

水資源開發의 意思決定論的 研究

嶺南大學校 教授 李 舜 鐸

嶺南大學校大學院 金 知 學

I. 序 論

本 研究에서는 琴湖江 水質을 改善하기 위한 將來 必要한 水資源을 開發하는 方案에 意思決定論을 適用하여 研究함으로써 지금까지 B/C 分析만으로 最適 代案을 選定하던 在來의 意思決定論에 水文分析을 利用한 事前情報와 事後情報를 追加하여 意思決定을 함으로써 水資源 開發 시스템 構成에 있어 在來의 意思決定에 內在되어 있는 不確實性을 減少시킴은 물론 意思決定論을 利用한 Bayesian 意思決定 모델(BDT 모델)과 Non-Bayesian 모델(Non-BDT 모델)을 比較 研究함으로써 보다 더 合理的인 最適 意思決定 모델의 開發과 經濟的인 最適 代案을 決定하는데 그 目的이 있다.

II. 意思決定理論 考察

2.1 效用 函數 모델

最適모델에 適用하는 效用函數의 數值的 形式은 指數形과 代數形으로 나눌 수 있으며, 그 理論은 다음과 같다.

먼저 指數形의 效用函數인 $U(\theta)$ 는

$$U(\theta) = a + b e^{-r\theta} \quad (2.1.1)$$

이며, 여기서 r 은 모험 忌避道의 測定值이고 a 및 b 는 整數이다.

만약 效用函數가 $U(0) = 0$ 와 $U(1) = 1$ 이면 正規指數效用函數는

$$U(\theta) = [1/(1-e^{-r})](1-e^{-r\theta}) \quad (2.1.2)$$

이며, r 이 증가함에 따라 效用函數는 더욱 블록해지고 보다 높은 冒險忌避 症을 나타낸다.

다음으로 代數形의 效用函數인 $U(\theta)$ 는

$$U(\theta) = a \ln(\theta + \beta) + b \quad , (\theta + \beta) > 0 \quad (2.1.3)$$

이며, 正規代數函數는 다음과 같다.

$$U(\theta) = [1/(\ln((1+B)/B))](\ln(\theta + \beta) - \ln\beta) \quad (2.1.4) \\ , (\theta + \beta) > 0$$

따라서 임의의 形態의 效用函數가 最適函數인지 判定하기는 어렵다. 그러나 期待效用值가 函數의 形態에 敏感하지 못할 경우 效用函數를 올바로 選定하

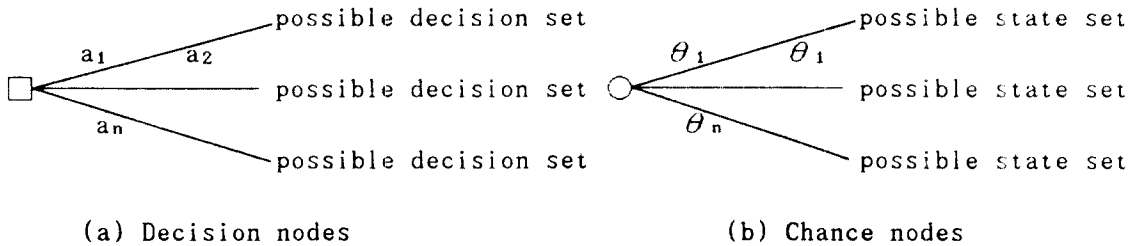
여야 하며, 任意變數 θ 에 대한 期待效用는 다음과 같다.

$$E(U) = \int_{-\infty}^{\infty} U(\theta) f(\theta) d\theta \quad (2.1.5)$$

여기서, $f(\theta)$ 는 θ 의 確率密度函數(probability density function : pdf)이고, $U(\theta)$ 는 效用函數이다.

2.2 意思決定 츄리

意思決定問題가 여러가지 복잡한 狀況에 결부되어 있고 또 고려할 狀況이 先後의 關係에 있어 段階別로 意思決定을 해나가야 하는 경우에 段階的 意思決定을 效果的으로 遂行할 수 있는 모델을 連續的 意思決定 또는 多段階 意思決定(multi-stage decision)이라고 한다.



