

저류지의 규모 및 방류암거의 설계를 위한 간편프로그램 개발

Development of Simplified Computer Program for the Design of Size and Culvert Outlet in Detention Pond

이 재 준* / 안 재 찬** / 김 병 일***

Lee, Jae Joon / Ahn, Jae Chan / Kim, Byung Il

Abstract

Recently runoff reduction facilities such as detention ponds were rarely used and limited primarily to cases. A specific installation criteria and method of design for runoff reduction facilities is insignificant in our country. Also it has difficult problems with quantification. A detention pond being installed at outfalls and generalized in our country is adopted as basic form with infiltration facilities because quantification index for runoff reduction facilities have not been developed. A processing of detention pond design has to determinate storage volume and outlet form is very complex and wasting human resources and time in the planning step. In this study, we have been unified FFC11-SimPOND being able to simply calculate size with simplified design method of culvert outlet and made a computing model (SimPOND-CO) for practical users.

keywords : detention pond design, FFC11-SimPOND, culvert outlet, SimPOND-CO

요 지

현재 저류시설과 같은 유출저감시설은 국내에 적용된 사례가 거의 없고, 구체적인 설치 기준 및 설계 방법에 대한 기준이 미비하며, 저감량을 정량화하는 것이 곤란한 문제점을 지니고 있다. 이에 따라 유출저감시설의 정량화 지표가 개발될 때까지 국내에서 보편화되어 있는 유역출구 저류시설인 저류지를 기본 저감시설의 형식으로 채택하고 추가적으로 침투형 저감시설을 최대한 적용하고 있는 실정이다. 이러한, 저류지의 설계는 저류용량 및 방류시설에 이르기까지 까다로운 절차를 거쳐 제원을 결정하고 있어 계획단계에서는 불필요한 인력 및 시간이 소모되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 기존 FFC11-SimPOND 모형의 저류지 규모결정 과정과 방류암거의 간편설계절차를 일원화하여 계획단계에서 저류지 용량과 방류암거의 설계제원을 손쉽게 산출할 수 있도록 SimPOND-CO 모형을 구축하였다.

핵심용어 : 저류지, FFC11-SimPOND, 방류암거, SimPOND-CO

* 교신저자, 금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail: jhb365@kumoh.ac.kr, Tel: 82-54-478-761)

Corresponding Author, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 61 Daehak-ro, Gumi, Gyeongbuk 730-701, Korea

** 국립재난안전연구원 연구기획과 시설연구사 (e-mail: jcan365@nema.go.kr)

Researcher, Research Planning Dept., National Disaster Management Institute, 136 Mapo-daero, Mapo-gu, Seoul 121-719, Korea

*** ㈜천마기술단 수자원부 이사 (e-mail: matpapa@naver.com)

Director, Water Resources Dept., Chunma Engineering & Consultant CO., 69 Seongnam-daero, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 463-500, Korea

1. 서 론

1990년대에 각종 우수유출 저감시설은 도시화에 따른 침투유출량의 증대와 도달시간의 단축을 완화하기 위해 국외로부터 도입되었다. 현재는 개발로 인해 발생하는 유출량의 증대량을 개발전의 상태로 저감시키기 위해 임시 또는 상시 저류하거나 침투시켜 유역전반의 치수대책으로 활용하고 있는 실정이다. 전국적으로 천여개 가량이 설치되어 있는 저류지는 우수유출 저감시설 중 가장 기본적인 시설로 분류하고 있으며, 계획단계부터 저류지와 같은 시설의 설치가 고려되고 있다. 저류지의 설계 과정은 상류부 유출량을 하류에 부담시키지 않도록 유입수 문곡선에 대한 저류용량을 결정해야하는 홍수조절부의 설계와 저류능력 이상의 유출량에 대해서 암거시설 또는 월류에 의해 방류부의 하천 또는 하도로 방류가 가능하도록 하는 시설인 방류부의 설계로 이루어지며, 각 부분에 대한 제원결정이 필수적이다. 하지만, 기초계획 단계에서는 저류지의 홍수조절부와 방류부 제원을 산정할 때 엄밀한 계산이 반드시 효율적이라고는 할 수 없으며, 최적설계에 필요한 과정은 간단하지 않아 많은 시간과 예산이 소요된다.

저류지에 관한 연구동향을 살펴보면, 국외의 경우 저류지의 규모와 용량에 관해서 David and Bedient (1980)는 호우빈도와 토지이용조건, 저류지 운영법에 따른 저류지의 규모결정에 관한 수학적 해석을 시행하였고, Russell (1980)은 농촌지역에서 개발된 후 도시지역에 대해 수정된 유출추적모형을 저류지 추적에 적용하여 저류지의 형태에 관한 일반적인 결론을 도출하였으며, Guo and Urbonas (1996)는 Runoff Capture Ratio를 이용하여 저류지의 용적에 관한 사항을 연구하였으며, Bohler and Hahn (2005)은 TR-20과 HEC-HMS모형을 이용하여 강우빈도에 따른 저류용적의 변화에 대한 분석을 실시하였다. Hong et al. (2006)은 저류지 계획모형들의 유입 및 유출 수문곡선에 대한 조합으로 최적의 저류지 용적을 산정할 수 있는 방안에 대한 연구를 진행하였으며, Hong (2008)은 단일 방류구를 가진 저류지 설계를 위해 수치해석을 대체하여 저류지의 최대 용적을 간단하게 산출할 수 있는 차트를 제시한 바 있다.

국내의 경우에는 2000년 이전까지는 Lee et al. (1991)의 도시화 영향을 고려한 우수지의 계획모형, Lee et al. (1993)의 우수관거 및 우수지 설계를 위한 임계지속기간, Lee et al. (1995)의 도시유역에서 지체저류시설의 수문학적 설계에 관한 연구가 보고되었을 뿐 아직 미흡한 실정

이었으나, 2000년 이후에 들어서 홍수방재와 환경의 중요성이 부각되면서 활발한 연구가 진행되고 있다. Yoon and Lee (2001)는 저류비의 개념을 이용하여 산정된 저류지 용량과 강우지속기간에 따른 저류지의 최대 용적을 비교·분석하여 저류지 설계시 적정용량 산정 방법을 제안하였다. Kim and Ko (2005)는 합리식을 바탕으로 한 저류지 계획모형을 이용하여 우수저류조 용량 산정에 관한 연구를 수행하였다. Lee and Kim (2008)은 저류지의 위치선정에 따라 유출저감효과를 분석하였으며, Lee and Kwak (2008)은 저류지 설계를 위한 관련변수 해석을 실시하여 저류지를 설계함에 있어서 기존의 많은 제반사항과 저류지 추적을 시행하지 않고 간편한 설계를 할 수 있는 저류지의 간편설계기법을 제시하였다. Jang et al. (2010)은 PondPack 모형을 이용하여 소규모 유역의 홍수유출 모형을 구축하고 강우분석을 통한 확률강우량을 산정하여 저류지 위치와 개수에 따른 저류효과를 비교 분석한 바 있으며, Kim et al. (2011)은 수리실험을 통해 강변저류지의 홍수조절효과를 분석하였고, Choi and Ahn (2011)은 하천의 홍수저감을 목적으로 설치하는 천변저류지의 홍수저감특성을 분석하기 위한 모형을 개발하였다. Kim et al. (2011)은 강변저류지의 설치에 의한 홍수저감효과를 실험을 통해 분석하였고, Ahn (2013)은 off-line 저류지의 대표적인 형태인 강변저류지 월류부에서 월류제 또는 수문 형식에 따른 홍수저감효과를 개략적으로 연구한 바 있으며, Cho et al. (2014)은 신규로 도입된 여주 강변저류지를 대상으로 1차원 및 2차원 수치모의를 수행하여 대하천에서의 강변저류지에 의한 홍수위 저감효과를 분석하였다.

