

〈報 文〉

地下水 모델링의 諸技法

Groundwater Modeling

裴 相 根*

Bae, Sang Keun

1. 머리말

지하수는 수자원이므로써 뿐만아니라, 환경을 구성하는 복합체의 일부로써 중요한 역할을 하고 있으며 인류가 최초로 개발하여 이용한 지하자원이다. 방랑생활을 하던 유목민도, 정착생활을 하던 농민도 안정된 물의 공급원으로써 지하수를 이용하였다. 그러나 대수층의 종류, 성질, 위치, 두께, 분포범위, 난투수층과 기반암의 위치 형태 등에 따라 지하수의 양이 좌우 됨으로 이런 세반 인자를 알수 없었던 시대에는 지하수를 찾는데 신비적인 힘 즉 주술적神力을 믿었다. 아직도 미 개국 뿐만 아니라 일부 선진국에서도 무당 (Water Witch)이 나무가지 (Witch Stick)로 지하수를 찾으며 풍수가 우물을 찾아 지하수 개발에 일익을 담당하고 있다. 고대부터 전래되어 오던 이런 방법이 과학의 발달에도 불구하고 아직도 현존하는 것은 지하수해석의 어려움을 말해주는 좋은 예라도 하겠다. 많은 제약조건하에서도 지하수의 필요성은 그에 대한 연구를 유도하였으며, 지하수 모델링의 개발은 지하수 연구에 획기적인 계기가 되었다. 지하수 모델링은 지하수학 분야에서 비교적 최근에 개발되었으나 1960년대 이후 급속한 발달을 보인 컴퓨터의 개량에 힘입어 연구단계에서 현지적용의 단계로 도약하게 되었다. 특히, 지하수에 관한 관심이 높아지고 있는 과거 수년간에 지하수 모델링에 관한 연구가

대단히 활발해 졌다. 이런 추세에 따라 1987년 2월, NWWA(National Water Well Association)와 IGWMC(International Groundwater Modeling Center)의 공동개최로 지하수 모델링에 관한 국제회의 (International Congress On Groundwater Modeling)가 미국에서 열렸다. 발표부문은 표1과 같다. 이와같이 지하수학의 모든 분야

表1 일반및 초청강연의 부분

Conference Sessions (Presentation)	
I.	New Developments in Modeling : Biochemical and Geochemical Models
II.	Ground Water Management Models
III.	Regulatory Use of Models
IV.	Application of Models to Engineering Practices
V.	Modeling Ground Water and Unsaturated Flow Processes
VI.	Modeling Salt Water Intrusion
VII.	Three-Dimensional Ground Water Modeling
VIII.	Numerical Methods
IX.	Dealing with Hazardous Waste Disposal and Contaminant
X.	Ground Water Modeling Associated with Nuclear Waste Disposal
XI.	Analytical Methods
XII.	Regional Ground Water Models

에서 검증하는 지하수 모델링에 관한 관심은 지하수자원의 이용과 보호를 위한 모델화의 질과 유용성을 향상하기 위하여 서로의 경험을 교류할 필요성을 가져왔다. 이러한 지표면하의 복잡한 實現象을 모델화 하여 현실의 문제 해결의 유익한 평가수단으로 삼기위한 노력이 모델의 신뢰성을 보다 향상시키고 있다.

2. 모델의 종류

지하수수문학의 거의 모든 문제는 편미분방정식으로 표현 가능하다. 어떤 지하수수문학적 문제의 해결을 위하여 얻어진 편미분방정식을 주어진 초기조건과 경계조건에 따라 풀면 구하고자 하는 解가 얻어지며 지하수시스템의 일부가 해결된다. 地下水域은 복잡하여, 또한 대규모의 수문시스템을 구성하고 있는 경우가 많으므로 이런 해를 구하는데는 제반 문제가 발생하며 이런 문제가 해에 큰 영향을 미치는 중요한 문제 일수도 있으나 이런 문제는 차지하고, 일반적으로써 시스템해석에 사용되는 모델의 종류를 기술하면 다음과 같다.

