

System Dynamics에 의한 土地利用—交通 System分析

Land-use/Transportation System Dynamics Model

金 大 雄*
Kim, Dae Eung

Abstract

The system dynamics is a systematic method supplemented by the decision making process of management to the numerical and theoretical analyses in the field of the operation research or the industrial engineering.

The system dynamics seems to be one of the most useful mathematical methods for forecasting the future social system or for evaluating the alternative plans.

Land-use/transportation system dynamics model is constructed from the urban activity generation model based on the economic base hypothesis using the DYNAMO simulation language.

The model was applied to Daegu city and showed the validity.

要 旨

System Dynamics는 OR 또는 Industrial Engineering의 數量的이고 理論的인 分析方法 위에 Management 意思決定 過程을 導入한 System의 方法이다. 그러므로 社會 System의 將來豫測과 아울러 代案의 檢討 및 選擇方法으로서는 가장 有效한 數理的 方法이라고 할 수 있다.

經濟基礎假說에 依據하여 開發된 都市活動의 生成 Model을 System Dynamics化하여 土地利用—交通 System Dynamics Model을 構築하였다. 그리고 大邱地域의 適用例에 依하여 Model의 有効性을 檢討하였으며 그 結果·有意하였다.

1. 序 論

都市活動(urban activity)은 社會—經濟活動(socio-economic activity)으로서 企業이나 公共機關의 生産 및 서비스活動, 個人 또는 世帶의 居住活動으로 크게 3大分할 수 있다. 都市活動이 都市空間에 立地하면 이들 活動間에는 끊임없는 相互作用(Interaction)이 行해지며 이 相互作用에는 活動의 成分으로서 空間內的 活動의

場(space) 또는 量(quantity)인 土地利用活動과 移動의 成分으로서 都市空間에서의 사람이나 物資(goods)의 흐름(flow)인 交通活動이 包含된다.

그러므로 土地利用과 交通은 不可分의 一體物이며 兩者를 하나의 System으로 取扱하는 土地利用—交通 System으로 보는 것이 妥當하고 合理的이다. 本研究은 土地利用—交通 System Dynamics Model을 開發하고 그 適用性을 檢討하고자 한다.

都市地域에 어떤 理由로 雇傭機會가 增加하면

*正會員·嶺南大學校 工科大学 副教授, 都市工學科

人口增加를 促進시키고 增加된 人口는 서비스를 要求하므로 서비스 雇員이 增加된다. 增加된 서비스 雇員이 雇員機會로 주어져 人口增加를 促進시키는 循環이 無限反復하여 都市地域이 成長해 간다는 經濟基礎假說(economic base hypothesis)⁽¹⁾에 依據하여 開發된 都市活動의 生成 Model을 System Dynamics 化하여 土地利用—交通 System Dynamics Model을 構築하였다.

土地利用—交通 System Dynamics Model의 適用性を 檢討하기 위하여 大邱都市圈을 對象으로 向後 50年間の 都市活動을 DYNAMO⁽²⁾ 言語를 使用하여 Simulation 하였다. Simulation 結果, Model은 잘 作動되어 都市活動의 將來豫測 및 Impact Analysis가 可能하였고 특히 代案의 檢討가 容易하였으므로 本 Model의 適用성은 크다고 判斷되었다.

2. System Dynamics의 技法과 特徵

System Dynamics(以下 SD라 한다)은 MIT의 Jay. W. Forrester 에 의하여 開發된 Industrial Dynamics⁽³⁾로부터 出發한 것으로 初期에는 主로 企業中心의 研究가 많았으나 後, 軍事 시스템 宇宙開發 等에도 使用되고 最近에는 都市開發, 人口問題, 公害問題 等の 社會 시스템에 대한 適用例가 많이 發表되고 있다^(4,5,6). 특히 有名한 適用例로는 都市의 人口, 産業 및 公害問題 等 모든 都市問題를 取扱한 Urban Dynamics⁽⁷⁾와 Macro 的 觀點으로 世界人口 推定 等을 다룬 World Dynamics⁽⁸⁾을 들 수 있다.

SD는 OR 또는 MS(management science) 等の 數量的이고 理論的인 分析方法위에 Management 意思決定 過程을 導入시킨 시스템의인 方法이다⁽⁹⁾. OR이나 MS 等の 分野에는 많은 數理計劃法, 最適化技法 등이 開發되어 重要하고 有效한 成果를 올리고 있다. 그러나 이들의 大部分은 定量的 Data에 依據한 解析方法이며 그 方法이 成立하는 範圍內에서는 客觀的이고 普遍的인 것으로 그 妥當性도 容易하게 認識될 수 있는 것이다. 그러나, 社會 시스템에 대한 活動에 있어서 意思決定(decision making)을 할 경우, 어떤 立場에서 어떤 條件下에서 行할 것인

가를 미리 決定할 수 없는 것이 普通이다. 또 從來의 最適化方法이나 數理計劃法 等에서는 소위 大規模이고 複雜한 Dynamics 對象에 대해서는 無力하다는 것이 一般적으로 認識되어 있으므로 數量化가 매우 困難한 社會 시스템의 定式化를 위하여 SD가 開發되었다⁽¹⁰⁾.

