

〈論 說〉

浸透 研究의 發達과 必要性 Development and Needs of Infiltration Research

鄭 相 玉
Chung, Sang Ok

1. 서론

浸透란 강우, 관개수, 하천수 등의 지표수가 지표면을 통하여 땅속으로 스며드는 현상을 말하며 물의 순환 과정중 매우 중요한 요소이다. 유역에서의 유출은 수문 순환과정의 어느 요소 보다도 浸透에 의해 크게 좌우된다(Larson, 1983). 따라서, 유역수문학이나 농업수문학에서 浸透의 중요성은 매우 크다고 하겠다. 이러한 浸透에 대하여 선진외국에서는 研究가 매우 활발하게 진행되고 있으며, 浸透를 주제로 한 학술회의(ASAE, 1983; Fok 1987, 1989)도 개최 되었으나 우리나라에서는 浸透에 대한 研究가 매우 부진한 실정이다.

본 研究에서는 浸透의 영향인자들과 浸透 방정식의 발달과정에 대하여 논의하고, 浸透 관련 분야인 유역수문학, 관계 계획, 지하수 함양, 지하수 오염 해석등의 분야에서 浸透 研究의 필요성에 대하여 논의한다. 본 研究는 浸透에 관한 review 논문이며 수많은 참고문헌을 모두 다 수록하기 어려우므로 많은 참고 논문을 수록한 문헌은 별도로 소개하였다.

2. 浸透 영향 인자

浸透에 영향을 미치는 인자에는 여러가지가 있으

며 이들을 크게 자연인자, 토양인자, 지표면인자, 및 관리인자로 분류할 수 있다. 이들 각 인자에 속하는 세부인자들은 표 1과 같다(Brakensiek and Rawl, 1989). 이러한 여러인자들은 토양 수분의 수리학적 성질과 토양 보수력 특성에 영향을 미친다. 이 인자들이 浸透에 미치는 중요성은 각각의 주어진 경우에 따라서 달 라진다. 그러나 일반적으로 浸透에 큰 영향을 미치는 인자로는 강우, 지형, 토성, 지표면 피복상태 등을 들 수 있다. Moore, et al. (1981)은 浸透 모형에 있어서 갖힌 공기가 불포화층의 투수계수에 미치는 영향과, 토양공기의 점성, 耕원 및 토양 표면 막힘 등이 침투에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

Table 1. Factors affecting infiltration

자연 인자	토양 인자	지표면 인자	관리 인자
강 우	토 성	지 형	경 운
강 실	구 조	다 짐 도	관 개
동 결	토층 두께	조 도	처 리
해 빙	공극률	나 지	피 복
초기함수량	밀 도	피복 작물	혼 합 물
식 생	유 기 물	작물 종류	
지하 수위	관 열	crust	
	공 기		
	뿌 리		
	수축, 팽창		
	worm hole		
	organism		

〈定期總會/25〉

水文人の矜持를 살리자

- 會長 就任辭 -



四半世紀를 目前에 두고 學會發展을 盛盛 向上시켜야할 時點에 會長을 選出하여 주신데 대하여 여러先輩 會員 및 會員들에게 깊은 感謝를 드립니다.

본의아니게 第13代 會長이란 重責을 맡게되어 責任感의 莫重함을 통감하는 바입니다. 이는 오로지 歷代 會長님들 및 會員들과 合心하여 學問의 向上과 學術活動의 活性化내지 發展을 위하여 精銳化한 勞力으로 이루어지리라 믿고 受任하여 憤懣刷新하고자 합니다.

내다보면 英文會誌의 向上, 國文會誌의 刷新, 水文, 水資源政策의 一新, 國際水文學會 및 國內, 外 유사학회와 유대進展들을 目標로하여, 學術發表會 세미나 심포지엄 다채로운 活動과 研學을 技術人 學者共히 水文人의 임무요 책임이며 後代에 물려줄 유산으로 생각하고 분발하여 나아가야겠습니다.

