

퍼지理論과 灌溉用 貯水池의 操作

Fuzzy Theory and Reservoir Operation Guidelines for Agricultural Purposes

鄭 夏 禹* · 李 南 鎬**
Chung, Ha Woo · Lee, Nam Ho

Summary

The objective of this paper is to show how the fuzzy sets theory can be applied to the reservoir operation guidelines for agricultural purposes. The concepts of the theory has been presented as a new tool for the decision problems which contains fuzziness and it's application can be found in operations research, expert systems, robotics, fuzzy computers, and pattern recognition.

The fuzzy control system for the reservoir operation composed of a set of reservoir operation rules and a fuzzy inference engine was built. Water demand for paddy fields, water availability, and inflow to a reservoir were selected as main factors which determine the magnitude of reservoir release. The behavior of the control system was evaluated for different level of water demand and the results seemed to be reasonable.

I. 緒 論

우리나라 大部分의 灌溉用 貯水池의 操作은 단지 操作者의 經驗이나 미리 決定된 時期別 造作基準에 依存하고 있어 灌溉用水가 不足하게 되는 경우가 자주 發生하게 된다. 最近에 들어 다행하게도 이들 貯水池를 效率的으로 操作하기 위한 많은 方法들^{11, 14, 15, 17)}이 提案되거나 또는

이에 대한 研究들이 進行되어 오고 있다. 이와 같은 灌溉用 貯水池 操作方法의 成敗는 무엇보다도 貯水池와 灌溉地域의 現況을 얼마나 精確히 判斷할 수 있는나에 달려 있다고 본다. 이 중에서 貯水池의 貯水現況이나 流入狀況들을 比較的 精確하게 計測하는 것이 可能하나 灌溉地域에서 必要한 물 需要量을 精確히 計測하기란 現實的으로 困難하다. 왜냐하면 需要量을 決定할 수

* 서울大學校 農科大學

** 安城農業專門大學

키워드 : 퍼지理論, 퍼지集中, 퍼지推論, 貯水率, 所屬度函數, 貯水池操作規則.

있는 情報을 모든 灌溉지역의 圃場으로 부터 얻기가 어렵기 때문이다. 따라서 效率인 貯水池 操作을 위해서 解決 해야할 當面課題 중의 하나는 灌溉地域에 대한 不確實하고 애매한 情報을 利用하여 貯水池 灌溉量을 결정하는 일이라 생각된다.

不確實하고 애매한 情報나 知識을 이용하여 여러 분야에서의 意思決定을 支援할 수 있는 방법이 提案되었는데, 이것이 1965年 Zaden⁸⁾에 의해 發表된 퍼지集合理論이다. 퍼지理論을 應用한 代表的인 例는 1970年 Mamdani에 의한 蒸氣汽管의 運轉制御, 1980年 덴마크의 Smith社에 의한 Cement kiln의 프로세스의 制御, 1987年 日本 仙臺市の 地下鐵의 自動制御運轉 등이 報告되고 있다.^{12,13)} 현재는 Operation Research, 專門家시스템, 로보트, 퍼지컴퓨터, 衛星資料의 畫像認識 등에 널리 活用되고 있다.

水工學 關聯分野에서 퍼지理論의 應用 例를 살펴보면, Jowitt와 Lumber³⁾는 河川의 水質適合判定에 퍼지理論을 適用하였고, 具와 李¹⁰⁾, Koo⁶⁾는 퍼지概念을 利用한 水質管理模型을 開發하였는데 이들은 最適化 問題의 目的函數를 퍼지集合을 利用하여 作成하였다. 伊藤등¹⁶⁾은 雨水處理를 위한 펌프의 運轉을 降雨形態의 變化에 自動적으로 適用하도록 퍼지制御에 관한 研究를 實施하였다. Owsinski, et al.⁷⁾은 農業用水 問題의 分析을 위해 퍼지制約條件을 導入한 線型計劃法을 使用하였다.

