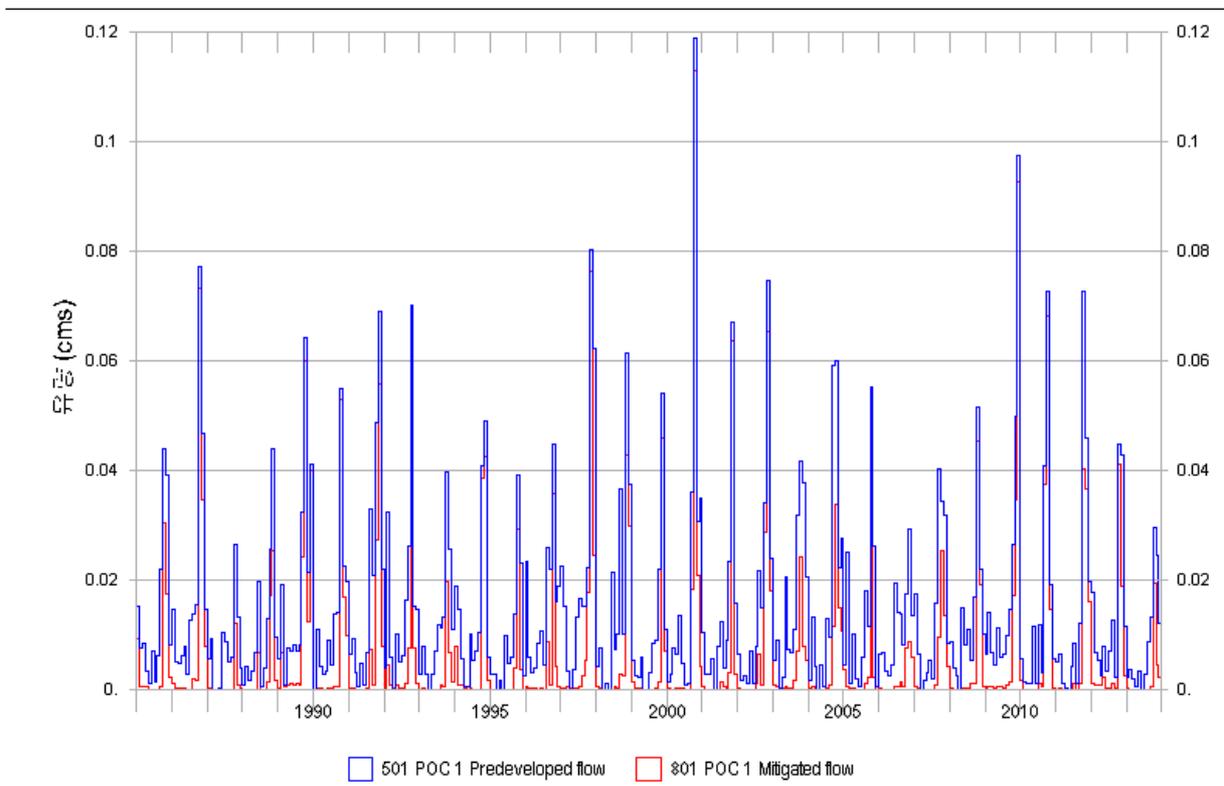
[그림 7.4 옥상녹화에 따른 홍수수문곡선]

□ 연속유출모델링

K-LIDM을 이용하여 옥상녹화 전, 후 유역유출연속모의를 수행하였다. 장기유출모의 결과, 연최대 첨두량은 2010년의 경우 옥상녹화 설치전 0.0973m<sup>3</sup>/s에서 옥상녹화 설치후 0.0926m<sup>3</sup>/s으로 감소하였다. 또한 옥상녹화 전, 후 장기유출모의 일단위 홍수수문곡선은 그림 7.5와 같다.

[표 7.9 옥상녹화 전, 후 연최대 첨두치 계열]

연최대 첨두치	Roof Tops / Flat	Green-Roof #1	연최대 첨두치	Roof Tops / Flat	Green-Roof #1
2005년	0.0600	0.0338	2010년	0.0973	0.0926
2006년	0.0552	0.0522	2011년	0.0725	0.0682
2007년	0.0293	0.0087	2012년	0.0728	0.0403
2008년	0.0404	0.0253	2013년	0.0447	0.0410
2009년	0.0516	0.0453	2014년	0.0295	0.019



[그림 7.5 옥상녹화 전, 후 장기유출 모델링(최근 10년 호우 적용시)]

## 8 LID 시설: 침투형시설 (침투트렌치, 침투저류지)

### 8.1 침투형 시설 모델링을 위한 HYDR 모듈

침투형 LID 시설인 침투트렌치와 침투저류지는 동일한 기작으로 모델링 된다. 하도추적모의는 HSPF 모형의 RCHPERLDN 모듈에서 RCHRES 모듈 중 HYDR 모듈 섹션을 이용하여 유입유량을 수리수문학적으로 추적한다. RCHRES모듈의 HYDR 섹션의 입력 UCI 파일 정의는 5.3 장에 상세히 기술되어있다.

### 8.2 침투형 시설 계산을 위한 주요 입력매개변수

침투트렌치의 계산은 HSPF의 HYDR 모듈을 사용하며 LID 시설의 기작은 F-table형태로 입력되게 된다. F-table 생성을 위한 기본자료는 침투트렌치의 시설물제원, 트렌치 물성치, 침투율 및 유출부 제원자료가 있다.

[표 8.1 침투트렌치 계산 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
트렌치길이 (m)	Trench Length (m)
트렌치바닥폭 (m)	Trench Bottom Width (m)
둔덕높이 (m)	Berm Height (m)
트렌치 물성치 (Material Layer for Trench)	
토양층 깊이 (m)	Layer Thickness (m)
토양층 공극율(0-1)	
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Measured Infiltration Rate (mm/hr)
유출조건 (Outlet Condition)	
수직관 높이(m)	Riser Height (m)
수직관 직경(mm)	Riser Diameter (mm)

[표 8.2 침투저류지 계산 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
바닥길이 (m)	Bottom Length (m)
바닥폭 (m)	Bottom Width (m)
유효수심 (m)	Effective Depth (m)
측면경사 (좌측, 우측, 상류, 하류, H/V)	Side Slope (H/V)
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Measured Infiltration Rate (mm/hr)
유출조건 (Outlet Condition)	
수직관 높이(m)	Riser Height (m)
수직관 직경(mm)	Riser Diameter (mm)

### 8.3 침투형시설의 F-Table 의 작성

F-Table은 침투형 시설의 수심, 면적, 체적, 유출 그리고 침투에 관한 수리수문학적 하도 추적을 정의하는 항목이다. 침투형 시설의 F-Table은 수심에 따라 총 92개의 등간격 행을 구성하게 된다. 본 절에서는 K-LIDM에서 침투형 시설 중 침투트렌치에 시설물 제원 입력에 따른 F-Table 작성 내용을 기술하였다. F-Table 작성을 위한 침투트렌치의 규모는 트렌치 길이 150m, 트렌치 바닥폭은 2m 로 트렌치의 총 면적은 300m 이다. 또한 트렌치의 물성치는 길이 1m, 공극율은 0.3 이며 침투율은 3mm/hr이다. 또한 수직관의 높이는 0.35m, 직경은 560mm 이다.

아래 표 8.3에서 구간저류 체적은  $0.0016667 \times 0.003 \times 0.3 = 0.0000015 (100 \text{ ha-m})$  이며 침투량은 단위면적당 침투량 3mm/hr에 대한 트렌치 면적에 300을 나누어 계산할 수 있다( $0.003 \text{ m/hr} \times 300 \text{ m}^2 / 3600 = 0.00025 \text{ m}^3/\text{s}$ ). 또한 방류량은 11장 LID 시설의 침투계산, 방류계산 이론에서 제시한 식으로 계산된다.

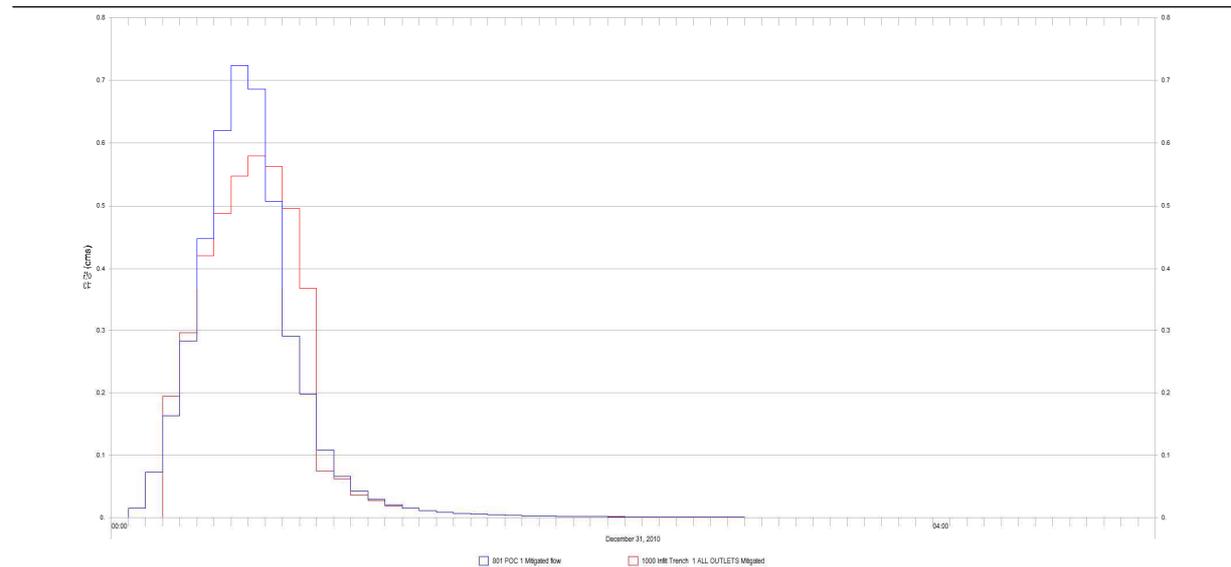
[표 8.3 침투형시설(침투트렌치) F-Table (예)]

