

퍼지理論과 그 應用

Fuzzy Theory and it's Application

李 南 鎬*
Lee, Nam-ho

I. 서 론

最近 數年前부터 日常生活에서 “人工知能”이라는 말과 더불어 “퍼지”라는 말을 여기저기에서 자주 듣게된다. ‘퍼지즘 카메라’, ‘퍼지세탁기’, ‘퍼지에어컨’ 등등... 퍼지(fuzzy)라는 單語는 辭典에 보면 ‘숨털비슷한’, ‘흐려진’, ‘애매모호한’ 등으로 表現되어있다. 이 말이 情報關聯分野에서 使用되기 시작한 것은 1965年 美國의 Zadeh 教授의 論文으로 부터 비롯되고 있다.

우리는 日常生活의 곳곳에서 애매모호함을 接하게 되는데도 불구하고 ‘예(0), 아니오(1)’로 表現하도록 강요되고 있다. 왜냐하면 現代社會는 ‘0’ 과 ‘1’의 二值論理를 使用하는 컴퓨터와 分離해서 생각하기 어렵기 때문이다. 그러나 우리가 살고 있는 社會는 갈수록 多樣하고 複雜해 지고 있어 二值論理 만으로는 모든 問題를 解決하기에는 充分치 않다. 이러한 問題를 解決하기 위한 努力의 結果가 퍼지理論인데, 이는 不確實한 情報과 知識만을 利用하여 問題를 解決할 수 있는 理論의 根據를 提供하고 있다.

本報에서는 퍼지理論의 基礎概念과 세계 各國에서의 活用狀況을 알아보고 물 이용과 關聯된 分野에서 응용된 實例를 정리하였다.

II. 퍼지理論이란? (1), 3), 4), 12)

人間은 생각보다는 複雜하고 정교한 情報處理能力을 가지고 있으므로 인간이 다루는 情報는 컴퓨터가 다루는 情報들과는 知能的인 側面에서는 커다란 水準差異가 있다. 특히 인간이 實世界에서 접하는 情報들은 定性的이지 않은 상당히 애매한 知識을 處理하는 境遇가 大部分이기 때문이다. 人間의 知的 機能을 컴퓨터로 具現하고자 하는 努力은 오래전부터 進行되어 왔으나 推論을 통한 人工知能的인 處理가 여러가지 問題點들을 內包하고 있으며 또한 傳統적인 컴퓨터를 통한 애매모호한 情報處理에 상당히 依存하고 있는 實定이다. 퍼지理論을 통하여 애매한 情報를 正確하게 處理하는 것이 우리의 바람이지만 모든것이 퍼지로 解決될 수 있는 것은 아니다. 그러나 現實의 不確實한 狀況을 回避 같것이 아니라 비록 不確實한 環境일지라도 知能的인 意思決定을 追求하는 인간과 機械의 能力을 高揚시킬 수 있는 가능성을 內包하고 있다. 인간의 論理는 相當히 애매하다. 컴퓨터와는 달리 주어진 條件이나 데이터가 明確하지는 않더라도 推論이나 判斷이 이루어지기 때문이다. 이러한 概念들을 컴퓨터에 適用하여 우리가 必要로 하는 結果를 얻어내는 방법중의 하나가 바로 퍼지理論인 것이다.⁵⁾

* 안성산업대학교 농촌개발학과

1. 퍼지集合 (fuzzy set)

不確實한 現況이나 숫자와 하기 곤란한 情報을 表現할 때 일반적으로 애매한 言語를 使用하게 된다. 이들 言語가 가진 애매한 의미를 定量化한 것을 퍼지集合이라 한다.

全體集合 X 에 包含되어 있는 普通集合 (crisp set) A 에 임의의 元素 X 의 所屬 與否를 나타내는 特性函數 m_A 는 다음과 같이 表現될 수 있다.

$$m_A : X \rightarrow \{0, 1\}$$

元素 X 가 集合 A 에 所屬되면 $m_A(X)=1$, 所屬되지 않으면 $m_A(X)=0$ 이 된다. 반면에 A 가 퍼지集合인 경우에는 元素 X 가 A 에 所屬될 可能性을 나타내는 特性函數 $\mu_A(X)$ 는 아래와 같이 表示된다. $\mu_A(X)$ 는 0과 1사이의 모든 實數를 나타낸다.