從來의 統計的 方法에 依據한 豫測은 社會 시스템을 Block-box로 생각하고 시스템의 構造에 대해서는 考慮할 수 없기 때문에 社會 시스템의 非線型的인 行態를 把握할 수 없는 것이 問題點으로 臺頭되었다. 그래서 시스템觀察을 함으로써 시스템構造를 把握하고 Dynamic 變化의 過程을 컴퓨터에 맡기고자 하는 發想이 SD를 胎動시킨 動機가 되었다⁽¹¹⁾.

上述한 바와 같이 SD는 意思決定構造를 가지고 있기 때문에 從來의 豫測方法에 比하여 다음과 같은 特徵이 있다.

- 1) 時系列的인 豫測이 可能하다.
- 2) 社會 시스템의 諸構成要素를 有機적으로 取扱할 수 있다.
- 3) 外生的, 政策的인 諸條件變化에 따른 各變數의 變化와 바람직한 將來像에 到達하는데 有效한 政策 또는 手段의 檢討가 可能한 政策 Simulation Model이다.
- 4) Model의 變更 또는 擴大가 容易하다.
- 5) 因果關係가 明確하고 政策遂行이나 計劃的理想을 追求할 수 있는 Model의 構築이 可能하다.

2.1 System Dynamics의 基本概念

시스템은 物理 시스템과 社會 시스템으로 大別되며 前者는 物質, 材料, Hardware 等으로 後者는 個人 또는 人間, 組織(企業等), 都市, 國家, 世界 等으로 成立된다. 그리고 시스템은 시스템의 境界와 目的을 가지며 몇개의 構成要素로 構成되고 그들 사이에는 論理的 關係 즉 Feedback Loop가 存在한다⁽¹²⁾.

上述한 兩 시스템의 큰 差異는 社會 시스템에 意思決定 過程이 存在하는 것이다. 社會 시스템에서 意思決定에 影響을 주는 情報은 直觀的으로는 觀察할 수 없고 시스템의 觀察이 必要하며 現實社會(real system), 情報, 意思決

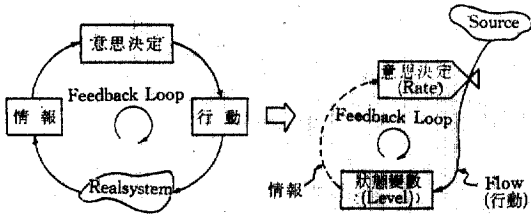


그림 2-1. System Dynamics의 基本構造

定, 行動間의 關係을 檢討하면 다음과 같다⁽¹¹⁾.

그림 2-1은 實社會에서 發生한 情報에 依하여 意思決定이 이루어지면 行動이 變하고 이것이 現實社會에 作用을 加하여 그 狀態을 變化시키고 있음을 나타낸다. 勿論, 여기서 새로운 情報은 變化된 現實社會에서 다시 發生한다.

그림 2-1(a)는 現實社會의 觀察에 依하여 情報가 收集되고 收集된 情報를 使用하여 意思決定이 이루어지며 그 結果로 現實社會의 現狀態을 變化시키는 因果關係의 環 즉, Feedback Loop를 나타낸다.

그림 2-1(b)는 Flowdiagram의 記號를 使用하여 SD의 概念을 表示한 것이다. 시스템 狀態을 Level이란 狀態變數로 表示하고 그 情報가 Rate라는 意思決定函數을 作動시킨다. Rate는 Flow를 制御하는 Valve의 役割을 하여 行動에 適當한 Flow를 Level에 흘려 보내어 Level의 狀態을 變化시키는 것을 意味하고 있다.

위와 같이 Level, 情報, Rate, Flow로 되는 4要素가 Feedback Loop에 依하여 連結되는 것이 SD의 基本概念이며 그 特徵을 要約하면 아래와 같다.

① 시스템을 情報 Feedback Control System으로 取扱하고 그 속에 存在하는 Feedback 構造를 Level 및 Rate라는 概念으로 表示한다.

② SD의 構造把握에 依하여 Rate의 構造變化 즉, 意思決定過程의 構造變化가 行해진다.