본 論文에서는 퍼지理論의 基本概念을 整理하고, 애매한 情報을 利用하는 貯水池 操作規則을 設定하며, 또한 이들 規則과 퍼지理論을 利用하여 貯水池操作 程度를 推論해 봄으로써 灌溉用 貯水池의 操作基準 樹立을 위한 理論展開의 方向을 提示하는데 그 目的이 있다.

II. 퍼지 理論

우리들이 살고있는 社會는 갈수록 多樣하고

複雜해지고 있다. 社會의 複雜性이 增加할수록 社會의 모든 舉動에 대해서 計測이 곤란하고 또한 正確하게 記述하는 것이 더욱 어렵게 된다. 不確實한 情報나 知識만을 利用하여야 할 경우에는 解決해야할 問題들을 不確實하고 애매한 形態로 記述하여 그 解答을 찾는 것이 바람직할 것이다. 이러한 人間의 애매한 表現을 處理할 수 있는 理論的인 根據을 提供하는 것이 퍼지理論인데, 이는 퍼지集合, 퍼지關係, 퍼지推論 등을 주 骨子로 하는 理論體系를 말한다.

1. 퍼지集合^{1,2,4,9,13)}

不確實한 現況이나 숫자화 하기 곤란한 情報을 表現할 때 일반적으로 애매한 言語를 使用하게 된다. 예를 들면 “降雨量이 많다” 또는 “降雨量이 작다” 등의 言語의 의미는 事物이 놓인 狀況과 人間의 主觀에 依存하므로 매우 애매하다. “降雨量이 많다”는 表現은 50 또는 100mm와 같은 크리스프(crisp)적인 값이 아니고, “량이 많은 降雨量”이라는 範圍내에 속한 降雨量들의 集合을 의미한다고 볼 수 있다. 이들 集合을 퍼지集合이라고 하는데, 이는 言語가 가진 애매한 의미의 定量化라고 할 수 있다.

가. 所屬度函數(membership function)

全體集合 X에 包含되어 있는 普通集合(crisp set) A에 임의의 元素 χ 의 所屬 與否를 나타내는 特性函數 m_A 는 式(1)과 같이 表現될 수 있다.

$$m_A : X \rightarrow \{0,1\} \dots\dots\dots(1)$$

元素 χ 가 集合 A에 所屬되면 $m_A(\chi)=1$, 所屬되지 않으면 $m_A(\chi)=0$ 이 된다. 반면에 A가 퍼지集合인 경우에는 元素 χ 가 A에 所屬될 可能性을 나타내는 特性函數 $\mu_A(\chi)$ 는 式(2)로 表示된다. $\mu_A(\chi)$ 는 0과 1사이의 모든 實數를 나타낸다.

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \dots\dots\dots(2)$$

퍼지集合에 대한 特性函數를 所屬度函數라

한다. 퍼지集합을 所屬度函數를 利用하여 表示하면 式(3), (4)와 같다.

$$A = \{(\chi, \mu_A(\chi)) | \chi \in X\} \dots\dots\dots(3)$$

$$A = \mu_A(\chi_1) | \chi_1 + \mu_A(\chi_2) | \chi_2 + \dots \mu_A(\chi_n) | \chi_n \dots(4)$$

“降雨量이 普通이다”라는 퍼지集합 RAIN은 式(5)와 같이 表現될 수 있고 이를 曲線으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

$$\text{RAIN} = .1|30 + .3|40 + .8|50 + 1|60 + .8|70 + .3|80 + .1|90 \dots\dots\dots(5)$$

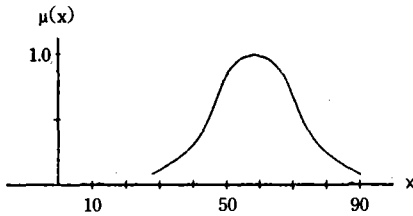


Fig. 1. A possible membership function of the fuzzy set RAIN

나. 퍼지集합의 基本演算

퍼지集합의 演算은 所屬度函數를 利用하여 定義할 수 있다. 퍼지集합 A, B의 합集합 A∪B와 교集합 A∩B의 所屬度函數의 값은 다음과 같이 주어진다.

