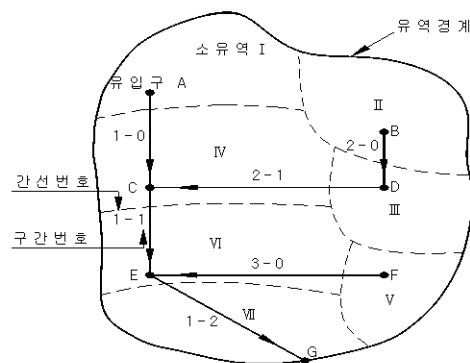


1.1 ILLUDAS 모형

- ILLUDAS(ILLinois Urban Drainage Area Simulator) 모형은 도시구역의 홍수량을 산정하는 모형으로 우수관거시스템을 통한 유출해석 등에 적합하다.
- ILLUDAS 모형은 전체 유역을 우수관거에 직접연결 포장지역, 간접연결 포장지역, 유출에 기여하는 비포장지역, 유출에 기여하지 않는 비포장지역 등으로 구분하여 해석하는 모형으로, 유사한 모형인 RRL(Road Research Laboratory Method) 모형이 단지 우수관거에 직접연결 포장지역만을 고려하는 것에 비하여 합리적이다.
- ILLUDAS 모형을 적용하기 위해서는 먼저 전체 유역을 우수관거의 유입구 또는 우수관거의 합류점을 기준으로 여러 개의 소유역으로 구분한다.

- 소유역의 유출은 하나의 유입구를 통하여 우수관거로 연결되는 것으로 간주하고 소유역별로 포장지역과 비포장지역의 유출량을 각각 계산하여 합성함으로써 소유역별 유출수문곡선을 산정한 다음, 우수관거를 통한 추적 및 합성으로 유역 말단부의 총 유출수문곡선을 산정한다.



<그림> 도시구역의 소유역 구분

가) 소유역별 직접연결 포장지역의 유출

- 직접연결 포장지역을 구분한 후 직접연결 포장지역을 거쳐 소유역의 하류단으로 유입하는데 소요되는 도달시간을 산정한다.
- ILLUDAS 모형에서는 직접연결 포장지역 표면유출(surface flow)의 도달시간은 도로배수구에서는 약 $0.035 \sim 0.070 \text{ m}^3/\text{ha}$ 의 흐름이 있는 것으로 가정하고, Manning 공식을 이용하여 도로배수구의 유속을 구함으로써 산정하는 Hicks 공식(1944)을 적용한다.

$$V_o = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} = \frac{1}{0.02} \cdot 0.06^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$T_c = \frac{60L}{V_o} + 2.0$$

여기서 V_o 는 표면유출의 유속(m/s), n 은 Manning의 조도계수(0.02), R 은 동수반경(0.06m), S 는 무차원 평균경사, T_c 는 도달시간(min), L 은 유로연장(m)이며 도달시간은 최소 2분 이상 고려함을 의미한다.

- 이와 같이 산정된 소유역 및 전체유역 도달시간을 고려하여 적절한 계산 시간간격(Δt)을 결정하며, 시간간격은 강우자료가 허용하는 한 가급적 짧게 결정한다.
- 계산 시간간격 증분별 각 시각에 있어서 출구유출량에 공헌하는 유역면적을 시간의 함수로 표시하는 곡선을 도달시간이 동일한 점들을 연결하는 등시간선(isochrones)을 그린 후 각 도달시간에 해당하는 누가면적을 결정하여 시간-면적곡선을 작성하여야 하며, ILLUDAS에서의 원점과 종점의 선형관계를 사용한다.
- Huff 방법 등을 이용하여 강우강도 형태의 우량주상도를 계산 시간간격별로 작성한 후, 원래 우량주상도에서 초기손실 2.54 mm(0.1 in)를 강우강도로 변환하여 빼어 주어 강우강도 형태의 유효우량주상도를 작성한다.
- 시간-면적곡선과 유효우량주상도를 지체 및 합성 등에 의한 중첩계산에 의해 소유역 출구에 대한 직접연결 포장지역의 유출수문곡선을 작성한다.

$$Q_i = 0.2778 \sum_{j=1}^i A_{i+1-j} I_j$$

여기서 Q_i 는 유입수문곡선의 종거(m^3/s), A_{i+1-j} 는 시간구간별 면적(km^2), I_j 는 강우강도 형태의 유효우량주상도의 종거(mm/hr)이다.

- 참고로 RRL 모형은 직접연결 포장지역만을 고려하므로 여기까지 기술된 내용만으로 분석하게 되며, ILLUDAS 모형과 차이점은 도달시간을 다음과 같이 달리 산정하는 것이다.

$$T_c = 15.12 \frac{L^{0.323}}{I^{0.64} S^{0.448}}$$

여기서 T_c 는 도달시간(min), L 은 유로연장(m), I 는 강우강도(mm/hr), S 는 경사(%)이다.