Decision nodes and Chance nodes

2.3 Bayesian 意思決定

狀態變量 θ_T 를 구하면 選擇된 代案 a_T 는 θ_T 에 대한 目的函數를 最小化 하 여야 한다.

$$g(a_T, \theta_T) = \min_a g(a, \theta_T) \quad (2.3.1)$$

代案 a^* 가 決定이 되면 最適化하기 위하여 機會損失(opportunity loss : OL)를 구하여야 한다.

$$OL(a^*, \theta_T) = g(a^*, \theta_T) - g(a_T, \theta_T) \quad (2.3.2)$$

이것은 狀態變量이 不確實한 資料에 의하여 구하였으므로 이때의 意思決定은 眞值 θ_T 가 될 수가 없다. 이것에 의하여 구한것은 θ_T 의 確率密度函數이며, 狀態變量의 事前分布이다. 事前分布로써 期待機會損失(expected opportunity loss : EOL)를 구하면

$$EOL(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} [g(a^*, \theta) - g(a_T(\theta), \theta)] f'(\theta) d\theta \quad (2.3.3)$$

새로운 자료와 狀態變量의 事前分布는 Bayes Rule에 의하여 事後分布가 되는 狀態變量分布이다.

$$f''(\theta|x) = (f'(\theta) \cdot \ell(x|\theta)) / \left(\int f'(\theta) \cdot \ell(x|\theta) d\theta \right) \quad (2.3.4)$$

여기서, $f'(\theta)$: 事前分布

$f''(\theta|x)$: 事後分布

$\ell(x|\theta)$: 媒介變數 θ 에 대한 觀測值 x 의 確率密度函數

각 代案의 Bayes Risk는 事後分布로 計算되고 最小 Bayes 위험을 갖는 代案이 선택된다. 새로운 追加資料는 다른 行動 a_x 인데 이는 事後分布에 대하여 最小 Bayes가 되며, 이로서 期待機會損失의 期待值(Expected Expected Opportunity Loss : XXOL)이 計算된다. 만약 追加資料가 없으면 구할 수 가 없다. 다음은 가능한 모든점에 期待값을 취하여 期待機會損失의 期待值(XXOL)을 다음과 같이 구한다.

$$XXOL(\theta) = EOL [f''(\theta|x) \ell(x|\theta)] d\theta$$

III 意思決定 모델의 設定 및 分析

3.1 意思決定 모델의 設定 및 因子分析

3.1.1 代案 및 目的函數의 設定

本 研究에서는 水資源 開發 시스템에서 實現 가능한 代案 3가지를 다음과 같이 提案한다.

a_1 : 洛東江 本流에서 流入

a_2 : 臨河댐에서 流入

a_3 : 吉安댐을 建設하여 流入

다음과 같이 目的函數를 設定할 수 있다.

$$\text{Maximize } g(a, \theta) = \pi(a, \theta) - \pi(a, c)$$

여기서, $\pi(a, \theta)$: 流入時 發生되는 期待利益

$\pi(a, c)$: 流入時 所要되는 費用

3.2 모델의 適用分析

3.2.1 效用函數(Utility function)에 의한 分析

本 研究에서 適用하여 본 結果 각 基準別 效用函數에 대한 개략적인 形態는 推論할 수 있지만 모든 意思決定者가 認知할 수 있는 效用確率값을 推論하기란 意思決定者의 主觀的 效用이 서로 다르기 때문에 어려운 問題라 생각된다.

다만 諸般現象에 대한 說明的 意味로써 만은 적합하다고 할 수 있다. 또한 Type-I 에서 V까지 全體적으로 考察해 볼 때 代案 모두가 不規則한 樣相을 보이고 있는 것은 效用函數에 사용된 情報의 不確實性이 內在되어 있는 것으로 判定되나 UF 모델(Utility function) 자체로는 不確實性을 減少시키는 補完的 理論이 없기 때문에 水資源 開發 시스템의 適用에는 不충분한 모델로 사료된다.

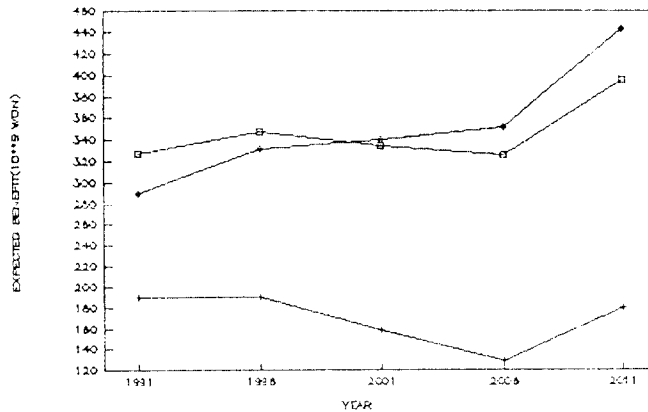


Fig. Each Alternative by Method of Utility(Type-V)