수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)	수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)
0.000000	0.030000	0.000000	0.000000	0.000000	0.750000	0.030000	0.000675	0.3448840	0.0002500
0.0166670	0.030000	0.000015	0.000000	0.0002500	0.7666670	0.030000	0.000690	0.3519960	0.0002500
0.0333330	0.030000	0.000030	0.000000	0.0002500	0.7833330	0.030000	0.000705	0.3589670	0.0002500
0.0500000	0.030000	0.000045	0.000000	0.0002500	0.8000000	0.030000	0.000720	0.3658050	0.0002500
0.0666670	0.030000	0.000060	0.000000	0.0002500	0.8166670	0.030000	0.000735	0.3725170	0.0002500
0.0833330	0.030000	0.000075	0.000000	0.0002500	0.8333330	0.030000	0.000750	0.3791110	0.0002500
0.1000000	0.030000	0.000090	0.000000	0.0002500	0.8500000	0.030000	0.000765	0.3855920	0.0002500
0.1166670	0.030000	0.000105	0.000000	0.0002500	0.8666670	0.030000	0.000780	0.3919660	0.0002500
0.1333330	0.030000	0.000120	0.000000	0.0002500	0.8833330	0.030000	0.000795	0.3982380	0.0002500
0.1500000	0.030000	0.000135	0.000000	0.0002500	0.9000000	0.030000	0.000810	0.4044120	0.0002500
0.1666670	0.030000	0.000150	0.000000	0.0002500	0.9166670	0.030000	0.000825	0.4104940	0.0002500
0.1833330	0.030000	0.000165	0.000000	0.0002500	0.9333330	0.030000	0.000840	0.4164870	0.0002500
0.2000000	0.030000	0.000180	0.000000	0.0002500	0.9500000	0.030000	0.000855	0.4223950	0.0002500
0.2166670	0.030000	0.000195	0.000000	0.0002500	0.9666670	0.030000	0.000870	0.4282210	0.0002500
0.2333330	0.030000	0.000210	0.000000	0.0002500	0.9833330	0.030000	0.000885	0.4339700	0.0002500
0.2500000	0.030000	0.000225	0.000000	0.0002500	1.0000000	0.030000	0.000900	0.4396430	0.0002500
0.2666670	0.030000	0.000240	0.000000	0.0002500	1.0166670	0.030000	0.000915	0.4452430	0.0002500
0.2833330	0.030000	0.000255	0.000000	0.0002500	1.0333330	0.030000	0.000930	0.4507750	0.0002500
중략									
0.5000000	0.030000	0.000450	0.1716900	0.0002500	1.2500000	0.030000	0.0001650	0.5173260	0.0002500
0.5166670	0.030000	0.000465	0.1938910	0.0002500	1.2666670	0.030000	0.0001700	0.5220940	0.0002500
0.5333330	0.030000	0.000480	0.2142930	0.0002500	1.2833330	0.030000	0.0001750	0.5268190	0.0002500
0.5500000	0.030000	0.000495	0.2324210	0.0002500	1.3000000	0.030000	0.0001800	0.5315020	0.0002500
0.5666670	0.030000	0.000510	0.2479620	0.0002500	1.3166670	0.030000	0.0001850	0.5361440	0.0002500
0.5833330	0.030000	0.000525	0.2608190	0.0002500	1.3333330	0.030000	0.0001900	0.5407460	0.0002500
0.6000000	0.030000	0.000540	0.2711770	0.0002500	1.3500000	0.030000	0.0001950	0.5453100	0.0002500
0.6166670	0.030000	0.000555	0.2795630	0.0002500	1.3666670	0.030000	0.0002000	0.5498350	0.0002500
0.6333330	0.030000	0.000570	0.2902630	0.0002500	1.3833330	0.030000	0.0002050	0.5543240	0.0002500
0.6500000	0.030000	0.000585	0.2986780	0.0002500	1.4000000	0.030000	0.0002100	0.5587760	0.0002500
0.6666670	0.030000	0.000600	0.3068630	0.0002500	1.4166670	0.030000	0.0002150	0.5631930	0.0002500
0.6833330	0.030000	0.000615	0.3148350	0.0002500	1.4333330	0.030000	0.0002200	0.5675760	0.0002500
0.7000000	0.030000	0.000630	0.3226090	0.0002500	1.4500000	0.030000	0.0002250	0.5719250	0.0002500
0.7166670	0.030000	0.000645	0.3302010	0.0002500	1.4666670	0.030000	0.0002300	0.5762420	0.0002500
0.7333330	0.030000	0.000660	0.3376220	0.0002500	1.4833330	0.030000	0.0002350	0.5805260	0.0002500

### 8.4 LID 설치 효과 모델링(침투트렌치의 예)

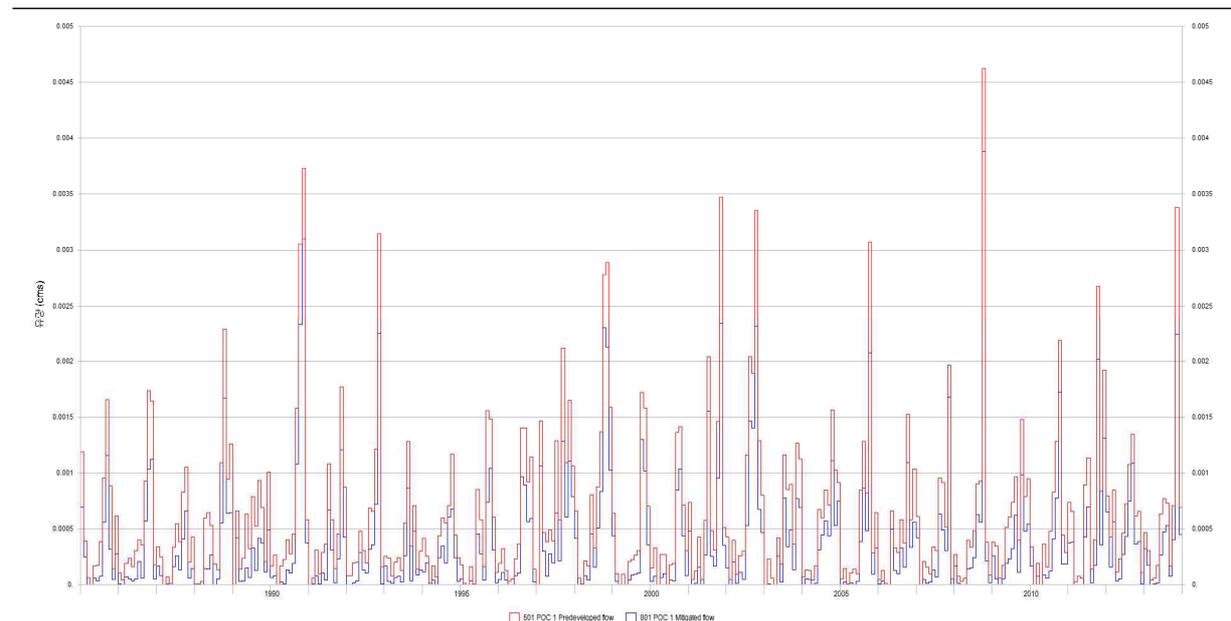
침투트렌치 적용 전후의 홍수유출모의는 부산시의 30년빈도 지속기간 60분 호우를 적용하였으며 유역유출연속모의 경우 2015-2014년 10년기간에 대한 모델링을 수행하였다. 침투트렌치의 제원은 8.3에 제시한 규모와 동일하며 침투트렌치 설치 유역은 1.5ha의 평평한 도로이다.

#### 정 홍수유출모의



[그림 8.1 침투트렌치 설치 전, 후 홍수유출모의 결과(30년빈도 지속기간 60분 호우 적용시)]

#### □ 연속유출모델링



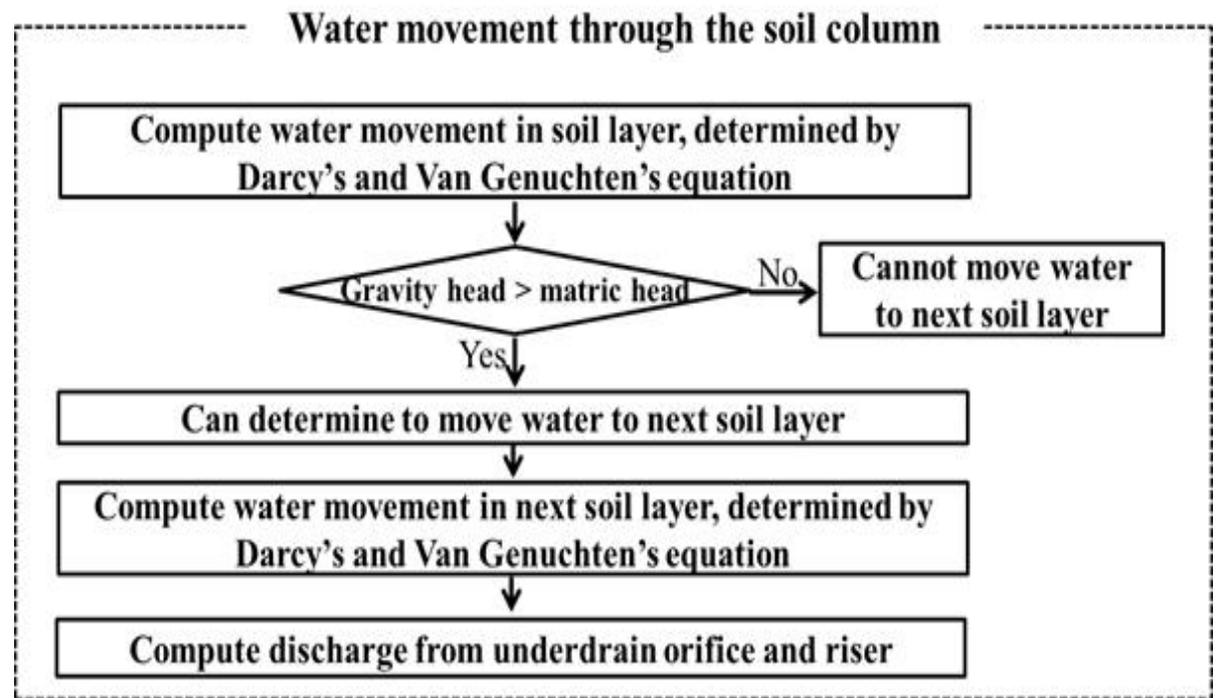
[그림 8.2 침투트렌치 전, 후 장기유출모의 결과 - 월평균 유출(최근 10년 호우 적용시)]

9.1 식생형 시설 모델링을 위한 HYDR 모듈의 기작

식생형 LID 시설인 식생수로, 수목여과박스, 식생체류지, 식생여과대는 동일한 방법으로 모델링이 수행된다. 수리수문학적 기작계산은 HYDR모듈을 적용하며 지표하층(Subsurface)과 지표면(Surface)의 2개층으로 구분된 F-table을 적용하게 된다.

