

# 대구획 경지정리지구의 배수지거 수리특성

## An Analysis of Hydraulic Characteristics of Drainage Sub-Canal at Large-Sized Paddy Fields

강민구\* · 박승우(서울대)

Kang, Min Goo · Park, Seung Woo

### Abstract

A one-dimensional flood routing model was formulated to simulate the flood flow of drainage sub-canal using the continuity equation of paddy field and the momentum and continuity equation of drainage sub-canal. The model was applied for evaluating the hydraulic characteristics of drainage sub-canal at large-sized paddy fields. The model applicability was evaluated with field data and the simulated results were in good agreement with the observed data.

### I. 서론

불규칙한 구획을 정형화하고 용·배수로와 농로를 정비하여 토지생산성과 노동생산성을 향상시키기 위한 경지정리사업은 1999년 현재 일반경지정리사업의 경우 80만 ha를 대상으로 목표면적의 86%인 69만 ha를 완료하였고, 구획의 크기를 1 ha 이상으로 하는 대구획 경지정리사업은 목표면적의 34%에 해당되는 67천 ha를 완료하였다(신, 1999).

이러한 경지정리지구의 배수로 홍수량 산정은 SCS 삼각단위도법, 단위배수량법, 합리식, 복합단위법, FAS(Flood Analysis System) 등을 적용하여 홍수량을 구하고, 그 결과를 비교하는 방식을 택하고 있다. 이들 방법들은 논의 수문학적 특성을 고려하지 못하는 경우가 많으며, 실제 강우사상에 의한 배수로의 홍수량, 홍수위의 모의가 어렵고, 배수물꼬의 크기, 개소수, 배수로의 크기, 경사, 형태 등의 물리적인 특성을 고려한 홍수량을 추정하는데 어려움이 있다.

강우시 단일 필지 논에서의 유출은 담수심, 물꼬의 형태에 영향을 받아 저류효과를 나타내고, 지구내 유출은 논의 배수와 배수로 지체에 영향을 받게 되므로, 논유역의 유출은 자연하천이나 산림지등의 일반 유역의 유출특성과 매우 다르다(최 등, 1997, 김 등, 2000). 배수지거, 배수지선, 배수간선으로 구성되는 배수로망(network)을 설계하기 위해서는 이러한 논의 유출특성을 고려하여 홍수량을 산정해야 하며, 배수로에서 수리학적 홍수추적을 통한 홍수량 및 홍수위의 정확한 추정이 필요하다.

논의 유출해석으로는 최 등(1997)이 논에서 유출특성을 분석하기 위하여 단일 필지를 대상으로 유출량을 조사하고 저류방정식을 사용하여 배수물꼬를 통한 유출량을 모의 발생하였으며, 김 등(1998)은 대상유역을 논유역과 일반유역으로 구분하여 홍수량을 산정하고 이를 합성하여 홍수 유출량을 산정하는 FAS를 개발하였으며, 김 등(2000)은 논의 포함된 소유역에서 홍수유출

을 해석하기 위하여 여러 필지로 구성된 논을 하나의 광역 필지로 단순화하여 논 of 저류효과를 고려한 수정 TR-20모형을 개발하여 적용성을 평가하였다.

본 연구에서는 배수로 망의 기본인 배수지거의 수리특성을 분석하기 위하여 폭우시 논에서 유출에 따른 배수지거의 홍수량과 홍수위를 모의할 수 있는 수리학적 홍수추적 모형을 구성하고, 현장 측정자료를 사용하여 모형의 적용성을 검토하였으며, 대구획 경지정리지구에서 배수지거의 경사 및 재질, 배수물꼬의 크기 및 개소수의 변화에 따른 홍수량의 변화를 모의하였다.

## II. 모형의 구성

### 1. 논 of 배수량 모의

강우시 논에서의 유출량은 강수량, 증발산량, 침투량, 담수심 등을 고려한 연속방정식을 이용하여 계산할 수 있다. 논 of 연속방정식 of 구성요소 중 홍수시 증발산량과 침투량은 상대적으로 미소하므로 침투량과 증발산량은 생략하였다(최 등, 1997, 김 등, 2000, Hayase, 1993).