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$$

퍼지集合에 대한 特性函數를 所屬度函數라 한다. 퍼지集合을 所屬度函數를 利用하여 表示하면 다음 식과 같다.

$$A = \{ \langle X, \mu_A(X) \rangle \mid X \in X \}$$

$$A = \mu_A(x_1) \mid x_1 + \mu_A(x_2) \mid x_2 + \dots + \mu_A(x_n) \mid x_n$$

퍼지集合의 演算은 所屬度函數를 利用하여 定義할 수 있다. 퍼지集合 A, B 의 합集合 $A \cup B$ 와 교集合 $A \cap B$ 의 所屬度函數의 값은 다음과 같이 주어진다.

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

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

2. 퍼지關係

퍼지關係란 對象과 對象사이의 애매한 關係를 퍼지集合 概念을 使用하여 나타낸 것이다. 集合 X

로부터 集合 Y 로의 퍼지關係 R 은 $X \times Y$ 空間상의 部分集合으로 다음과 같이 表現된다.

$$R = \{ \langle (x, y), \mu_R(x, y) \rangle \mid (x, y) \in X \times Y \}$$

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

퍼지關係 RA 가 集合 X 에서 集合 Y 로의 關係이고, RB 가 集合 Y 에서 Z 로의 關係를 나타낸다고 하자. 關係 RA 와 RB 의 合成 (composition)은 集合 X 에서 Z 로의 關係를 나타내고 아래와 같이 所屬度函數로 定義할 수 있다. 이를 max-min 合成이라고 하는데, 퍼지制御나 퍼지推論 등에 利用되고 있다.

$$RA \circ RB = \{ \langle (x, y), \max \{ \min \{ \mu_{RA}(x, y), \mu_{RB}(y, z) \} \} \mid x \in X, y \in Y, z \in Z \}$$

3. 퍼지推論

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 시스템 등에 活用되고 있다. 퍼지制御에 많이 使用되고 있는 max-min 合成演算法에 대해 살펴보도록 한다.

시스템의 퍼지制御는 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 아래 식과 같이 if-then의 形式으로 表現된다.

$$R_i : \text{if } x_1 \text{ is } A_{i1}, x_2 \text{ is } A_{i2}, \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{in}, \text{ then } y \text{ is } B_i$$

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 人力 狀態가 A_1, A_2 라고 하면 出力 B 는 다음과 같다.

$$B(y) = [\min(\omega_1, B_1(y))] \vee [\min(\omega_2, B_2(y))] \vee [\min(\omega_n, B_n(y))] = \max[\min(\omega_i, B_i(y))]$$

여기서 $\omega_i = \min(A_{i1}(X_1), A_{i2}(X_2))$ 이고 變數 X_1, X_2 는 觀測된 確定된 숫자로 주어지거나 또는

퍼지集合으로 주어질 수 있다. 推論結果인 출력 B는 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 數値로 變換되어야 한다. 이와 같은 變換은 비퍼지화(defuzzification)라고 하는데 여러 方法중에서 무게 重心法에 많이 使用되고 있으며 操作量 y_0 는 다음과 같다.

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

Ⅲ. 퍼지理論의 發達⁷⁾

1. 美國

퍼지理論은 美國에서 始作되어 그 理論의 基盤을 造成하는데 주력하고 있다.

美國은 政府의 支援을 받아 研究所와 大學이 連繫되어 長期的인 研究를 進行하고 있다. 應用 側面에서 보면, 美國은 意思決定支援시스템, 專門家 시스템 등에 주력하고 있다. 實用性을 강조하는 美國人들은 開發에 많은 時間과 經費가 投資되더라도 半永久的 使用이 가능한 시스템 分野에 관심이 많다.

퍼지推論에 의한 小型 飛行機의 計器着陸시스템, 意思決定支援시스템, 經營支援시스템, 軍用 專門家시스템 등을 開發하였다.

2. 日本

퍼지理論이 美國에서 제창되었지만 現在 퍼지理論의 應用은 日本에서 成功的인 結果를 보이고 있다. 日本에서는 產業體와 大學이 連繫되어 製品開發에 努力하고 있다. 電子·電算關聯業體 및 製品에 '퍼지'라는 말이 붙지 않으면 販賣가 不可能할 정도로 好況을 누리고 있다. 日本에서의 퍼지理論은 1970년부터 시작되었는데 주로 制御機 分野에 상당히 관심이 높다. 自動車의 速度制御, 地下鐵의 制御, 製鐵所의 火爐制御 등이 現實化되기 이르렀다. 家電製品生産會社들이 선두가 되어 各種 퍼지製品을 開發生産하고 있다.

