

〈論 文〉

분포형 모델을 利用한 流域內 移動降雨의 流出 解析 (Ⅱ)

- 모델의 適用 -

Simulation of Moving Storm in a Watershed Using A Distributed Model(Ⅱ)

- Model Application -

崔 桂 濤* 李 熙 昇** 安 相 鎭***

CHOI Gye Woon LEE Hee Seung and AHN Sang Jin

Abstract□ In this paper, a moving storm in the real watershed was simulated using a distributed model. Macks Creek Experimental Watershed in Idaho, USA was selected as a target watershed and the moving storm of August 23, 1965, which continued from 3:30 P.M. to 5:30 P.M., was utilized. The rainfall intensity of the moving storm in the watershed was temporally varied and the storm was continuously moved from one place to the other place in a watershed. Furthermore, runoff parameters, which are soil types, vegetative cover percentages, overland plane slopes, channel bed slopes and so on, are spatially varied. The model developed in the previous paper was utilized as a distributed model for simulating the moving storm. In the model, runoff in a watershed was simulated as two parts which are overland flow and channel flow parts. The good agreement was obtained between a simulated hydrograph using a distributed model and an observed hydrograph. Also, the conservations of mass are well indicated between upstream and downstream at channel junctions.

요 지 : 본 論文에서, 實際 流域에서의 移動降雨에 의한 流出현상을 분포형 모델을 利用하여 모의하였다. 실제유역으로 美國 Idaho州의 Macks Creek 實驗流域이 선정되었으며, 사용된 移動降雨로 1965년 8월 23일 15시 30분에서 17시 30분까지 약 2시간에 걸쳐 진행되었던 降雨을 채택하였다. 이 降雨은 강우 지속 期間동안 降雨強度의 값이 상당히 變化하며, 또한 강우 자체가 流域내 한지점으로 부터 다른 地點으로 점차적으로 移動되어가는 전형적인 移動降雨의 特性을 갖추었다. 또한 이 유역내 地表面을 이루고 있는 토양의 특성, 식물의 피복정도, 지표면의 경사, 하상경사등의 流出 支配 因子들은 각지점마다 그 값이 다른 전형적 공간분포 형태를 갖추고 있다. 분포형 모델로는 본 論文의 前篇에서 개발된 모델을 使用하였는데, 이 모델은 유역내 유출현상을 지표면 흐름과 하천망 흐름으로 나누어 모의한다. 즉, 2차원의 유한요소 모델을 利用하여 지표면 유출을 모의한후 모의된 지표면의 유출량을 1차원 유한차분 모델의 입력자료로하여 하천망의 유출을 모의한다. 분포형 모델을 適用하여 流域의 下流地點에서 모의된 流出量과 관측된 流出量은 상당히 일치하고 있고 또한 하천망내 각각의 합류점에서도 상·하류간에 質量의 관계가 잘 保存되고 있었으며, 제안된 분포형 모델을 利用하여 유역내 移動降雨가 成功的으로 모의되었다.

1. 序 論

어떤 流域내 流出現狀은 어느 一定한 方向이나 經路로 흐르는 단순한 물의 흐름현상이 아니라 多段階의 循環過程이나 經路를 거쳐 河口 또는 바다로 흘러 들어 가는 아주 복잡한 흐름현상이다. 이와같은

流出現狀을 일으키는 主因子는 降雨이며 때때로 降雪일때도 있다. 이와같은 강우를 주의깊게 살펴볼때 降雨 지속 期間 동안 줄곧 어느 일정한 값을 나타내 기보다는 每 時間마다 그 값이 작게 또는 크게 변화하며, 또한 유역전체를 살펴볼때 流域內 각각의 地點마다 그 降雨의 강도가 크게 변화하고 있다. 이와 같은 降雨 또는 降雪에 의한 강수량은 地表面에 이

* 正會員, 韓國水資源公社 水資源研究所, 責任研究員

** 正會員, 韓國水資源公社 技術本部長

*** 正會員, 忠北大學校 工科大學 土木工學科 教授

르자마자 땅속에 침투하든가 또는 유역내 地表面과 河川으로 이루어진 流路를 따라 움직이게 된다. 이때 이 流路를 이루고 있는 각각의 토양의 특성, 식물의 피복정도, 지표면의 경사등은 流路를 통하여 一定하지 않고 각각의 지점마다 그 성질이 변하는 것이 보통이다. 따라서, 每 時間과 각각의 地點마다 流出을 지배하는 인자들이 변화하는데 이와같은 성질들을 충분히 고려하여 流出量을 계산하는 것은 상당히 중요하다. 특별히, 移動降雨에 있어서는 이들의 적절한 고려 여부가 전체 유출량의 올바른 산정에 重要的 關鍵이 된다. 지금까지 利用되어온 많은 수리학적 數值解析 모델들은 지표면이나 하천내에서 위와같은 유출을 지배하는 각각의 인자들이 매 시간과 각 지점마다 변화하는 특성을 그대로 이용하기보다는 전유역이나 유역내의 큰 부분을 택한후, 이를 代表할 만한 값을 채택하여 數值解析을 위한 입력자료로 이용하여 왔었다. 이러한 형태의 모델들은 비교적 입력자료가 간단하고, 계산시간이나 기억용량이 적게 필요한 長點이 있는 반면 流域內 입력요소들의 국부적인 변화가 심할때는 이를 반영하기가 어렵다. 이와같이, 어떠한 대표치를 이용하지 않고 시간 및 공간적으로 변화하는 입력자료를 그대로 이용하고 이에 상응하는 알고리즘을 사용하여 解를 구하는 모델을 총칭하여 분포형 모델(distributed model)이라하며, 移動降雨와 같은 時間的이나 空間的으로 입력자료의 변화가 심한 경우에 그 長點이 유지된다. 그동안 여러학자들에 의하여 流域內 시간 및 공간적 資料들의 중요성이 研究되어져 왔는데, Sunkan(1969)은 복잡한 지형을 가진 流域內에서 시간과 공간적 변화를 가진 호우에 의한 流出量을 모의하기 위하여 매개변수 모델을 利用하였다. 그러나 매개변수 모델의 한계성 때문에 호우의 움직임에 대한 영향을 反映하지 못하였다. Judah(1973)는 1차원의 kinematic 유한요소 모델을 利用하여 지표면과 하천의 유출량을 모의하였으며, 지표면의 傾斜, 지표면의 形態, 流域面積 및 超過 降雨量이 하류 유출량에 미치는 영향을 研究하였다. Taylor(1974)등은 2차원의 流出 방정식과 kinematic 가정을 利用