저류지 방류시설로 활용되는 암거에 관한 연구동향을 살펴보면 Yu and Um (2001)은 암거흐름이 지형 및 수리조건에 따라 복잡하고 다양한 흐름특성을 나타내고 있으며, 이로 인해 암거설계는 주로 도표를 이용한 설계방식을 채택하고 있는 실정으로, 그 이유를 암거 입구부에서의 수심을 산정하여야 하는 어려움과 복잡한 흐름특성 때문으로 분석하고, 암거 입구부에서의 수심을 Bernoulli's Equation을 이용하여 암거설계기준식으로 개발하였으며, Lee and Jin (2003)은 사각형 암거 설계 프로그램을 개발하고 그 적용성을 검토하였고, Ku and Jun (2008)은 암거는 수리학적으로 짧기 때문에 암거 흐름에서 등류수심이 발생하지 않을 가능성이 높다고 보고 이에 부등류(점변류)해석을 이용하여 암거의 흐름 해석을 하였다. Jang and Lee (2011)은 저류지 방류에 적합한 암거설계기법을 개발하기 위하여 암거흐름 분류 중 암거상류부 수위가 잠수된 조건하에서 암거흐름을 모의 분석하여 저류지 방류

암거의 간편설계기법을 제시하였고, Yun and Cho (2011)은 저류지의 방류시설은 아니지만 천변저류지와 같은 off-line 저류지의 유입부에 설치되는 횡월류 weir의 유량 계수에 관한 연구를 수행한바 있다.

국외의 경우 경험적 반복과정에 의한 암거설계의 불편함을 해소하고자 Dasika (1995)는 원형 암거 흐름을 개수로 흐름과 압력관로 흐름 두 가지 단계로 구분하여 각각에 대하여 실험 자료를 바탕으로 단일 회귀식을 제안하였으며, Hager and Giudice (1998)는 암거 입구부에서의 흐름상태가 사류이며, 사류가 발생한 다음 바로 도수가 발생한다는 것을 실험에 의하여 관찰하였다. 또한 현재 국내에서 사용되는 암거설계는 The Korea Expressway Corporation (1991)에서 발표한 “도로배수계획”을 이용하고 있으며, 이는 U.S Federal Highway Administration (1985)에서 발표한 설계기법을 그대로 인용하고 있다. 즉, 지형 또는 현장 여건에 따라 암거 흐름의 8형식 중 하나의 형식으로 결정하고, 그 형식에 따라 관련도표를 이용한 시산법 또는 도식해법을 적용하여 유입부 상류수위를 산정함으로써 암거설계가 이루어진다.

본 연구에서는 Lee and Kwak (2008)이 제시한 저류지 홍수조절부의 규모결정을 간편하게 시행할 수 있는 FFC11-SimpPOND 모형과 저류지 암거방류시설의 설계를 위해 암거흐름 형식 중 저류지의 상황에 적합한 방식을 채택하여 제반변수들간의 상호관계를 해석하여 제시한 Jang and Lee (2011)의 저류지 방류암거의 간편설계기법을 일원화하여 저류지 전반의 설계제원을 결정할 수 있는 하나의 과정으로 통합하였으며, 사용자의 편의를 위해 모형을 통하여 SimPOND-CO 모형을 구축하였다.

2. 일반적인 저류지 설계 절차(National Emergency Management Agency (2005); Practice Guideline of Disaster Impact Assessment)

National Emergency Management Agency (2005)의 재해영향평가 실무지침서의 일반적인 저류지 설계 절차에서는 홍수유출량 저감시설의 형식을 저류형과 침투형으로 구분하고 있으며, 저류형 저감시설은 도시구역에서 유출되는 우수를 일정시설에 일시적으로 저장하여 홍수가 지난 후 조금씩 하류측으로 방류하는 시설이며, 침투형 저감시설은 우수가 지표면을 흐르거나 우·배수로를 통해 흐르는 과정에서 지하로 스며들게 하는 시설이다. 저류형 저감시설은 유역내 운동장, 주차장 등을 저류공간으로 활용하여 지표면 흐름상태의 유출수를 일시 저류시키는 방식인 현지저류(on-site)와 유역출구에 설치되는 침사지 또는 저류지 등에 유출수를 저류시키는 방식인 유역출구 저류(off-site)로 구분된다. 하도내 저류(on-line) 방식은 하천노선상에 저류지를 설치하여 모든 규모의 하천유량을 저류지로 유입시킨 후 비조절방식으로 자연방류시킴으로써 침투홍수량을 감소시키고 침투발생시간을 지연시키는 방식인 반면, 하도의 저류(off-line) 방식은 하천노선의 주변에 저류지를 설치하여 개발 후 홍수량이 개발전 침투홍수량 이하인 경우의 하천유량은 그대로 유하시키고, 개발전 침투홍수량의 초과분을 횡월류 weir를 통하여 저류지로 유입시킨 후 하류부 하천의 홍수위가 저하되면 방류하는 방식이다(Fig. 1).