3. 韓國

우리나라에서는 1980年代 末부터 大學에서 퍼지理論에 대해 관심을 갖기 시작했고 家電業界를 위주로 製品開發에 퍼지理論을 適用하는 事例들이 登場하기 시작했다. 아직 다른 技術先進國에 비해 歷史가 짧고 產業體나 政府次元의 과감한 投資가 미흡하기 때문에 그 水準은 初步 段階에 불과한 實情이다.

Ⅳ. 퍼지理論의 응용

퍼지理論은 Operation Research, 로보트, 퍼지컴퓨터, 專門家시스템, 衛星資料의 畫像認識 등에 널리 使用되고 있는데, 本 節에서는 물 利用과 관련된 分野에서 現在 研究되고 適用되고 있는 實例를 살펴보도록 한다.

1. 저수지 水溫의 예측^{14), 8)}

線形시스템의 豫測問題에 回歸分析이나 時系列分析 등이 많이 使用되어 오고 있다. 그러나 模型化 과정에서 對象 시스템이 複雜하고 大規模인 境遇에 豫測에 많은 量의 資料를 必要로 하게 되어 回歸分析은 實用的이지 못하다. 이를 克服할 수 있는 效率的인 方法으로 Fuzzy GMDH(Group Method of Data Hardling)技法이 있다. 林勳¹⁴⁾ 등은 Fuzzay GMDH를 使用해서 貯水池 水溫 豫測을 實施했다. 貯水池의 水溫舉動은 水稻의 發育에 커다란 影響을 미치기 때문에 貯水池의 水溫의 變化를 豫測하는 것은 重要的 意味를 갖는다.

가. 基本概念

애매한 現象의 數學的模型으로서 區間線形시스템을 利用한다. 여기에서 區間線形시스템이란 線形 시스템의 係數를 區間으로 한 것으로 다음과 같이 表示한다.

$$Y = A_1x_1 + \dots + A_nx_n$$

여기서, x_1 는 說明變數이고, A_i 는 區間을 나타낸다. 區間 A_i 를 中心 a_i 와 幅 c_i 를 利用하여, $A_i = (a$

, c_i) 으로 나타낸다. 혹시 A_i 를 퍼지수라고 했을 때는, 中心 a_i 와 幅 c_i 의 三角型 퍼지수라고 생각하면 된다.

다음에 區間線形回歸模型을 利用하여 퍼지 GMDH를 構成한다. 단, 推定區間 Y 를 퍼지수라고 하기 위해 中心 a 와 幅 c 에 의한 對稱의인 三角型 퍼지수라고 하고, 이 所屬度函數를 $\mu_Y(y)$ 로 表示한다. 觀測 데이터 (y, x_i) 가 주어졌을 때 複數個의 部分的인 線形模型을 構成하여 이것들을 階層的으로 組合하여 推定式을 얻는 方法이 GMDH이다.

이 部分的인 線形模型을 部分表現이라고 하고, 여기에서는 다음의 區間模型을 部分表現으로서 利用한다.

$Y = A_0 + A_1x_p + A_2x_q + A_3x_p^2 + A_4x_q^2 + A_5x_px_q$
 여기서, $A_0 \dots A_5$ 는 區間係數, Y 는 區間出力, $p, q = 1 \dots n, p \neq q$ 이다.

나. 適用結果

愛知縣의 Yahagi댐의 氣溫 및 水溫의 時系列資料를 利用하여 貯水池 水溫의 構造를 나타내는 推定模型을 얻었는데 水面 15m에서의 水溫推定模型은 아래와 같다.

$$Y = A_0 + A_1x_{2,1} + A_2(x_{2,1})^2 + A_3(x_{3,1})^2 + A_4x_{1,2}x_{3,1} + A_5 \times 2,1 \times X_{3,3} + A_6(x_{2,1})^2x_{3,3} + A_7(x_{2,1})^2(x_{3,3})^2 + A_8(x_{3,1})^2$$

여기서, $x_{1,2}$ 는 2日前的 氣溫, $x_{2,1}$ 는 1日前 5m地點의 水溫, $x_{3,1}$ 는 1日前 10m地點의 水溫, $x_{3,3}$ 는 3日前 5m地點의 水溫이다. 實測貯水池 水溫과 豫測水溫과를 比較한 結果 좋은 結果를 보였다.