하여 만들어진 유한요소 모델을 適用하여 지형자료, 경계조건 및 계산시간의 間隔이 流出에 미치는 影響을 檢討하였으며 또한 경계조건의 간략화, 計算 格子의 構成密度등이 모델 선정에 미치는 영향도 研究하였다. Ross(1978)는 雨量 미관측 지역에서의 유출량을 모의하기 위하여 1차원 유한요소 모델을 利用하였으며, 요소의 절점의 數, 요소의 길이, 형상함수(shape function), 실행 시간등을 利用하여 모델에 이용된 Galerkin 방법의 안정성과 수렴성에 대한 영향을 檢討하였다. Yaramanoglu(1978)는 實際 유역에서의 유출량을 모의하기 위하여 분포형 매개변수 모델을 개발하였다. 그는 모델에서 유출량을 地表面 유출과 지하유출로 구분하여 계산하였으며 유한요소 모델 利用의 적정성을 검토하였다. Ross(1979)등은 지표면과 하천의 유출량을 計算하기 위하여 kinematic 가정을 가진 유한 요소 모델을 이용하여 유역내 토지 利用의 변화에 따른 영향을 검토하였다. Jayawardena와 White(1979)는 2개의 연속된 論文에서 지표면과 地下 流出의 2개의 부분으로 이루어진 분포형 모델을 開發하여 유역에서의 유출량을 모의하였다. Moglen(1989)은 유역내의 몇몇 人力 資料의 공간적 변화가 유출량에 미치는 영향을 측정하였는데, Moglen에 의하면 몇몇 입력요소들은 산술적인 평균값을 사용하는 것보다 시간 또는 공간적으로 分布된 입력자료를 사용할때 하류부 유출량의 變化가 크다고 밝히고 있다. 그러나 Moglen은 實際 流域을 대상으로 適用하지 못하고 가상유역과 인위적으로 발생한 각종 資料를 利用하였는바, 실제 流域에서 입력자료들의 공간분포와 유출량과의 관계가 좀 더 깊게 研究되어야 할 것이다. Zhang와 Cundy(1989)는 2차원의 분포형 지표면 유출모델을 개발하여 공간 분포의 조도계수, 침투율, 지형변화가 流出方向, 流出速度 및 유출고에 미치는 영향을 관찰하였다.

移動降雨는 1960년대 이후에 주로 연구되어졌는데, Attmannspacher과 Schultz(1967)는 레이더를 利用하여 時間에 따른 강우의 분포에 대하여 연구를 하였으며, Hindi와 Kelway(1977)는 雨量 관측망에

서 관측된 우량자료를 이용하여 호우의 속도를 결정하였으며, 이와같이 결정된 豪雨의 속도를 이용하여 호우 통과 지역에서의 우량 관측 자료의 신뢰성을 파악하기 위하여 利用되었다. Amorocho와 Wu (1977)는 태풍성 호우의 移動등을 모의하기 위하여 지상의 강우 자료와 레이다 자료를 이용한 2개의 수치모형을 開發하였다. Marshall(1980)은 영국 Cardington과 Winchcombe의 219개 호우를 분석하여 호우의 움직임과 700mb의 바람 움직임과의 상관관계를 밝혔으며, 우량계 관측자료를 이용하여 호우 자체의 시간과 공간분포에 대하여 研究하였다. Niemczy-nowicz(1984)는 스웨덴 Lund 地方에서 관측된 자료를 이용하여 강우 이동이 유출에 미치는 영향을 檢討하였으며, Niemczynowicz과 Dahlblom (1984)는 유역 특성, 강우분포, 降雨 形態 및 강우의 동역학적 특성이 유출에 미치는 영향을 研究하였다. 또한, Niemczynowicz(1987)는 유출 모델에서의 강우의 동역학적 특성을 고려할 필요가 있는가에 관하여 研究하였으며, Lund 지방의 12개의 강우 관측소에 대하여 3개의 호우 추적법을 適用하여 그 적용성에 관하여 研究하였다. Richardson(1989)은 이동강우가 上流에서 下流, 하류에서 상류 방향등 여

러 方向으로 이동할때 이에 의한 영향이 하류부분의 流出에 미치는 영향을 분석하였으며 특별히 平衡 상태 (equilibrium)에 이룰때까지는 下流地點 유출량의 변화가 큼을 보여주고 있다. 따라서, 이와같이 流域內 입력자료의 時間 및 空間 분포와 移動降雨에 관한 여러 研究를 감안하여, 실제 유역 資料를 최대한 반영할 수 있는 분포형 모델을 적용하여 합리적으로 유역내 유출량을 모의하는 것이 必要하다. 본 論文에서 實際 流域內에서의 移動降雨를 解析하기 위하여 미국 Idaho州의 Macks Creek 유역을 대상 유역으로 선정하였다. 이 流域內 이동강우로는 약 2시간에 걸쳐 進行되었던 降雨를 채택하였으며 이 論文의 前篇에서 개발된 분포형 모델을 使用하여 유출량을 모의하였다.

2. 流域의 選定

2.1 流域의 概要

1차적으로 2次元 地表面 流出 모델을 利用하여 地表面上的 유출량을 모의하고 連續하여 1차원 하천망 유출 모델을 利用하여 하천망내의 流出量을 모의하