본 연구에서 사용된 논 of 연속방정식은 식 (1)과 같으며, 식 (1)에서  $n+1$  단계 of 담수심  $H_p^{n+1}$ 은 Newton-Raphson 법을 사용하여 계산하였다.

$$\frac{(H_p^{n+1} - H_p^n)}{\Delta t} = RF - \frac{(Q_w^{n+1} + Q_w^n)}{2A_p} \quad (1)$$

여기서,  $H_p$ 는 논 of 담수심(m),  $Q_w$ 는 물꼬를 통한 배수량( $m^3/s$ ), RF는 강수량(m),  $A_p$ 는 논 면적 ( $m^2$ ),  $\Delta t$ 는 계산 시간 간격, 위첨자  $n, n+1$ 은 계산 단계를 나타낸다.

식 (1)에서 물꼬를 통한 배수량( $Q_w$ )은 식 (2)와 같이 웨어 of 단수축을 고려한 웨어공식을 사용하여 계산하였다(박 등, 2000).

$$Q_w = 1.84[B - 0.2(H_p - H_w)](H_p - H_w)^{1.5} \quad (2)$$

여기서, B는 물꼬 폭(m),  $H_p$ 는 논 of 담수심(m),  $H_w$ 는 물꼬 높이(m)를 나타낸다.

### 2. 배수로 모의

논에서 유출에 의한 배수로 of 홍수추적은 식 (3)~(5)와 같은 1차원 St. Venant 방정식을 이용하였다(Koshi 등, 2000).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} - gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - qv_x = 0 \quad (4)$$

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}}, \quad S_e = \frac{K_e}{2g} \frac{\partial(Q/A)}{\partial x} \quad (5)$$

여기서, Q는 유량, A는 단면적,  $A_0$ 는 흐름에 영향을 미치지 않는 단면적, q는 횡유입량, h는 수위, g는 중력가속도,  $S_f$ 는 바닥마찰경사,  $S_e$ 는 국부손실경사,  $v_x$ 는 횡유입량 of 유속을 나타내며, n은 Manning 식 of 조도계수, R은 동수반경,  $K_e$ 는 단면 급확대, 급축소에 대한 계수를 나타낸다.

식 (3)~(5)을 이용하여 배수로 of 유량과 수위를 계산하기 위하여 Preissman of 4점 가중차분법(Four-point weighted difference method) 적용하여 음해법으로 미지항을 계산하였다.

$$\frac{\partial K}{\partial t} = \frac{(K_i^{j+1} + K_{i+1}^{j+1} - K_i^j - K_{i+1}^j)}{2\Delta t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x} = \theta \frac{(K_{i+1}^{j+1} - K_i^{j+1})}{\Delta t} + (1-\theta) \frac{(K_{i+1}^j - K_i^j)}{\Delta t} \quad (7)$$

$$K = \theta \frac{(K_i^{j+1} + K_{i+1}^{j+1})}{2} + (1-\theta) \frac{(K_i^j + K_{i+1}^j)}{2} \quad (8)$$

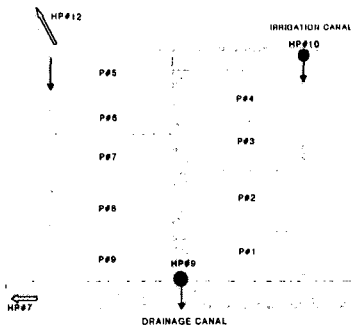
여기서, K는 임의의 변수,  $\theta$ 는 가중계수, i와 j는 각각 공간과 시간적인 위치를 나타낸다.