요즘 擡頭되고 있는 環境問題는 30年前부터 주창하여온 바이지마는 새로운 괴물로 登場하여 政策을 괴롭히고 있어 우리의 할일은 태산같지만 합니다. 技術 및 學問의 向上 나아가서는 國民福祉를 止揚하는 研究의 發展은 오로지 한사람만으로 되는 것이 아니라 생각됩니다. 그러므로 斯界技術士 140餘名 博士學位者가 150餘名에 달하고 있습니다. 뿐만아니라 土木分野 學士出身이 年 9,000餘名이 輩出되는 現況下에 水文, 水資源分野 進出者가 극히 小數의 이름은 할일이 山積한데 비하면 이분야 진출자 또한 많이 종사내지 연구하게 해야 할 課題가 아닐 수 없습니다.

위에 몇가지 열거한 일들을 目標로 삼아 學會發展을 위하여 主力하고자 합니다. 先輩會員 및 會員의 가정에 萬福과 研學에 번성을 기원하면서 就任人事에 代하는 바입니다.

1991. 2. 23.

會長 李 種 南

3. 浸透 研究의 발달

浸透에 대한 研究는 1800년대 말까지 거슬러 올라갈 수 있으나, 일반적으로 Buckingham (1904)의 토양수분 이동에 대한 capillary potential 이론과 Green and Ampt (1911)의 浸透 방정식을 시초로 보고 있다. 그 후 80여년간 浸透에 대한 研究는 계속되어 오고 있다.

浸透 현상을 해석하기 위하여 개발된 浸透 방정식은 여러가지가 있다. 이들을 식의 성격으로 분류하면 경험식, 대수식 및 편미분식으로 나눌 수 있으며 浸透방정식의 발달 과정을 한눈에 볼 수 있는 진화도 (evolution tree)로 나타내면 그림 1과 같다. (Fok, 1987) 대표적인 浸透式들을 식의 성격으로 분류하여 개발자, 개발년도 등을 함께 나타내면 표 2와 같다. 표2의 변수는 표 아래에 설명되어 있다.

그림 1과 표 2에 소개된 여러가지 침투 방정식들의 상호 비교는 매개변수의 개수, 적용가능 차원등과 침투공식의 사용목적, 이용가능 자료등에 의하여 검토되어야 하므로 일률적으로 어떤식이 좋다고 하기는 어렵다고 하겠으나, 일반적으로 외국에서 많이 사용되는 식들이 우리나라에서도 적합하리라 사료된다. 경험식, 대수식, 및 편미분식의 발달에 대해 논의하면 각각 다음과 같다.

1. 경험식 (Empirical Equation)

浸透 현상을 해석하기 위한 경험식은 비교적 간단하게 표시되며 표 2의 식 (1)-(5)까지의 여러가지 경험식과 개발자, 년도 및 적용할 수 있는 차원을 보여주고 있다.

식 (1)은 가장 간단한 형태의 경험식으로 浸透율을 시간의 함수로 나타내었으며 2개의 상수를 결정해 주면 浸透률을 계산할 수 있다. 이 식은 Kostiakov가 1932년에 발표하였으며, 그 이전에 Lewis가 개발하였으나 1937년에 발표하였기에 Lewis-Kostiakov식으로 불리기도 한다.

그 후 1940년에 Horton이 식 (2)와 같이 표시되는 경험식을 제시하였다. 그는 지표면의 浸透能은 강우에 충격 에너지의 영향을 받았다고 하였고, 따라서

식 (2)의 세 변수들도 강우 강도에 영향을 받는다고 하였다. Horton식은 비교적 좋은 결과를 주기 때문에 유역 수문학에서 지금까지도 많이 이용되고 있다.

Holtan은 1961년에 저장 개념에 기초하여 식 (3)과 같은 경험식을 제안하였다. 그는 토양의 수분 저장 능력에서 누적 浸透량을 빼 값인 浸透가능 체적 (Fp)을 이용하였다.