- 한편, 간접연결 포장지역의 유출은 지표면을 따라서 비포장지역으로 흘러가게 되므로 비포장지역의 유출에서 고려된다.

나) 소유역별 비포장지역의 유출

- 비포장지역의 유출은 직접연결 포장지역의 경우와 비슷하며, 비포장지역을 구분한 후 비포장지역을 거쳐 소유역의 하류단으로 유입하는데 소요되는 도달시간을 산정한다.
- ILLUDAS 모형에서는 비포장지역 표면유출(overland flow)의 도달시간은 다음과 같은 Izzard 공식을 적용한다.

$$T_c = \frac{41.025(0.0007I + C)L_f^{1/3}}{S^{1/3}I^{2/3}}$$

여기서 T_c 는 도달시간(min), I 는 강우강도(in/hr), L_f 은 유로연장(ft), S 는 표면의 무차원 평균경사, C 는 표면의 조도에 따른 저항계수로 ILLUDAS에서는 짧게 깎은 잔디밭에 적용하는 0.046을 채택한다.

- 계산 시간간격 증분별 도달시간이 동일한 점들을 연결하는 등시간선을 그려 시간-면적곡선을 작성하여야 하며, ILLUDAS에서의 원점과 종점의 선형관계를 사용한다.
- Huff 방법 등을 이용하여 강우강도 형태의 우량주상도를 계산 시간간격별로 작성한 다음, 원래 우량주상도에서 간접연결 포장지역(supplemental paved area)의 유출량을 강우강도의 형태로 변환하여 더해 주고, 초기손실 및 침투손실을 강우강도로 변환하여 빼어 주어 강우강도 형태의 유효우량주상도를 작성한다.
- 이와 같이 간접연결 포장지역의 고려는 간접연결 포장지역은 비포장지역에 둘러싸여 있고 간접연결 포장지역의 총유출용적은 비포장지역에 균등하게 배분할 수 있는 것으로 가정하며, 간접연결 포장지역의 강우량을 다음과 같이 비포장지역의 강우량으로 변환하는 것이 가능하게 되고 이를 강우강도 형태로 변환하여 더하는 것으로 처리한다.

$$SPARO(GA) = SPARO(SPA) \times SPA/GA$$

여기서 SPARO(GA)는 변환된 비포장지역(contributing grassed area)의 강우량(mm), SPARO(SPA)는 간접연결 포장지역(supplemental paved area)의 강우량(mm), SPA는 간접연결 포장지역의 면적, GA는 비포장지역의 면적이다.

- 또한, 초기손실은 5.08mm(0.2in)를 강우강도 형태로 변환하고, 침투손실은 다음과 같은 Horton 공식을 적용하여 산정된 침투율(mm/hr)을 강우강도로 취급하여 원래 우량주상도에서 빼어 주는 것으로 처리한다.

$$f = a(S-F)^n + f_c$$

여기서 f 는 임의시각 침투율(mm/hr), a 는 식물인자, S 는 잠재저류량(mm), F 는 누가침투량(mm), n 은 상수(1.4), f_c 는 종기침투율(mm/hr)이다.

- 한편, 미국 토양보존국(SCS)에서는 흙의 수문학적 특성을 고려하여 토양의 종류를 A, B, C, D 등 4종류로 구분하였으며, 다음의 표준침투율 곡선은 토양의 종류별로 시간에 따른 침투율을 산정하기 위한 것으로 Horton의 식에 근거하여 Chow가 제안한 것이다.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

여기서 f 는 임의시각 침투율(mm/hr), f_0 는 초기침투율(mm/hr), f_c 는 종기침투율(mm/hr), k 는 형상계수(ILLUDAS에서는 2.0을 적용), t 는 강우 시작시간으로부터의 시간(hr)이다.

- Horton 표준침투율 곡선에서 초기침투율 및 종기침투율 등은 토양의 종류에 따라 달라지게 되므로 미국 토양보존국(SCS) 기준에 따라 토양의 종류를 결정하여야 하며, 토양의 종류는 침투율이 매우 큰 경우는 A, 침투율이 상당한 경우 B, 침투율이 작은 경우 C, 침투율이 매우 작은 경우 D로 구분한다.
- 또한, Horton의 표준침투율 곡선을 사용함에 있어서 토양의 초기 누가침투량(F_0) 및 잠재저류량(S)이 필요하며 이들은 토양의 종류 및 선행토양함수조건(Antecedent soil Moisture Condition, AMC)에 따라 달라지게 되므로 AMC 조건을 결정하여야 한다.
- 한편, AMC 조건은 토양이 매우 건조한 경우 AMC-1, 건조한 경우 AMC-2, 습윤한 경우 AMC-3, 포화된 경우 AMC-4로 구분한다.
- 시간-면적곡선과 강우강도 형태의 유효우량주상도를 지체 및 합성 등에 의한 중첩계산에 의하여 소유역 출구에 대한 비포장지역의 유출수문곡선을 작성한다.