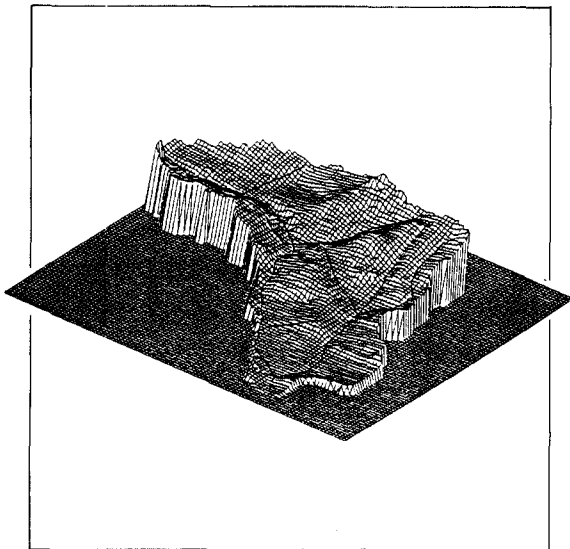


그림 1. Macks Creek 유역내 지형의 개략도

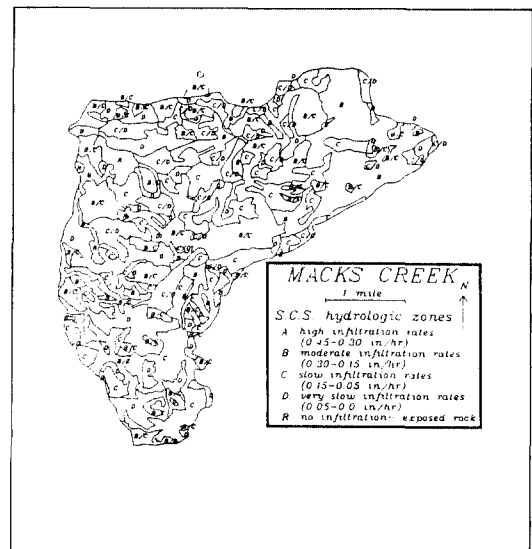


그림 2. Macks Creek 토양 분포도(Stephenson, 1977)

는, 이른바 分布形 流域 모델을 실제 유역에 적용할 때 이 모델의 장점을 充分히 活用하기 위하여는 모델에 적합한 상세한 入力 資料가 準備되어야 한다. 만약 분포형 유역 모델에 상응하는 각종 入力資料가 제대로 準備되지 않는다면 분포형 流域 모델을 이용하는 의의가 줄어든다. 실제적으로 국내 유역에서는 이와같은 資料獲得이 어려운 실정이므로, 자료획득이 가능한 미국내 한 實驗流域을 선정하여 이동 강우를 해석하였다. 대상유역으로 미국 Agricultural Research Service(ARS)에서 1960년부터 실험유역으로 設定하여 管理하고 있는 Idaho州의 Macks Creek 유역을 선정하였다. 이 유역은 傾斜가 상당히 급한 산악지역 형상을 지니고 있으며, 1960년 실험유역으로 設置된 당시부터 ARS와 여러 연구원들에 의하여 流域內에서의 流出量 算定, 유사의 生成과 移動등 유역내 수문학적 현상들이 관측되고 研究되어져 왔다. 이 Macks Creek 流域은 총 流域面積이 약 31.74km²에 이르며, 流域內 地形의 概略은 그림 1에 圖示한 바와 같다.

2.2 流域의 特性

이 유역내 氣候는 대체적으로 건조한 편이며 연평균 강수량은 지역마다 차이가 나고 있는데 流域의 북동쪽에서는 비교적 작아서 250mm이하이며 서남쪽 高地帶에서는 북동쪽의 4-5배인 1,140mm에 이른다. 또한 이 지역에서의 눈에 의한 강수량은 年間 총강수량의 20-70%에 이르는데 주로 낮은 지역에서는 20%이며 산악 高地帶에서는 70%에 이른다. 연평균 기온은 저지대에서는 -7°C以上이며, 고지대에서는 4°C정도이다. 流域內 地表面 傾斜는 1%에서 38%까지 다양하게 분포되어 있으며 유역내 河川은 크게 두 줄기로 이루어져 각각 약 10km의 하천 길이를 가지고 있다. 그 중에서 하나의 하천 줄기는 流域의 남쪽부분에서 始作하여 북동쪽으로 흘러가고 있으며 다른 하나의 하천줄기는 流域의 북쪽에서 始作하여 동쪽으로 흘러들어가고 있다. 이 유역내의 土壤은 10cm에서 130cm의 토양두께를 가진 loam, 자갈

loam, silty loam등으로 주로 구성되어 있다. 1977년 Stephenson은 침투율에 따라 토양을 4종류로 구분하였으며 이 4종류의 토양은 전혀 침투가 되지 않는 자갈층과 함께 유역에 넓게 분포되어 있는데 그 분포상태는 그림 2에 도시하였다. 또한 이 유역내의 식물의 주종은 썩 종류들 (sagebrush species)이며, 낮은 지역과 高地帶에 이르기까지 상당히 넓게 퍼져 있으나 그 피복정도는 변화가 심하다. 이 流域內 식물의 피복정도는 표 1에 나타내었다.

표 1. Macks Creek 유역내 식물의 피복정도

유역면적(%)	피복 정도(%)
35.5	0-25
32.9	26-50
18.0	51-75
13.6	75-100

3. 地表面 流出 解析

3.1 降雨強度 分布

원래 流域(watershed)이란 小支流, 河川 및 江의 任意 斷面을 通過하는 流量에 직접적인 공헌을 하는 地域의 限界를 의미한다. 따라서 각각의 小支流, 河川 및 江의 어떠한 地點에 있어서도 그 지점 고유의 流域을 가지게 되며 그 流域의 크기는 下流로 내려갈수록 커져서 바다에 이르면 最大가 된다. 분포형 流域 모델에서는 流域內 지형 및 수문인자들의 지역적 分布特性을 最大한 반영하기 위하여 流域을 小支流, 河川 및 江을 주로 境界로하는 小流域으로 區分하여 一次的으로 地表面上 流出을 解析하고 이어 하천망내의 流出을 解析하도록 하고 있다. 본 論文에서는 Macks Creek 실험유역을 河川을 境界로 하는 21개의 小流域으로 分割하였는바 각각의 小流域들은 그림 3에 圖示하였다.