### III. 모형의 적용

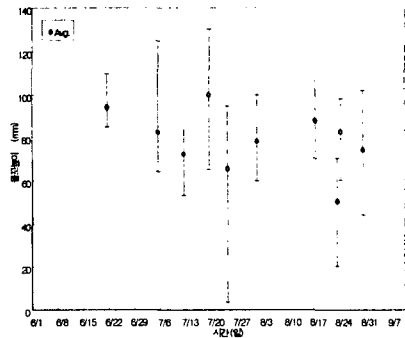
#### 1. 시험지구 선정 및 현황조사

모형의 적용성을 평가하기 위한 대상지구로 경기도 화성군 팔탄면에 위치한 기천저수지 관개구역 내의 9개 필지로 구성된 시험지구 선정하였다. (그림 1)은 시험지구의 모식도를 나타낸 것이며, 필지별 면적은 0.11~0.30 ha이며, 배수로 길이는 130 m, 배수로 경사는 3.5 % 이며, 토공수로이다.

시험지구의 물관리 관행을 조사하여, 모형의 입력자료로 사용하기 위하여 (그림 2)와 같이 시기별 담수심과 물꼬 높이, 폭을 측정하였다. 시험지구의 홍수량을 측정하기 위하여 수위계 측시설을 설치하였으며, 수위-유량 관계식을 이용하여 계측된 수위를 유출량으로 환산하였다.



(그림 1) 시험지구 모식도



(그림 2) 시기별 물꼬높이 변화

#### 2. 모형의 적용

강우에 따른 배수로 말단의 유출량과 수위를 모의하기 위하여 강우량이 36.4~93.8 mm인 5개 폭우사상을 선정하였으며, 모의 유출량, 수위와 실측 유출량, 수위를 비교하여 모형을 검증하였다.

<표 1>은 5개 폭우사상에 대한 실측치와 모의치의 총유출량, 첨두유출량, 첨두시간, 첨두수위를 비교한 것이다. 실측치와 모의치간의 상대오차는 총유출량이 -31.87~10.22 %, 첨두유출량이 -3.08~39.01 %, 첨두시간이 -8.75~1.48 %, 첨두수위가 -10.31~2.97 %를 나타냈다.

### IV. 모형의 응용

구성된 모형을 이용하여 대구획 경지정리지구의 배수지거의 홍수량에 대한 배수지거의 경사, 재질, 대구획 논의 배수구 크기, 개소수의 영향을 모의 분석하였다. 적용된 모델지구의 구획크

기는 100×100 m 이고, 구획수는 10 개이며, 배수로는 폭이 0.5 m인 사각형이며, 길이는 500 m로 하였다. 강우량은 임의의 강우사상을 선정하였으며, 논의 초기 저류효과를 고려하기 위하여 강우량의 70 %가 유출되도록 하였다.

1. 배수지거 경사

배수지거의 경사에 따른 유출의 변화를 모의분석하기 위하여 배수지거 경사를 0.5, 0.8, 1.0, 2.0 %로 변화시켜 배수로 수위변화를 분석하였다. (그림 3)은 배수로 경사에 따른 배수로 수위의 변화를 나타낸 것으로 배수로 경사가 커짐에 따라 유속이 빠르므로 침투수심은 작은 경향을 나타내고 있다.

2. 배수지거 재질

배수로의 재질에 따른 유출의 변화를 모의분석하기 위하여 배수지거의 조도계수를 0.03, 0.05, 0.08, 0.10으로 변화시켜 배수로 수위변화를 분석하였다. (그림 4)는 배수로의 조도계수에 따른 수위변화를 나타낸 것으로 조도계수가 작은 라이닝 수로일수록 침투수심이 작으며, 조도계수가 큰 토공수로인 경우 침투수심이 큰 결과를 나타내고 있다.