2.1 하도내 저류(on-line) 방식의 저류지 설계

하도내 저류(on-line) 방식의 영구저류지 제원 결정은

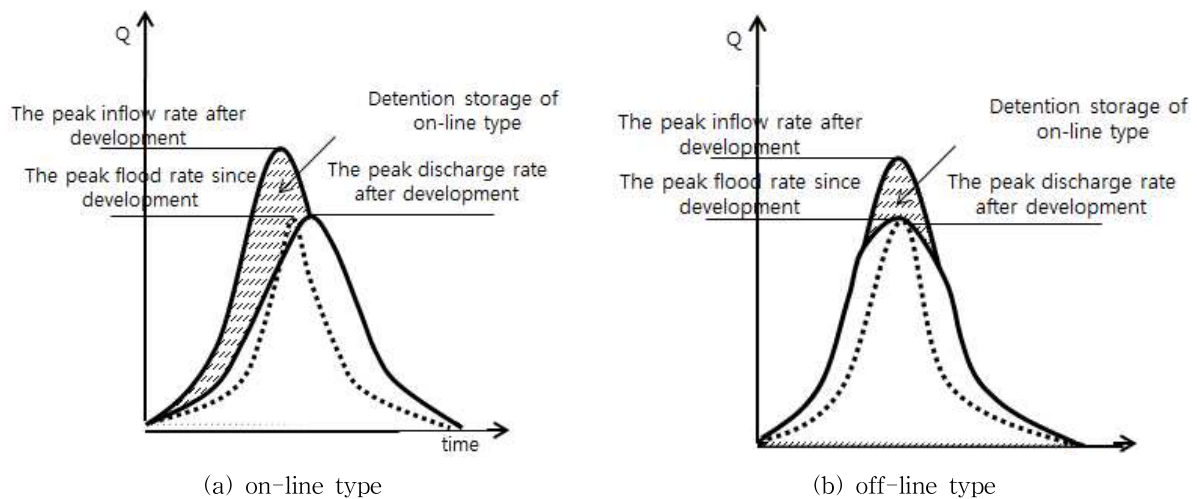


Fig. 1. Kinds of Flood Control by Permanent Detention Pond

방류구의 하류단을 토사조절부의 상단으로 하는 침사지의 홍수조절부 제원 결정 과정과 동일하다. 영구저류지의 방류구 위치, 형식 및 규모는 하류수위(tailwater)에 의한 잠류영향을 고려하여 결정하여야 하며, 수위별 방류능력 산정시에 잠류영향을 고려하여야 한다. 이와 같은 잠류영향은 시행착오법을 적용하여야 하므로 잠류의 영향을 고려하지 않은 상태에서 채택된 임계지속기간에 대하여만 고려하도록 한다. 하류부 영향 검토에서 저감효과가 완벽한 것으로 확인하여야 하며, 추가적으로 저감효과가 계획 빈도는 물론 그 이하의 빈도에 대하여도 모두 만족되도록 하는 조건을 최대한 고려하여야 한다. 한편, 방류시설의 높이가 D 인 사각형 형태의 유입구를 가진 orifice인 경우 저류지 수위에서 orifice 바닥까지의 수두가 $1.2D$ 이하 구간에는 weir공식을 적용하고, $1.2D \sim 1.8D$ 구간에는 weir 공식과 orifice 공식의 선형보간치를 적용하고 $1.8D$ 이상 구간에는 orifice 공식을 적용하여 방류량을 계산한다. 침사지점 저류지의 규모와 방류시설의 규모는 반비례 관계를 가지며, 홍수조절 겸용인 침사지점 저류지의 용량 결정 시에는 침사지점 저류지의 용량이 최대가 되는 강우지속기간인 임계지속기간(critical duration)을 적용하여야 하므로, 시행착오법으로 방류 구조물의 최적 조합을 채택하여야 한다. 구체적으로는 여러 가지 방류시설 규모 및 개수의 조합에 대하여 모든 강우지속기간에 대하여 저수지 추적을 실시하여 침투방류량이 개발 전 계획홍수량을 초과하지 않는 조건과 침사지점 저류지의 총 깊이가 3.0m 를 초과하지 않는 조건을 동시에 만족하면서 침사지점 저류지의 용량이 최대가 되는 최적 조합을 채택하여야 한다.

홍수조절부의 용량은 먼저 토사조절부의 수면적을 가정하고 이에 따른 토사조절부의 높이를 결정한 다음, 침사지점 저류지의 나머지 공간을 활용한 저수지추적을 실시한 후 토사조절부 및 홍수조절부의 최적조합을 채택하게 된다. 저수지추적은 저수지로 들어오는 유입수문곡선을 저수지에서 나가는 유출수문곡선으로 전환하는 절차이며, 구체적인 추적 방법은 다음과 같은 저류차분 방정식을 이용하는 Puls 방법 또는 수정 Puls 방법 등을 이용하여 수행한다.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

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

여기서, I_1 와 I_2 는 시간 Δt 의 시점 및 종점에 있어서 유입량(m^3/s), O_1 와 O_2 는 시간 Δt 의 시점 및 종점에 있어서

방류량(m^3/s), S_1 와 S_2 는 시간 Δt 의 시점 및 종점에 있어서 저류량(m^3)이다.

저수지추적에는 수위-면적-저류량 관계곡선 및 수위-방류량 관계곡선 등의 자료가 필요하게 되며, 실제 저수지추적에서는 저류량-방류량 관계곡선 형태로 사용된다. 수위-면적-저류량 관계곡선은 가정한 토사조절부의 소요 수면적(폭 및 길이 결정)과 사면경사(수직 1 : 수평 2 이상)를 적용하고 평균단면적법으로 작성한다. 수위-방류량 관계곡선은 방류시설의 종류에 따라 적용 방법이 달라지며, 방류시설로 많이 사용되는 연직관의 에너지손실을 나타내면 Fig. 2와 같다.

또한, 연직관의 흐름조건은 Fig. 3과 같이 weir흐름, 오리피스흐름, 관수로흐름(자유낙하), 관수로흐름(하류통제) 등으로 구분된다.

연직관의 수위-방류량 관계곡선은 다음과 같은 weir, orifice, pipe 공식 등을 이용하여 Fig. 4와 같이 작성한 후, 수위별로 방류량이 가장 작은 흐름조건을 선택하여 결정하게 된다.

$$\text{weir} : Q = C_w L_w H^{3/2} \quad (3)$$

$$\text{orifice} : Q = C_o A_o \sqrt{2gH} \quad (4)$$

$$\text{pipe} : Q = \frac{A_p \sqrt{2gH'}}{\sqrt{K_e + K_b + K_f + K_o}} \quad (5)$$

여기서, Q 는 방류량(m^3/s), C_w 는 weir 유량계수($1.7 \sim 1.8$), L_w 는 weir길이로 연직관로의 윤변(m), H 는 저수지수위에서 연직관상단까지 깊이로 weir의 수두(m) 또는 오리피스의 수두(m), C_o 는 오리피스 유량계수(0.6), A_o 는 오리피스 단면적으로 연직관로의 단면적(m^2), g 는 중력가속도(9.8 m/s^2), H' 는 저수지수위에서 수평관로의 유출부 중심선($0.6D$)까지의 수두(m), 하류통제를 받는 경우에는 하류부 수위까지의 수두(m), A_p 는 관수로 단면적으로 수평관로