먼저, 지표하층(Subsurface)은 수목여과박스와 식생수로의 경우 2개의 layer로 식생체류지는 3개의 layer로 구성된다. 지표하층에서의 수분의 이동은 침투와 underdrain으로 계산되어지며, 이때 토양의 토양수분상태에 따라, 불포화침투와 포화침투로 나누어서 계산이 된다.

지표면(Surface)에서 지표하층(Subsurfae)로의 수분의 이동은 상단의 토양에서 Van Genuchten's 과 Darcy equation 를 이용하여, 토양물의 이동에 대해 모의가 시작되며, 그 후 matric head의 고려에 따라 상단의 토양에서 침투가 계산이 된다. 이후 토양의 포화에 도달함에 따라 포화, 불포화 침투가 고려되어진다. 모든 토양이 포화가 이루어지면 상단의 Surface layer에서 water depth가 증가함에 따라, Orifice와 Riser 통해 유출이 계산되어진다. 침투형 시설의 지표하층과 지표층의 수분이동에 관한 계산과정은 아래 그림과 같다. RCHRES모듈의 HYDR 섹션의 입력 UCI 파일 정의는 5.3 장에 상세히 기술되어있다.



[그림 9.5 식생형 시설의 수분이동]

## 9.2 식생형 시설의 주요 입력매개변수

식생형시설의 유출, 침투 계산을 위한 입력 제원으로는 시설물제원, 토양층 물성치(토양형 및 깊이), 침투율 및 유출부 제원이 있다.

[표 9.1 식생수로의 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
길이 (m)	Swale Length (m)
바닥폭 (m)	Swale Bottom Width (m)
여유고 (m)	Freeboard (m)
총 유효깊이 (m)	Effective Total Depth (m)
측면경사(좌) (m/m)	Left Side Slope (m/m)
측면경사(우) (m/m)	Right Side Slope (m/m)
식생수로 토양층 물성치 (Material Layers for Swale)	
토양층 1	Soil Layer 1
토양층 1 깊이 (m)	Soil Layer 1 Depth (m)
토양층 2	Soil Layer 2
토양층 2 깊이 (m)	Soil Layer 2 Depth (m)
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Infiltration Rate (mm/hr)
유출조건 (Outlet Condition)	
하부집수암거 직경 (m)	Underdrain Diameter (m)
오리피스 직경 (mm)	Orifice Diameter (mm)
수직관 높이(m)	Riser Height (m)
수직관 직경(mm)	Riser Diameter (mm)

[표 9.2 수목여과박스의 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
길이 (m)	Planter Length (m)
바닥폭 (m)	Planter Bottom Width (m)
여유고 (m)	Freeboard (m)
총 유효깊이 (m)	Effective Total Depth (m)
수목여과박스 토양층 물성치 (Material Layers for Planter)	
토양층 1	Soil Layer 1
토양층 1 깊이 (m)	Soil Layer 1 Depth (m)
토양층 2	Soil Layer 2
토양층 2 깊이 (m)	Soil Layer 2 Depth (m)
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Measured Infiltration Rate (mm/hr)
저감인자 (infiltr*factor)	Reduction Factor (infiltr*factor)
침투허용(측면경사)	Use Wetted Surface Area (sidewall)
유출조건 (Outlet Condition)	
하부집수암거 직경 (m)	Underdrain Diameter (m)
오리피스 직경 (mm)	Orifice Diameter (mm)
수직관 높이(m)	Riser Height (m)
수직관 직경(mm)	Riser Diameter (mm)

[표 9.3 식생체류지의 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)			
길이 (m)		Swale Length (m)	
바닥폭 (m)		Swale Bottom Width (m)	
바닥고 (m)		Swale Bottom Elevation (m)	
여유고 (m)		Freeboard (m)	
노면허용 침수깊이 (m)		Over-road Flooding	
총 유효깊이 (m)		Effective Total Depth (m)	
측면경사(하류) (0)		Bottom Side Slope (H/V)	
측면경사(상류) (H/V)		Top Side Slope (H/V)	
측면경사(좌) (H/V)		Left Side Slope (H/V)	
측면경사(우) (H/V)		Right Side Slope (H/V)	
식생체류지 토양층 물성치 (Material Layers for Swale)			
토양층 1		Soil Layer 1	
토양층 1 깊이 (m)		Soil Layer 1 Depth (m)	
토양층 2		Soil Layer 2	
토양층 2 깊이 (m)		Soil Layer 2 Depth (m)	
토양층 3		Soil Layer 3	
토양층 3 깊이 (m)		Soil Layer 3 Depth (m)	
토양형 편집		Edit Soil Types	
침투 (Native Infiltration)			
침투율 (mm/hr)		Measured Infiltration Rate (mm/hr)	
저감인자 (infiltr*factor)		Reduction Factor (infiltr*factor)	
침투허용(측면경사)		Use Wetted Surface Area (sidewall)	
유출조건 (Outlet Condition)			
하부집수암거 직경 (m)		Underdrain Diameter (m)	
하부집수암거 오리피스 직경 (mm)		Orifice Diameter (mm)	
하부집수암거 Offset (mm)		Underdrain Offset (mm)	
수직관방류구조	수직관 높이(m)	Riser Outlet Structure	Riser Height (m)
	수직관 직경(m)		Riser Diameter (mm)
	수직관 형태		Riser Type
	오리피스 직경 (mm)		Orifice Diameter (mm)
	오리피스 높이 (m)		Orifice Height (m)
오리피스+월류	수직 오리피스 직경 (mm)	Vertical Orifice + Overflow	Vertical Orifice Diameter (mm)
	수직 오리피스 높이 (mm)		Vertical Orifice Elevation (mm)
	월류폭 (m)		Width of overroad flow (m)

[표 9.4 식생여과대의 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
길이 (m)	CAVFS Length (m)
폭 (m)	CAVFS Width (m)
바닥고 (m)	CAVFS Bottom Elevation (m)
표면 저류 깊이 (m)	Surface Ponding (m)
제방높이 (m)	Embankment Height (m)
식생여과대 토양층 물성치 (Material Layers for CAVFS)	
토양층 1	Soil Layer 1
토양층 1 깊이 (m)	Soil Layer 1 Depth (m)
토양층 2	Soil Layer 2
토양층 2 깊이 (m)	Soil Layer 2 Depth (m)
토양형 편집	Edit Soil Types
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Measured Infiltration Rate (mm/hr)
저감인자 (infiltr*factor)	Reduction Factor (infiltr*factor)
침투허용(측면경사)	Use Wetted Surface Area (sidewall)

### 9.3 F-table의 작성(식생체류지, 예)

식생형시설 시설물 입력창에서 제원을 입력하면 아래 표와 같은 F-table이 자동으로 생성된다. 여기서 수심, 면적, 누가체적, 방류량, 침투량은 K-LIDM의 수행시 자동생성 되는 F-table의 항목이다. 식생형시설은 지표하층(Subsurface)과 지표면(Surface)의 2개층으로 구분된 F-table이 적용된다.

식생형시설중 식생체류지의 제원을 입력하여 작성된 F-table을 아래 표에 기술하였다.

식생형 시설의 F-table의 표면(Surface)에서는 토양의 포화에 도달함에 따라 포화, 불포화 침투가 고려되어진다.

식생형시설의 입력자료로부터 만들어지는 F-Table의 누가체적( $m^3$ )은 포장면의 면적  $\times$  구간수심  $\times$  토양형 공극율의 계산값이며 각 토양형별 공극율 및 토양 특성이 모형에 탑재되어 있다. 토양층 상부(표면)는 공극율을 고려하지 않고 면적과 구간 수심에 의해 누가 체적이 계산된다.

유출계산은 모든 토양이 포화가 이루어지고 상단의 Surface layer에서 water depth가 증가하면서 Orifice와 Riser를 통해 유출이 발생할 때 산정되고 기본적으로 11장 LID 시설의 침투계산, 방류계산 이론에서 제시한 식으로 계산된다.

침투량은 단위면적당 침투량(mm/hr)에 체류지 면적을 고려하여 계산(침투량(mm/hr)  $\times$  면적( $m^2$ ) / 3600)된다.

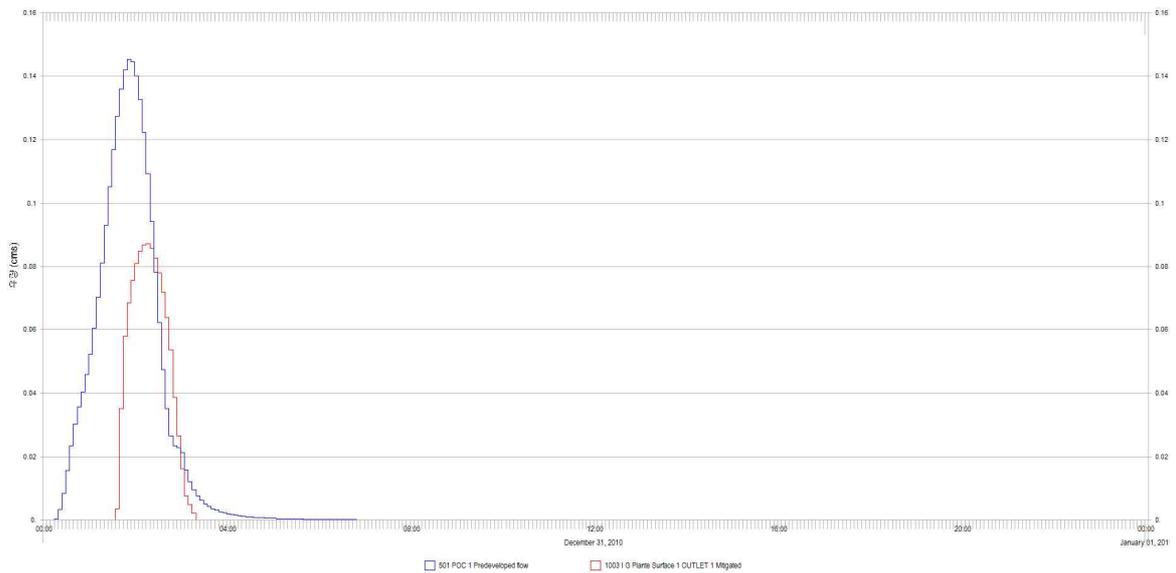
[표 9.5 식생형시설(식생체류지) F-Table (예)]

