

농업용수의 효율적 관리를 위한 퍼지전문가 시스템의 개발

이남호

(안성산업대학교 농촌개발학과)

Development of a Fuzzy Expert System for Effective Agricultural Water Management

Lee, Nam-Ho

Dept. of Rural Development Eng., Anseong National Univ., Anseong 456-749, Korea.

Abstract

The objective of this paper is to develop an expert system which can handle fuzzy information and can be applied to the irrigation system operation guidelines for agricultural purposes. The fuzzy expert system for the irrigation system operation is composed of a set of operation rules and a fuzzy inference engine using pc-based VP-Expert shell was built. Daily mean temperature, daily sunshine hours, plant growing stage, present paddy water depth, and water availability were selected as main factors which determine the magnitude of irrigation requirement. The behavior of the fuzzy expert system was evaluated in an irrigation district and the results seemed to be reasonable.

I. 서론

대부분의 농업용 물관리조직은 단지 조작자의 경험이나 미리 결정된 時期別 操作基準에 依存하여 非效率的으로 管理되기 때문에 農業用水가 不足하게 되는 境遇가 자주 發生하게 된다. 이는 重要한 水資源의 浪費일 뿐만 아니라 適期에 適量의 물을 作物에 供給하지 못하므로 해서 土地生産性의 低下를 招來하게 되어 外國으로 부터의 쌀市場 開放壓力에 對處할 수 있는 國際競爭力이 더욱 低下되는 要因중의 하나가 되고 있다. 또한 人件費의 上昇으로 물관리조직을 適切하게 管理할 수 있는 能力있는 技術者의 確保가 困難하기 때문에 全體 水資源의 50% 를 차지하는 農業用水의 效率的인 管理가 어려운 實情이다. 또한 農家の 所得增大를 위한 競爭力있는 園藝作物의 栽培에 필요한 用水의 安定的인 確保가 要求되고 있다.

最近에 들어 이들 물관리조직을 效率的으로 運營하기 위한 많은 方法들이 研究 開發되어 오고 있는데, 運營方法의 成敗는 무엇보다도 물관리조직의 現況을 얼마나 正確히 判斷할 수 있는냐에 달려 있다고 본다. 그러나 물관리조직의 一部 構成要素의 舉動은 計測施設들을 利用하여 比較的 正確히 把握하는 것이 可能하나 全體의 舉動을 正確히 把握하는 것은 現實的으로 困難하기 때문에 大部分 正確하지 않은 情報만이 利用可能하게 된다. 따라서 灌溉地域에 대한 不確實하고 애매한 情報를 利用한 效率的인 灌溉조직의 操作이 필요하다.

물관리 改善을 위한 方案으로 最近에 低廉한 價格으로 供給되고 있는 컴퓨터를 利用한 물관리 시스템들이 研究 開發되고 應用되고 있는 實情이다. 그 代表的인 것으로는 專門家시스템이 있다. 專門家시스템이란 特定 應用領域에 관한 專門家의 知識을 知識베이스의 形態로 貯藏하고, 推論機關을 利用하여 使用者의 質疑에 대해 適當한 應答을 提供하

는 시스템이다. 既存의 專門家시스템은 컴퓨터가 基本的으로 提供하는 二進論理에 그 基盤을 두고 있다.²²⁾ 그러나 實際적으로 二進論理의 制限性 때문에 專門家의 知識을 效果的으로 表示하지 못하는 다음과 같은 制約性을 갖고 있다. 첫째, 入力되는 情報과 꼭 一致하는 情報가 데이터베이스에 存在하지 않을 때는 원하는 結果를 얻을 수 없다는 점이다. 發生 可能性 있는 모든 專門家의 知識을 蒐集하는 것이 어렵다. 둘째, 過去에 經驗한 적이 없는 情報가 入力되면 推論이 不可能하다는 것이다. 境界가 確實한 情報는 處理可能하나 境界가 不透明한 애매모호한 情報는 處理가 不可能하다는 것이다. 專門家의 知識에는 知識을 表現하는 用語 自體에 애매함이 包含될 수 있고 命題의 眞僞가 不確實한 境遇가 一般적이다.¹⁸⁾ 이와 같은 感覺의이고 物理定量的으로 明確하지 않은 애매성을 包含하는 情報에 대해서 유연하게 適應해 나갈 수 있는 方法으로 Zadeh¹⁵⁾ 에 의해 퍼지集合理論이 提案되어 여러분야에 應用되고 있다. 이 퍼지集合理論을 利用한 專門家시스템은 既存 專門家시스템의 制限性을 克服할 수 있을 것으로 期待된다.