이상의 식들은 1차원 浸透式들이며, 2차원 浸透 방정식은 1965년에 Toksoz등이 30cm폭의 직사각형 수로로부터의 누적 浸透량을 식 (4)와 같이 제시하였다. Fok (1970)은 line source로 부터의 浸透와 직사각형 수로로부터의 浸透에서 측방과 직하방은 1차원 浸透로 보고 습윤전선을 타원으로 가정하여 1차원 浸透式을 기초로 하여 2차원 누적 浸透량을 식 (5)로 표시하였다.

Huggins and Monke (1968)는 수정 Holtan식을 제안 하였다. 그들은 Holtan식에서 토양층의 浸透 방해층 (impeding strata)을 고려하여 이 층 상부의 총 공극 체적 (T), 浸透 가능 체적 (S) 및 누적 浸透량 (I)을 이용하여 식 (3)의 浸透 가능 체적 Fp대신에 (S-I)/T를 사용하였다.

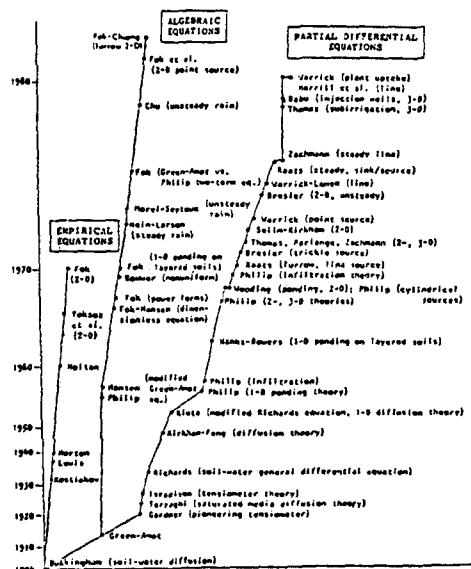


Figure 1. Evolution tree of infiltration studies (after Fok, 1987)

Table 2 Empirical, algebraic, and partial differential infiltration equations

No.	Equations	Dimension	Author	Year	Class
(1)	$i=ct^{-m}$	1	Kostiakov	1932	empirical
(2)	$i=ic+(io-ic)e^{-bt}$	1	Horton	1940	"
(3)	$i=ic+a(Fp)^n$	1	Holtan	1961	"
(4)	$I=Ct^b$	2	Toksoz et	1965	"
(5)	$I=\frac{\pi}{2}kat^{n+c}$	2	Fok	1970	"
(6)	$i=ic+A/I$	1	Green-	1911	algebraic
(7)	$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot [K(\psi) \nabla \psi]$	3	Richards	1931	partial diff
(8)	$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla \theta)$	1	Klute	1952	"
(9)	$I=S_0^2+5+Bt$	1	Philip	1957	"

Note:Definitions of Variables

- i :instantaneous infiltration rate
- ic:final infiltration rate
- io:initial infiltration rate
- I:cummulative infiltration
- Fp:volumn of potential infiltration
- θ :volumetric soil Water content
- A, B, C, a, b, c, k, m, n:empirical constants
- K:hydraulic conductivity as a function of soil water tension ψ
- t:infiltration time
- S:sorptivity
- ∇ :Gradient operator
- D:soil water diffusivity
- z:vertical coordinate

2. 대수식 (Algebraic Equation)

Green and Ampt(1911)가 토양속에 1차원 물의 흐름을 처음으로 대수식으로 표 2의 식(6)과 같이 나타내었다. 그들은 토양공극을 모세관으로 가정하였으며 흙의 균질성과 등분포 초기 함유량을 가정하였다. 식(6)은 침투율 i 와 누적침투량 I 가 모두 시간의 함수이기 때문에 음함수로 표시되어 있어 해법이 복잡하여 많이 사용되지 않다가 Philip(1954)과 Hansen(1955)이 수정한 후부터 사용되었다. Fok and Hansen(1966)은 식(6)을 무차원량을 이용한 식으로 수정하였다.