지표하층(Subsurface)					
수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)	
0.000000	0.010000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.010989	0.010000	0.000005	0.000000	0.000000	
0.021978	0.010000	0.000010	0.000000	0.000000	
0.032967	0.010000	0.000015	0.000000	0.000000	
0.043956	0.010000	0.000020	0.000000	0.000000	
0.054945	0.010000	0.000025	0.000000	0.000000	
0.065934	0.010000	0.000030	0.000000	0.000020	
0.076923	0.010000	0.000034	0.000000	0.000030	
0.087912	0.010000	0.000039	0.000000	0.000110	
0.098901	0.010000	0.000044	0.000000	0.000120	
중략					
0.505495	0.010000	0.0000216	0.000000	0.000138	
0.516484	0.010000	0.0000221	0.000000	0.000138	
0.527473	0.010000	0.0000225	0.000000	0.000138	
0.538462	0.010000	0.0000229	0.000000	0.000138	
0.549451	0.010000	0.0000234	0.000000	0.000138	
0.560440	0.010000	0.0000238	0.000000	0.000138	
0.571429	0.010000	0.0000243	0.000000	0.000138	
0.582418	0.010000	0.0000247	0.000000	0.000138	
0.593407	0.010000	0.0000251	0.000000	0.000138	
0.600000	0.010000	0.0000254	0.000000	0.000138	
지표면(Surface)					
수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)	
				포화	불포화
0.600000	0.010000	0.000000	0.000000	0.000138	0.000000
0.610989	0.010000	0.0000265	0.000000	0.000138	0.000000
0.621978	0.010000	0.0000276	0.000000	0.000138	0.000000
0.632967	0.010000	0.0000287	0.000000	0.000138	0.000000
0.643956	0.010000	0.0000298	0.000000	0.000138	0.000000
0.654945	0.010000	0.0000309	0.000000	0.000138	0.000000
0.665934	0.010000	0.0000320	0.000000	0.000138	0.000000
0.676923	0.010000	0.0000331	0.000000	0.000138	0.000000
0.687912	0.010000	0.0000342	0.000000	0.000138	0.000000
0.698901	0.010000	0.0000353	0.000000	0.000138	0.000000
중략					
0.907692	0.010000	0.0000562	0.5275320	0.000138	0.000000
0.918681	0.010000	0.0000573	0.5653270	0.000138	0.000000
0.929670	0.010000	0.0000584	0.6030590	0.000138	0.000000
0.940659	0.010000	0.0000595	0.6405790	0.000138	0.000000
0.951648	0.010000	0.0000606	0.6777420	0.000138	0.000000
0.962637	0.010000	0.0000617	0.7144050	0.000138	0.000000
0.973626	0.010000	0.0000628	0.7504270	0.000138	0.000000
0.984615	0.010000	0.0000639	0.7856740	0.000138	0.000000
0.995604	0.010000	0.0000650	0.8200150	0.000138	0.000000
1.000000	0.010000	0.0000654	0.8533290	0.000138	0.000000

### 9.4 LID 설치 효과 모델링(수목여과박스, 예)

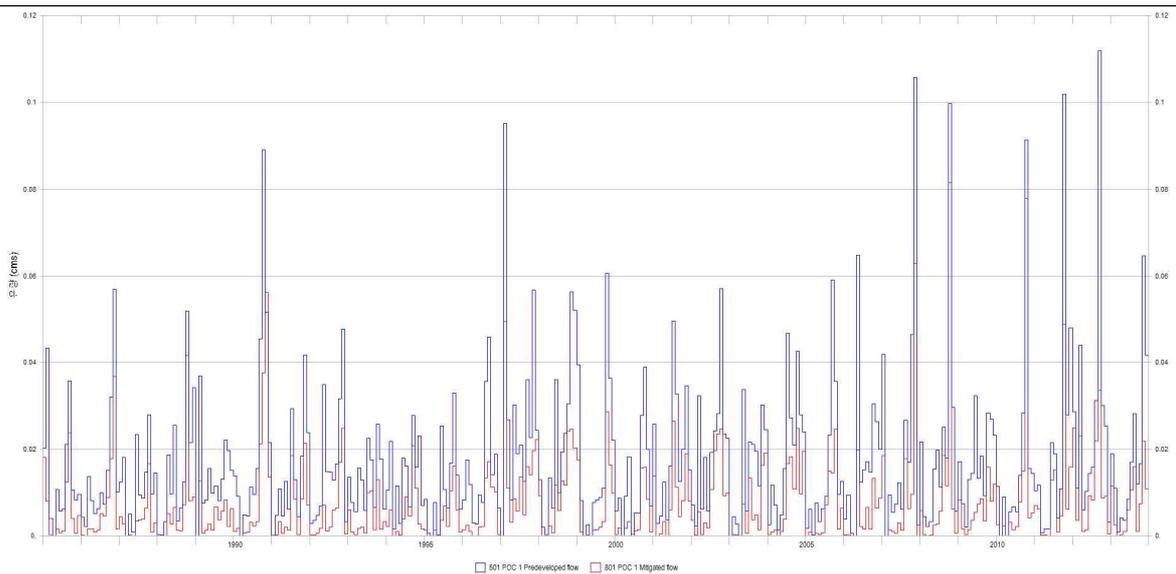
식생형시설 설치에 따른 유출저감 효과를 분석하기 위해 수목여과박스를 설치하여 시설물 설치 전·후 유출량을 산정하였다. 홍수유출모의는 부산시의 30년빈도 지속기간 180분 호우를 적용하였으며 유역유출연속모의 경우 부산관측소 2015-2014년(10년) 기상자료를 적용하였다. 평평한 주차장 1.5ha에 수목여과박스 0.04ha 설치하여 유출저감 효과를 분석하였다.

정 홍수유출모의



[그림 9.1 수목여과박스 설치 전·후 홍수유출모의 결과(30년빈도 지속기간 180분 호우 적용시)]

### □ 연속유출모델링



[그림 9.2 수목여과박스 설치 전·후 장기유출모의 결과-일평균 유출(최근 10년 호우 적용시)]

10.1 빗물집수통 모델링을 위한 HYDR 모듈

빗물집수통 모델링을 위한 HYDR 모듈은 지표하로의 침투가 없다는 것을 제외하면 침투형 시설(침투트렌치, 침투저류지 등)과 동일한 방법으로 계산한다. 하도추적모의는 HSPF 모형의 HSPF의 RCHRES 모듈의 HYDR 섹션을 이용하여 수리수문학적 하도추적을 계산한다. RCHRES모듈의 HYDR 섹션의 입력 UCI 파일 정의는 5.3 장에 상세히 기술되어있다.

10.2 빗물집수통 주요 입력매개변수

빗물집수통은 바닥고, 직경, 길이 제원을 입력할 수 있으며 원형과 아치형 두가지의 형태가 존재한다. 유출부 제원은 수직관의 높이와 직경이 있으며 노치 형태(장방형, V-Notch, Sutro)를 선택하여 노치 높이와 너비를 입력할 수 있다.

침투의 계산은 침투율(Measured Infiltration Rate, mm/hr)로 정의되며 침투감소계수(infilt\*factor)의 적용이 가능하다.

[표 10.1 빗물집수통의 입력자료]

시설물제원 (Facility Dimensions)	
바닥고 (m)	Facility Bottom Elevation (m)
형태	Tank Type
직경 (m)	Diameter (m)
길이 (m)	Length (m)
침투 (Native Infiltration)	
침투율 (mm/hr)	Measured Infiltration Rate (mm/hr)
저감인자 (infilt*factor)	Reduction Factor (infilt*factor)
유출조건 (Outlet Condition)	
수직관 높이(m)	Riser Height (m)
수직관 직경(m)	Riser Diameter (mm)
수직관 형태	Riser Type
노치 형태	Notch Type
노치 높이	Notch Height (m)
노치 너비	Notch Width (m)
오리피스 직경 (mm)	Orifice Diameter (mm)
오리피스 높이 (m)	Orifice Height (m)

### 10.3 빗물집수통 F-table의 작성

빗물집수통 시설물 입력창에서 제원을 입력하면 아래 표와 같은 F-table이 자동으로 생성된다. 여기서 수심, 면적, 누가체적, 방류량, 침투량은 K-LIDM의 수행시 자동생성 되는 F-table의 항목이다.

빗물집수통의 입력자료로부터 만들어지는 F-Table의 누가체적(m<sup>3</sup>)은 포장면의 면적 × 구간수심의 계산값이며 빗물집수통의 형태가 원형과 아치형이므로 구간별 수심에 따른 면적은 상이하므로 구간별 수심에 따른 누가체적 계산값도 다르게 나타난다.

유출계산은 Orifice와 Riser를 통해 유출이 발생할 때 산정되고 기본적으로 11장 LID 시설의 침투계산, 방류계산 이론에서 제시한 식으로 계산된다.

침투량은 단위면적당 침투량(mm/hr)에 빗물집수통 면적을 고려하여 계산(침투량(mm/hr) × 면적(m<sup>2</sup>) / 3600)된다.