3. 물꼬 크기

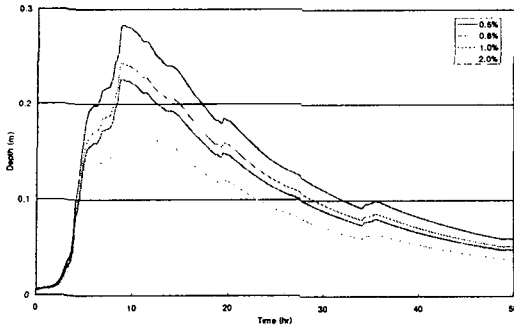
대구획 논의 물꼬크기에 따른 유출변화를 모의하기 위하여 물꼬크기를 300, 400, 500 mm로 변화시켜 배수로 말단의 유출량과 수위를 분석하였다. (그림 5)는 물꼬의 개수가 2개일 경우 물꼬 크기에 따른 유출량의 변화를 나타내고 있으며, 물꼬의 크기가 클수록 논에서 유출량이 많아지므로 배수로에서 침투유출량과 수위가 크게 나타나고 있다.

4. 물꼬 개소수

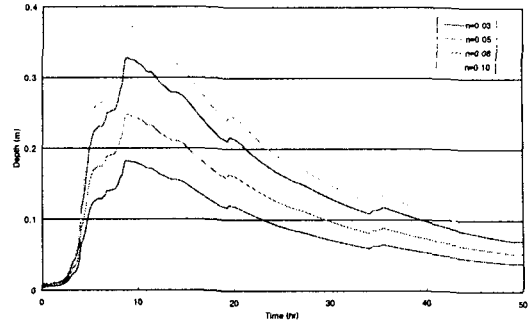
대구획 논의 물꼬 개소수에 따른 유출변화를 모의하기 위하여 물꼬 개소수를 2, 3, 4 개로 변화시켜 배수로 말단의 유출량과 수위를 분석하였다. (그림 6)은 물꼬의 크기가 300 mm일 때, 물꼬 개수에 따른 유출량의 변화를 나타내고 있으며, 물꼬개소수가 증가함에 따라 논에서 유출량이 많아지므로 배수로에서 침투유출량과 수위가 크게 나타나고 있다.

<표 1> 실측치와 모의치 비교

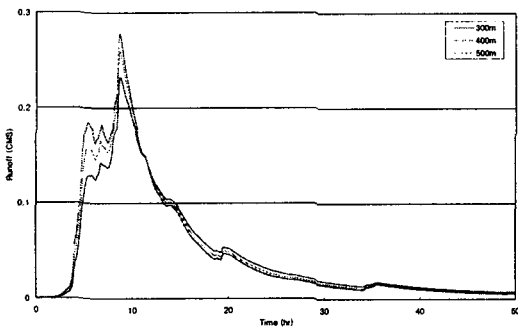
| 사상        | 강우량 (mm) | 항목       | total volume (m <sup>3</sup> ) | peak flow (m <sup>3</sup> /s) | peak time (hr) | peak depth (m) |
|-----------|----------|----------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| St6262000 | 36.4     | 실측       | 987.88                         | 0.03                          | 7.17           | 0.18           |
|           |          | 모의       | 673.00                         | 0.03                          | 6.77           | 0.16           |
|           |          | 상대오차 (%) | -31.87                         | -3.80                         | -5.58          | -10.31         |
| St6292000 | 53.4     | 실측       | 1133.70                        | 0.04                          | 2.67           | 0.22           |
|           |          | 모의       | 1087.82                        | 0.04                          | 2.43           | 0.20           |
|           |          | 상대오차(%)  | -4.05                          | 13.53                         | -8.75          | -7.93          |
| St8042000 | 66.8     | 실측       | 1348.54                        | 0.05                          | 12.17          | 0.29           |
|           |          | 모의       | 1486.30                        | 0.06                          | 12.08          | 0.26           |
|           |          | 상대오차(%)  | 10.22                          | 19.21                         | -0.68          | -10.26         |
| St8202000 | 92.6     | 실측       | 1827.43                        | 0.04                          | 8.83           | 0.24           |
|           |          | 모의       | 2001.24                        | 0.05                          | 8.72           | 0.23           |
|           |          | 상대오차(%)  | 9.51                           | 18.58                         | -1.32          | -4.72          |
| St8242000 | 93.8     | 실측       | 1755.91                        | 0.03                          | 30.33          | 0.21           |
|           |          | 모의       | 1913.23                        | 0.05                          | 30.78          | 0.21           |
|           |          | 상대오차(%)  | 8.96                           | 39.01                         | 1.48           | 2.97           |