2. 排水펌프장의 制御 ^{13), 15)}

排水펌프를 制御하기 위해 流水池內 水位를 基準으로 하여 펌프 操作者의 經驗에 의한 操作을 並行하고 있다. 그러나 水位基準에 의한 펌프操作은 펌프操作時刻의 流入量에 대한 情報과 以後 流入量에 대한 情報가 전혀 考慮되지 않아 급변하는 流入量의 變化에 대한 迅速한 對處가 不可能하여 浸水위

험성이 매우 높다. 그러나 內水浸水の 위험성이 매우 높은 것으로 나타난 流水池도 數年間 浸水가 되지 않았던 것은 實際 펌프操作者가 水位만을 基準으로 한 操作을 하지 않고, 多年間의 經驗에 의한 操作으로 內水流入量을 適切하게 排除시킨 結果라는 事實을 알게 되었다. 이러한 經驗의인 操作을 理論적으로 定量化하기 위해 이들의 經驗을 퍼지制御理論으로 解釋하여 排水펌프의 假想操作을 함으로서 內水流入量을 適切하게 排水할 수 있는 지 與否를 檢討하였다.

가. 制御規則의 設定

펌프 操作時刻에서의 流水池 水位와 流入量의 2가지 情報를 퍼지入力變數로 選定하였다.

퍼지變數는 狀態를 表現해 주는 程度에 따라 一般的으로 5-7個의 狀態情報를 使用하며, 流水池 水位와 流入量의 狀態에 대한 情報를 VS(매우작다), SM(작다), AS(약간작다), ME(보통이다), AB(약간크다), BI(크다), VB(매우크다) 등의 7個 퍼지變數를 使用하였다. 流水池 水位와 流入量에 대해 7個의 狀態로 나누어 判斷할 때 펌프排出量의 出力制御는 制御規則에 따른다. 流水池 水位(X)의 狀態와 流入量(Y)의 狀態에 따라 펌프排出量(Z)를 決定하는 퍼지制御規則을 나타낸 것이 아래表와 같다.

<표-1> 퍼지 制御規則

Y\X	VS	SM	AS	ME	AB	BI	VB
VS	VS	VS	SM	SM	AS	AS	ME
SM	VS	SM	SM	AS	AS	ME	ME
AS	SM	SM	AS	AS	ME	ME	AB
ME	SM	AS	AS	ME	ME	AB	AB
AB	AS	AS	ME	ME	AB	AB	BI
BI	AS	ME	ME	AB	AB	BI	BI
VB	ME	ME	AB	AB	BI	BI	VB

나. 制御結果

既存의 水位基準에 의한 排水펌프의 制御와 퍼지制御理論에 의한 펌프制御 結果를 比較한 結果, 既存의 水位基準에 의한 排水펌프의 制御에 비해 퍼

지制御에 의한 結果가 水位를 더 낮출 수 있는 것으로 보여 퍼지制御理論이 排水펌프의 操作에 있어 適用可能한 것으로 나타났다.

3. 貯水池管理 專門家시스템

最近에 들어 물管理組織을 效率的으로 運營하기 위한 많은 方法들이 研究·開發되어 오고 있는데, 이 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 하였다.

가. 물管理組織 操作 規則基盤의 構築

本 시스템에서는 물管理組織의 퍼지제어를 위한 물管理操作規則을 構成하는데 必要한 因子를 選定하였는데 아래 表에서 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의 湛水深 狀態 및 供給量이 있다. 이들 因子들은 물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.

〈표-2〉 물管理 操作 規則의 構成因子

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의 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. 예를들면 日平均氣溫의 경우, “매우낮다, 낮다, 약간낮다, 보통이다, 약간높다, 매우높다” 이 될 수 있고 貯水池의 貯水量의 경우에는 “매우부족하다, 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. 여기서는 各各의 操作規則 構成因子들에 대한 퍼지 集合 構成을 위한 퍼지基準을 〈표-3〉과 같이 定義하였다.