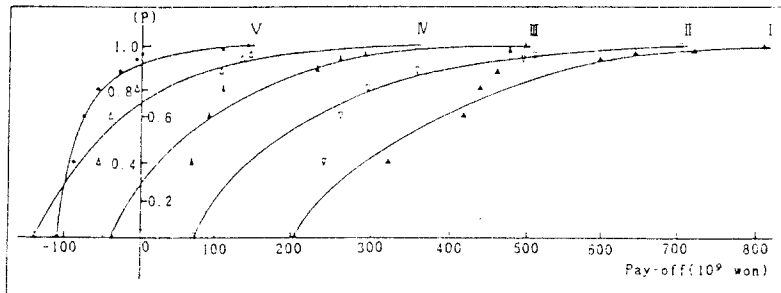


Fig. Utility Pay-off for Gungchon Station of 2005.

3.2.2 意思決定 트리(Decision tree)에 의한 分析

本 研究에서 제안한 水資源 開發 시스템은 意思決定에 決定的 影響을 미치는 각 狀況別 發生確率값과 資料 推論에 不確實性이 내재되어 있어 한번 意思決定이 내려지면 수정할 수 없는 1段階 意思決定이므로 츄리에 의한 意思決定論을 水資源 시스템에 適用하기는 부적합하다 하겠다. 또한 Type- I 에서 V까지 考察하여 볼 때 全體的으로 不規則한 形態를 나타내고 있으므로 DT 모델(Decision tree)에 적용된 情報에 不確實性이 內在되어 있는 것으로 생각하며 DT 모델 자체에 不確實性을 減少시킬만한 理論的 根據가 없으므로 水資源 開發 시스템에 適用하기는 不충분하다 하겠다.

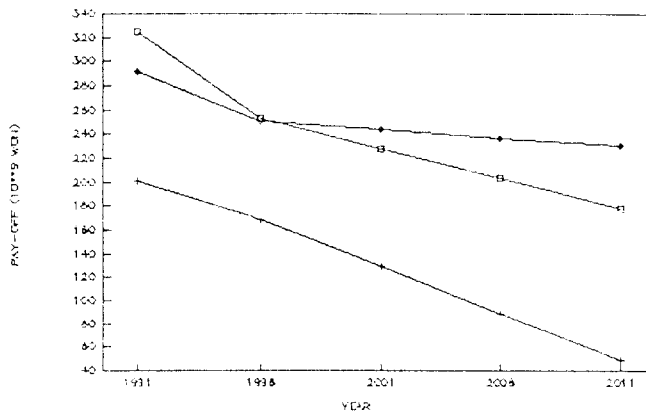
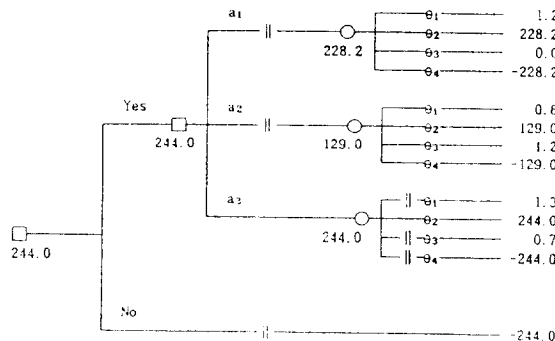


Fig. Result of alternative for decision tree (Type-N)

Results of Alternative by Decision Tree (Type N: 2001)



3.2.3 Bayesian 모델에 의한 分析

結果的으로 Bayesian 意思決定論을 水資源 開發 시스템에 適用할 경우 事前情報로는 河川 地形學的 因子 즉, 流域面積(A_i), 河川 總延長(T_i), 1次 河川延長(L_i), 起伏量(H_b), 排水密度(D_d)등을 고려하여 持續期間에 대한 頻度分析을 한 다음 持續期間 別 再現期間에 대한 低水流量을 基本資料로 하여 低水流量과 地形因子間의 回歸式을 구하여야 할 것이며 標本情報로는 過去 低水流量 實測資料를 사용하여 이들을 Bayes理論에 의하여 結合시켜 事後情報로 하여야 할 것이다. 그러므로 水資源 開發 시스템에 적용하는 最適 意思決定 모델로는 BDT 모델이 되어야 할 것으로 사료된다.