Bouwer(1969)는 불균질 토양속으로의 浸透를 토양 종단내의 토양 함수량과 투수계수의 불균일성을 고려하고 Green-Ampt의 접근방식으로 유도하였다. Mein and Larson(1973)은 정상적 강우에 대한 浸透 방정식을 제시하였고, Morel-Seytoux(1975)는 비정상적 강우가 있는 경우에 대한 浸透 방정식을 제안하였다. Ch. (1978)는 Green-Ampt 浸透式으

로 부터 비정상적인 강우가 있을때 표면 유출이 시작되는 시점 전후의 浸透 계산 방법을 제시하였다. 2차원 浸透에 대한 지수 방정식은 Fok et al. (1982)에 의하여 제시되었고, Fok and Chiang(1984)에 의하여 고랑관개에 까지 확대 적용되었다.

3. 편미분식 (Partial Differential Equation)

토양속의 물의 이동에 대한 일반적인 편미분 방정식인 표 2의 식 (7)이 Richards(1931)에 의해 제시되었으며 이 일반식은 浸透 현상에 대해서도 적용될 수 있다. Green-Ampt 浸透式과 마찬가지로 Richards식은 음함수 식이다. Klute(1952)는 Richards(1931)식을 연직 방향의 浸透에 대하여 식(8)과 같이 토양수분 확산계수를 이용하여 수정 발표하였다.

Philip(1957a)은 식(8)을 Boltzmann 변환을 이용하여 해석하여 누적 침투량을 시간에 대한 지수형 무한급수로 표시하였으며, Philip(1957b)은 또 처음 둘째항까지만 사용하여 누적 浸透量을 나타내는 Philip의 2항(two-term) 방정식인 식(9)을 제시하였다. 그 후로 1, 2, 및 3차원 浸透에 대한 研究가 현재까지 계속 되어 오고 있으며 그 중 대표적인 것이 그림 1에 소개되어 있다.

4. 浸透 研究의 필요성 및 研究 분야

1. 유역 수문학

浸透는 표면 유출의 크기에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 유역수문학에서 浸透가 차지하는 중요성은 매우 크다고 하였다. 일반적으로 강우량에서 浸透量과 차단량을 빼면 표면 유출량이 되는 데 유역 수문학에서 적절한 浸透 추정식이 없다면 유출량의 추정이 매우 어렵게 된다. 현재까지 유역 수문학에 관련된 研究는 매우 많으며 몇가지 예를 들면 다음과 같다.

Holtan(1961)은 유역수문학에서 표면 유출량 산정을 위한 浸透式을 제시하였으며, Huggins and Monke(1968)는 유역으로 부터의 표면유출을 모의 발생하기 위한 일반적인 수학적 모델을 개발하였으며, 실재 유역에 적용한 결과 浸透와 표면 유출과의

관계에 대하여 더 많은 研究가 필요하다고 하였다.

Springer and Cundy (1987)는 토양의 수리 특성을 토성과 같은 토양의 물리적 성질로부터 추정하여 표면유출의 매개 변수 결정에 사용하였다. 그들은 Green-Ampt 浸透式의 매개 변수들을 토성에 기초한 추정식으로 결정하여 유출예측에 사용하였다.

이 외에도 유역 수문학에 관련된 浸透 研究는 많이 있으며 위에 인용되지 않은 문헌은 참고문헌에 소개하였다. 이와 같이 浸透는 유역 수문학에서 매우 중요한 요소이며 보다 나은 유출해석을 위해서는 浸透에 대한 研究가 많이 필요하다고 하겠다. Brakensiek and Rawls (1989)는 유역 수문 모형을 개선하기 위하여 물리적 浸透 방정식에 있어서 다음과 같이 여러 분야에 대한 研究가 필요하다고 하였다.