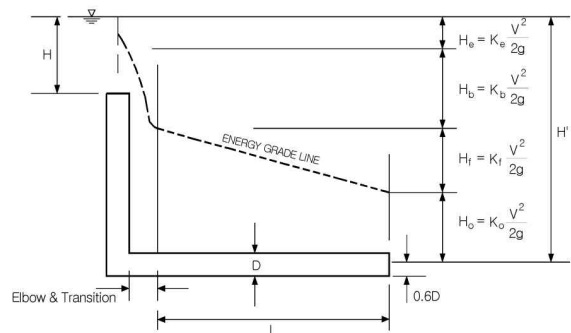


Fig. 2. Energy Loss of Perforated Riser Pipe

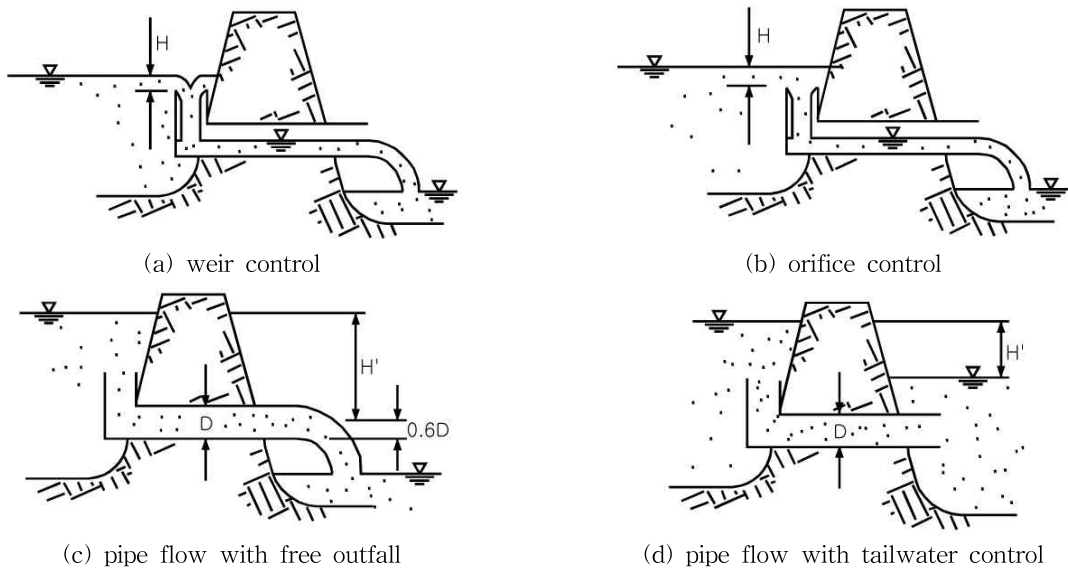


Fig. 3. Flow Case of Perforated Riser Pipe

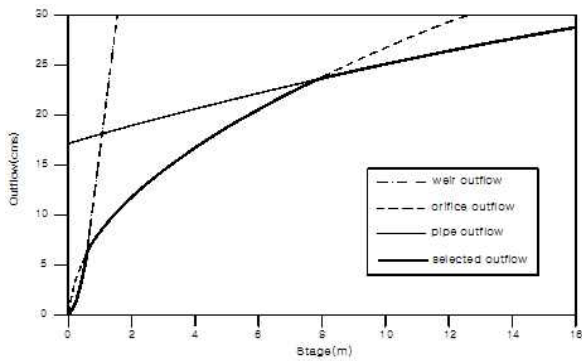


Fig. 4. Stage-Outlet Relation Curve of Perforated Riser Pipe

의 단면적(m^2), K_e 는 유입부 손실계수(0.5), K_b 는 만곡부 손실계수(콘크리트관 0.15, 주름관 0.5), K_f 는 마찰 손실계수(원형관 $124.5n^2L/D^{4/3}$, n 은 Manning의 조도계수(콘크리트관 0.014, 주름관 0.025), L 은 수평관로 길이(m), D 는 수평관로의 직경(m), K_o 는 유출부 손실계수(1.0)이다.

하도내 저류(on-line) 방식의 경우 하천도 저류지의 일부로 사용하게 되므로 저류지의 소요면적 산정시에는 하천을 포함한 경우와 하천을 제외한 경우로 구분하여 나타내어야 하고, 소요면적에는 둑마루폭의 면적을 포함하여 산정하여야 한다. 또한, 영구저류지의 제원은 표의 형태로 제시하고, 평면도, 단면도, 배치도 등의 기본도면을 제시하여야 한다.

2.2 하도의 저류(off-line) 방식의 저류지 설계

하도의 저류(off-line) 방식은 홍수기에 대한 저수지추

적을 실시하여 월류수두가 저류지의 여유고(통상 0.6m 이상)를 초과하지 않는 조건이 만족되도록 결정하여야 한다. 영구저류지의 폭과 길이 비는 1:3 이상, 사면경사는 1:2 이상이 되도록 하며, 환경친화적이고 다목적 이용이 가능한 영구저류지가 되도록 계획하여야 한다. 하도의 저류(off-line) 방식의 영구저류지는 일반적으로 비홍수기에는 하류로 그대로 유하시키고, 홍수기에는 개발사업으로 인하여 증가된 홍수량 부분을 횡월류 weir를 통하여 저류지로 유입시켜 저감시키는 형식이다. 유입부 단면을 적절히 가정한 후 유역출구 및 사업지구 하류부의 침투홍수량이 개발전 이하로 되는 조건을 만족시키며, 저류용량이 최대가 되는 지속기간에 해당하는 월류총량을 기준으로 유입부 단면 및 필요저류용량의 조합을 결정한다.

횡월류 weir의 마루고 결정 및 유량에 따른 수위를 산정하기 위하여 저류지의 월류부 하도에 대한 수위-유량 관계를 부등류 계산 모형 등을 이용하여 산정하여야 한다. 이때, 기점 홍수위는 본류합류점의 계획홍수위를 채택함을 원칙으로 하되 본류합류점의 거리가 멀 경우에는 경사면적비교에 의한 등류수심을 적용할 수 있다. 횡월류 weir 마루고 결정시 설계빈도인 50년 빈도의 홍수량만을 저감할 경우 30년 빈도, 10년 빈도 등의 하위 빈도에서는 개발사업의 시행으로 인한 홍수량의 증가분이 하류부에 영향을 미칠 수 있으므로, 횡월류 weir의 마루고를 개발전의 10년 빈도 홍수위보다 약간 낮게 결정하여 10년 빈도에서도 저류지의 저감효과가 발휘될 수 있도록 계획하여야 한다. 영구저류지의 유입부는 높은 빈도에서 월류량이 과다하게 산정되어 저류지의 규모가 과다하게 설계되

는 것을 방지하기 위하여 횡월류 weir는 사각형 박스 형태를 채택하고, 수위가 낮을 경우의 횡월류 weir 형태의 흐름 및 수위가 높을 경우의 자유오리피스 형태의 흐름의 유량은 다음과 같은 공식을 적용한다.

횡월류 weir 흐름(De Marchi 공식) :

$$q = \frac{2\sqrt{2g}}{3} \mu (H-w)^{3/2} \quad (6)$$

$$\text{자유오리피스 흐름} : q = \frac{2\sqrt{2g}}{3} C (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad (7)$$

여기서, q 는 단위폭당 최대월류량($m^3/s/m$), μ 및 C 는 각각 횡월류 weir 및 오리피스 공식의 유량계수, H 는 수심(m), H_1 은 유입구 하단으로부터의 수두(m), H_2 는 유입구 상단으로부터의 수두, w 는 weir의 높이(m)이다.

횡월류 weir 형태의 흐름일 경우 De Marchi 공식에서는 유량계수 μ 를 0.623로 추천하고 있으나 아직 검증된 바 없으므로 사용에 신중을 기하여야 하며, 자유오리피스 형태의 흐름일 경우 수심에 따라 유량계수를 달리 산정하여 적용하여야 한다. 최종 유입부 단면 및 계획저류용량 결정시에는 횡월류 weir의 마루고, 폭 및 높이 등의 제원을 가정한 다음 강우지속기간별로 저류지로 유입량과 직접 방류량 수문곡선을 산정한 후, 저류지가 갖추어야 하는 각종 조건을 만족시키면서 저류지 규모를 최대로 하는 임계지속기간을 채택하여야 한다. 하류부 영향 검토에서 저감효과가 완벽한 것으로 확인하여야 하며, 추가적으로 저감효과가 계획빈도는 물론 그 이하의 빈도에 대하여도 모두 만족되도록 하는 조건을 최대한 고려하여야 한다. 이와 같이 결정된 계획월류량 및 횡월류 weir의 제원과 개발후 50년 빈도 홍수수문곡선을 이용하여 저류지로 월류하는 월류총량을 산정할 수 있으며, 강우지속기간별 월류총량의 산정을 통한 임계지속기간을 결정하여야 한다. 월류총량이 최대가 되는 임계지속기간의 하도외 저류(off-line) 방식 저류지의 저류용량 산정 및 저감효과를 나타내기 위한 유입부 직상류 및 직하류의 홍수수문곡선을 제시하여야 한다. 하도외 저류(off-line) 방식의 경우 영구저류지의 유입부 직상류 홍수수문곡선에서 저류지로 유입되지 않고 바로 하류로 유하되는 유입부 직하류 홍수수문곡선의 차이가 저류지의 계획 월류총량이며 여기에 충분한 여유를 두어 계획저류용량을 산정하게 된다. 또한, 유입부 직하류 홍수수문곡선은 전체 구간에 걸쳐 개발전 첨두홍수량 이하이며 곡선 형태로 나타내게 된다. 이와 같은 방식을 적용할 경우에는 하도외 저류(off-line) 방식의 영구저류지의 규모를 유입부 직상류 홍수수문곡선에