본 研究에서는 不確實하고 애매한 情報나 知識을 利用하여 물管理組織을 效率的으로 運營하여 필요한 時期에 필요한 量의 물을 필요한 場所에 供給하여 最小의 生産費用으로 最大의 收穫量을 確保할 수 있도록 支援해 주는 퍼지理論을 導入한 퍼지專門家시스템을 構築하는 것을 目的으로 한다.

II. 재료 및 방법

1. 물管理組織 操作 規則基盤의 構築

물管理組織의 操作者는 灌溉地域에 必要한 灌溉量을 供

給하기 위한 運營計劃을 樹立해야 한다. 그러나, 現在까지 알려진 操作者의 物管理組織 運營은 論理的인 根據에 의한 計劃인 것이 아니고 操作者의 過去의 經驗과 直觀에 의해 行해져 왔다. 合理的인 物管理組織의 運營은 여러 因子에 의해 決定되는데 그러나 一般的으로 操作者는 이들 因子에 대한 애매모호한 情報만을 갖게된다. 이들 因子들에는 圃場에서의 물 需要量을 決定하는 氣象狀態(氣溫, 日照時間等), 水稻의 生育狀態 및 圃場の 湛水狀態가 있고, 또한 給水 水準을 決定하는 貯水池의 貯水狀態 등도 있다. 給水水準은 正常給水水準, 節水給水水準 및 制限給水水準으로 區分될 수 있다.²⁰⁾

本 시스템에서는 物管理組織의 퍼지제어를 위한 物管理 操作 規則을 構成하는데 必要한 因子를 選定하였는데 Table 1에서 보는것과 같이 水稻의 生育時期, 豫想 日平均氣溫, 豫想날씨, 現在의 貯水量, 圃場の 湛水狀態 및 供給量이 있다. 이들 因子들은 物管理組織 操作者가 公共機關의 日氣豫報나 現場에서 손쉽게 얻을 수 있는 것들로 構成되었다.

Table 1. Components of the operation rule

番 號	因 子
PLANT	水稻의 生育時期
I	豫想 日平均氣溫
II	豫想 날씨 (日照時間 및 降雨)
III	現在의 貯水量 (給水水準)
IV	圃場の 湛水深 狀態
V	供給量 (灌溉量)

물管理組織의 操作者가 操作規則 構成因子들에 대해 얻을 수 있는 애매한 情報의 表現은 多樣할 수 있다. 예를 들면 日平均氣溫의 경우, “매우 낮다, 낮다, 약간 낮다, 보통이

Table 2. Fuzzy criteria of operation rule components

基 準	規 則 構 成 因 子					
	PLANT	I	II	III	IV	V
1	移秧活着	매우낮다	맑음	매우부족	알다	매우적게
2	分蘖	낮다	대체로맑음	부족	약간알다	적게
3	中間落水	약간낮다	맑은후흐림	약간부족	普通	약간적게
4	幼穗形成	보통	흐린후맑음	普通	약간높다	普通
5	穗孕	약간높다	흐림	약간豐富	높다	약간많게
6	出穗開花	높다	흐린후비	豐富		많게
7	結實	매우높다	비후흐림	매우豐富		매우많게
8	最終落水		비			

다, 약간 높다, 매우 높다"이 될수 있고, 貯水池의 貯水量의 경우에는 "매우 부족하다, 不足하다, 약간 不足하다, 보통이다, 약간 豊富하다, 豊富하다, 매우 豊富하다"라고 表現할 수 있다. 本 研究에서는 各各의 操作規則 構成因子들에 대한 퍼지 集合 構成을 위한 퍼지基準을 <Table 2>와 같이 定義하였다.

이들 規則構成因子들의 퍼지基準을 나타내는 所屬度 函數를 Fig. 1~Fig. 5와 같이 定義하였는데 이들 所屬度 函數의 適定性은 實際地域에 適用한 結果에 의해 整理한 것이다.