- (1) 토양특성의 공간적인 변동
- (2) 구조적 토양이나 큰 공극에서의 물의 이동
- (3) 토양 온도와 염도가 토양 수분특성에 미치는 영향
- (4) 정확하고 경제적인 토양수분 특성 측정 장치 개발
- (5) 물과 공기의 2원적 흐름
- (6) 화학 물질의 이동
- (7) 유역 규모에서 토양의 불균질성과 토양 수리 특성의 변동성에 대한 통계적 처리 방법
- (8) 浸透를 기준으로한 유역 수문 모델의 비교 기준 설정
- (9) 유역 수문 모형의 검증후 실제 적용화
- (10) 검증된 浸透 모형의 유역 수문 모형에의 적용 및 이용

2. 灌溉 計劃

논이나 밭의 관개 계획에 있어서 토양에 따른 浸透率의 정확한 파악은 매우중요하다고 하겠다. 특히 밭 관개에 있어서 관개수가 작물의 根群域 아래로 浸透하는 것을 방지하기 위해서는 浸透에 대한 자료가 매우 중요하다고 하겠다. 浸透와 관련된 조사및 研究를 소개하면 다음과 같다.

미국 중북부 지방 12개 주에서는 대표적인 토양에

대한 침투율을 측정하는 대규모 사업을 수행하여 각 토양에 대한 침투율을 제시하여 관개 계획에 사용하도록 하였다. (Agri. Exp. Station, 1979).

Jaynes and Clemmens (1986)는 보더(border) 관개에서 Kostiaikov 浸透式의 매개변수 값과 浸透 기회시간으로부터 浸透 깊이의 공간적인 변화를 고려하여 관개의 균일성을 調査하였다. Pullan and Collins (1987)는 지표면이나 토양속의空洞으로부터 2차원 및 3차원 안정적인 준 선형 浸透를 경계요소법을 이용하여 해석하였다.

Killen and Slack (1987)은 Green-Ampt식을 이용하여 surge 관계시의 浸透현상을 해석하였고, Blair and Smerdon (1987)은 surge 관계시의 浸透현상을 해석하기 위한 모형을 개발하였다. Chung (1987a)은 물방울 관계시의 浸透현상을 해석하기 위하여 점원으로 부터의 3차원 침투를 수치해법을 이용하여 해석하였으며, 또 Chung (1987b)은 침투율의 측정과 재분배시의 토양수분 흐름의 추정에 대한 연구를 하였다.

Clothier, et al. (1985)은 點滴 관개시의 3차원 침투에 대하여 실험실 및 포장 관측을 한 결과, 토양내에 큰 구멍이 있을때에는 침투수가 근근역을 바로 통과하기 때문에 관개 효율이 낮다고 보고하였다. Beven and Clarke (1986)는 균질성 토양에서 연직 구멍들에 의한 浸透를 研究하였다. 浸透는 구멍의 벽과 저면으로부터 발생하고, 구멍이 물로 충만되면 표면유출이 발생하는 것으로 보고 임의로 분포하는 구멍에 의한 浸透에 대하여 研究하였다. Trout and Johnson (1989)은 고랑 관개시의 침투율이 지렁이 구멍에 의하여 불균일한 분배가 되는 것을 발견하였으며 이를 시정하기 위하여 수성암모니아를 사용하여 지렁이를 쫓을 수있다고 보고하였으며, Meek, et al. (1990)은 토양의 경운과 다짐정도에 따른 알팔파와 목화밭에서의 浸透의 변화를 포장 관측을 통하여 調査하였다.

3. 오염물질의 이동 및 지하수 오염

지표면에 살포되거나 흙속에 매립된 산업폐기물, 농약 및 비료, 폐수처리 슬러지 등의 오염 물질은

반드시 浸透水和 함께 浸透 과정을 거쳐서 이동한다. 오염물질은 浸透水의 浸透속도에 따라서 확산과 분해가 되면서 불포화층을 거쳐서 지하수면에 도달하게 되며, 그 후 대수층내에서 이동하게 된다. 따라서 浸透과정에 대한 정확한 이해가 없이는 오염물질의 이동을 해석할 수 없다. 오염물질의 이동에 관련된 研究를 소개하면 다음과 같다.