$$\mu_{A \cup B}(\chi) = \mu_A(\chi) \vee \mu_B(\chi) = \max[\mu_A(\chi), \mu_B(\chi)], \forall \chi \in X \dots(6)$$

$$\mu_{A \cap B}(\chi) = \mu_A(\chi) \wedge \mu_B(\chi) = \min[\mu_A(\chi), \mu_B(\chi)], \forall \chi \in X \dots(7)$$

2. 퍼지關係^{2, 4, 9, 13)}

퍼지關係란 對象과 對象사이의 애매한 關係를 퍼지集합 概念을 使用하여 나타낸 것이다. 集합 X로부터 集합 Y로의 퍼지關係 R은 X×Y 空間상의 部分集합으로 다음과 같이 表現된다.

$$R = \{((x, y), \mu_R(x, y)) | (x, y) \in X \times Y\} \dots(8)$$

여기서 $\mu_R(x, y)$ 는 所屬의 程度가 [0, 1]인 값을 가진다.

가. 퍼지關係의 合成

퍼지關係 RA가 集합 X에서 集합 Y로의 關係이고, RB가 集합 Y에서 Z로의 關係를 나타낸다고 하자. 關係 RA와 RB의 合成(composition)은 集합 X에서 Z로의 關係를 나타내고 式(9)와 같이 所屬度函數로 定義할 수 있다.

$$RA \circ RB = \{[(x, z), \max\{\min\{\mu_{RA}(x, y), \mu_{RB}(y, z)\}\}] | x \in X, y \in Y, z \in Z\} \dots(9)$$

이를 max-min 合成이라고 하는데, 퍼지制御나 퍼지推論등에 利用되고 있다.

나. 퍼지行列

임의의 벡터가 0과 1사이의 값을 가지면 이를 퍼지벡터(fuzzy vector)라 하고 퍼지벡터를 포함한 行列을 퍼지行列(fuzzy matrix)라 한다. 퍼지行列 $A = (a_{ij})$ 와 $B = (b_{ij})$ 의 합과 곱의 演算은 다음과 같다.

$$A + B = (\max[a_{ij}, b_{ij}]) \dots\dots\dots(10)$$

$$A \circ B = (\max[\min[a_{ik}, b_{kj}]) \dots\dots\dots(11)$$

3. 퍼지推論¹²⁾

퍼지推論은 퍼지理論나 퍼지關係의 合成을 利用하여 퍼지制御나 퍼지專門家 시스템등에 活用되고 있다. 現在의 人工知能에서 實施되는 推論은 入力되는 情報과 一致되는 情報가 데이터 베이스에 存在할 때만 可能한 데이터一致(data matching)에 基礎를 두고 있는데 反해 퍼지推論은 퍼지集합 간의 애매한 一致에 의해 거의 妥當한 結果를 얻을 수 있다. 퍼지推論을 위한 여러 方法들이 提案되고 있으나 여기서는 퍼지制御에 많이 使用되고 있는 max-min 合成演算法에 대해 說明한다.

시스템의 퍼지制御에는 퍼지 制御規則이 必要한데 이 規則은 보통 專門家の 知識에 바탕을

두고 있다. 制御規則은 일반적으로 式(12)와 같이 if-then의 形式으로 表現된다.

$$R_i: \text{if } \chi_1 \text{ is } A_{i1}, \chi_2 \text{ is } A_{i2}, \dots \text{ and,} \\ \chi_j \text{ is } A_{ij}, \text{ then } y \text{ is } B_i \dots\dots\dots(12)$$

여기서 R_i 는 i 번째의 制御規則, A_{ij} 는 入力條件이고, B_i 는 出力條件이다. $j=2$ 인 경우, 觀測된 入力狀態가 A_1, A_2 라고 하면 出力 B 는 다음과 같다.

$$B(y) = [\min(\omega_1, B_1(y))] \vee [\min(\omega_2, B_2(y))] \vee \dots \vee [\min(\omega_n, B_n(y))] \\ = \max_{i=1}^n [\min(\omega_i, B_i(y))] \dots\dots\dots(13)$$