[표 10.2 빗물집수통 F-Table (예)]

수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)	수심 (m)	면적 (ha)	누가체적 (100 ha-m)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	침투량 (m <sup>3</sup> /s)
0.000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.5555560	0.0099980	0.0002019	0.0294200	0.0000270
0.0555560	0.0020960	0.0000008	0.0000000	0.0000050	2.6111110	0.0099900	0.0002075	0.0299080	0.0000270
0.1111110	0.0029480	0.0000022	0.0000000	0.0000080	2.6666670	0.0099780	0.0002130	0.0303880	0.0000270
0.1666670	0.0035900	0.0000040	0.0000000	0.0000090	2.7222220	0.0099600	0.0002185	0.0308600	0.0000270
0.2222220	0.0041220	0.0000062	0.0000000	0.0000110	2.7777780	0.0099380	0.0002241	0.0313250	0.0000270
0.2777780	0.0045810	0.0000086	0.0000000	0.0000120	2.8333330	0.0099110	0.0002296	0.0317830	0.0000270
0.3333330	0.0049890	0.0000112	0.0000000	0.0000130	2.8888890	0.0098780	0.0002351	0.0322350	0.0000270
0.3888890	0.0053560	0.0000141	0.0000000	0.0000140	2.9444440	0.0098410	0.0002406	0.0326800	0.0000270
0.4444440	0.0056920	0.0000172	0.0000000	0.0000150	3.0000000	0.0097980	0.0002460	0.0331190	0.0000270
0.5000000	0.0060000	0.0000204	0.0000000	0.0000160	3.0555560	0.0097500	0.0002514	0.0335530	0.0000270
0.5555560	0.0062850	0.0000239	0.0012710	0.0000170	3.1111110	0.0096970	0.0002569	0.0339800	0.0000270
0.6111110	0.0065510	0.0000274	0.0017980	0.0000180	3.1666670	0.0096380	0.0002622	0.0344030	0.0000270
0.6666670	0.0067990	0.0000311	0.0022020	0.0000180	3.2222220	0.0095740	0.0002676	0.0348200	0.0000270
0.7222220	0.0070310	0.0000350	0.0025430	0.0000190	3.2777780	0.0095040	0.0002729	0.0352330	0.0000270

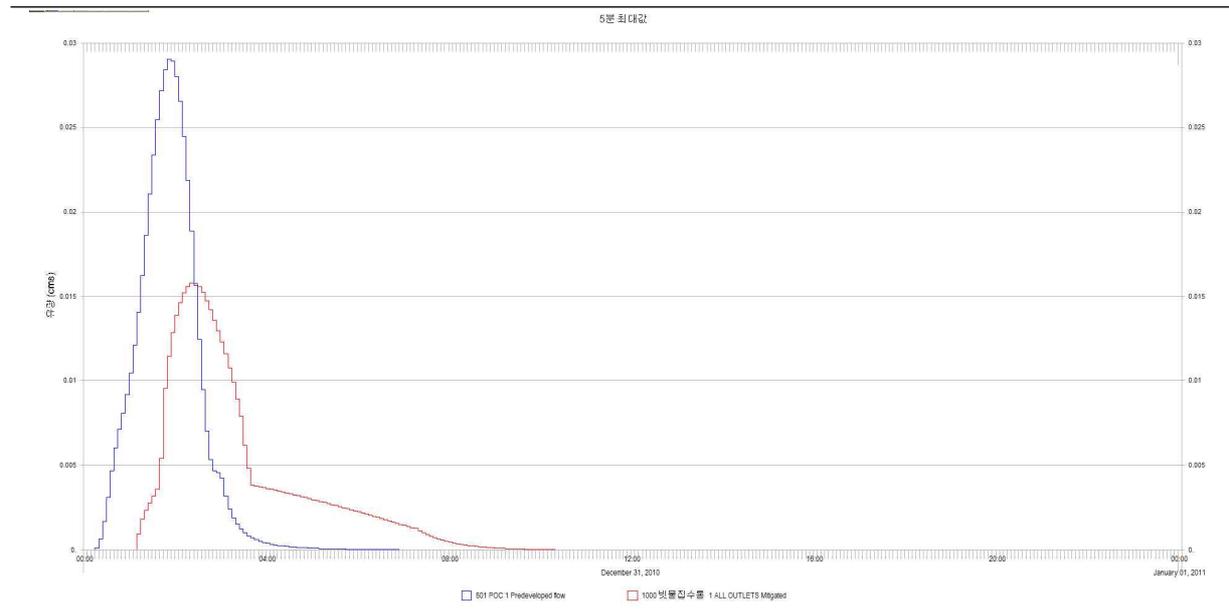
#### 중략

1.0000000	0.0080000	0.0000559	0.0038140	0.0000220	4.0000000	0.0080000	0.0003368	0.0402080	0.0000270
1.0555560	0.0081620	0.0000604	0.0081190	0.0000220	4.0555560	0.0078280	0.0003412	0.0405660	0.0000270
1.1111110	0.0083150	0.0000650	0.0100130	0.0000230	4.1111110	0.0076470	0.0003455	0.0409200	0.0000270
1.1666670	0.0084590	0.0000696	0.0115030	0.0000230	4.1666670	0.0074540	0.0003497	0.0412710	0.0000270
1.2222220	0.0085950	0.0000744	0.0127810	0.0000230	4.2222220	0.0072490	0.0003538	0.0416190	0.0000270
1.2777780	0.0087230	0.0000792	0.0139210	0.0000240	4.2777780	0.0070310	0.0003577	0.0419650	0.0000270
1.3333330	0.0088440	0.0000841	0.0149630	0.0000240	4.3333330	0.0067990	0.0003616	0.0423070	0.0000270
1.3888890	0.0089580	0.0000890	0.0159290	0.0000240	4.3888890	0.0065510	0.0003653	0.0426470	0.0000270
1.4444440	0.0090650	0.0000940	0.0168340	0.0000250	4.4444440	0.0062850	0.0003689	0.0429840	0.0000270
1.5000000	0.0091650	0.0000991	0.0176890	0.0000250	4.5000000	0.0060000	0.0003723	0.0433180	0.0000270
1.5555560	0.0092590	0.0001042	0.0185020	0.0000250	4.5555560	0.0056920	0.0003755	0.0436500	0.0000270
1.6111110	0.0093470	0.0001094	0.0192790	0.0000250	4.6111110	0.0053560	0.0003786	0.0439790	0.0000270
1.6666670	0.0094280	0.0001146	0.0200230	0.0000260	4.6666670	0.0049890	0.0003815	0.0443060	0.0000270
1.7222220	0.0095040	0.0001199	0.0207400	0.0000260	4.7222220	0.0045810	0.0003841	0.0446310	0.0000270

### 10.4 빗물집수통 설치 전후의 LID 설치 효과 모델링

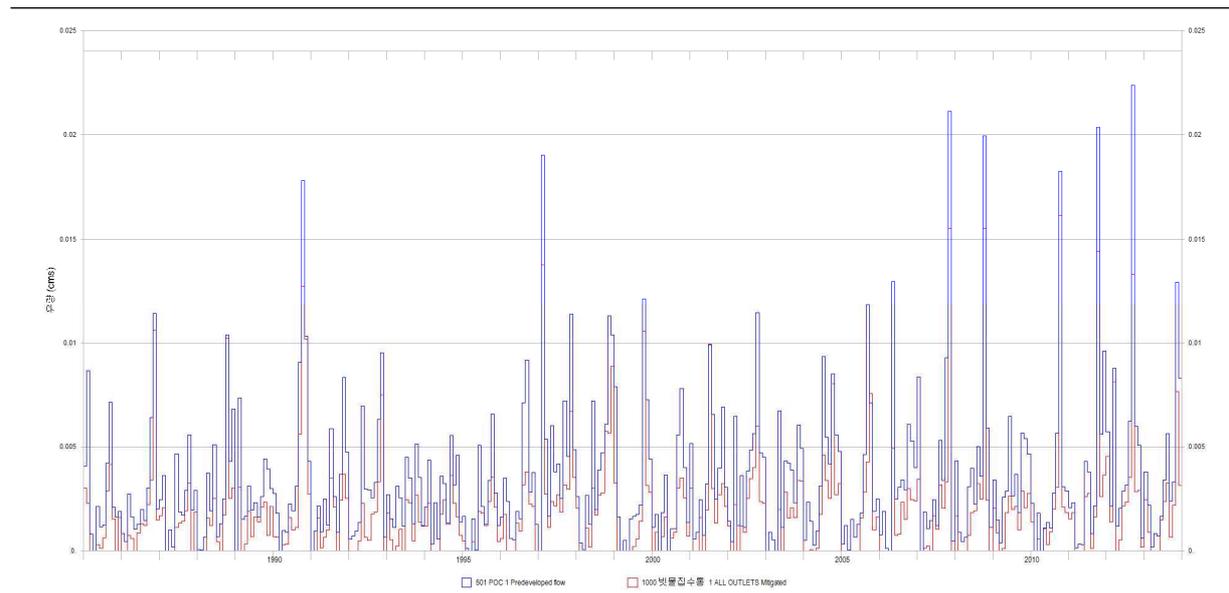
빗물집수통 설치에 따른 유출저감 효과를 분석하기 위해 시설물 설치 전·후 유출량을 산정하였다. 홍수유출모의는 부산시의 30년빈도 지속기간 180분 호우를 적용하였으며 유역유출 연속모의 경우 부산관측소 2015-2014년(10년) 기상자료를 적용하였다. 평평한 지붕 면적 0.5ha에서 0.01ha 면적의 빗물집수통을 설치하여 유출저감 효과를 분석하였다.

정 홍수유출모의



[그림 10.1 빗물집수통 설치 전·후 홍수유출모의 결과(30년빈도 지속기간 180분 호우 적용시)]

### □ 연속유출모델링



[그림 10.2 빗물집수통 설치 전·후 장기유출모의 결과-월평균 유출(최근 10년 호우 적용시)]

## 11 LID 시설의 침투계산, 방류계산 이론

### 11.1 침투계산 이론

LID 분석모듈의 지표면 저류와 침투계산은 The modified Green Ampt 방정식을 적용 상층부 토양의 침투율을 계산하게 되면 기본 식을 아래와 같다.

$$f = K \left( 1 + \frac{(\phi - \theta)(d + \varphi)}{F} \right)$$

여기서,

- $f$  = 토양층 투수계수(cm/hr)
- $\theta$  = 상층부 토양의 토양함수량
- $F$  = 상층부의 토양수분 함량(cm)
- $K$  = 상층부토양 포화 투수계수(cm/hr)
- $\phi$  = 상층부 토양의 토양공극률
- $\varphi$  = 습윤면의 흡입양정(cm)
- $d$  = 표면 저류 깊이(cm)

$$\frac{K(\theta)}{K_{sat}} = \left( \frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ 1 - \left( 1 - \left( \frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2$$

여기서,

- $K(\theta)$  = 상대 투수계수      $\theta_r$  = 잔여 함수량
- $K_{sat}$  = 포화 투수계수      $\phi$  = 공극률
- $\theta$  = 함수량                      $a \ n \ m$  = 상수

또한, 지표하층은 최대 3개의 지표하층으로 구성되며 지표하층을 통한 저류 및 유동은 Darcy' s 방정식을 이용하여 계산한다.

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z}$$

여기서,

- $q$  = Darcy 법칙에 따른 유속, 대수층을 흐르는 유속을 나타내는 걸보기속도(cm/hr)
- $K$  = 다공성 매질의 투수계수(cm/hr)
- $h$  = 수두(cm)
- $z$  = 높이(cm)

전수두  $h$ 는 모세관수두  $\psi$ 와 중력수두  $z$ 의 합이므로 전수두  $h$ 항을 다르게 표현하면,

$$q = -K \frac{d(\psi + z)}{dz}$$

투수계수와 모세관수두는 토양함수율에 따라 다르며 이 값은 Van Genuchten's 식으로 계산가능하다 다만, 토양이 포화상태일 때 모세관 수두( $\psi$ )는 0이다.