Small and Muler(1987)는 장기간에 걸친 누적 강우량과 浸透量의 추계학적 변동에 따른 오염물질의 강하량의 확률 분포를 불포화층에서의 오염물질 이동의 변화로 부터 분석하였다. Hoehn and Stant schi(1987)는 지하수 함양 하천에서 tritium추적자를 이용하여 浸透水가 관측정에 도달하는 시간을 調査하여 확산과정을 분석 하므로써 대수층의 확산계수를 모멘트법(method of moment)을 이용하여 구하였다. 이 외에도 지하수 오염에 관련된 많은 연구 논문이 있다.

4. 필요 研究 분야

앞에서 언급한 바와 같이 물의 순환 과정에서 매우 중요한 요소인 浸透에 대한 필요 研究 분야는 매우 많이 있다고 하겠다. 먼저 시간 및 공간적 浸透率의 변동을 보면 Cressie and Horton (1987)은 浸透의 공간적인 상관분석을 위하여 광산학에서 주로 사용하는 geostatistical method를 적용하여 耕耘처리에 따른 浸透率의공간적인 상관성에 대하여 발표하였다.

Hopmans (1989)는 현장 관측된 浸透率의 공간적인 변화를 조사 분석하고 이들 관측 값들의 추계학적 특성을 분석하는 세가지 기법을 평가하였다.

Skaggs, et al. (1969)은 52개의 浸透 관측치를 이용하여 4가지 浸透 방정식을 비교한 결과 Holton 식과 Horton식이 Philip식과 Green-Ampt식보다 우수한 결과를 나타내었다고 보고하였다.

Fok and Chung (1987)은 浸透 研究의 필요 분야와 고려하여야 할 점들을 다음과 같이 제시하였다.

- 1) 土壤은 일반적으로 많이 가정하는 均質性이 아니라 不均質적인 물질로 고려하여야 한다.
- 2) 土壤 水分 관측망도 강우나 유량 관측망과 같

이 전국적으로 구성되어야 한다.

- 3) 浸透率 측정을 위한 보다 나은 기기가 개발되어야 한다.
- 4) 쉽게 적용할 수 있는 浸透 방정식의 개발이 필요하다.
- 5) 土壤 改良이 침투에 미치는 영향.
- 6) 浸透 모형식들은 현상 짐정없이 사용되어서는 안된다.
- 7) 浸透 후의 토양 수분 再分配, 지하수 함양 등의 분야에 研究가 필요하다.

5. 요약

浸透는 水文 순환 과정중 매우 중요한 요소이며, 유역수문학, 관개계획, 지하수 함양, 지하오염물질의 이동등의 분야에 필수적인 요소이다. 이러한 浸透 研究의 발전과 研究의 필요성에 대하여 고찰하였다. 浸透에 대한 研究는 80년 이상 계속되어 오고 있으며 浸透 방정식은 식의 성격에 따라 경험식, 해석식, 및 편미분식으로 분류할 수 있다. 이들 식의 진화도를 소개하였으며 각 식을 간략하게 설명하였다.

그림 1과 표 2에서 소개한 여러가지 침투공식들은 각각 정단점을 갖고 있다고 하겠다. 따라서 침투 모형의 사용목적이나 수집된 자료의 종류 등에 따라서 적절한 침투공식이 결정될 수 있겠다. 일반적으로 우리나라에서도 외국에서와 같이 유역수문학에서는 Green-Ampt식과 Horton식 등을, 관개 계획에서는 Green-Ampt식과 Kostiaikov식 등을 사용하는 것이 적당하리라 생각된다.

우리나라에서는 침투관련 연구가 부진하여 침투에 관한 자료가 별로 없으므로 우선 지역별 및 토양별로 침투를 측정 조사사업이 광범위하게 이루어져야 하겠다. 이러한 침투을 관측자료로 부터 적절한 침투공식을 선정 또는 유도할수 있을 것이다. 또, 앞으로의 浸透 研究는 우리 나라의 유역수문 모형이나 관개 계획, 및 지하수 함양 등의 각 목적별로 적절한 침투 모형의 선정과 개발은 물론 앞에서 소개한 전반적인 研究 필요 분야에 대하여 많은 研究가 수

행되어야 할 것이다.