여기서 $\omega_i = \min(A_{i1}(\chi_1), A_{i2}(\chi_2))$ 이고 變數 χ_1, χ_2 는 觀測된 確定된 숫자로 주어지거나 또는 퍼지集合으로 주어질 수 있다. 推論結果인 出力 B 는 퍼지情報 形態로 주어지는데 이 形態로는 시스템의 操作程度를 決定하기 어렵기 때문에 퍼지情報 形態가 確定된 數值로 變換되어야 한다. 이와같은 變換은 비퍼지화(defuzzification)라고 하는데 여러 方法중에서 무게重心法에 많이 사용되고 있으며 操作量 y_0 는 式(14)와 같다.

$$y_0 = \frac{\sum B(y) \cdot y}{\sum B(y)} \dots\dots\dots(14)$$

III. 貯水池 操作規則의 設定

貯水池의 管理者는 灌溉地域에 필요한 灌溉量을 供給하는 경우 取水施設의 操作程度를 미리 결정해야 한다. 取水施設의 操作量은 여러 因子에 의해 決定되는데, 貯水池 管理者는 操作量 決定因子에 대한 모든 情報를 갖고 있지 않는 것이 보통이다. 따라서 計測施設을 活用해도 이들 因子의 定量化는 現實으로 어려운 實情이다. 이런 경우에 貯水池造作은 優先적으로 圃場에서의 물需要量의 程度에 따라 決定하는 것이 바람직할 것이다. 이를 規則化하면 “圃場에 물이 많이 필요하면 取水施設을 操作한다”와

같은 애매한 表現이 될 것이다. 類似한 의미로 “圃場에 湛水深이 낮으면 灌溉를 實施한다”는 表現도 가능할 것이다. 다른 操作規則으로는 “圃場の 平均湛水深이 높으면 灌溉를 實施하지 않는다”는 것이 設定될 수 있다. 이를 if-then 形式으로 表現하면 다음과 같다.

$$\text{If water level is LOW, then START irrigation} \\ \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{If water level is HIGH, then STOP irrigation} \\ \dots\dots\dots(16)$$

圃場에서의 需要量 이외의 重要한 貯水池操作量 決定因子는 貯水池의 貯水率 및 貯水池流域으로 부터의 流入量이 될 수 있다. 특히 貯水率의 貯水池操作에 대한 影響은 李¹⁵⁾의 假說論議 된바 있는데, 降雨量이 많아 貯水池의 貯水率이 높으면 圃場狀態에서 크게 影響을 받지 않고 灌溉量을 크게 하는 것으로 나타났다. 따라서 “貯水率이 높으면 灌溉量을 增加해도 좋다” 및 “貯水率이 낮으면 灌溉量을 줄이는 것이 좋다”는 의미를 操作規則에 包含시킬 수 있을 것이다. 流域으로 부터의 流入量은 流域의 物理的 特性과 降雨量에 의해 決定되는데, 이는 貯水率의 短期豫測에 活用될 수 있어 貯水池의 操作量 決定에 影響을 미치는 二次的인 因子로 생각할 수 있다.

貯水池 操作은 위에서 살펴본 圃場狀態, 貯水池狀態 및 流域狀態 등의 3가지 條件에 의해 複合的으로 決定되는 것으로 하였다. 이들 人力條件은 각각 한 쌍의 對立概念을 갖는 퍼지集合으로 構成하였다. 湛水深상태를 나타내는 퍼지集合은 $A_1 = \text{“높다”}$ 와 $A_2 = \text{“낮다”}$ 이다. 貯水率상태에 대한 퍼지集合은 $B_1 = \text{“높다”}$ 와 $B_2 = \text{“낮다”}$ 이다. 流入量상태의 경우 $C_1 = \text{“많다”}$ 와 $C_2 = \text{“작다”}$ 로 하였다. 각각의 所屬度函數는 Fig. 2와 같이 表示될 수 있다.

出力條件은 灌溉地區의 平均灌溉水深으로 表示하고, 이를 所屬度函數로 圖式化 하면 Fig.