서 개발전 첨두홍수량을 기준으로 수평으로 그은 선의 상부 부분만을 저류용량으로 산정하는 개략적인 방식에 비해 상당히 크게 산정되게 된다. 최종 계획저류용량은 임계지속기간의 계획 월류총량에 저류지가 설치될 현장여건과 저류용량의 여유를 충분히 감안하여 결정하여야 한다. 또한, 저류지면적은 마루고수면적에 제방 등마루쪽의 여유 등을 고려한 면적으로 하여야 한다. 영구저류지의 사면경사는 1:2 이상이 되도록 하며, 환경친화적이고 다목적 이용이 가능한 저류지가 되도록 계획하여야 한다. 방류부는 주로 유지관리가 용이하도록 일정 경사를 두어 자연유하가 가능한 방류관으로 계획하고, 유출부 하도에서 역류가 발생하지 않도록 유출부 말단부에 자동수문(flap gate)이 설치된 오리피스 형식으로 계획하여야 한다. 이는 연속호우에 대비하여 24시간 내에 전체 저류량을 방류하는 것으로 가정하여 방류부 수위의 하강시간을 12시간, 저류지 배제시간을 12시간으로 고려한 것이며 방류부의 최소 규모를 결정하는 기준이 된다. 방류시간은 12시간을 넘지 않는 조건으로 방류관의 단면을 결정하여야 한다.

3. 저류지 간편설계절차

3.1 저류지 간편설계절차의 적용 조건 및 가정사항

국내 저류지의 설계강우 임계지속기간은 대체로 40~230분 정도로 나타나고 있으며, 도시구역에서 첨두유량 발생시간은 대략 2시간 이내에 있으므로 저류지의 유입수문곡선은 첨두유량발생 시간(t_p)은 2시간, 기저시간(T_b)은 $3t_p$ 로 설정하여 6시간으로 그려지는 Fig. 5와 같은 삼각형 수문곡선형태로 가정하고 유입첨두유량은 2000년 이래로 수행된 재해영향평가서와 사전재해영향성검토협의의 유

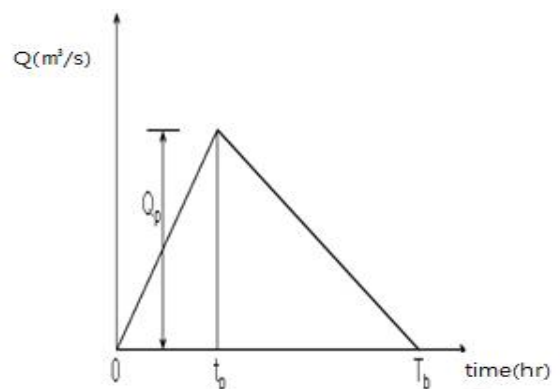


Fig. 5. Inflow Hydrograph for Development of Simplified Design Method

입침두유량의 범위 3.62~114.8 m³/s 중 3~60 m³/s의 범위의 값을 사용하였다. 나머지 모의 매개변수는 도로배수계획(The Korea Expressway Corporation, 1991)과 하천설계기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2009) 등에 따라 설정하였다. 저류지 제원의 경우 National Emergency Management Agency (2005)의 “재해영향평가 실무지침서” 상의 영구저류지 설계기준을 따라 Fig. 6과 같이 사면경사가 1:2인 사다리꼴로 가정하였으며, 방류구의 위치는 Sewerage Design Standard (2011)에서 명시하고 있는 퇴사위 0.3m 이상을 기준으로 택하여 저류지 바닥면에서 0.3m에 위치하는 것으로 결정하였다. 저류지 제방의 둑마루 폭은 하천설계기준(Korea Water Resources Association, 2009)에 따라 4m(계획홍수량 200 m³/s 미만)로 하고, 제방의 여유고는 0.6m로 하였으며, 저류지 제방고와 암거길이는

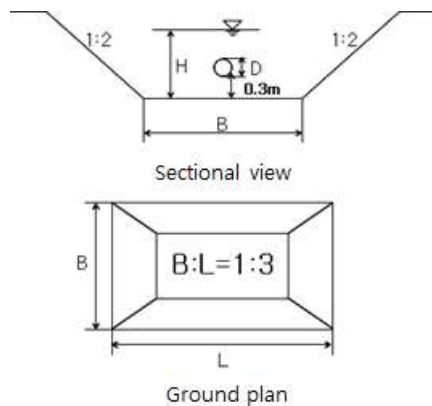


Fig. 6. Cross Section and Plane Figure of Detention Pond

는 둑마루 폭 4m와 사면경사 1:2의 관계를 고려했을 때, 암거길이를 30m로 하면, 저류지 제방고를 6.5m로 가정할 수 있었다. 또한 저류지의 허용 상류부 수위는 6.5m의 저류지 제방고에서 여유고 0.6m를 뺀 5.9m로 결정하였다. 암거흐름 분류 8가지 중 평상시 저류지가 일정수위 이상의 저류량을 유지하고 있는 것으로 가정하고 즉, 암거 상류부가 잠수된 조건하에서 암거의 통제단면은 따로 구분하지 않고 저류지 방류암거의 흐름을 가정하였다. Table 1은 본 연구에서 저류지의 규모 및 암류암거의 설계를 위한 간편기법의 기본조건과 가정사항으로 각 변수들의 활용범위를 나타낸 것이다.

3.2 저류지 용량결정 및 암류방거시설의 간편설계 절차

저류지의 유입침두유량에 대한 저류지 침두방류량의 비인 침두유량비 α 와 저류지의 저류비 S_r , 저류지의 방류구조물 직경 D 와 저류지의 최대허용수심 H_{max} , 저류지 구형 바닥면적 A' 과 저류지의 제형바닥면적 A 및 보정제형 바닥면적 A_c 를 이용하여 홍수조절부의 저류지의 규모를 결정하고 방류부의 암거의 설계는 암거유형을 원형 콘크리트관, 입구부 형상은 경사를 준 형태로 가정하였으므로 암거경사와 암거길이는 고려하지 않는 것으로 하였다. 따라서 암거 상류부 수위에 직접적인 영향을 미치는 설계유량, 암거직경과 개수 그리고 하류부 수위의 종합적인 관계를 분석한 방류구 암거의 단면적 A_{cw} 와 상류부 수위 HW , 방류암거의 중앙부 수심 d_{mid} 를 이용하여 Table 2와 같이 관련 변수들의 관계식에 의해 저류지의 규모 및 방류암거의 설계에 대한 간편기법을 제시하고자 한다.