주요 참고 문헌

1. ASAE. (1983). *Proceedings of the national conference on advances in infiltration*. ASAE Conference at IL. St. Joseph, MI : ASAE.
2. Fok, Y. -S. (Ed.) (1987). *Proceedings of the International Conference on infiltration Development and Application*, Water Resources Research Center, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
3. Fok, Y. -S. (Ed.) (1989). *Post proceedings of the International Conference on infiltration Development and Application*. Water Resources Research Center, University of Hawaii at Manoa, Honolulu.
4. Hann, C. T., Johnson, H., P., and Brakensiek, D. L. (Eds.) (1982). *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph, MI : ASAE.
5. Phillip, J. R. (1969). *Theory of infiltration*. (In) *Advances in Hydrosociences*. Vol. 5. pp. 215-296. Ed. V. T. Chow, Academic Press.

참 고 문 헌

1. Agricultural Experiment Station. (1979). *Water infiltration into representative soils of the North central region*, University of Illinois Bulletin 760.
2. Beven, K. J., and Claibe, R. T. (1986). *On the variation of infiltration into a homogeneous soil matrix containing a population of macropores*, *Water Resources Research* 22(3)383-388.
3. Blair, A. W., and Smerdon, E. T. (1987). *Modeling surge irrigation infiltration*, *J. Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE 113(4) : 497-515.
4. Bouwer, H. (1969). *Infiltration of water into nonuni form soil*. *J. Irrigation and Drainage Division*, ASCE 95 (IR4) :451-462.
5. Brakensiek, D.L. and Rawls, W. J. (1989). *Infiltration reserarch needs in watershed hydrology*, *Trans. ASAE*. 32(2) : 633-637.

6. Buckingham, E. (1907). *Studies on the movement of soil moisture*. U. S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 38.
7. Chu, S. -T. (1978). *Generalized Mein-Larson infiltration model*, *J. Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 113(2) : 155-162.
8. Chung, S. -O. (1987a). *Simulation of three-dimensional infiltration from a point source*. *Proceeding of the International Conference on Infiltration Development and Application*. pp. 114-123.
9. Chung, S. -O. (1987b) *Infiltration measurement and prediction of soil water flow during redistribution*. *J. Korean Society of Agricultural Engineers* 29(2) : 74-81
10. Clothier, B., Scotter, D., and Harper, E. (1985). *Three-dimensional infiltration and trickle irrigation*. *Trans. ASAE* 28:497-501.
11. Cressie, N.A.C., Horton, R. (1987). *A robust-resistant spatial analysis of soil water infiltration*, *Water Resources Research* 23(5)911-917.
12. Elrick, D.E., Reynolds, W.D., Geering, H.R. and Tan, D. A. (1990). *Estimating steady infiltration rate times for infiltrometers and permeameters*. *Water Resources Research*. 26(4) : 759-769.
13. Fok, Y. -S. (1970). *A study of two-dimensional infiltration*. *Trans. ASAE* 13(5):676-677, 681.
14. Fok, Y. -S., and Chiang, S. H. (1984). *2-D infiltration equations for furrow irrigation*. *J. Irrigation and Drainage Division*. ASCE 110: 207-217.
15. Fok, Y. -S., and Chiang S. -H. (1987). *Upward infiltration equations in power-law form*, *J. Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE 113(4) : 595-601.
16. Fok, Y. -S., and Chung, S. - O. (1987). *Needs for infiltration development and application*, Paper No 87-2533. ASAE (1987). Winter meeting.
17. Fok, Y. -S., Chung, S. -O. and Liu, C. C. K. (1982). *Two-dimensional exponential infiltration equations*. *J. Irrigation and Drainage Division*. ASCE 108:231-241.
18. Fok, Y. -S., and Hansen, V. E. (1966). *One-dimensional infiltration into homogeneous soil*. *J. of IR*, ASCE 92 (IR3) : 35-47.