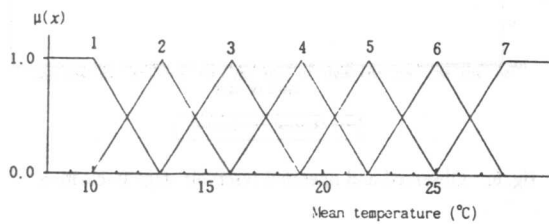


Fig. 1. Membership function of daily mean temperature

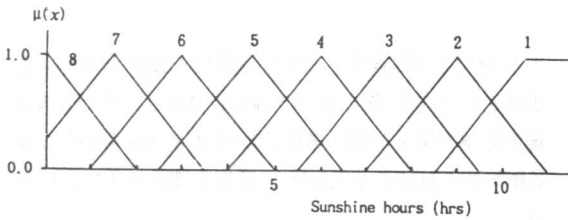


Fig. 2. Membership function of weather condition

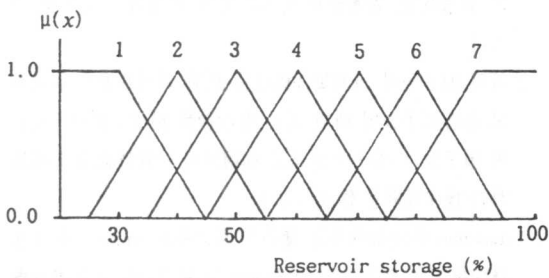


Fig. 3. Membership function of reservoir storage

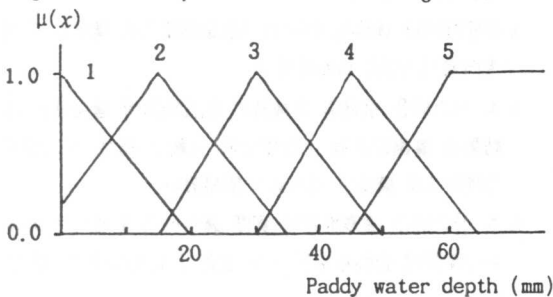


Fig. 4. Membership function of paddy water depth

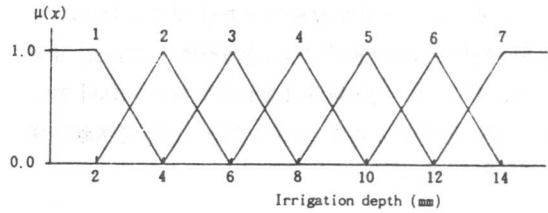


Fig. 5. Membership function of irrigation supply

물管理組織 操作者가 操作規則構成因子들을 利用하여 물 管理組織을 操作하기 위해서는 操作規則이 必要하다. 예를 들면 "移秧 활착기에 氣溫이 보통이고, 날씨가 흐리고, 貯水池의 貯水量이 不足하고, 圃場의 澆水深이 약간 높을때는 澆水量을 적게한다"는 것이 操作規則이 될수있다. 이를 if - then 形式으로 Table 2의 基準을 利用해서 表現하면 다음과 같다.

IF PLANT = 1, I = 4, II = 5, III = 2, and IV = 4, THEN
V = 2

이와 같은 방법으로 本 시스템의 構成을 위해 總 85개의 물管理組織의 操作規則으로 設定되었다.

나. 퍼지推論機關

本 시스템의 퍼지推論機關을 構成하기 위해서, 첫째, 퍼지推論을 위해서는 max-min 合成演算法²⁶⁾을 採擇하였고, 둘째, 推論機關에는 後進推論技法을 利用하는 專門家시스템 shell인 VP-Expert¹³⁾를 使用하였다. 後進推論技法은 구하고자 하는 目的狀態로 부터 出發하여 目的을 形成하는데 關係되는 規則들을 次例로 遂行하여 下位레벨의 目標을 滿足시킴으로서 上位레벨의 目的이 完成되어진다.

III. 결과 및 고찰

1. 研究 對象 地區

퍼지專門家시스템의 適用을 위해 選定된 灌溉地區 및 貯水池는 京畿道 安城郡 一竹面과 二竹面に 位置한 龍舌貯水池와 그 蒙利區域이다. 本 地區는 畿湖 農地 改良組合 管轄로 效率의인 물管理를 目的으로 計測, 通信裝備와 電算裝備

가 設置된 集中用水 管理시스템 示範地區로 各種資料의 蒐集이 容易하여 本 研究 後에도 研究 結果에 의한 效果를 分析하고 專門家 시스템의 改善이 可能할 것으로 期待된다. 龍舌貯水池는 流域面積이 795ha, 灌溉面積이 395ha인 中規模 地區이다. 貯水池流域의 土地利用 區分은 山林이 77%, 논이 13%, 밭이 5%, 其他 5%을 보이고 있다. 貯水池의 滿水容量은 3百萬 m³이다.