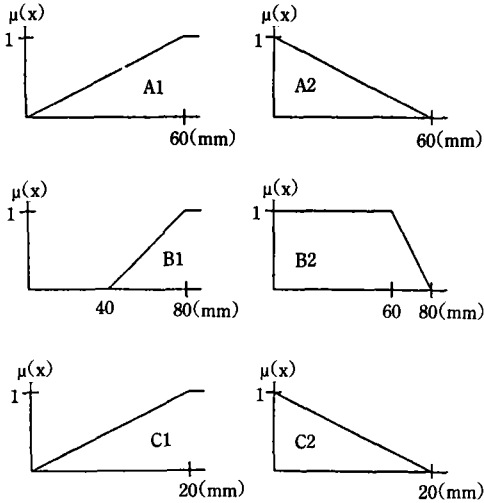


Fig. 2. Input fuzzy sets

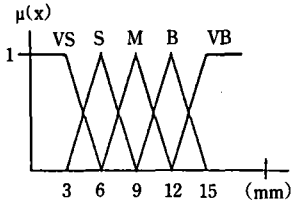


Fig. 3. Output fuzzy sets

3과 같다. 여기서 VB="매우 크다", B="크다", M="보통이다", S="작다", 및 VS="매우 작다"를 의미한다.

RULE 1 : if $x_1=A2$, $x_2=B1$, and $x_3=C1$, then $y=VB$
RULE 2 : if $x_1=A2$, $x_2=B1$, and $x_3=C2$, then $y=B$
RULE 3 : if $x_1=A2$, $x_2=B2$, and $x_3=C1$, then $y=M$
RULE 4 : if $x_1=A2$, $x_2=B2$, and $x_3=C2$, then $y=S$
RULE 5 : if $x_1=A1$ and $x_2=B2$, then $y=VS$

Fig. 4. Fuzzy rules for the reservoir operation.

이들 入力條件과 出力條件을 利用하여 貯水池 操作規則을 만들면 Fig. 4에서 보는 것과 같이 5가지로 作成 可能하다. 規則 1은 "平均湛水深이 낮고 貯水率이 높고 또한 流入量이 많으면 매우 많은 量의 물을 보내라"는 의미가 되고, 規則

2의 경우는 "平均湛水深이 낮고, 貯水率이 높고 또한 流入量이 작으면 많은 量의 물을 보내라"는 것을, 規則 3은 "平均湛水深이 낮고, 貯水率이 낮고 또한 流入量이 많으면 보통 量의 물을 보내라"는 것을, 規則 4는 "平均湛水深이 낮고, 貯水率이 낮고 또한 流入量이 작으면 작은 量의 물을 보내라"는 것을, 規則 5는 "平均湛水深이 높고, 貯水率이 낮으면 매우 작은 量의 물을 보내라"는 것이다.

한편 出力條件을 Fig. 4와 같은 퍼지식의 表現 代身에 式(17)과 같이 函數式으로 나타낼 수도 있다.

$$y = \alpha x_1 + \beta x_2 + \gamma x_3 + \delta \dots\dots\dots(17)$$

여기서 α , β , γ 및 δ 는 係數인데, 이들 係數들의 決定을 위한 補正作業이 要求된다.

IV. 貯水池 操作量의 決定

貯水池 操作에 필요한 퍼지制御시스템은 Fig. 4에서 보는 것과 같은 貯水池 操作規則의 集合과 퍼지推論機關으로 構成된다. Fig. 4의 貯水池 操作規則의 x_i 는 狀態를 나타내는 入力變數이고, y_i 는 出力變數이다. 퍼지推論機關은 狀態 入力變數가 주어지면 式(13)에 의해 出力을 計算하고 式(14)를 利用하여 最終操作量을 決定하는 機能을 갖고 있다. 이때 入力狀態는 퍼지集合이나 數值를 使用할 수 있고 最終操作量은 確定된 數值로 나타낸다.