침투류해석을 위한 Hele-Shaw 모델과 Sand 모델 등은 지하수연구에 일찌기 부터 도입되었으며, 그후 지하수유동방정식과 직류전기이동방정식이 닮아 있기 때문에, 지하수의 흐름과 그 변화율이 원리를 이용하여 Simulate 하는 것으로 전기아나로그모델이 개발되었다. 이에는, 導電性流體 모델, 電導紙 모델, R-C回路 모델 등 다수의 모델의 있다. 그러나 이런 모델들은 컴퓨터 기술의 발달과 기법의 향상으로 數值 Simulation의 계산이 용이하게 됨으로 해서 1970년도 중반이후에도 거의 이용되지 않고 있어 사장된 모델이 되었다. 上한의 모델들 보다 먼저 개발되었으나 담보를 거듭하고 있던 수치모델이, 近年, 지하수문제의 해석을 위한 가장 일반적이며 강력한 도구가 되었다.

지하수해석에 이용되는 수치모델의 형은 크게 Remson et al. (1965)이 地下水流動에 이 모델을 응용한 이래 대단히 많은 연구가 행하여 지고 있

는 Finite Difference model과 Zienkiewicz et al. (1966)이 삼각요소를 이용하여 다공매체에서의 지하수흐름을 해석한 이래 많은 연구를 거듭하여 실지문제의 적용에 보다 유용하게 되어가고 있는 Finite Element Model로 분류된다.

이 두모델의 기법에 대해서는 여러 문헌 (Remson et al., 1971; Brebbia and Walker, 1980; Wang and Anderson, 1982; Huyakorn and Pinder, 1983; Liggett and Liu, 1983)에서 상술하고 있기 때문에 여기서는 모델개발의 단계 및 그 종류만 기술한다.

먼저, 상기의 두 모델의 기법에 대한 모델개발의 단계를 나타내면 그림1과 같다.

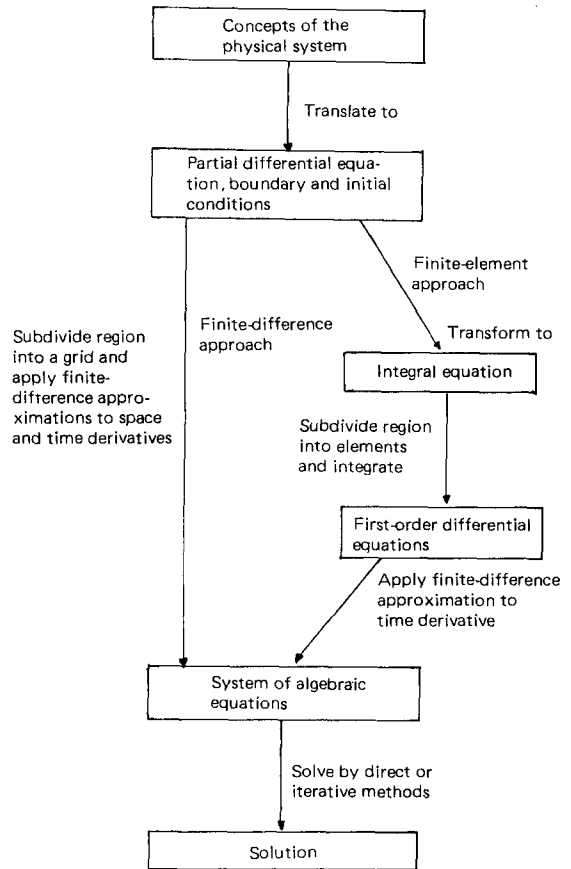


그림1 Finite difference method와 Finite element method에 관한 일반화.

다음, 각 기법을 형태별로 분류하면 다음과 같다.

2-1. Finite difference methods

A. Type of Grid

- (1) Block centered
- (2) Mesh centred
- (3) Irregular shape (integrated finite difference)

B. Type of approximation

- (1) Explicit in time
- (2) Implicit in time
- (3) Central difference in space
- (4) Upstream Weighting in space

C. Type of matrix equation solution

- (1) Direct methods
 - a. Gauss elimination
 - b. Cholesky method
 - c. Sparse matrix methods
 - d. Special ordering techniques
- (2) Iterative methods
 - a. Picard iteration
 - b. Newton iteration
 - c. Jacobi iteration
 - d. Gauss-Seidel iteration
 - e. Successive over relaxation
 - f. Alternating direction implicit
 - g. Strongly implicit procedure
 - h. Line successive over relaxation
 - i. Point successive over relaxation
 - j. Modified strongly implicit procedure