Table. 1. Available Range of Parameters

Parameters	Available Range	Remarks
Type of Detention Pond	On-line	-
Design Flow (m ³ /s)	3~60	Disaster Impact Assessment
Culvert Diameter (mm)	800~2,000	Minimum Diameter more than 1,000 mm (Inevitably 800 mm), Road Drainage Design (Korea Expressway Corporation, 1991)
Culvert Slope (%)	5~20	Natural slope, but not smoother than 0.5%, Road Drainage Design (Korea Expressway Corporation, 1991)
Tailwater Depth (m)	0~4	Considering the Height of Levee
Culvert Length (m)	15~60	Considering the Width of Levee Crest and Side Slope. (River Design Criteria, 2005)
Height of Levee (m)	6.5	
Roughness Coefficient	0.013	Concrete Pipe
Inlet Loss Coefficient	0.5	Bevel Type
Culvert Shapes and Materials	-	Circular / Concrete
Number of Culverts	1~10	-

Table 2. Related Equation for Design of Detention Pond

Section	Related Equation
Storage Volume of Detention Pond	$S_r = 16.177\alpha^2 - 32.168\alpha + 16.031$
	$D = -0.0007Q_{op}^2 + 0.0933Q_{op} + 1.0973$
	$H_{max} = 0.9452D + 0.4899$
	$Q_{op} = 4.8500H_{max}^2 - 10.6000H_{max} + 7.1476$
	$A = 0.3983A' + 556.4100$
	$revision\ area\ ratio = 2.0000E - 08A^2 - 0.0002A + 1.0086$
Culvert Outlet of Detention Pond	$A_{cv} = 0.243Q_{op} + 0.908$
	$HW = 1.418A_{cv}^{0.306}$
	$d_{mid} = -1.01 - 0.192Q_{op} + 0.781A_{cv} + 0.445HW$

저류지 및 방류암거에 대한 관련 인자들의 관계식을 이용한 저류지 규모 및 방류암거의 설계를 위한 간편절차는 다음과 같다.

- Step 1: 대상지역의 강우-유출해석을 실시하여 개발후 유입침투유량과 유출총량(Q_a) 및 개발전 유입침투유량을 결정한 후 저류지 설계를 시작한다.
- Step 2: 저류지 개발전 유입침투유량(침투방류량)과 저류지 개발후 유입침투유량을 이용하여 침투유량비 α 를 구한다. 단, 저류용량이 주어진 경우 다음단계를 진행한다.
- Step 3: 산정된 α 에 대한 저류비 S_r 을 관계식을 이용하여 구한다.
- Step 4: 저류지 저류용량 V_s 를 다음 식에 의해 저류비 S_r 과 유입총량 Q_a 의 곱으로 산정한다.

$$V_s = S_r \times Q_a \quad (8)$$

- Step 5: 개발전 유입침투유량(침투방류량) Q_{op} 에 대한 방류구 직경 D 를 관계식을 이용하여 가정한다.
- Step 6: 가정된 방류구 직경 D 에 대한 저류지 최대 허용수심 H_{max} 를 관계식을 이용하여 구한다.
- Step 7: Step 6에서 산정된 저류지 최대 허용수심 H_{max} 에 대한 개발전 유입침투유량(침투방류량) Q_{op} 를 관계식을 이용하여 구한다.
- Step 8: Step 7에서 구해진 침투방류량 Q_{op} 가 Step 1의 개발전 유입침투유량 Q_{op} 보다 작으면 다음 단계로 넘어가고, 그렇지 않으면 Step 5로 돌아가서 방류구 직경 D 를 이전단계보다 작게 재가정하여 진행한다.
- Step 9: 저류지 구형바닥면적 A' 을 다음식과 같이 저류지 최대 허용수심 H_{max} 에 대한 저류지 저류용

량 V_s 의 비로 구한다.

$$A' = V_s / H_{max} \quad (9)$$

- Step 10: 저류지 구형바닥면적 A' 에 해당하는 저류지 제형바닥면적 A 를 관계식을 이용하여 산정한다.
- Step 11: Step 10에서 산정된 저류지 제형바닥면적 A 를 이용하여 보정면적비를 관계식을 이용하여 구하고 revision area ratio를 곱하여 저류지 보정 제형 바닥면적 A_c 를 결정한다.
- Step 12: 보정제형 저류지 바닥면적 A_c 와 저류지 최대 허용수심 H_{max} 를 이용하여 저류지 저류용량 V_{sc} 를 산정한 후 Step 4에서 구한 저류용량 V_s 와 비교하여 허용오차이내에 들면 저류지 용량 결정을 완료하고, 그렇지 않으면 Step 5로 되돌아가서 진행한다.
- Step 13: 저류지 침투방류량 Q_{op} 에 대한 방류암거 내 경사 (S_o)를 결정한다.
- Step 14: 저류지 침투방류량 Q_{op} 에 대한 방류암거의 단면적(A_{cv})을 가정하고, 가정 단면적에 대한 초기 상류부 수위(HW)를 구한다.

$$A = 0.243Q + 0.908 \quad (10)$$

$$HW = 1.418A^{0.306} \quad (11)$$

- Step 15: Eq. (11)에 의해 산정된 단면적과 저류지 용량 결정의 방류구 직경 D 로 방류암거의 개수(n)를 가정하고, n 에 해당하는 단면적 A'_{cv} 을 구한다.
- Step 16: Step 15에서 산정된 A'_{cv} 을 이용하여 Eq. (3)에 의해 HW' 을 구하고, Step 2에서 산정한 HW 와 비교한다.

HW 와 HW' 의 차이가 60 cm 이하 : (OK) → Step 17.

HW 와 HW' 의 차이가 60 cm 이상 : (NG) → Step 15에서 D , n 을 다시 가정한다.

Step 17: HW' 과 허용 상류부 수위 HW'_a 를 비교한다. 허용 상류부 수위 $HW'_a = \text{저류지 제방고} - \text{여유고}$
 $HW'_a > HW'$: (OK) → 허용 상류부 수위를 만족하므로 Step 18로 이동
 $HW'_a < HW'$: (OK) → 허용 상류부 수위를 초과하게 됨으로 방류시설의 규모를 증대시키기 위하여 Step 15로 이동

Step 18: 하류단 수위 TW 와 방류구 직경 D 와 저류지 퇴사위 높이 h 를 확인한다.
 $TW > D+h$: 만관 흐름상태 이므로 연속방정식을 이용하여 통수능력 Q_{op} 산정 → Step 19의 ①로 이동
 $TW \leq D+h$: 만관 흐름상태가 아니므로 수리특성곡선을 이용하여 통수능력 Q_{op} 산정 → Step 19의 ②로 이동

Step 19: ① 통수유량(Q_{op}) > 침투방류량(Q_{op}),
 $HW'_a \geq HW' + TW - (D+h)$: (OK) → Step 20으로 이동
 통수유량(Q_{op}) < 침투방류량(Q_{op}),
 $HW'_a < HW' + TW - (D+h)$: (NG) → Step 17로 이동

Step 19: ② 통수유량(Q_{op}) > 침투방류량(Q_{op}): (OK) → Step 20으로 이동
 통수유량(Q_{op}) < 침투방류량(Q_{op}): (NG) → Step 17로 이동

Step 20: 암거의 통수능력이 침투방류량(Q_{op})을 상회하므로 암거제원이 만족된다고 볼 수 있으므로 Step 17에서 가정한 암거직경(D)과 개수(n)로 설계제원을 결정한다.