本章에서는 퍼지制御시스템을 利用한 貯水池 操作量의 決定過程을 살펴보고, 또한 入力條件인 圃場湛水深의 變化에 따른 制御시스템의 舉動을 定性的으로 分析하기로 한다. 分析을 위한 入力狀態는 湛水深이 "낮다", "보통이다", "높다"라는 경우를 考慮하는데 이때 貯水池 貯水率은 60%, 貯水池 流入量은 15mm로 假定한다. 여기서 灌溉地域의 平均湛水深이 "낮다"는 것을 數值로 表現하여 10mm로, "보통이다"는 35mm로, "높다"는 60mm로 假定하고 貯水池의

貯水率과 流入量은 計測施設로 부터 入手되는 것으로 한다. 湛水深이 “낮다”의 경우, Fig. 4의 操作規則 1에서 위의 χ_1 , χ_2 및 χ_3 의 값을 入力 하면 所屬度函數 $\mu_A(\chi)$, $\mu_B(\chi)$ 및 $\mu_C(\chi)$ 의 값은 각각 0.83, 0.50, 0.75가 되어 이들의 最少값은 0.50이 되고 이것은 식(13)의 ω 에 該當된다. B_1 은 2.63이 되고 y軸으로 부터 무게重心 까지의 距離 y_1 은 15.36이 된다. 같은 方法으로 規則 2~規則 5에서 $\omega_2 \sim \omega_5$, $B_2 \sim B_5$ 및 $y_2 \sim y_5$ 의 값을 電算機를 利用하여 計算한 結果가 Table 1에 整理되어 있다.

Table-1. Results of the fuzzy inference

RULE	$\mu_A(\chi)$	$\mu_B(\chi)$	$\mu_C(\chi)$	ω_i	B_i	y_i
1	0.83	0.50	0.75	0.50	2.63	15.36
2	0.83	0.50	0.25	0.25	1.31	12.00
3	0.83	1.00	0.75	0.75	2.81	9.00
4	0.83	1.00	0.25	0.25	1.31	6.00
5	0.17	1.00	-	0.17	0.96	2.96

그 結果로 부터 式(13)을 利用하여 $B(y)$ 를 구하고 式(14)에 의해 最終貯水池 造作量 y_0 를 구하면 y_0 는 10.2mm가 된다. 以上の 推論過程과 結果를 圖式化하여 整理하면 Fig. 5와 같다. 以上の 方法으로 “보통이다”와 “높다”의 경우에 대한 操作量을 計算하면 각각 7.6mm와 2.7mm가 되어 灌溉地域의 平均湛水深이 높아 질수록 必要貯水池操作量이 減少되는 現象을 보이고 있어 制御시스템의 舉動이 妥當성이 있는 것으로 判斷된다.

위에서 살펴본 퍼지推論을 利用한 퍼지制御 시스템을 貯水池 造作에 實際로 適用하기 위해서는 많은 現場資料가 測定·蒐集·分析되어야 한다. 이들 資料를 利用해서 決定해야할 事項은 貯水池 操作決定因子의 하나인 圃場湛水深 狀態에 대한 水稻의 生育時期別 所屬度函數이다. 湛水深이 “높다” 또는 “낮다”는 것에 대한 所屬度函數는 生育時期別로 물의 必要程度에 따라서 그 形態가 變化될 수 있다. 예를 들면 20 cm의 湛水深은 물이 적게 必要한 無效分蘗期에