Van Genuchten Equation의 전수두 h 계산식

$$h = -\frac{1}{a} \left[ \frac{1}{SE^m} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} + z$$

여기서,  $h$  = 전수두

$SE$  = 유효 포화도

$a$   $m$   $n$  = 상수

$z$  = 위치수두

Van Genuchten Equation의 유효포화도 SE 계산식

$$\frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} = \left[ \frac{1}{1 + (a\psi)^n} \right]^m = SE$$

여기서,

$\theta$  = 함수량

$\lambda$  = 공극도 분포

$\theta_r$  = 잔여함수량

$y_b$  = 기포압력

$\phi$  = 공극률

$\psi$  = 압력수두 =  $h - z$

$a$  = 상수 =  $y_b - 1$

$h$  = 전수두

$n$  = 상수 =  $\lambda + 1$

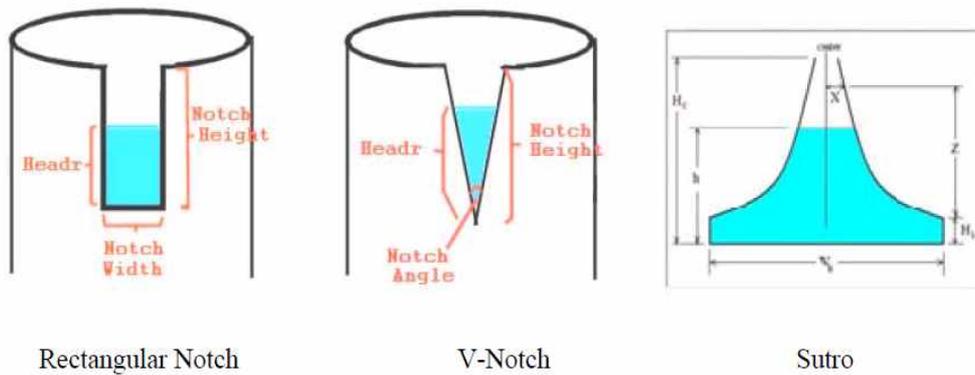
$z$  = 위치수두

$m$  = 상수 =  $1 - \frac{1}{\lambda + 1}$

$SE$  = 유효포화도

## 11.2 방류구 수리계산의 이론

K-LIDM에 포함되어 있는 LID 시설 중 투수성포장, 식생체류지, 빗물집수통, 수목여과박스, 침투저류지, 침투트렌치, 식생수로, 모래여과시설은 수직관 및 오리피스 형태의 방류구가 있다. 또한, 수리 및 수문 시설인 사다리꼴 저수지, 자연형 연못등의 시설에서도 유출량 제어를 위해 수직관 및 오리피스 유출 공식이 적용된다. 수직관의 경우 Flat 형과 Notch형이 있으며 Notch형 수직관은 형태에 따라 Rectangular Notch, V Nothch, Sutro Notch로 나눌수 있다.



[그림 11.1 Notch 형태]

### 11.2.1 수직관(Flat) 유출량

수직관의 유출량은 아래시과 같다.

$$Q = 9.739 \times \text{Riser Diameter} \times H^{1.5}$$

여기서,

q= 유출량

H= 수직관 위에서부터의 수심

Riser Diameter= 수직관 직경

### 11.2.2 수직관(Notch) 유출량 계산

Notch의 형태는 장방형, Sutro, V-Notch로 구분되면 각각의 계산식은 아래와 같다.

→ 장방형 Notch

$$b = \text{Notch Width} \times (1 - 0.2 \times \text{Headr})$$

$$\text{where } b \geq 0.8$$

$$Q = 3.33 \times b \times \text{Headr}^{1.5}$$

→ Sutro

$$Q = Cd \times Wb \times (h - Hb/3) \times \sqrt{2gHb}$$

여기서,

Hb= Notch Height

Hc= Riser Height - Notch Height

Wb= Bottom Width

→ V-Notch

$$a = 2.664261 - 0.0018641 \times \Theta + 0.00005761 \times \Theta^2$$

$$b = -0.48875 + 0.003843 \times \Theta - 0.000092124 \times \Theta^2$$

$$c = 0.3392 - 0.0024318 \times \Theta + 0.00004715 \times \Theta^2$$

여기서,

Notch Bottom= height from bottom of riser to bottom of notch

$\Theta$  = Notch Angle

### 11.2.3 오리피스와 계산

오리피스 식은 다음과 같다.

$$Q = 2.1547 \times (\text{Orifice Diameter})^2 \times \sqrt{\text{Headr}}$$

여기서,

Headr = 오리피스 및 Notch 바닥에서부터의 물의 높이

Orifice Diameter= 오리피스 직경

# APPENDIX

K-LIDM의 투수면에 대한 유출 계산로직은 HSPF의 PERLND 모듈을 적용한다. PERLND 모듈의 매개변수는 기본 UCI파일에 적용되며 아래 보고서에 근거하여 작성되었다. 또한, US 단위로 작성된 매개변수는 SI단위로 변환하여 적용하였다.

Dinicola, R.S. 1990. Characterization and Simulation of Rainfall-Runoff Relations for Headwater Basins in Western King and Snohomish Counties, Washington. Water-Resources Investigations Report 89-4052. U.S. Geological Survey. Tacoma, WA.

Beyerlein, D.C. 2010. Hydrologic Modeling of Clark County Watersheds with the U.S. EPA Hydrologic Simulation Program - FORTRAN (HSPF) Final Report (Revised). Clear Creek Solutions, Inc., Mill Creek, WA.

Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle Jr, T.H. Jobes, and A.S. Donigian Jr. 2001. Hydrological Simulation Program - Fortran, User's Manual for Version 12. AQUA TERRA Consultants. Mountain View, CA.

#### [PERLND 모듈 입력 토양 타입]

PERLND No.	Soil Type	Vegetation of Surface	Slope
1	A/B	Forest	Flat
2	A/B	Forest	Moderate
3	A/B	Forest	Steep
4	A/B	Pasture	Flat
5	A/B	Pasture	Moderate
6	A/B	Pasture	Steep
7	A/B	Lawn	Flat
8	A/B	Lawn	Moderate
9	A/B	Lawn	Steep
10	C	Forest	Flat
11	C	Forest	Moderate
12	C	Forest	Steep
13	C	Pasture	Flat
14	C	Pasture	Moderate
15	C	Pasture	Steep
16	C	Lawn	Flat
17	C	Lawn	Moderate
18	C	Lawn	Steep
19	Saturated	Forest	Flat
20	Saturated	Forest	Moderate
21	Saturated	Forest	Steep
22	Saturated	Pasture	Flat
23	Saturated	Pasture	Moderate
24	Saturated	Pasture	Steep
25	Saturated	Lawn	Flat
26	Saturated	Lawn	Moderate
27	Saturated	Lawn	Steep

[PERLND 모듈 입력 토양 타입(계속)]

PERLND No.	Soil Type	Vegetation of Surface	Slope
28	C	Impervious dispersed on Lawn	Flat
29	C	Impervious dispersed on Lawn	Moderate
30	C	Impervious dispersed on Lawn	Steep
31	A/B	Impervious infiltrated on Lawn	Flat
32	A/B	Impervious infiltrated on Lawn	Moderate
33	A/B	Impervious infiltrated on Lawn	Steep
34	Saturated	Impervious dispersed on Lawn	Flat
35	Saturated	Impervious dispersed on Lawn	Moderate
36	Saturated	Impervious dispersed on Lawn	Steep
37	n/a	Green/Eco-Roof user defined	user defined

[PERLND 모듈의 매개변수 정의]

매개변수 (parameter)	의미 (Signification)		단위 (Units)	
	영문	국문	US	SI
LZSN	Lower Zone Storage Nominal	저층부 명목 저류용량	inches	mm
INFILT	Infiltration	침투	inches/hr	mm/hr
LSUR	Length of surface flow path	지표흐름 경로의 길이	feet	m
SLSUR	Slope of surface flow path	지표흐름 경로의 경사	feet/feet	m/m
KVARY	Variable groundwater recession	지하수 감소 변수	-	-
AGWRC	Active Groundwater Recession Constant	활성지하수 감소 상수	per day	per day
INFEXP	Infiltration Exponent	침투 지수	-	-
INFILD	Infiltration ratio	침투율	평균/최대	평균/최대
DEEPER	Fraction of groundwater to deep aquifer or inactive storage	깊은대수층 이나 비활성 저류용량의 지하수 비	-	-
BASETP	Base flow (from groundwater) Evapotranspiration fraction	(지하수로부터의) 기저유출 증발산의 비	-	-
AGWETP	Active Groundwater Evapotranspiration fraction	활성지하수 증발산 비	-	-
CEPSC	Interception storage	차단 저류용량	inches	mm
UZSN	Upper Zone Storage Nominal	상층부 명목 저류용량	inches	mm
NSUR	Surface roughness	지표면 조도	Manning n	Manning n
INTFW	Interflow index	중간유출 지수		
IRC	Interflow Recession Constant	중간유출 감소상수	per day	per day
LZETP	Lower Zone Evapotraspiration fraction	하층부 증발산 비	-	-
MELEV	Mean surface elevation of the land segment	지표 세그먼트의 평균 지표면 고도	feet	m
BELV	Base elevation for active groundwater	활성지하수의 평균 높이	feet	m
GWDATM	Datum for the groundwater	지하수의 바닥고	feet	m

[PERLND 모듈의 매개변수 정의(계속)]