19. Green, W.H., and Ampt, G.A (1911). *Studies on soil physics. Part I. The flow of air and water through soils*, J. Agricultural Science 4 : 1-24.
20. Hansen, V. E. (1955). *infiltration and soil water movement during irrigation*. Soil Sci. 78(2):93-105.
21. Hoehn, E., and Santschi, P.H. (1987). *Interpretation of tracer displacement during infiltration of river water to groundwater*, Water Resources Research 23(4):633-640.
22. Holtan, H.N. (1961). *A concept for infiltration estimates in watershed engineering*. U.S.D.A. ARS 41-51.
23. Hopmans, J.W. (1989). *Stochastic Description of field-measured infiltration data*. Trans. asae 32(6) : 1987-1993.
24. Horton, R.E. (1940) *Approach toward a physical interpretation of infiltration capacity*. Soil Sci. Soc. Am. Proc 5:399-417
25. Huggins, L.F., and Monke, E.J. (1968). *A mathematical model for simulating the hydrologic response of a watershed*. Water Resources Research 4 : 529-639.
26. Jaynes, D.B., and Clemmens, A.J. (1986) *Accounting for spatially variable infiltration in border irrigation models*, Water Resources Research 22(8):1257-1262.
27. Killen, M.A., and Slack, D.C., (1987). *Green-Ampt model to predict surge irrigation phenomena*, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 113(4) : 575-584.
28. Klute, A. (1952). *A numerical method for solving the flow equation for water in unsaturated materials*. Soil Sci. 73:105-116.
29. Kostiaikov, A.N. (1932). *On the dynamics of the coefficient of water Percolation in soils and on the necessity for study it from a dynamic point of view for Purposes of amelioration*. Trans. 6th Int. Soc. Soil Sci., Russian Part A:17-21.
30. Larson, C.L., (1983). *Advances in infiltration - Asummary*, Proceedings of the national conference on advances in infiltration, ASAE, pp. 364 373.
31. Meek, b.d., DeTar, W.R., Rolph, D., Rechel, E.R., and Carter, L.M., (1990). *Infiltration rate as affected by an alfalfa and no-till cotton cropping system*. Soil Sci. Soc. Am. J. 54(2) : 505-508.
32. MEIN, R.G., and Larson, C.L. (1973). *Modeling infiltration during steady rain*. Water Resour. Res. 9(2):384-394.
33. Moore, I.D., et al. (1981). *Modeling infiltration : A measurable parameter approach*. J. Agric. Engrg. Res. 26:21-32.
34. Morel-Seytoux, H.J. (1975). *Derivation of equations for rainfall infiltration*. Water Resour. Res. 10(4):795-800.
35. Musgrave, G.W., and Holtan, H.N. (1964). *Infiltration*, In *Handbook of Applied Hydrology*(Ed. V.T. Chow). McGraw-Hill.
36. Philip, J.R (1954). *An infiltration equation with physical significance*. Soil Sci. 77:153-157.
37. Philip, J.R. (1957a). *The theory of infiltration. 1. The infiltration equation and its solution*. Soil Sci. 83:345-357.
38. philip, J.R. (1957a). *The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic equations*. Soil Sci. 84:257-264.
39. Pullan, A.J. and Collins, I.F. (1987). *Two-and three-dimensional steady quasi-linear infiltration from buried and surface cavities using boundary element techniques*, Water Resources Research 23(8):1633-1644.
40. Richards, L.A. (1931). *Capillary condition of liquids through porous mediums*. Physics 1:318-333
41. Singh, V.P., He, Y.-C., and Yu, F.-X. (1987). *1-D, 2-D, and 3-D infiltration for irrigation*, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 113(2) : 266-278.
42. Skaggs, R.W., Huggins, L.E., Monke, E.J., and Foster, G.R. (1969). *Experimental evaluation of infiltration equations*, Trans. ASAE 12:822-828.
43. Small, M.J. and Muler, J.R. (1987). *Long-term pollutant degradation in the unsaturated zone with stochastic rainfall-infiltration*, Water Resources Research 23(12)2246-2256.
44. Spring, E.P and Cundy, T.W. (1987). *Field-scale evaluation of infiltration parameters from soil texture for hydrologic analysis*. Water Resources Research 23(2):325-334.