Table EOL, XXOL, EVSI of each alternative(Type-V)
(Unit:10⁹won)

alt	Year	1991	1996	2001	2006	2011
	a1	EOL	-218.00	-200.00	-183.00	-165.00
XXOL		-212.79	-194.42	-176.86	-158.49	-140.93
EVSI		-5.21	-5.58	-6.14	-6.51	-7.07
a2	EOL	-170.00	-140.00	-110.00	-80.00	-50.00
	XXOL	-163.49	-132.56	-101.63	-70.70	-39.77
	EVSI	-6.51	-7.44	-8.37	-9.30	-10.23
a3	EOL	-197.00	-189.00	-182.00	-174.00	-167.00
	XXOL	-192.72	-184.81	-177.81	-169.91	-162.91
	EVSI	-4.28	-4.19	-4.19	-4.09	-4.09

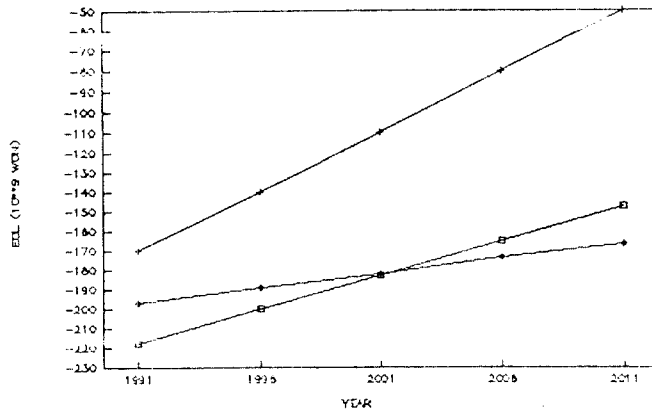


Fig. EOL of each alternative (Type-V) (Unit:10⁹won)

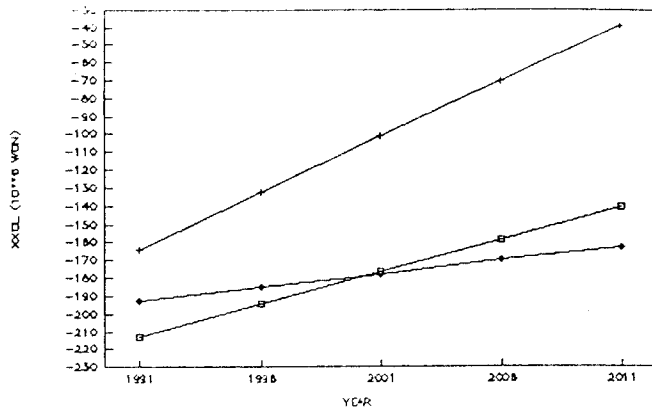


Fig. XXOL of each alternative (Type-V) (Unit: 10^{10} won)

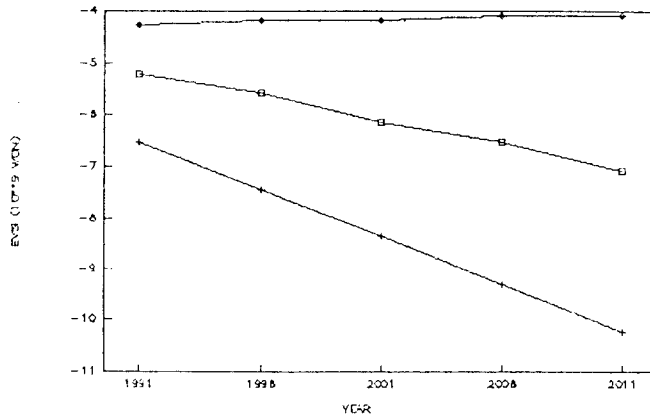


Fig. EVSI of each alternative (Type-V) (Unit: 10^9 won)

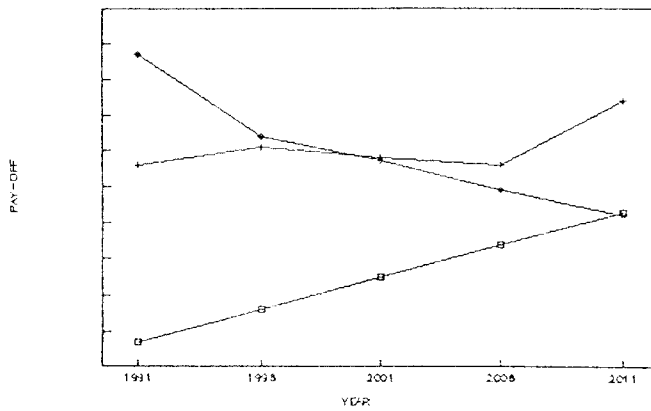


Fig. The comparison by each technique in (Type M)