매개변수 (parameter)	의미 (Signification)		단위 (Units)	
	영문	국문	US	SI
PCW	Cohesion Water Porosity	응집에 의한 물의 투수성	fraction	fraction
PGW	Gravitational Water Porosity	중력에 의한 물의 투수성	fraction	fraction
UPGW	Upper Gravitational Water porosity	상층의 중력에 의한 물의 투수성	fraction	fraction
STABNO	User's numer for the FTABLE in the FTABLES block which contatins the outflow properties from the surface storage	사지면저류로부터 유출특성을 포함하는 FTALBE 블록의 사용자 입력 FTABLE 개수	-	-
SRRC	Surface Runoff Recession Constant	지표면 유출 감소상수	per Hour	per Hour
SREXP	Surface Runoff Exponent	지표면 유출 지수		
IFWSC	Maximum Interflow Storage Capacity when the groundwater elevation is greater than the upper influence elevation(inches)	지후수위가 상층부 영향수위보다 큰 경우 최대 중간유출 저류가능용량	inches	inches
DELTA	groundwater tolerance level used to determine transition between regions when high water table conditions are being simulated	최고수위 테이블조건이 모의되었을 때 지역사이의 전이결정에 사용되는 지하수의 허용오차	-	-
DELTA	groundwater tolerance level used to determine transition between regions when high water table conditions are being simulated	최고수위 테이블조건이 모의되었을 때 지역사이의 전이결정에 사용되는 지하수의 허용오차	-	-
UELFAC	multiplier on UZSN which gives the upper zone capacity	상층부 가능저류용량에 주어진 UZSN의 가중치	-	-
LEFAC	multiplier on LZSN which gives the lower zone capacity	하층부 가능저류용량에 주어진 LZSN의 가중치	-	-
CEPS	Initial interception storage	초기 차단 저류용량	inches	mm
SURS	Initial surfae runoff	초기 지면 유출	inches	mm
UZS	Initial Upper Zone Storage	초기 상층부 저류용량	inches	mm
IFWS	Initial interflow	초기 중간유출	inches	mm
LZS	Initial Lower Zone Storage	초기 저층부 저류용량	inches	mm
AGWS	Initial Active Groundwater storage	초기 활성지하수 저류용량	inches	mm
GWVS	Initial Groundwater Vertical Slope	초기 지하수 종단경사	feet/feet	m/m

[PERLND 매개변수 : PART 1]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	LZSN	INFILT	LSUR	SLSUR	LZSN	INFILT	LSUR	SLSUR
1	127.0	50.800	100.0	0.050	5.0	2.00	328.084	0.050
2	127.0	50.800	100.0	0.100	5.0	2.00	328.084	0.100
3	127.0	50.800	100.0	0.150	5.0	2.00	328.084	0.150
4	127.0	38.100	100.0	0.050	5.0	1.50	328.084	0.050
5	127.0	38.100	100.0	0.100	5.0	1.50	328.084	0.100
6	127.0	38.100	100.0	0.150	5.0	1.50	328.084	0.150
7	127.0	20.320	100.0	0.050	5.0	0.80	328.084	0.050
8	127.0	20.320	100.0	0.100	5.0	0.80	328.084	0.100
9	127.0	20.320	100.0	0.150	5.0	0.80	328.084	0.150
10	114.3	2.032	100.0	0.050	4.5	0.08	328.084	0.050
11	114.3	2.032	100.0	0.100	4.5	0.08	328.084	0.100
12	114.3	2.032	100.0	0.150	4.5	0.08	328.084	0.150
13	114.3	1.524	100.0	0.050	4.5	0.06	328.084	0.050
14	114.3	1.524	100.0	0.100	4.5	0.06	328.084	0.100
15	114.3	1.524	100.0	0.150	4.5	0.06	328.084	0.150
16	114.3	0.762	100.0	0.050	4.5	0.03	328.084	0.050
17	114.3	0.762	100.0	0.100	4.5	0.03	328.084	0.100
18	114.3	0.762	100.0	0.150	4.5	0.03	328.084	0.150
19	101.6	50.800	25.0	0.001	4.0	2.00	82.021	0.001
20	101.6	50.800	25.0	0.010	4.0	2.00	82.021	0.010
21	101.6	50.800	25.0	0.100	4.0	2.00	82.021	0.100
22	101.6	45.720	25.0	0.001	4.0	1.80	82.021	0.001
23	101.6	45.720	25.0	0.010	4.0	1.80	82.021	0.010
24	101.6	45.720	25.0	0.100	4.0	1.80	82.021	0.100
25	101.6	25.400	25.0	0.001	4.0	1.00	82.021	0.001
26	101.6	25.400	25.0	0.010	4.0	1.00	82.021	0.010
27	101.6	25.400	25.0	0.100	4.0	1.00	82.021	0.100
28	114.3	0.762	100.0	0.050	4.5	0.03	328.084	0.050
29	114.3	0.762	100.0	0.100	4.5	0.03	328.084	0.100
30	114.3	0.762	100.0	0.150	4.5	0.03	328.084	0.150
31	127.0	20.320	100.0	0.050	5.0	0.80	328.084	0.050
32	127.0	20.320	100.0	0.100	5.0	0.80	328.084	0.100
33	127.0	20.320	100.0	0.150	5.0	0.80	328.084	0.150
34	101.6	25.400	25.0	0.001	4.0	1.00	82.021	0.001
35	101.6	25.400	25.0	0.010	4.0	1.00	82.021	0.010
36	101.6	25.400	25.0	0.100	4.0	1.00	82.021	0.100
37	25.4	1.270	12.7	0.001	1.0	0.05	41.667	0.001

[PERLND 매개변수 : PART 2]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	KVARY	AGWRC	INFEXP	INFILD	KVARY	AGWRC	INFEXP	INFILD
1	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
2	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
3	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
4	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
5	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
6	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
7	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
8	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
9	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
10	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
11	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
12	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
13	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
14	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
15	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
16	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
17	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
18	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
19	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
20	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
21	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
22	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
23	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
24	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
25	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
26	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
27	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
28	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
29	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
30	12.70	0.996	2	2	0.5	0.996	2	2
31	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
32	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
33	7.62	0.996	2	2	0.3	0.996	2	2
34	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
35	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
36	12.70	0.996	10	2	0.5	0.996	10	2
37	12.70	0.100	2	2	0.5	0.100	2	2

[PERLND 매개변수 : PART 3]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	DEEPFR	BASETP	AGWETP	CEPSC	DEEPFR	BASETP	AGWETP	CEPSC
1	0	0	0.00	5.08	0	0	0.00	0.20
2	0	0	0.00	5.08	0	0	0.00	0.20
3	0	0	0.00	5.08	0	0	0.00	0.20
4	0	0	0.00	3.81	0	0	0.00	0.15
5	0	0	0.00	3.81	0	0	0.00	0.15
6	0	0	0.00	3.81	0	0	0.00	0.15
7	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
8	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
9	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
10	0	0	0.00	5.08	0	0	0.00	0.20
11	0	0	0.00	5.08	0	0	0.00	0.20
12	0	0	0.00	5.08	0	0	0.00	0.20
13	0	0	0.00	3.81	0	0	0.00	0.15
14	0	0	0.00	3.81	0	0	0.00	0.15
15	0	0	0.00	3.81	0	0	0.00	0.15
16	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
17	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
18	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
19	0	0	0.70	5.08	0	0	0.70	0.20
20	0	0	0.70	5.08	0	0	0.70	0.20
21	0	0	0.70	5.08	0	0	0.70	0.20
22	0	0	0.50	3.81	0	0	0.50	0.15
23	0	0	0.50	3.81	0	0	0.50	0.15
24	0	0	0.50	3.81	0	0	0.50	0.15
25	0	0	0.35	2.54	0	0	0.35	0.10
26	0	0	0.35	2.54	0	0	0.35	0.10
27	0	0	0.35	2.54	0	0	0.35	0.10
28	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
29	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
30	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
31	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
32	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
33	0	0	0.00	2.54	0	0	0.00	0.10
34	0	0	0.35	2.54	0	0	0.35	0.10
35	0	0	0.35	2.54	0	0	0.35	0.10
36	0	0	0.35	2.54	0	0	0.35	0.10
37	0	0	0.80	2.54	0	0	0.80	0.10

[PERLND 매개변수 : PART 4]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	UZSN	NSUR	INTFW	IRC	UZSN	NSUR	INTFW	IRC
1	12.70	0.35	0	0.7	0.5000	0.35	0	0.7
2	12.70	0.35	0	0.7	0.5000	0.35	0	0.7
3	12.70	0.35	0	0.7	0.5000	0.35	0	0.7
4	12.70	0.30	0	0.7	0.5000	0.30	0	0.7
5	12.70	0.30	0	0.7	0.5000	0.30	0	0.7
6	12.70	0.30	0	0.7	0.5000	0.30	0	0.7
7	12.70	0.25	0	0.7	0.5000	0.25	0	0.7
8	12.70	0.25	0	0.7	0.5000	0.25	0	0.7
9	12.70	0.25	0	0.7	0.5000	0.25	0	0.7
10	12.70	0.35	6	0.5	0.5000	0.35	6	0.5
11	12.70	0.35	6	0.5	0.5000	0.35	6	0.5
12	7.62	0.35	6	0.3	0.3000	0.35	6	0.3
13	10.16	0.30	6	0.5	0.4000	0.30	6	0.5
14	10.16	0.30	6	0.5	0.4000	0.30	6	0.5
15	6.35	0.30	6	0.3	0.2500	0.30	6	0.3
16	6.35	0.25	6	0.5	0.2500	0.25	6	0.5
17	6.35	0.25	6	0.5	0.2500	0.25	6	0.5
18	3.81	0.25	6	0.3	0.1500	0.25	6	0.3
19	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
20	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
21	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
22	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
23	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
24	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
25	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
26	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
27	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
28	6.35	0.25	6	0.5	0.2500	0.25	6	0.5
29	6.35	0.25	6	0.5	0.2500	0.25	6	0.5
30	3.81	0.25	6	0.3	0.1500	0.25	6	0.3
31	12.70	0.25	0	0.7	0.5000	0.25	0	0.7
32	12.70	0.25	0	0.7	0.5000	0.25	0	0.7
33	12.70	0.25	0	0.7	0.5000	0.25	0	0.7
34	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
35	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
36	3.00	0.50	1	0.7	0.1181	0.50	1	0.7
37	2.54	0.55	1	0.1	0.1000	0.55	1	0.1

[PERLND 매개변수 : PART 5]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	LZETP	MELEV	BELV	GWDATM	LZETP	MELEV	BELV	GWDATM
1	0.70	400	0	0	0.70	400	0	0
2	0.70	400	0	0	0.70	400	0	0
3	0.70	400	0	0	0.70	400	0	0
4	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
5	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
6	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
7	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
8	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
9	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
10	0.70	400	0	0	0.70	400	0	0
11	0.70	400	0	0	0.70	400	0	0
12	0.70	400	0	0	0.70	400	0	0
13	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
14	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
15	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
16	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
17	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
18	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
19	0.80	400	0	0	0.80	400	0	0
20	0.80	400	0	0	0.80	400	0	0
21	0.80	400	0	0	0.80	400	0	0
22	0.60	400	0	0	0.60	400	0	0
23	0.60	400	0	0	0.60	400	0	0
24	0.60	400	0	0	0.60	400	0	0
25	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
26	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
27	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
28	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
29	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
30	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
31	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
32	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
33	0.25	400	0	0	0.25	400	0	0
34	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
35	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
36	0.40	400	0	0	0.40	400	0	0
37	0.80	400	0	0	0.80	400	0	0