3.3 SimPOND-CO 모형

본 연구에서는 사용자의 편의를 위해 기존의 C++ 코드 기반으로 저류지의 규모결정이 가능한 FFC11-SimPOND 모형에 방류암거의 간편설계절차를 추가하여 C# 코드로 구성된 SimPOND-CO 모형을 구축하였다. SimPOND-CO 모형의 입력변수는 FFC11-SimPOND 모형의 입력변수인 개발전 침투유입량, 개발후 침투유입량, 개발후

유입총량에 방류암거에 대한 입력변수인 퇴사위와 허용 상류단 수위, 하류단 수위, 바닥 표고, 마루 표고, 방류부 길이를 기본 입력변수로 설정하고 있으며, 산정결과는 재해영향평가 실무지침서의 침사지점 저류지의 제원에 관련된 표와 영구저류지 및 부속시설물의 설계제원에 대해 작성하는 표의 항목을 고려하여 바닥 표고, 홍수위 표고, 마루 표고, 총 깊이, 저류용량, 저류지 면적, 사면 경사, 방류구 직경, 방류부 길이, 방류구 유입부 표고, 방류구 유출부 표고를 포함하도록 설정하였다. Fig. 7은 SimPOND-CO 모형의 기본화면이며 기본화면은 변수의 입력부분과 결과의 출력부분으로 구분되었다. Fig. 8은 SimPOND-CO 모형을 구동한 결과를 나타낸 것으로 one-click 방식의 간단한 절차로 이루어지는 것을 알 수 있다.

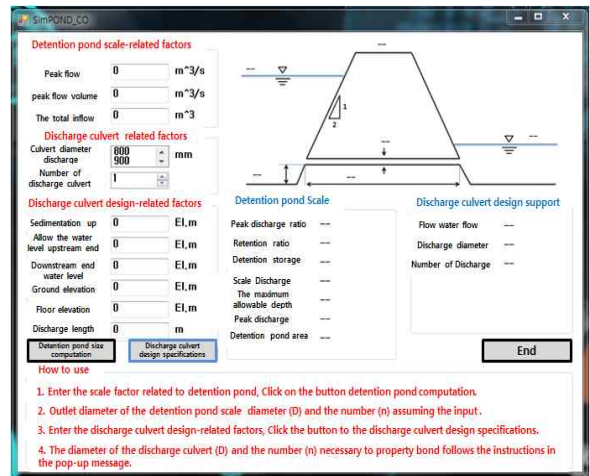


Fig. 7. Main GUI of SimPOND-CO Model

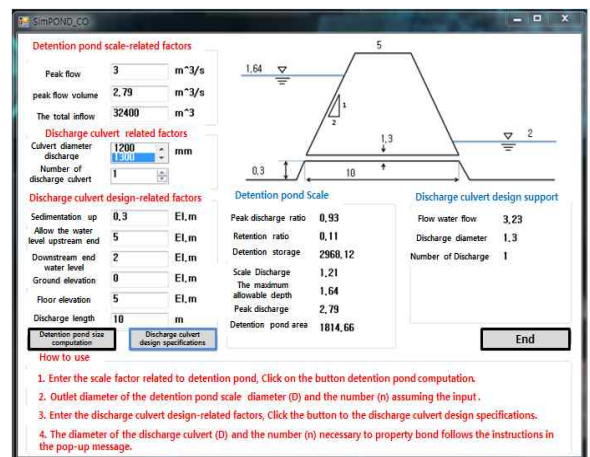


Fig. 8. Result Screen Example of SimPOND-CO Model

3.4 저류지 설계절차의 비교

소방방재청의 재해영향평가 실무지침서 개정의 저류지 설계에 대한 일반적인 절차를 요약하여 도식화하면 Fig. 9와 같은 흐름에 의해 설계가 이루어진다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 일반적인 저류지의 설계 절차는 관련변수들에 의한 정밀한 산정이 가능한 장점이 있으나, 저류방식에 따라 설계절차가 on-line 방식과 off-line 방식으로 구분되며, on-line 저류지의 설계절차는 비교적 간략한 과정으로 구성되어 있지만 저수지 추적과정에서 저류지의 제

원이 최적의 조건을 만족할 때까지 시행해야하는 번거로움 단점이 있으며, off-line 저류지의 경우 설계절차 자체가 까다롭게 구성되어 있는 단점을 가지고 있다.

Fig. 10은 본 연구에서 개발한 SimPOND-CO 모델을 이용한 저류지의 설계 절차이다. SimPOND-CO 모델을 이용한 저류지 설계 절차의 경우 가정사항과 기본조건 하에서 이루어진다는 단점을 가지고 있지만 컴퓨터 모형화를 통하여 손쉽게 저류지의 규모 및 방류암거의 설계제원을 산출할 수 있는 장점을 가지고 있어 저류지 계획단계에 활용가능성이 매우 높다고 볼 수 있다.