그림 3에서 보여진 21개의 小流域들은 각각 2次元 地表面 流出모델을 利用하여 하천경계 지점에서의 流出量을 모의하게 된다. 이때 利用된 降雨資料는 이 유역 境界지점내 또는 유역경계지점 근처에

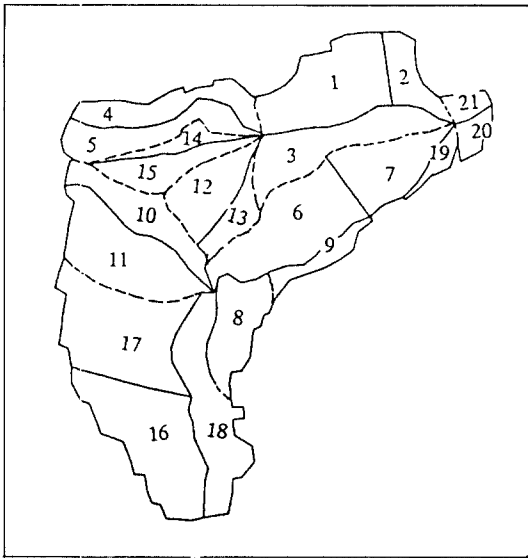


그림 3. Macks Creek 유역의 21개 소유역 구성도

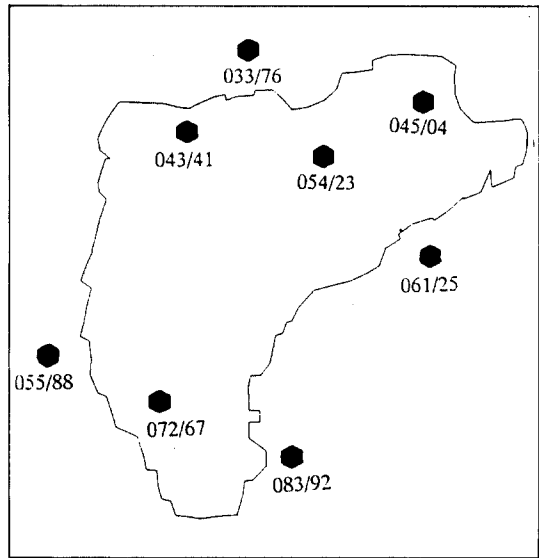


그림 4. Macks Creek 주변의 우량관측소

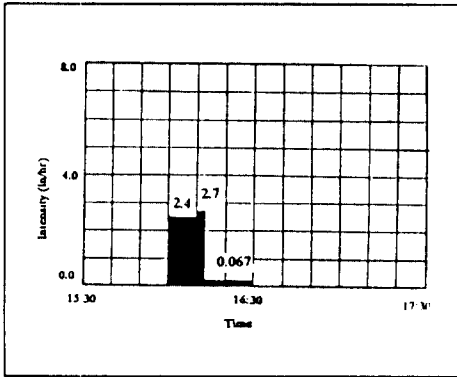


그림 5. 관측소 033/76의 강우강도

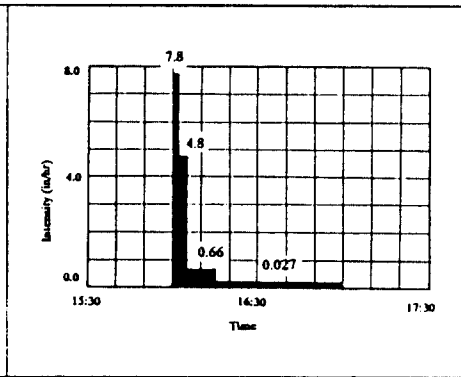


그림 6. 관측소 045/04의 강우강도

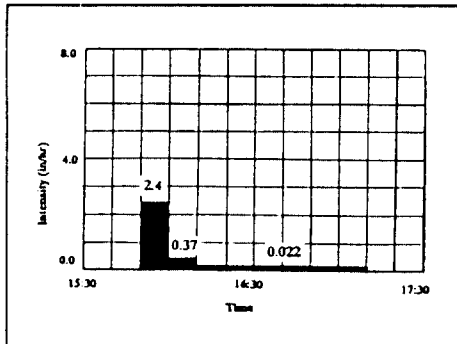


그림 7. 관측소 043/41의 강우강도

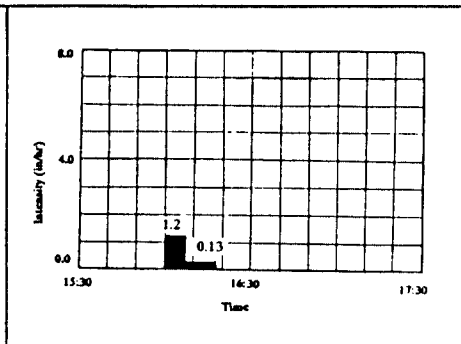


그림 8. 관측소 054/23의 강우강도

設置된 8개의 우량관측소에서 관측된 雨量 資料를 使用하였는데, 그 각각의 우량 관측소의 位置는 그림 4에 圖示하였으며 각각의 우량 관측소에서 관측된 移動降雨의 관측자료는 그림 5-12에 圖示하였다.

그림 5-12의 강우관측지점의 降雨 관측치를 고찰해보면 각각의 관측지점에서 시간별 降雨強度는 큰 差異를 보이고 있다. 관측 최대 및 최소치는 045/04, 061/25 우량관측소에서 24.9cm/hr(9.8inch/hr), 0/043cm/hr(0.017inch/hr)로 그 변화폭이 크다. 또한 055/88 우량관측소에서는 관측된 雨量이 전혀 없으나 본 移動降雨에 의한 영향이 전혀 없었음을 알 수 있다. 관측된 降雨의 特性을 살펴보면 각각의 降雨 觀測地點에서 아주 相異한 강우강도의 관측결과를 보여주고 있다. 각각의 관측소에서 降雨 始作時間과 끝나는 時間이 크게 다르며 침투 降雨強度의 크기가 상당히 다른, 전형적인 移動降雨의 特徵을 갖고있다. 이와같이 관측된 降雨強度를 이용하여 地表面內 유출량 計算地點 하나하나에 상응하는 강우강도를 算出하는 것이 必要하다. 각각의 입력지점의 강우강도를 算出하기 위하여 아래와 같은 inverse distance method(IDM)을 使用하였다.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} \frac{P_i}{D_i^{W_0}}}{\sum_{i=1}^{N_0} \frac{P_i}{D_i^{W_0}}} \quad (1)$$

여기에서, E, P_i , D_i , N_0 , W_0 는 각 計算地點에서의 降雨強度, 관측소 i에서 관측된 降雨強度, 각 計算地點과 관측소 i사이의 距離, 관측소의 갯수, 距離에 따른 重量指數(weightig power)를 각각 나타낸다. 이와같이 IDM에 의하여 計算된 대표적인 시간별 降雨強度 분포도는 그림 13-15에 圖示하였다.

3.2 地表面 流出

地表面 流出 모델을 利用하여 지표면내의 流出을 解析한 結果의 代表的인 것들은 그림 16과 그림 17에 圖示하였다. 이 解析結果는 하천망 流出解析을

위한 入力資料로 利用된다. 그림 16, 17의 범례에 나타난 숫자는 그림 18의 하천망 구성도에 圖示한 하천망 流出解析을 위한 計算地點들의 斷面番號이다.