[PERLND 매개변수 : PART 6]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	PCW	PGW	UPGW	STABNO	PCW	PGW	UPGW	STABNO
1	0.35	0.38	0.45	1	0.35	0.38	0.45	1
2	0.35	0.38	0.45	1	0.35	0.38	0.45	1
3	0.35	0.38	0.45	1	0.35	0.38	0.45	1
4	0.33	0.35	0.42	1	0.33	0.35	0.42	1
5	0.33	0.35	0.42	1	0.33	0.35	0.42	1
6	0.33	0.35	0.42	1	0.33	0.35	0.42	1
7	0.31	0.33	0.40	1	0.31	0.33	0.40	1
8	0.31	0.33	0.40	1	0.31	0.33	0.40	1
9	0.31	0.33	0.40	1	0.31	0.33	0.40	1
10	0.20	0.23	0.28	1	0.20	0.23	0.28	1
11	0.20	0.23	0.28	1	0.20	0.23	0.28	1
12	0.20	0.23	0.28	1	0.20	0.23	0.28	1
13	0.18	0.20	0.25	1	0.18	0.20	0.25	1
14	0.18	0.20	0.25	1	0.18	0.20	0.25	1
15	0.18	0.20	0.25	1	0.18	0.20	0.25	1
16	0.15	0.17	0.20	1	0.15	0.17	0.20	1
17	0.15	0.17	0.20	1	0.15	0.17	0.20	1
18	0.15	0.17	0.20	1	0.15	0.17	0.20	1
19	0.17	0.20	0.25	1	0.17	0.20	0.25	1
20	0.17	0.20	0.25	1	0.17	0.20	0.25	1
21	0.17	0.20	0.25	1	0.17	0.20	0.25	1
22	0.15	0.17	0.22	1	0.15	0.17	0.22	1
23	0.15	0.17	0.22	1	0.15	0.17	0.22	1
24	0.15	0.17	0.22	1	0.15	0.17	0.22	1
25	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1
26	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1
27	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1
28	0.15	0.17	0.20	1	0.15	0.17	0.20	1
29	0.15	0.17	0.20	1	0.15	0.17	0.20	1
30	0.15	0.17	0.20	1	0.15	0.17	0.20	1
31	0.31	0.33	0.40	1	0.31	0.33	0.40	1
32	0.31	0.33	0.40	1	0.31	0.33	0.40	1
33	0.31	0.33	0.40	1	0.31	0.33	0.40	1
34	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1
35	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1
36	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1
37	0.12	0.15	0.18	1	0.12	0.15	0.18	1

[PERLND 매개변수 : PART 7]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	SRRC	SREXP	IFWSC	DELTA	SRRC	SREXP	IFWSC	DELTA
1	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
2	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
3	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
4	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
5	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
6	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
7	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
8	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
9	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
10	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
11	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
12	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
13	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
14	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
15	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
16	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
17	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
18	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
19	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
20	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
21	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
22	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
23	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
24	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
25	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
26	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
27	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
28	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
29	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
30	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
31	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
32	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
33	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
34	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
35	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
36	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2
37	0.1	0	4	0.2	0.1	0	4	0.2

[PERLND 매개변수 : PART 8]

PERLND No.	SI Units				US Units			
	UELFAC	LELFAC	CEPS	SURS	UELFAC	LELFAC	CEPS	SURS
1	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
2	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
3	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
4	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
5	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
6	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
7	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
8	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
9	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
10	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
11	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
12	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
13	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
14	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
15	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
16	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
17	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
18	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
19	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
20	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
21	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
22	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
23	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
24	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
25	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
26	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
27	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
28	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
29	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
30	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
31	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
32	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
33	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
34	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
35	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
36	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0
37	4	2.5	0	0	4	2.5	0	0

[PERLND 매개변수 : PART 9]

PERLND No.	SI Units					US Units				
	UZS	IFWS	LZS	AGWS	GWVS	UZS	IFWS	LZS	AGWS	GWVS
1	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
2	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
3	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
4	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
5	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
6	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
7	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
8	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
9	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
10	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
11	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
12	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
13	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
14	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
15	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
16	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
17	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
18	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
19	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
20	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
21	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
22	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
23	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
24	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
25	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
26	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
27	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
28	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
29	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
30	0	0	63.5	25.4	0	0	0	2.5000	1	0
31	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
32	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
33	0	0	76.2	25.4	0	0	0	3.0000	1	0
34	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
35	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
36	0	0	106.6	25.4	0	0	0	4.1969	1	0
37	0	0	12.7	0.0	0	0	0	0.5000	0	0

K-LIDM의 불투수면에 대한 유출 계산로직은 HSPF의 IMPLND 모듈을 적용한다. IMPLND 모듈의 매개변수는 기본 UCI파일에 적용되며 아래 보고서에 근거하여 작성되었다. 또한, US 단위로 작성된 매개변수는 SI단위로 변환하여 적용하였다.

Dinicola, R.S. 1990. Characterization and Simulation of Rainfall-Runoff Relations for Headwater Basins in Western King and Snohomish Counties, Washington. Water-Resources Investigations Report 89-4052. U.S. Geological Survey. Tacoma, WA.

Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle Jr, T.H. Jobes, and A.S. Donigan Jr. 2001. Hydrological Simulation Program - Fortran, User's Manual for Version 12. AQUA TERRA Consultants. Mountain View, CA.

#### [IMPLND 모듈 입력 토양 타입]

IMPLND No.	Impervious Surface	Slope
1	Roads	Flat
2	Roads	Moderate
3	Roads	Steep
4	Roofs	Flat
5	Driveways	Flat
6	Driveways	Moderate
7	Driveways	Steep
8	Sidewalks	Flat
9	Sidewalks	Moderate
10	Sidewalks	Steep
11	Parking	Flat
12	Parking	Moderate
13	Parking	Steep
14	Pond	Flat
15	Permeable Pavement	user defined

#### [IMPLND 모듈의 매개변수 정의]

매개변수 (parameter)	의미 (Signification)		단위 (Units)	
	영문	국문	US	SI
LSUR	Length of surface flow path for impervious area	불투수면에 대한 지표흐름 경로의 길이	feet	m
SLSUR	Slope of surface flow path for impervious area	불투수면에 대한 지표흐름 경로의 경사	feet/feet	m/m
NSUR	Surface roughness for impervious area	불투수면적의 지표면 조도	Manning n	Manning n
RETSC	Surface retention storage for impervious area	불투수면적의 표면 저류용량	inches	mm
RETS	Initial surface retention storage for impervious area	불투수면적의 초기 표면 저류용량	inches	mm
SURS	Initial surface runoff for impervious area	불투수면적의 초기 지표면 유출	inches	mm

[IMPLND 매개변수 : PART 1]

IMPLND No.	SI Units			US Units		
	LSUR	SLSUR	NSUR	LSUR	SLSUR	NSUR
1	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1
2	100	0.05	0.1	328.084	0.05	0.1
3	100	0.10	0.1	328.084	0.10	0.1
4	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1
5	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1
6	100	0.05	0.1	328.084	0.05	0.1
7	100	0.10	0.1	328.084	0.10	0.1
8	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1
9	100	0.05	0.1	328.084	0.05	0.1
10	100	0.10	0.1	328.084	0.10	0.1
11	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1
12	100	0.05	0.1	328.084	0.05	0.1
13	100	0.10	0.1	328.084	0.10	0.1
14	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1
15	100	0.01	0.1	328.084	0.01	0.1

[IMPLND 매개변수 : PART 2]

IMPLND No.	SI Units			US Units		
	RETSC	RETS	SURS	RETSC	RETS	SURS
1	2.54	0	0	0.10	0	0
2	2.03	0	0	0.08	0	0
3	2.79	0	0	0.11	0	0
4	2.54	0	0	0.10	0	0
5	2.54	0	0	0.10	0	0
6	2.03	0	0	0.08	0	0
7	2.79	0	0	0.11	0	0
8	2.54	0	0	0.10	0	0
9	2.03	0	0	0.08	0	0
10	2.79	0	0	0.11	0	0
11	2.54	0	0	0.10	0	0
12	2.03	0	0	0.08	0	0
13	2.79	0	0	0.11	0	0
14	2.54	0	0	0.10	0	0
15	2.54	0	0	0.10	0	0

K-LIDM 모형에 적용된 침투관련 매개변수를 정리하여 표로 나타내었다.(Schaap and Leij, 1998) Wilting Point는 흡습점으로 0~1사이의 값을 가지며 K min은 투수계수 최소값 K max는 투수계수 최대값을 나타낸다. VG n은 Van Genuchten 수로 각 토양별로 고유의 숫자가 있으며 BPH는 압력수두이며 A와 L은 상수이다.

## [토양 침투관련 매개변수]

토양형	Wilting Point	K min (cm/hr)	VG n	K sat (cm/hr)	A	L	BPH
GRAVEL	0.005	0.42	10.00	1260.00	0.50	1.190	0.20
Sand	0.020	0.42	3.00	23.56	6.00	0.694	7.26
Gravel Loamy Sand	0.100	0.45	3.50	570.97	4.00	2.500	5.00
Coarse sand	0.0520	0.40	3.16	23.56	6.26	2.162	7.26
Humous loamy mcs	0.0600	0.47	2.35	15.00	6.50	1.348	7.50
Light loamy mcs	0.0600	0.39	2.14	10.00	6.50	1.145	7.50
Medium coarse sand (mcs)	0.0820	0.37	2.96	18.00	6.50	1.959	7.50
Loamy mcs	0.0600	0.30	1.94	9.00	7.00	0.941	8.00
Medium fine sand	0.097	0.35	2.76	11.00	7.00	1.755	8.00
Loamy fine sand	0.060	0.44	1.74	2.18	7.69	0.738	8.69
Loam	0.056	0.50	1.48	1.32	10.15	0.479	11.15
Sandy loam	0.035	0.44	1.45	5.98	7.69	0.553	8.69
Fine sandy loam	0.056	0.50	1.66	1.10	15.00	0.660	16.00
Clay loam	0.088	0.45	1.41	0.20	24.89	0.413	25.89
Sandy clay loam	0.067	0.43	1.32	0.30	27.08	0.318	28.08
Silty clay loam	0.077	0.48	1.51	0.20	31.56	0.514	32.56
Silty clay	0.098	0.51	1.32	0.10	33.19	0.318	34.19
Clay	0.098	0.51	1.32	0.06	33.19	0.318	34.19