2-2. Finite element methods

A. Type of element

- (1) Triangles
- (2) Quadrilateral
- (3) Tetrahedron
- (4) Prism

B. Type of approximating (basis) function

- (1) Linear
- (2) Quadratic
- (3) Cubic
- (4) Hermite

C. Type of method used to obtain integral equation

- (1) Variational
- (2) Weighted residual
 - a. Galerkin
 - b. Collocation

D. Type of time approximation

E. Type of matrix equation solution

2-3. Alternative methods

2-3-1. Alternative finite difference methods

- (1) Transformation of variables
 - a. Similarity transformation
 - b. Kirchhoff's transformation
 - c. Conformal transformation
- (2) Method of characteristics

2-3-2. Alternative finite element methods

- (1) Boundary element method
- (2) Boundary integral method

3. 맺는말

모델은 지하수수문학 분야에서 대단히 유용한 도구로써 물리적현상의 규명을 비롯한 거의 모든, 문제 해결에 필요로 한다. 컴퓨터의 발달에 힘입어 3차원 현상의 해석도 가능하게 되었으나, 사용되는 방정식에는 물과 공기의 界面效果와 간극공기압의 변화등이 고려되어 있지 않으며 토양수를 連續系로써 취급할 수 있는가에 대한 점등의 의문점도 있어 그 적용에는 한계가 있다. 그렇기 때문에, 모델이 문제해결의 도구로써 잘못 사용됨을 피하기 위해서는 모델의 이해를 위한 충분한 연구가 필요하다.

최근의 해외의 지하수연구는 지하수오염과 대수층의 축열이용 기술등 지하수의 질적인 문제와

지하수의 3차원적인 지역적 유동기구와 물수지 등의 양적인 문제에 중점을 두고 있다. 우리나라에서도 귀중한 지하수 자원을 이용하며 보전하고 관리하기 위하여 지하수에 대한 연구를 발전시켜 나갈 필요가 있다고 생각한다.

REFERENCES

Brebbia, C. A., and Walker, S., Boundary element techniques in engineering, Newnes-Butterworths Press, 1980.
 Huyakorn, P. S., and Pinder, G. F., Computational methods in subsurface flow, Academic Press, 1983.
 Liggett, J. A., and Liu, P. L-F., The boundary integral equation method for porous media

flow, George Allen & Unwin, 1983.
 Remson, I., Appel, C. A., and Webster, R. A., Groundwater models solves by digital computer, ASCE J. Hydraulic Div. 91 (HY3), 1965, pp.133-147.
 Remson, I., Hornberger, G. M., and Molz, F. J., Numerical methods in subsurface hydrology, Wiley & Sons, 1971.
 Wang, H. F., and Anderson, M. P., Introduction to groundwater modeling – Finite difference and finite element methods, W. H. Freeman and Company, 1982.
 Zienkiewicz, O. C. Meyer, P., and Cheung, Y. K., Solution of anisotropic seepage problems by finite elements, Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 92 (EM1), pp.111-120.

→ 237페이지 “波動理論 소개(I)”에서 계속

References

1) Boussinesq, J., Essai sur la theorie des eaux courantes. Institut de France, Académie des Sciences, *Mémoires présentés par divers savants*, 23, 1877.
 2) Stoker, J.J., *Water waves*. Interscience, New York, 1957.
 3) Thomas, H.A., *Hydraulics of flood movements in rivers*. Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pa., 1937.
 4) Stokes, G.G., On the theory of oscillatory waves. Transactions of Cambridge Philosophical Society, 8, 1847.
 5) Korteweg, D.J., and de Vries, G., On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal on a new type of long

stationary waves. London, Dublin and Edinburgh, *Philosophical Magazine*, Series 5, 39:422, 1895.
 6) Dean, R.G., Stream-function wave theory-Validity and Application. Specialty Conference on Coastal Engineering, ASCE, 1965.
 7) Méhauté, B.L., *An introduction to hydrodynamics and water waves*. Springer-Verlag Co., New York, 1976.
 8) Sarpkaya, T., and M. Isaacson, *Mechanics of wave forces on offshore structures*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1981.
 9) Gerstner, F., Theorie der Weller, *Annalen der Physik*, 32, 1809.
 10) Airy, G.B., Tides and waves, *Encyclophedia Metrop.*, Art. 192, 241-396, 1845.