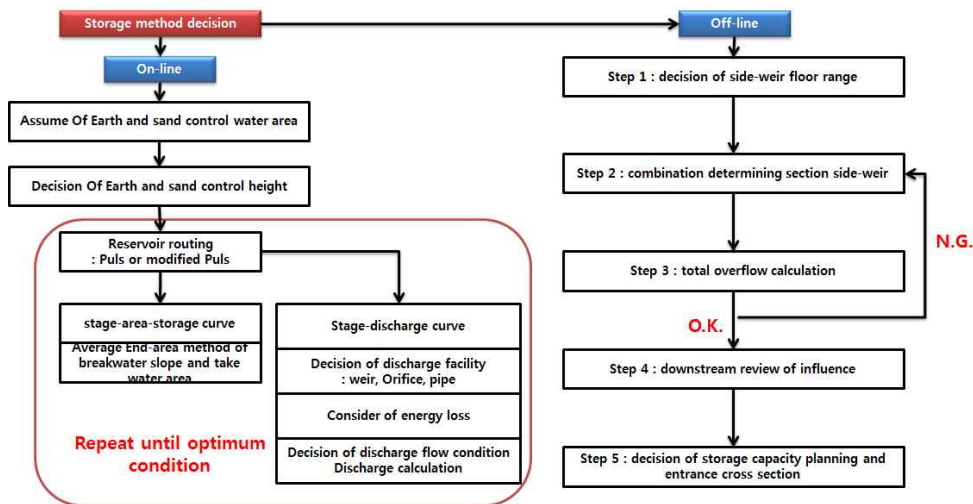


Fig. 9. General Process for Design of Detention Pond

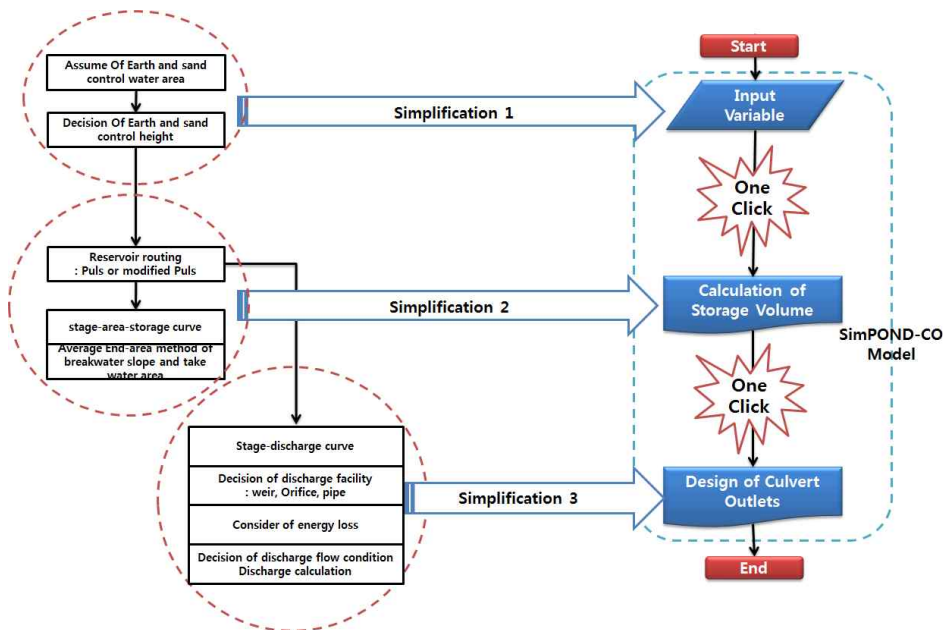


Fig. 10. Simplified Process for Design of Detention Pond

4. 결 론

본 연구에서는 유역의 홍수량을 분담하는 저류지 설계의 기초계획단계에서 기존의 복잡한 과정을 관련 매개변수의 상관관계식으로 간략화하여 저류지 홍수조절부의 규모를 산정할 수 있는 FFC11-SimPOND 모형과 저류지 방류암거의 간편설계절차를 통합하여 저류지 규모결정과 방류암거의 설계에 필요한 제원결정에 용이하고 실무에서 바로 적용 가능하도록 SimPOND-CO 모형을 제시하였으며, 본 모형을 통하여 저수지 추적과 방류암거의 수리학적 검토 및 유입구 또는 출구부의 전반적인 상황을 고려하여 정밀한 계산을 시행하는 노력과 시간을 덜어줄 수 있으리라 사료된다. 향후 SimPOND-CO 모형을 이용한 실 저류지의 설계과정을 비교하고 방류암거의 형태 및 방류시설 (weir, pump 등)을 추가하여 모형을 보완할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 성과로서 지원에 감사드립니다.

References

Ahn, T.J. (2013). "An approximate study on flood reduction effect depending upon weir or gate type of lateral overflow structure of washland." *Journal of Korean Wetlands Society*, Vol. 15, No. 4, pp. 573-583.

Bohler, B., Hahn, E., Hsu, E., and Rao, A. (2005). *Sensitivity of Detention Basin Volume to Rainfall Input*. Proceedings of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress, pp. 1-11.

Cho, K.J., Lee, D.S., and Kim H.J. (2014). "Numerical Model Application for Analysis of Flood Level Mitigation due to Retention-Basin." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 495-505.

Choi, S.R., and Ahn, T.J. (2011). "Development of River-Reservoir Integrated Model for Flood Reduction Capacity Analysis of Off-Stream Reservoir." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 3, pp. 165-174.

Dasika, B. (1995). "New approach to design of culverts." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol.

121, No. 3, pp. 261-264.

David, P.S., and Bedient, P.B. (1980). "Detention Storage for Urban Flood Control." *Journal of Water Resources Planning and Management Division, ASCE*. Vol. 106, No. WR2, pp. 413-425.

Guo, Y., and Urbonas, B. (1996). "Maximized Detention Volume Determined by Runoff Capture Ratio." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No. 1, pp.33~39.

Hager, W., and Giudice, G. (1998). "Generalized culvert design diagram." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 124, No. 5, pp. 271-274.

Hong, Y.M., Yeh, N., and Chen, J.Y. (2006). "The Simplified Methods of Evaluation Detention Storage Volume for Small Catchment." *Ecological Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 355-364.

Hong, Y.M. (2008). "Graphical Estimation of Detention Pond Volume for Rainfall of Short Duration." *Journal of Hydro-Environment Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 109-117.

Jang, I.S., Park, K.B., Lee, M.J., and Lee, J.H. (2010). "Study on Determine of Detention Pond in Small Developed Area." *Journal of Korean Society of Urban Environment*, Vol. 10, No. 3, pp. 253-258.

Jang, J.Y., and Lee, J.J. (2011). "A Simplified Design Method of Culvert Outlet for Detention Pond." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 4, pp. 263-273.

Ku, H.J., and Jun, K.S. (2008). *Development of a Culvert Design Model*. 2008 Conference of Korean Water Resource Association, pp. 645-649.

Kim, D.G., Lee, L.Y., Lee, C.W., Kang, N.R., Lee, J.S., and Kim, H.S. (2011). "Analysis of Flood Reduction Effect of Washland using Hydraulic Experiment." *Journal of Korean Wetlands Society*, Vol. 13, No. 2, pp.307-317.

Kim, D.G., and Ko, Y.C. (2005). "A Study on the Calculation of Storage Volume of Storm-Water Detention Basins for Small Urban Catchments." *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 19, No. 5, pp. 619-624.

Kim, H.J., Bae, D.W., and Yoon, K.S. (2011). "Experimental Study for Analysis of Flood Mitigation Effect

- by Detention Basin.” *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 281-291.
- Lee, J.J., Lee, J.S., Jun, B.H., and Lee, J.T. (1993). “Critical Duration of Design Rainfall for the Design of Storm Sewer in Seoul.” *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences*, Vol. 26, No. 2, pp. 49-57.
- Lee, J.J., and Kim, H.N. (2008). “Analysis of Rainfall Runoff Reduction Effect Depending upon the Location of Detention Pond in Urban Area.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers. B*, Vol. 28, No. 5B, pp. 535-546.
- Lee, J.J., and Kwak, C.J. (2008). “A Development of Simplified Design Method of the Detention Pond for the Reduction of Runoff.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 7, pp. 693-700.
- Lee, J.S., Lee, J.J., Kim, K.H., and Oh, S.H. (1995). “A Study on the Hydrologic Design of Detention Storage Ponds in Urbanized Area.” *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol. 28, No. 3, pp. 159-173.
- Lee, J.T., Yoon, S.E., Lee, J.J., and Yoon, Y.N. (1991). “Planning Models for Detention Ponds with Consideration of the Urbanization Effects.” *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences*, Vol. 24, No. 4, pp. 73-84.
- Lee, K.S., and Jin, L.S. (2003). *Development of Program for Box Culverts Design*. 2003 Annual Conference of Korean Society of Civil Engineers, pp. 2686-2689.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2009). *River Design Standard and Explanation*.
- National Emergency Management Agency (2005). *Practice Guideline of Disaster Impact Assessment*.
- Russell, M.G. (1980). “Analysis of Detention Basin Systems.” *Water Resources Bulletin*, Vol. 16, No. 5, pp. 824-829.
- The Korea Expressway Corporation (1991). *Highway Drainage Guidelines*.
- U.S. Federal Highway Administration (1985). *Hydraulic Design of Highway Culverts*.
- Yoon, Y.J., and Lee, J.C. (2001). “Estimation of the Stormwater Impoundments Volume Dependent on the Durations of Design Rainfall.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 34, No. 5, pp. 415-426.
- Yu, D.H., and Um, H.S. (2001). *Simplified Design of Circular Culvert Outlet*. 2001 Conference of Korean Water Resource Association, pp. 685-690.
- Yun, Y.B., and Cho, H.J. (2011). “An Estimation of Discharge Coefficient of Broad Crested Side Weir.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers. B*, Vol. 31, No. 1B, pp. 63-70.

논문번호: 14-042	접수: 2014.05.29
수정일자: 2014.06.09	심사완료: 2014.06.09