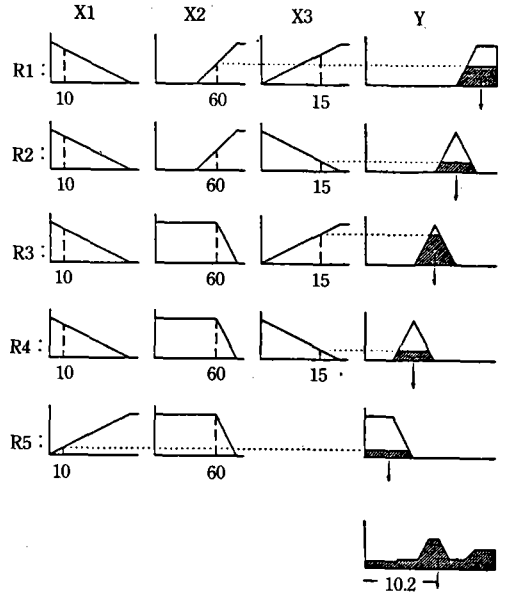


Fig. 5. Diagram of fuzzy inference and defuzzification

는 “높다”를, 물이 많이 必要한 幼穗形成期에는 “낮다”라는 것을 의미할 것이다. 따라서 生育時期別로 貯水池操作規則이 設定되어야 하고 이들 生育時期別 操作規則을 利用하여 導出된 結果가 妥當성이 있는지의 與否가 檢討되어야 한다. 이 과정은 매우 主觀的인기는 하나 상당히 重要한 部分이 될 것이다. 이를 위해서 퍼지制御 시스템에 의해 導出된 結果를 實際 貯水池 操作結果와 比較하는 方法을 考慮할 수 있으나 이때 前提條件은 貯水池 管理者가 많은 經驗과 물管理에 관한 專門知識을 兼備한 專門家이어야 한다는 것이다. 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다고 본다.

V. 結 論

본 論文은 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 灌溉用 貯水池의 造作에 活用할 수 있는 可能性에 대해 診斷하고 그 方向을 提示하는데 目的을 두었는데 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 貯水池 操作은 圃場에서의 需要量, 貯水池의 貯水率 및 貯水池流域으로 부터의 流入量을 考慮하여 決定하는 것으로 假定하였다.

2. 이들 決定因子들의 狀態를 나타내는 入力條件에 대한 所屬度函數와 貯水池 操作量을 나타내는 出力條件에 대한 所屬度函數를 定義하고 이 入力條件과 出力條件을 利用한 貯水池操作規則을 設定하였다.

3. 貯水池操作規則과 퍼지推論機關으로 構成된 퍼지制御시스템을 構築하였다.

4. 퍼지制御시스템을 利用한 貯水池操作量的 決定過程과 入力條件의 變化에 따른 制御시스템의 舉動을 살핀 結果, 妥當性 있는 推論結果를 보인 것으로 判斷되었다.

5. 퍼지制御시스템을 貯水池操作에 實際로 適用하기 위해서는 水稻의 生育時期別로 入力條件들의 所屬度函數들이 定義되고 推論結果들의 妥當性 與否가 檢討되어야 하므로 이에 대한 別途의 研究가 必要하다고 判斷된다.

參 考 文 獻

1. Brown, C. B. and T. P. Yao, 1983, Fuzzy Sets and Structural Engineering, ASCE, Vol. 109, SE(5), pp. 1211-1225.
2. Dubois, D. and H. Prade, 1980, Fuzzy Sets and Systems : Theory and Application, Mathematics in Science and Engineering, Vol. 144, pp. 393.
3. 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.
4. Kaufmann, A., 1975, Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets, Vol. 1, Academic Press, pp. 416.
5. Klir, G. J. and T. A. Folger, 1988, Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice Hall, pp. 355.
6. 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.
7. 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.
8. Zadeh, L. A. 1965, Fuzzy Sets, Information and Control, 8, pp. 338-353.
9. Zimmermann, H. J., 1991, Fuzzy Set Theory and Its Applications, 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, pp. 399.
10. 구자공, 이병국, 1987, Fuzzy Set 개념을 이용한 다목적 수질관리 모형의 개발, 대한상하수도 학회지, Vol. 1, pp. 73-80.
11. 서울大學校農業開發研究所, 1989~1990, 集中물管理組織研究, 農林水産部, 農業振興公社.
12. 寺野壽郎 著, 朴玟用, 崔恒植 譯, 1990, 퍼지 시스템의 應用 入門, 대영사, pp. 299.
13. 이광경, 오길록, 1991, 퍼지이론 및 응용, 홍릉과학출판사.
14. 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.
15. 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.
16. 伊藤, 右田, 柳下, 青木, 1987, 強雨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.
17. 任相浚, 1991, 專門家시스템을 利用한 灌溉用 貯水池 操作, 서울大學校 碩士學位 論文, pp. 47.