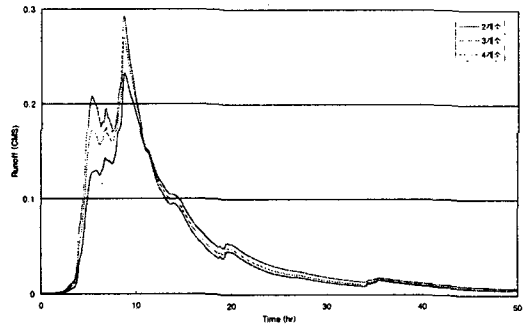
(그림 3) 배수지거 경사별 수위 변화



(그림 4) 배수지거 조도계수별 수위 변화



(그림 5) 물꼬 크기에 따른 유출 변화



(그림 6) 물꼬 개소수에 따른 유출 변화

## V. 요약 및 결론

본 연구에서는 배수로 망의 기본인 배수지거의 수리특성을 분석하기 위하여 폭우시 논에서 유출에 따른 배수지거의 홍수량과 홍수위를 모의할 수 있는 수리학적 홍수추적 모형을 구성하고, 현장 측정자료를 사용하여 모형의 적용성을 검토하고, 대구획 경지정리지구에서 배수지거의 경사 및 재질, 배수물꼬의 크기 및 개소수의 변화에 따른 홍수량의 변화를 모의하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 경지정리지구의 배수지거에 대한 수리학적 홍수추적을 위하여 단일 필지 논의 유출을 저류방정식을 사용하여 모의하고, 배수로의 홍수추적은 1차원 부정류 방정식을 음해법으로 수치해석한 모형을 구성하였다.

② 모형의 적용성을 평가하기 위하여 시험지구를 선정하여 5개 폭우사상에 대한 관측자료와 비교한 결과, 실측치와 모의치간의 상대오차는 총유출량이  $-31.87 \sim 10.22 \%$ , 첨두유량이  $-3.08 \sim 39.01 \%$ , 첨두시간이  $-8.75 \sim 1.48 \%$ , 첨두수위가  $-10.31 \sim 2.97 \%$ 를 나타냈다.

③ 구성된 모형을 이용하여 대구획 논의 배수지거 홍수량 분석에 적용한 결과, 배수로의 경사가 크고, 조도계수가 작을수록 배수로의 첨두 수위가 낮았으며, 대구획 논의 배수물꼬가 크고, 배수물꼬 개소수가 많을수록 첨두수위가 높은 결과를 나타냈다.

## 참 고 문 헌

1. 김철겸, 박승우, 임상준, 2000, 논이 유출특성을 고려한 소유역의 유출곡선 합성, 한국농공학

- 회지, 42(6), pp. 56-62.
2. 김현영, 황철상, 강석만, 이광야, 1998, 논유출 특성을 고려한 홍수분석 시스템 개발, 1998년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 34-40.
  3. 신민식, 1999, 차세대 경지정리사업에 바란다, 한국농공학회지, 41(5), pp. 3-6.
  4. 박종민, 박승우, 강문성, 강민구, 2000, 2차원 유한체적 수치모형을 이용한 대구획 논의 용배수 특성해석, 2000년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 162-168.
  5. 최진규, 김현영, 손재권, 1997, 논외 배수물꼬의 유량에 관한 기초연구, 한국농공학회지, 39(2), pp. 134-142.
  6. Koshi Yoshidas, Naritaki Kubo, Yasuyuki Sagara, and Masashi Shimada, 2000, Flood routing model for drainage analysis in natural river watershed, Transaction of JSIDRE, pp. 723-728.
  7. Hayase, Y. and M. Kadoya, 1993, Runoff analysis by the diffusive tank model in a low-lying drainage basin (1)-(3), Trans. JSIDRE, 165, pp. 75-99.