2. 水文資料

퍼지 專門家 시스템의 運用을 위한 氣象資料는 利川測候所의 資料를 시스템의 舉動을 分析하기 위한 資料로는 1993 年에 測定된 日別 貯水池 水位變化 資料를 利用하였다.

3. 시스템의 適用

1993年의 氣象資料와 퍼지 專門家 시스템을 使用하여 日別 灌溉量을 計算하고, 이를 利用해서 式(1)과 같은 貯水池 물收支計算된 貯水池 水位變化를 計算하였다. 計算된 貯水池 水位를 實測貯水池 水位와 比較하여 Fig. 6에 圖示하였다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t - (IR_t + O_t + E_t + G_t) \dots (1)$$

여기서, S_t = t-1 日의 貯水量

I_t = 流入量

P_t = 水面降水量

IR_t = 灌量

O_t = 여수도 越流量

E_t = 水面蒸發量

G_t = 地中浸透量

專門家시스템 操作에 따른 貯水池水位와 實測 貯水池 水位를 比較한 結果, RMS 誤차는 0.29m/day 이었고 決定係數 $R^2 = 0.938$ 을 나타내었다. 灌溉 初期 및 後期에는 專門家 시스템의 操作에 의한 水位가 實測水位 낮은 값을 보이거나 대개 類似한 變化形態를 나타내고 있다. 6月 中旬부터 7月 上旬 사이에는 操作된 水位가 實測水位보다 높은 값을 보이는데 이는 專門家시스템에서는 中間落水를 考慮한 反面에 實際 操作의 경우에는 이를 考慮하지 않았기 때문으로 判斷된다.

本 研究는 1年間에 걸친 資料蒐集으로 인해 實際 現場에

適用할 수 있는 完全한 專門家시스템은 아니나 계속적인 資料蒐集과 適用性 檢討를 통해 改善해 나가면 實際 現場適用이 可能할 것으로 期待된다.

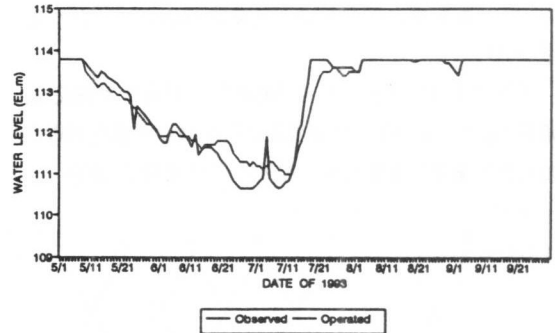


Fig. 6. Observed and operated reservoir stage fluctuation

IV. 결 론

本 研究는 不確實하고 애매한 情報나 知識을 利用하여 意思決定을 支援할 수 있는 퍼지理論을 根幹으로 한 물管理組織運營 專門家시스템을 開發하고 이의 適用可能性에 대해 診斷하는데 目的을 두었는데 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 물管理組織의 操作은 氣象狀態, 水稻의 生育時期, 圃場의 湛水狀態, 貯水池의 貯水狀態를 考慮하는 것으로 하였다.
2. 위의 因子들의 퍼지集合構成을 위한 퍼지基準을 樹立하고 各各因子들에 대한 所屬 度函數를 構成하였다. 또한 이 因子들의 애매한 情報를 利用하여 물管理組織을 操作하는 操作規則을 作成하였다.
3. max-min 合成演算法을 使用한 퍼지推論 routine 과 後進推論技法을 使用하는 VP-Expert 를 利用하여 퍼지推論機關을 構成하였다.
4. 물管理組織 操作規則과 퍼지推論機關으로 構成된 퍼지 專門家시스템을 構築하였다.
5. 本 시스템을 京畿道 安城君의 龍舌地區에 適用하고 그 結果를 實測貯水池 水位變化와 比較한 結果, 시스템이 合理的으로 構築된 것으로 判斷되었다.
6. 本 시스템을 灌溉地區에 實際 適用하기 위해서는 向後 1~2年間의 資料蒐集을 통한 改善이 必要하다고 判斷된다.