4. 河川網 流出 解析

河川網 流出解析을 위하여 Macks Creek 流域의 河川을 128개의 斷面으로 區分하여(그림 18참조) 하천망 전체를 일체적으로 解析하고자 하였으며 이 각각의 斷面은 지표면 유출 계산시 절점이 되도록하여 각각의 計算 時間마다 지표면 유출해석 結果를 하천망 유출의 入力資料로 利用하도록 하였다.

그림 18에 圖示된 총 128개의 斷面들은 각각 流域自體의 特性, 地形의 形狀 및 傾斜, 計算의 難易程度들을 고려하여 결정하였다. 이 하천망내 각각의 斷面 사이의 길이 변화가 심하고 하상경사도 크게 변하고 있다. 총 128개의 斷面들에 대한 淸방향 流入量은 21개의 地表面 流出解析 結果를 그대로 適用하였으며 그 대표적인 값들은 그림 16과 그림 17에 도시되었다. 즉, 어느 계산시점마다 각각의 斷面에서 流入되는 淸방향 流入量은 각기 相異한 값을 가지고 있으며 또한 하나의 지점에서든 每 時間마다 相異한 유입량이 入力된다. 하천내 流出量 解析을 위하여는 河川內 각각의 斷面마다 河川 特性을 나타내는 물리적 資料들이 必要하다. 본 모델에서는 하천 단면간의 하상경사, 하천단면내 하상의 조도계수, 하천 斷面間의 거리 및 폭 등이 利用되었다. 이 資料들은 실제 지형도에 의하거나 연구자들에 의하여 調査된 實測資料를 주로 利用하였다.(Stephenson, 1977)

하천망내 2시간동안의 移動降雨에 의한 流出解析을 위하여 총 10시간 동안 解析을 實施하였다. 각각의 計算을 위한 時間增分은 2분으로 固定하였다. 모델을 適用하여 128개 전단면의 유출량과 水位를 每 時間增分마다 計算하였으며 必要한 地點마다 그 結果를 보여주도록 하였다. 실제적으로 본 移動降雨에 의한 Macks Creek 下流地點의 시간당 유출량이 觀測되어 있다. 이 관측치와 모델을 適用하여 모의한