〈표-3〉 물管理操作規則의 퍼지基準

規 則 構 成 因 子					
PLANT	I	II	III	IV	V
移秧活着	매우낮다	맑음	매우不足	알다	매우적게
分蘖	낮다	대체로맑음	不足	약간알다	적게
中間落水	약간낮다	맑은후흐림	약간不足	普通	약간적게
幼穗形成	보통	흐린후맑음	普通	약간높다	普通
穗孕	약간높다	흐림	약간豊富	높다	약간많게
出穗開化	높다	흐린후비	豊富	높다	많게
結實	매우높다	비후흐림	매우豊富		매우많게
最終落水		비			

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하기위해서는 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 湛水深이 약간 높을때는 灌溉量을 적게한다”는 것이 操作規則이 될 수 있다. 이를 if-then 形式으로 〈표-2〉의 基準을 利用해서 表現하면 다음과 같다.

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

이와 같은 방법으로 本 시스템의 構成을 위해 總 85個의 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, 퍼지推論을 위해서는 앞서 說明한 max-min 合成演算法을 採擇하였고, 推論機關은 後進推論技法을 利用하였다.

다. 適用結果

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, 專門家시스템의 操作에 의한 水位와 實測貯水池가 대개 類似한 變化形態를 나타내고 있다. 本 研究는 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.

4. 기타

이들 이외에도 여러分野에서 퍼지理論의 適用性에 대해 檢討를 試圖하고 있다. 流出量 豫測分野에서는 水文學的 시스템의 舉動을 나타내는 入出力 變數들의 퍼지關係를 利用한 流出模型과 水文學的 시스템을 線形 Tank 모형으로 고려하고 豫測誤차를 감소시키기 위해 Tank 로 들어가는 流入口의 크기를 퍼지制御理論을 利用하여 調節하는 流出模型 등이 있다. 수질의 多目的管理를 위한 最適方案을 찾기 위해 수질豫測模型 QUAL2 와 퍼지集합을 線形最適化 技法의 하나인 混合整數計劃法에 適用하여 여러가지 목적들을 고려할 수 있는 線形模型을 提示한 바 있다.

참고문헌

1. Kaufmann, A., 1975. Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets, Vol. 1, Academic Press, pp. 416.
2. Hansel, H. and B. Straube, 1982. Fuzzy Modelling for Forecasting Discharge and Water Level of Large Rivers, Proc. of Exeter Symposium, IAHS Publ. No. 135 pp. 235-240
3. Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, pp.338-353.
4. Zimmermann, H.J., 1991. Fuzzy Set Theory and Its Applications, 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, pp.399.
5. 金大洙, 1994. 첨단 컴퓨터의 세계, 전자신문.
6. 구자공, 이병국, 1987. Fuzzy Set 개념을 이용한 다목적 수질관리 모형의 개발, 대한 상하수도 학회지, Vol.1, pp.73-80.
7. 박영섭, 1991. 퍼지이론의 실체를 벗긴다. 컴퓨터, pp.202-207.
8. 朴玟用, 崔恒植 譯, 1990. 휘저 시스템의 應用 入門, 대영사, pp.299.
9. 엄정국, 원성현, 1992. 기초퍼지이론과 응용퍼지시스템, (주) 정보시대.
10. 이광경, 오길록, 1991. 퍼지이론 및 응용 I, 홍릉 과학 출판사.
11. 이광경, 오길록, 1991. 퍼지이론 및 응용 II, 홍릉 과학 출판사.
12. 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, 33(4), pp.45-51.
13. 伊藤, 右田, 柳下, 青木, 1987. 雨水ホンフ 運轉にあけるファシ適應制御, 第3回 ファシシステムシンポジウム豫稿集, pp.121-126
14. 林勳, 田中英夫, 大野俊夫, 高木不折, 1987. ファシイGMDH によるダム貯水池水溫の解析と豫測, 計測自動制御學會論文集, 23(12), pp.72-79.
15. 조원철, 신재현, 1992. Fuzzy이론의 수문학에의 적용(I), 한국수문학회지, 25(3), pp.59-63.

이 남 호



약 력

- 1973. 서울대학교 농과대학 학사
- 1981. 강원대학교 대학원 농학석사
- 1989. 서울대학교 대학원 농학박사
- 현재 안성산업대학교 농촌개발학과교수
안성산업대학교 전자계산소장
KCID 마이크로 관계 분과위원장
ICID 마이크로 관계 분과위원