인용 문헌

- 1) Armijos, A. *et al.*, 1990, Bayesian Inferencing Applied to Real-time Reservoir Operations, ASCE, Vol. **116**, WR(1).
- 2) Brown, C. B. and T. P. Yao, 1983, Fuzzy Sets and Structural Engineering, ASCE, Vol. **109**, SE(5), PP. 1211~1225.
- 3) Daud, M., *et al.*, 1992, A Knowledge Base Expert System to Predict How Irrigation Water is Distributed and Consumed Within a Rice Irrigation Scheme, Int'l Workshop on Soil & Paddy Field Management, AIT, PP. 171~186.
- 4) Dubois, D. and H. Prade, 1980, Fuzzy Sets and Systems : Theory and Application, Mathematics in Science and Engineering, Vol. **144**, PP. 393.
- 5) Hayes-Roth, F., *et al.*, 1983, Building Expert Systems, Addison-Wesley Pub. Co.
- 6) Jowitt, P. W. and J. P. Lumber, 1982, Water Quality Objectives, Discharge Standards and Fuzzy Logic, Proceedings of the Exeter Symposium. IAHS publ. no. **135**, PP. 241~250.
- 7) Kaufmann, A., 1975, Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets, Vol. **1**, Academic Press, PP. 416.
- 8) Klir, G. J. and T. A. Folger, 1988, Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice Hall, PP. 355.
- 9) Koo, J. K., 1980, Fuzzy Sets and Application to Water Quality Management, Submitted in partial fulfillment of the requirements for MS. degree of Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, PP. 120.
- 10) Levine, R. I., *et al.*, 1988, A Comprehensive Guide to AI and Expert Systems, McGraw-Hill Book Co., PP. 245
- 11) Owsinki, *et al.*, 1987, Analysis of Water Use and Needs in Agriculture through A Fuzzy Programming Model, Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory, D. Reidel Publishing Company, PP. 377~395.
- 12) Palmer, R. N. and K. J. Holmes, 1988, Operational Guidance During Droughts : Expert System Approach, ASCE, Vol. **114**, WR(4), PP. 647~666.
- 13) Paperback Software International, 1987, VP-Expert, Rule-Based Expert System Development Tool
- 14) Waterman, D. A., 1986, A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley Pub. Co. PP. 419.
- 15) Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy Sets, Information and Control, **8**, PP. 338~353.
- 16) Zimmermann, H. J., 1991, Fuzzy Set Theory and Its Applications, 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, PP. 399.
- 17) 구자공, 이병국, 1987, Fuzzy Set 개념을 이용한 다목적 수질관리 모형의 개발, 대한상하수도 학회지, Vol. **1**, PP. 73~80.
- 18) 박영섭, 1991, 퍼지이론의 실체를 벗긴다, 컴퓨터, PP. 202~207.
- 19) 朴玟用, 崔恒植 譯, 1990, 휘지 시스템의 應用 入門, 대영사, PP. 299.
- 20) 서울대학교농업개발연구소, 1985-1988, 貯水池물管理研究, 農林水産部, 農業振興公社
- 21) 서울대학교농업개발연구소, 1989~1991, 集中물管理組織研究, 農林水産部, 農業振興公社
- 22) 이광경, 오길록, 1991, 퍼지이론 및 응용 I, 홍릉 과학 출판사.
- 23) 이광경, 오길록, 1991, 퍼지이론 및 응용 II, 홍릉 과학 출판사.
- 24) 李南鎬, 鄭夏禹, 朴承禹, 1990, 灌溉組織의 日別 模擬操作, 韓國農工學會誌, 第32卷, 第3號, PP. 67~78.
- 25) 李南鎬, 鄭夏禹, 朴承禹, 1991, 灌溉地區의 灌溉量 豫測, 韓國農工學會誌, 第33卷, 第1號, PP. 118~125.
- 26) 李南鎬, 鄭夏禹, 1991, 퍼지理論과 灌溉用 貯水池의 操作, 韓國農工學會誌, 第33卷, 第4號, PP. 45~51.
- 27) 伊藤, 右田, 柳下, 青木, 1987, 雨水ホンフ 運轉における ファツイ適應制御, 第3回 ファシシステムシンポジウム豫稿集, PP. 121~126
- 28) 任相浚, 1991, 專門家시스템을 利用한 灌溉用 貯水池操作, 서울대학교碩士學位論文.
- 29) 최중수, 1986, 알기쉬운 인공지능의 세계, 세종문화사, PP. 269.