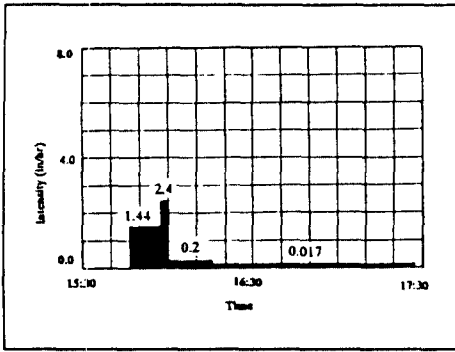


그림 9. 061/25의 강우강도

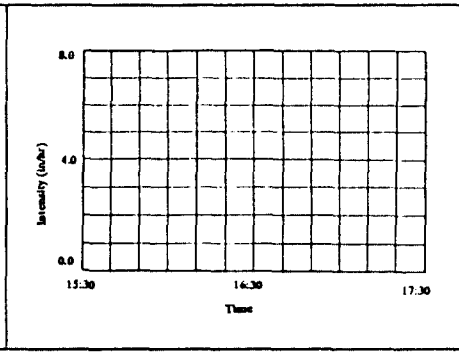


그림 10. 관측소 055/88의 강우강도

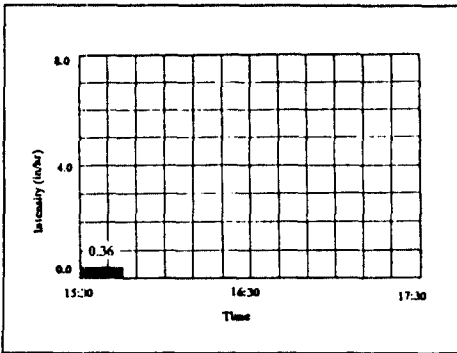


그림 11. 관측소 072/67의 강우강도

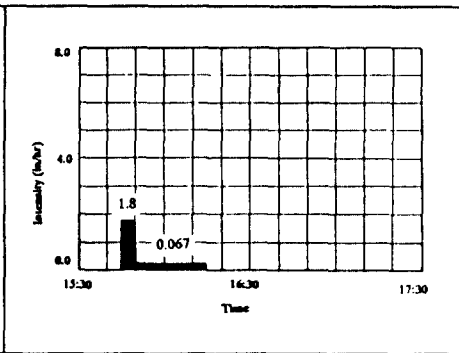


그림 12. 관측소 083/92의 강우강도

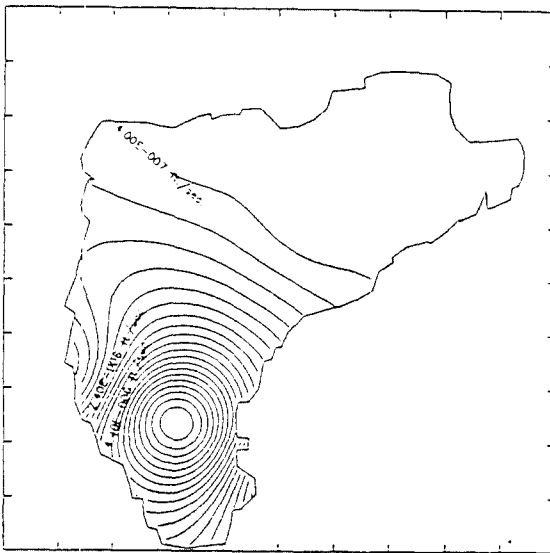


그림 13. 강우시작후 0-14분에서의 강우강도 분포도

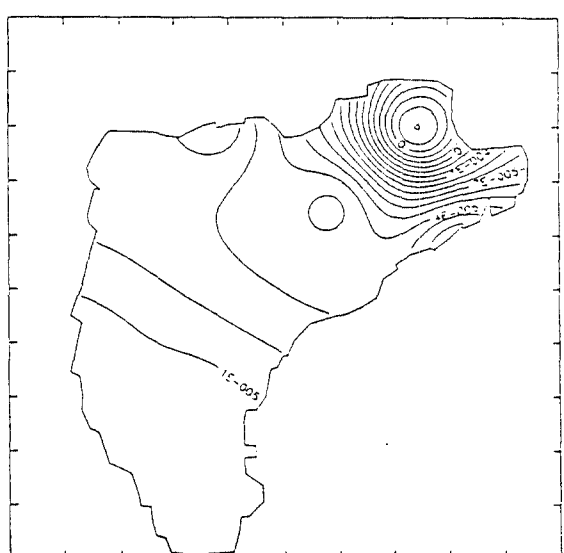


그림 14. 강우시작후 28-30분에서의 강우강도 분포도

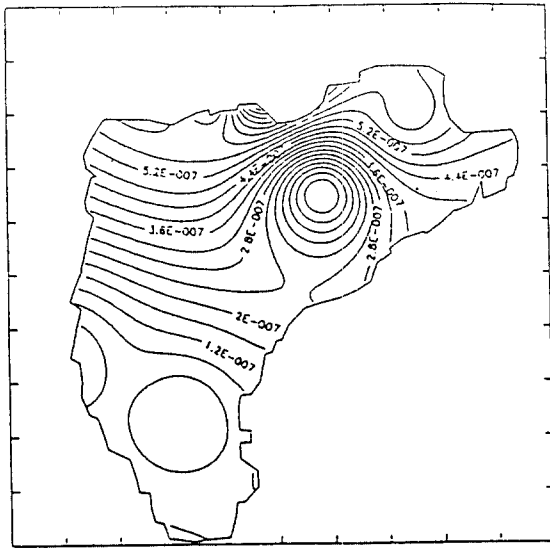


그림 15. 강우시작후 44-58분에서의 강우강도 분포도

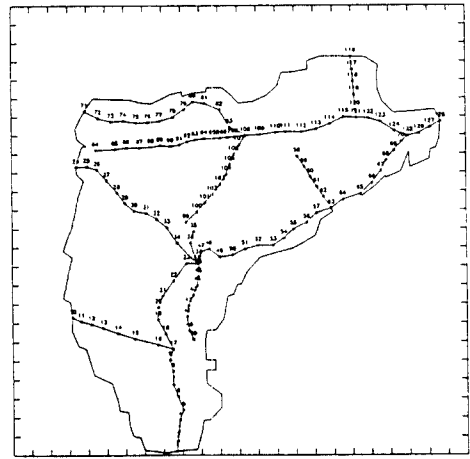


그림 18. Macks Creek 유역의 하천망 구성도

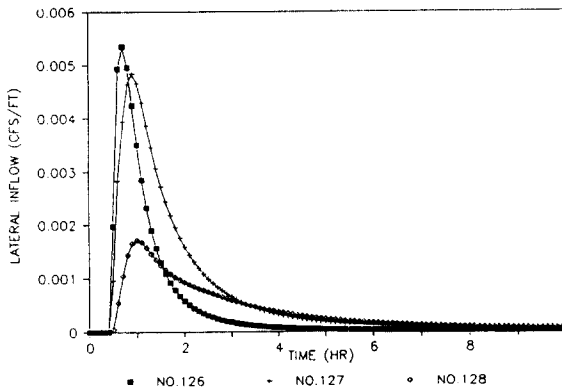


그림 16. 지표면 유출량 계산 결과(1)

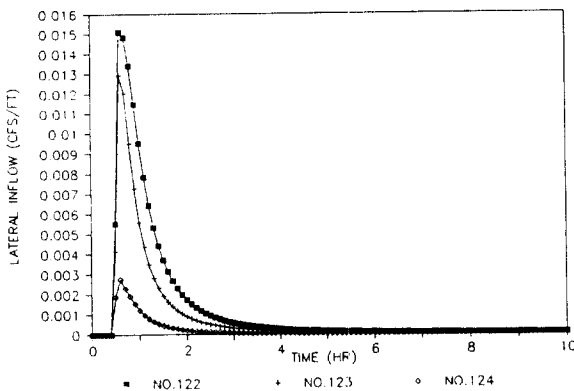


그림 17. 지표면 유출량 계산 결과(2)

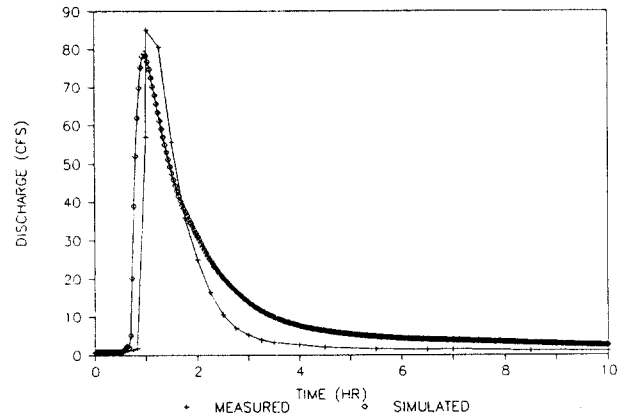


그림 19. Mack Creek 유역 하류부에서 계산결과와 관측결과의 비교

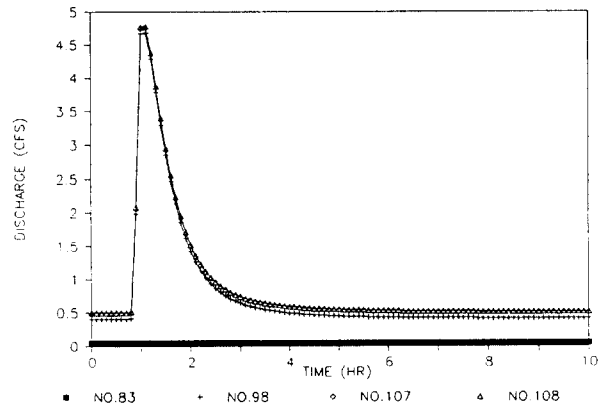


그림 20. 하천 합류점의 상, 하류 단면에서의 유출량 비교도(1)

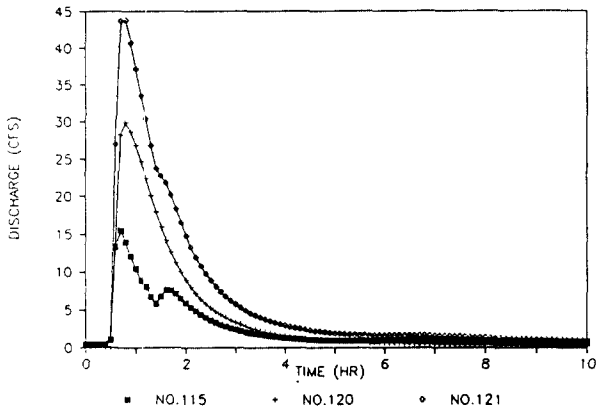


그림 21. 하천 합류점의 상, 하류 단면에서의 유출량 비교도(2)