Ⅳ 結果의 考察

4.1 結果의 比較分析

水資源 開發 시스템에 意思決定論을 適用하여 본 結果 UF 모델에 의한 意思決定모델은 金錢的 效用值로 變換시키는 發展的 技法과 效用判斷의 差異를 일치시킬 수 없을 뿐만 아니라 意思決定者의 心理的 主觀的 價値性向에 따라 最適代案이 決定되는 모델임으로 最適이 아닌 理論임을 알 수 있었다. 또한 DT 모델은 意思決定過程을 나타내는 데는 좋으나 意思決定에 크게 影響을 주는 각 狀況別 發生確率값과 각종 資料 推論에 不確實性이 內在되어 있어 한번 意思決定을 하면 이를 배제할 수 없음으로 最適이 아닌 意思決定 모델임을 알 수 있었다. 그러나 BDT 모델은 事前情報를 客觀化 시킬 수 있을 뿐만 아니라 實測資料를 利用하여 事前情報와 結合시켜 事後情報화 함으로 事前情報에 내재되어 있는 不確實性을 현격히 감소시킬 수 있었으며 事前情報에 의한 期待機會損失(EOL)과 事後情報에 의한 期待機會損失의 期待值(XXOL)를 算定하여 意思決定을 할 수가 있어 水資源 開發 시스템에 적합한 理論임을 알 수 있었다.

4.2 最適意思決定 모델 및 最適代案의 決定

水資源 開發 시스템에 意思決定論을 適用하여 각 代案에 대한 最適代案 選定을 하기 위하여 지금까지 각 分析모델에 의한 結果를 比較分析한 結果 UF 모델과 DT 모델은 開發流量이 감소함에 따라 不規則한 形으로 나타났으며 BDT 모델은 期待機會損失의 結果가 規則적으로 나타나 期待 機會損失을 基準으로 한 BDT 모델을 最適意思決定 모델로 決定하고자 한다.

最適代案의 決定하기 위하여는 지금까지 琴湖江 水質을 改善하기 위한 方案으로 水資源을 開發하여 渴水時에 河川維持用水를 供給하는 方案을 3개의 代案 [洛東江 本流에서 取水하는 代案(a_1), 既存담에서 導水路를 통하여 取水하는 方案(a_2), 새로운 담을 建設하여 取水하는 方案(a_3)]을 UF 모델에 의한 意思決定, DT 모델에 의한 意思決定, BDT 모델에 의한 意思決定을 適

用하여 본 結果 代案 a_1 이 最適代案으로 選定되었다. 그러나 維持運營費(電力費)의 過多로 인하여 短期는 5年, 長期는 12年을 前後하여 琴湖江 流域으로 水資源을 放流시킬 수 있는 專用댐을 建設하여 自然 流下式으로 放流하면서 落差에 의한 電力을 생산하여 維持 運營費를 補完할 수 있는 代案 a_3 를 最適代案으로 결정하는 것이 本 研究 結果 타당할 것으로 判斷된다.

V. 結 論

1. UF 모델에 의한 意思決定모델은 金錢的 期待值를 效用值로 變換시키는 客觀的 基準이 없어 情報에 대한 信賴性이 不規則的이며 意思決定者의 心理的·主觀的 價値性向에 따라 決定되므로 이들 性向을 客觀化 시킬 수 있는 發見的 技法이 없기 때문에 水資源開發 시스템에는 最適技法이 아님을 알 수 있었다.

2. DT 모델에 의한 意思決定 모델은 意思決定 過程을 明確하게 表現할 수 있으나 意思決定에 影響을 미치는 각 狀況別 發生確率의 推定方法이 없고 또한 이들 資料 推論에 不確實性을 測定할 수 없는 모델이며 成果結果의 變化가 不規則的이므로 確率의 不確實한 事象의 意思決定에는 適合치 않음을 알 수 있었다.

3. 水資源 開發 시스템에 적용한 意思決定 모델로는 BDT 모델과 Non-BDT 모델(UF 모델, DT 모델)을 적용하여 본 결과 BDT 모델은 情報의 不確實性을 排除함으로 期待機會損失(EOL)이 規則的인 形態를 維持하였으며 Non-BDT 모델은 不規則的으로 나타나 水資源 開發 시스템에는 BDT 모델이 最適 모델임을 알 수 있었다.

4. 琴湖江 流域의 河川維持用水 確保를 위하여 BDT 모델을 適用한 結果 그 開發 代案으로서 洛東江 本流에서 取水하는 方案(a_1), 臨河댐에서 取水하는 方案(a_2), 새로운 댐인 吉安댐을 建設하여 取水하는 方案(a_3) 등의 3個 代案 중 短期的(2000年 까지)에는 洛東江本流에서 取水하는 方案이 最適 代案이나 長期的(2000年 以上)으로는 새로운 吉安댐을 建設하여 取水하는 方案이 最適 代案임을 알 수 있었다.