다) 소유역별 유출수문곡선 작성

- 직접연결 포장지역의 유출수문곡선과 비포장지역의 유출수문곡선을 합성하여 소유역의 유출수문곡선을 작성한다.
- 이와 같은 유출수문곡선을 결국 우수관거 유입구의 유입수문곡선이 되며 우수관거를 통한 홍수추적 과정이 필요하게 된다.

라) 홍수추적

- 우수관거 유입구 유입수문곡선으로부터 다음 우수관거 유출구 유출수문곡선을 산정하는 방법은 저류량-유출량 관계를 사용하는 단순 저류추적(storage routing)에 의한 홍수추적 방법을 사용한다.
- 저류량(S)은 우수관거의 단면형만 알면 수심에 따라 계산될 수 있고 우수관거 유출구에서의 유출량(O)도 수심에 비례한다고 가정할 수 있으므로 저류량과 유출량간의 관계 수립이 가능하며 통상 유출량과 수심간의 관계는 추적구간의 흐름을 등류상태로 가정하고 Manning 공식을 사용한다.
- 이와 같이 저류량(S)-유출량(O)의 관계가 수립되면 S~O Curve를 작성하고 이를 토대로 $S - \frac{1}{2}O\Delta t \sim O$ Curve와 $S + \frac{1}{2}O\Delta t \sim O$ Curve를 작성한다.
- 홍수추적에 필요한 저류방정식을 좌변은 기지값, 우변은 미지값으로 변형한 다음과 같은 식을 사용한다.

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

여기서 $I_1, I_2, O_1, O_2, S_1, S_2$ 은 각각 임의기간 Δt 의 시점과 종점의 유입량, 유출량 및 저류량이며 Δt 는 단위 추적기간이다.

- 식의 좌변은 모두 주어지므로 우변인 $S_2 + \frac{1}{2}O_2\Delta t$ 의 값을 구할 수 있고, $O \sim S + \frac{1}{2}O\Delta t$ 관계에서 O_2 값을 산정하여 첫 번째 추적기간 계산을 완료한다.
- 다음 추적기간은 전 기간의 O_2 가 O_1 이 되고 $O \sim S - \frac{1}{2}O\Delta t$ 관계로부터 $S_1 - \frac{1}{2}O_1\Delta t$ 값을 구하고 유입수문곡선으로부터 얻을 수 있는 $\frac{1}{2}(I_1 + I_2)$ 를 더하여 좌변을 구하면 우변인 $S_2 + \frac{1}{2}O_2\Delta t$ 값이 구해지므로 이 값에 해당하는 O_2 를 $O \sim S + \frac{1}{2}O\Delta t$ 관계에서 구하면 두 번째 추적기간의 유출량이 산정되는 방식으로 축차적으로 계산한다.

마) 유수지 설계

- 유수지(detention pond)는 평소에는 비워두었다가 홍수기에 홍수량을 저류하는 기능을 수행하여 바닥에 방류구를 설치하는 일종의 저수지로 평소에도 최소수위를 유지하며 바닥에 방류구가 없는 저류지(retention pond)와 구분되며, 홍수저감 아울러 우수관거 규모를 축소할 수 있는 역할을 한다.
- ILLUDAS 모형의 유수지 관련 부분은 기존 유수지에 대한 평가(evaluation mode)와 신설 유수지의 설계(design mode)로 구분된다.
- 또한, 기존 우수관거의 특정 지점에서 우수관거의 소통능력(allowable discharge)을 초과하는 누가홍수용적을 계산할 수 있어서 이를 토대로 하도의 저류(off-line) 방식의 기존 유수지에 대한 평가와 신설 유수지 소요용량 계산 등이 가능하다.

바) 임계지속기간 고려한 우수관거 및 유수지 설계

ILLUDAS 모형 적용시 우수관거의 경우에는 첨두홍수량 최대, 유수지의 경우에는 저류용량 최대(첨두방류량 최대)인 강우지속기간인 임계지속기간(critical duration)을 채택하는 방안을 적용하여야 한다.

사) ILLUDAS 모형의 문제점

- 모형이 개발된 이후로 갱신(update)이 되지 않은 오래된 모형으로 사용상의 불편이 많다.
- 실무 적용에서 투수지역, 직접연결 불투수지역, 간접연결 불투수지역 등의 구분에 주관적인 부분이 많다.
- 우수관거를 통한 홍수추적시 유입량이 관거 소통능력을 초과할 경우 월류처리를 하지 못하므로 일정기간동안 첨두유출량이 소통가능 유량으로 일정하게 처리되는 문제점을 지니고 있다.
- 하도내 저류(on-line) 방식의 저류지 모의, 배수영향(backwater effect) 등을 고려하지 못하는 문제점을 지니고 있다.
- 한편, 이와 같은 여러 가지 단점을 지님에도 불구하고 홍수량 산정의 일관성 및 신뢰도 측면에서 나름대로 양호한 결과를 나타내므로 많이 사용되고 있지만 여러 가지 측면에서 갱신(update)이 필요한 모형이다.