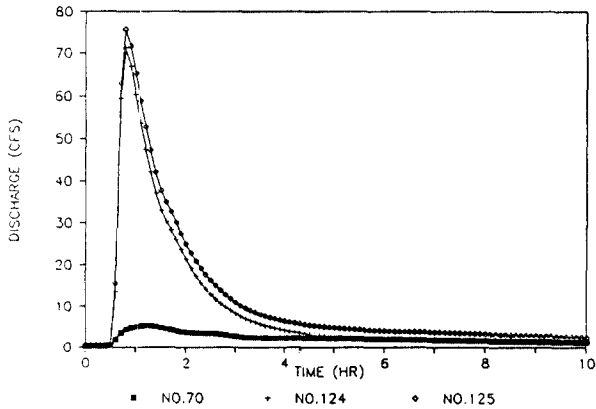


그림 22. 하천 합류점의 상, 하류 단면에서의 유출량 비교도(3)

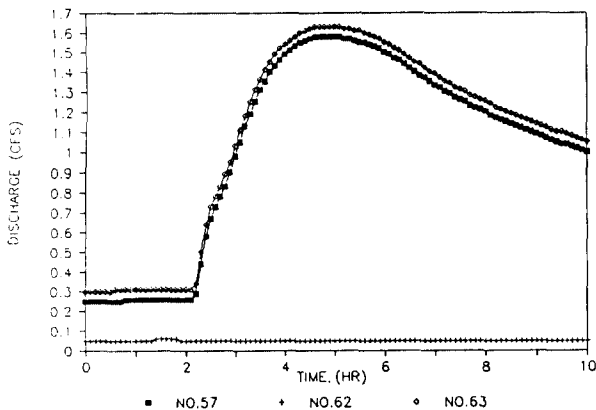


그림 23. 하천 합류점의 상, 하류 단면에서의 유출량 비교도(4)

결과치를 그림 19에 圖示하였다. 또한 하천내 합류점의 상, 하류간의 流出量 變化를 比較하기 위한 유량도는 그림 20-23에 圖示하였다.

그림 19는 분포형 모델을 利用하여 河川 下流地點에서 計算된 유출량의 결과치가 ARS에 의하여 觀測된 관측결과와 類似한 값을 나타내는 것을 보여준다. 즉, 그림에서 나타난바와 같이 첨두 流量에 이르는 時間은 거의 一致하고 있으며, 이때의 첨두 流量은 모델을 利用하여 計算된 결과치는 약 $2.27\text{m}^3/\text{s}$ (80cfs)이고 ARS에 의하여 관측된 관측치는 약 $2.41\text{m}^3/\text{s}$ (85cfs)로 관측치와 계산치는 약 6% 以內的 差異를 보여주고 있다. 또한 流量의 상승시점에서는 모델에 의하여 計算된 流量이 관측된 流量에 비하여 비교적 빠른 流量變化를 나타내고 있다. 반면 下降時點에서는 비교적 느린 下降速度를 보여주고 있다. 또한 下流地點에서의 모델을 適用하여 計算된 유량도에 의한 총유량과 관측된 유량도에 의한 총유량은 거의 一致하고 있다. 따라서 본 論文에서 提案된 분포형 모델에 의한 Macks Creek유역의 移動降雨는 成功的으로 解析되었다고 할 수 있다. 분포형 모델의 또다른 長點은, 必要로 하는 河川 各斷面의 유출량이나 水位를 쉽게 관찰할 수 있는 것인데, 합류점 周邊에서의 유출량 變化를 比較하기 위한 유량도를 그림 20-23에 圖示하였다. 각각의 그림에서 합류점 상류에서 유입되는 유량과 하류에서 유출되는 유량과는 그 차이가 아주 미소하여 합류점 상, 하류간의 質量이 잘 保存되고 있으며, 河川 合流점에서의 상, 하류간의 유출량의 變化程度를 精確히 把握하게 되어 있어, 어느 支流로부터 流入되는 유출량을 통제하든가 또는 利用할 수 있는 좋은 資料를 提供하게 된다.

그림 20은 流域內 북쪽에서 흐르는 하천줄기의 첫 번째 합류점 地點에서 상류단면들과 하류단면 사이의 流出量을 도시한 것이다. 그림 20의 범례에 나타난 숫자 83, 98과 107은 합류점의 上流斷面들을 나타내고 숫자 108은 합류점 下流斷面을 나타낸다. 그림 20에서 보이는 바와 같이 下流斷面に 미치는 流量은 대부분 98斷面을 통하여 流入되는 것으로 나타

나고 있다. 그림 21은 유역내 북쪽에서 흐르는 河川
출구의 두번째 합류점에서 上流斷面들과 下流斷面
사이의 유출량을 보여주고 있다. 그림 21의 범례에
나타낸 숫자 115와 120은 합류점의 상류단면들을
나타내고 숫자 121은 합류점 下流斷面을 나타낸다.
그림 21에서 보여지는 바와 같이 上流 및 하류단면
에서의 침투 流量에 이르는 時間은 조금 相異하게
나타나고 있다. 그림 22는 유역 하류부 합류점에서
상류단면들과 하류단면 사이의 流出量을 圖示한 것
이다. 그림 22에서 범례에 나타낸 숫자 70과 124는
합류점의 上流斷面들을 나타내고, 숫자 125는 합류
점 下流斷面을 나타낸다. 그림 22에서 보이는 바와
같이 하류단면에 미치는 流量은 대부분 124단면을
통하여 流入된다. 그림 23은 유역의 남쪽에서 흐르
는 하천출구의 네번째 합류점 지점에서 상류단면들
과 하류단면 사이의 流出量을 보여주고 있다. 그림
23의 범례에 나타낸 숫자 57과 62는 합류점의 상류
단면들을 나타내고 숫자 63은 합류점 하류단면을 나
타낸다. 그림 20-23에서 보는바와 같이 상, 하류 단
면사이의 時間當 流量의 變化度는 시간별로 유출량
의 差異가 큰 移動降雨의 特性을 잘 나타내어 주고
있다.

5. 結 論

본 論文의 前篇에서 開發된 分포형 流域모델을 利
用하여 實際 유역내 移動降雨에 의한 地表面 및 河
川網의 流出現狀을 解析하였다. 본 分포형 모델에서
는 지표면의 흐름은 2차원 연속방정식과 운동량방정
식을 利用하였으며 하천망을 통한 흐름은 하천망을
體로 하여 단일하천내 및 합류점에 대한 1차원의
연속방정식과 운동량방정식 또는 에너지방정식을 기
본방정식으로 利用하였다. 分포형 모델을 Macks
Creek 유역에 적용한 결과 河川 下流地點에서 計算
된 유출량이 ARS에 의하여 觀測된 유출량과 類似
한 값을 나타냈는바, 침투 流量에 이르는 時間은 거
의 一致하고 있으며 이때의 침투 流量은 모델을 利
用하여 計算된 결과치는 약 $2.27\text{m}^3/\text{s}$ (80cfs)이고

ARS에 의하여 觀측된 觀측치는 약 $2.41\text{m}^3/\text{s}$
(85cfs)로 觀측치와 계산치는 약 6% 以內의 差異
가 있다. 流量의 상승시점에서 모델에 의하여 計算
된 流量이 觀측된 流量에 비하여 流量變化가 빠르고
下降時點에서는 느리다. 또한 下流地點에서 모델을
適用하여 計算된 총유량과 觀測된 총유량은 거의
一致하고 있다. 分포형 모델을 利用하여 각각의 합류
점 上, 下流 斷面사이의 質量보존을 檢討한 결과 質
량이 잘 保存된것으로 나타났으며 그 結果値는 유역
내 入力資料들의 時間 및 空間的 分포를 잘 反映하
였다. 따라서 본 論文에서 提案된 分포형 모델로서
實際流域內 移動降雨는 잘 解析되었으며, 추후 流域
內 移動降雨가 到來할때 이와같은 結果를 活用하여
流出量을 효과적으로 統制하거나 타용도로 利用할
수 있는 좋은 資料를 提供하게 되었다.

參 考 文 獻

1. Amorocho, J. and Wu, B., (1977) "Mathematical Models for the Simulation of Cyclonic Storm Sequences and Precipitation Fields," *Journal of Hydrology*, Volume 32, pp. 329-345.
2. Choi, G. W. (1991) "Hydrodynamic Network Simulation Through Channel Junctions," Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co.
3. Jayawardena, A. W. and White, J. K., (1979) "A Finite Element Distributed Catchment Model, Analytical Basis," *Journal of Hydrology* 34, pp. 269-286.
4. Judah, O. M., (1973) "Simulation of Runoff Hydrograph from Natural Watershed by Finite Element Method," Ph. D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
5. Julien, P. Y. et al. (1989) "CASC User's Manual-A Finite Element Model for Spatially Varied Overland Flow Simulation," Report CER87-88, GE07, Colorado State University, Fort Collins, Co.
6. Hindi, W. N. A. and Kelway, P. S., (1977) "Determi-

- nation of Storm Velocities as An Aid to the Quality Control of Recording Raingauge Data," *Journal of Hydrology* ` Volume 32, pp. 115-137.
7. Marcus, K. B.,(1991) "Two-Dimensional Finite Element Modeling of Surface Runoff from Moving Storms on Small Watersheds," ph. D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Co.
 8. Marshall, R. J., (1980) "The Estimation and Distribution of Storm Movement and Storm Structure, Using A Correlation Analysis Technique and Rain-Gauge Data," *Journal of Hydrology*, Volume 48, pp. 19-39.
 9. Marshall, R. J. (1981) "A Spatial Temporal Model of Storm Rainfall," *Journal of Hydrology*, Volume 62, pp. 53-62.
 10. Moglen, G. E., (1989) "The effect of spatial variability of overland flow Parameters on Runoff Hydrographs," Thesis, Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co.
 11. Niemczynowicz, J. (1987) "Storm Tracking using Rain Gauge Data," *Journal of Hydrology*, Volume 93, pp. 135-152.
 12. Niemczynowicz, J. and Dahlblom, P. (1984) "Dynamic Properties of Rainfall in Land," *Nordic Hydrology*, Volume 15, pp. 9-24.
 13. Niemczynowicz, J. (1984) "Investigation of the Influence of Rainfall Movement on Runoff Hydrographs Part I and Part II," *Nordic Hydrology*, Volume 15, pp. 57-84.
 14. Richardson, J. R. (1989) "The Effect of Moving Rainstorms on Overland Flow Using One-Dimensional Finite Elements." Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co.
 15. Rawls, W. J., Brakensiek, D.L., and Miller, N., (1983) "Green-Ampt infiltration parameters from soils data," *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 109, No. 1, pp 62-70.
 16. Ross, B. B. et al. (1979) "A Finite Element Model of Overland and Channel Flow for Assessing the Hydrologic Impact of Land-Use Change," *Journal of Hydrology*, Vol. 41, pp. 11-30.
 17. Ross, B. B., (1978) "A Spatially Responsive Catchment Model for Prediction Stormwater Runoff from Ungaged Watershed," Ph. D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
 18. Stephenson, G. R., (1977) "Soil-Geology-Vegetation Inventories for Reynolds Creek Watershed," Agricultural Experiment Station, College of Agriculture, University of Idaho, University of Idaho, Miscellaneous Series No. 42.
 19. Sunkan, A. J., (1969) "Synthetic Hydrographs: Effects of Network Geometry," *Water Resources Research*, Vol. 5, No. i, pp.112-128.
 20. Taylor, C., Al-Mashidani, G. and Davis, J. M., (1974) "A Finite Element Approach to Watershed Runoff," *Journal of Hydrology* 21, pp. 231-246.
 21. Yaramanoglu, M., (1978) "A Finite Element Model for Simulation of Hydrograph from Natural Watershed," Ph. D. Dissertation, University of Maryland.
 22. Zhang, W. and Cundy, T. W., (1989) "Modeling of Two-Dimensional Overland Flow," *Water Resources Research*, Vol. 25, No. 9, pp. 2019-2035.
 23. 崔桂漢, 李熙昇, 安相鎮, (1992) "분포형 모델을 이용한 유역내 이동강우 (MOVING STORM)의 유출해석 (1), -모델의 개발-", *한국수문학회지*, 제 25-1, 한국수문학회, pp.101-109.

〈9월 5일 접수〉