2.2 Simulation 言語와 段階的 Simulation

SD Model의 Simulation에는 DYNAMO라고 하는 專用 Simulation 言語가 使用된다. DYNAMO⁽²⁾는 주로 Level 計算과 補助方程式 및 Rate 計算으로 成立되며 Level 方程式 앞에는 「L」,

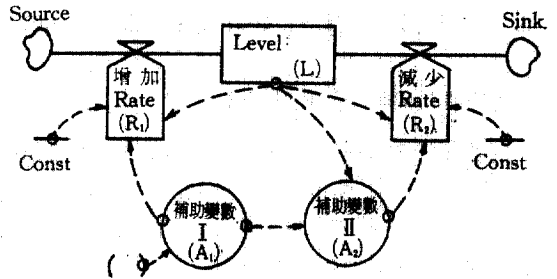


그림 2-2. DYNAMO의 基本概念

Rate方程式 앞에는 「R」, 補助方程式 앞에는 「A」을 記入하여 方程式의 種類을 區別한다.

DYNAMO의 構造는 그림 2-2와 같이 어느 Stock 量을 Level로 하고 그 增減 Flow를 Rate에 依하여 記述하며 Rate의 制御는 補助方程式으로 行한다. 그리고 補助變數가 Level에 依하여 記述됨으로 해서 Feedback 構造가 完結된다.

DYNAMO에 의한 Simulation은 그림 2-3과 같이 段階的(step-by-step) 方法을 取한다. 現時點(K)에서의 Level 變數의 값(L.K)은 DT(Simulation 時間間隔)만큼의 過去時間(J)의 Level 變數값(L.J)에 JK時間(DT)에 增加하는 Flow 量(R1.JK)을 더하고 減少하는 Flow 量을 뺀 값에 DT時間을 곱하면 K時點의 시스템 狀態가 表示된다. 그리고 K時點의 補助變數는 K時點의 Level 및 미리 計算된 K時點의 다른 補助變數로부터 計算되고 最後로 K時點의 Level 및 補助變數에 依하여 KL間(DT)의 Rate가 計算되어진다. Rate 計算이 끝나면 時點을 單位時間 DT만큼 前進시켜 위와 같은 計算過程을 目標年度에 達할 때까지 反復한다.

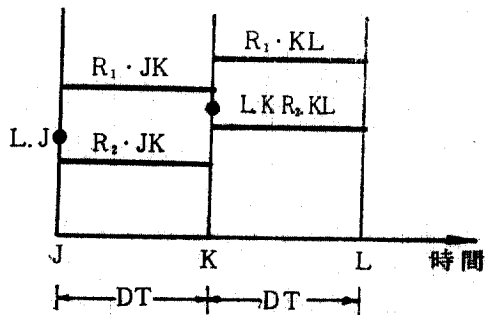


그림 2-3. Step-by-step Simulation

3. 土地利用—交通 System Dynamics Model

3.1 都市活動의 生成 Model

經濟基礎假說에 依據하여 開發된 都市活動의 生成 Model은 「 $E \rightarrow P \rightleftharpoons E'$ 」와 같은 單純한 構造를 가졌으나 매우 合理的이고 妥當한 方法으로 式(3-1)과 같이 表示된다⁽¹⁴⁾.

$$\left. \begin{aligned} E &= E^b + E' \\ P &= \alpha E \\ E' &= \beta P = \alpha \beta E \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

여기서 E 는 雇傭者, P 는 人口, E' 는 서비스 雇傭, α 는 扶養率, β 는 서비스 雇傭率이다.

式(3-1)의 集計 Model에 Accessibility⁽¹³⁾와 그 Potential로부터 算定된 都市活動의 立地確率을 導入하여 Matrix型으로 修正하면 式(3-2)와 같이 各 Zone 別로 都市活動의 生成豫測이 可能한 非集計 Model로 擴張되어 진다⁽¹⁴⁾.

$$\left. \begin{aligned} e &= e^b [I - (T\alpha\beta S)]^{-1} \\ p &= T\alpha e \\ e' &= \beta S p = T\alpha\beta S e \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

여기서 e, p, e' 는 $(1 \times n)$ 벡터로 各 Zone의 雇傭, 人口, 서비스 雇傭이며 T, S 는 $(n \times n)$ 正 方形行列로서 Accessibility로부터 算定된 各 Zone 別, 都市活動의 立地確率이다. 그리고 α, β 는 $(n \times n)$ 對角行列로서 各 Zone 別, 扶養率과 서비스 雇傭率이며 I 는 單位行列, n 는 地域의 Zone 數이다.

3.2 生成 Model의 SD化

Matrix 型으로 擴張된 都市活動의 生成 Model은 都市活動의 量으로서 土地利用活動과 交通 시스템의 特性을 나타내는 Accessibility로부터 算定된 土地利用立地確率에 따라 都市活動이 配分되므로 生成 Model에는 土地利用과 交通 兩面이 同時에 包含되어 있다. 그러므로 都市活動의 生成 Model은 곧 土地利用—交通 System Model이다.

土地利用—交通 System Model을 人口 Sector, 雇傭 Sector, 서비스 雇傭 Sector 및 土地利用, 交通 Sector 別로 SD化하여^(12,13) 土地利用—交通 System Dynamics Model을 構築하였으며 그림

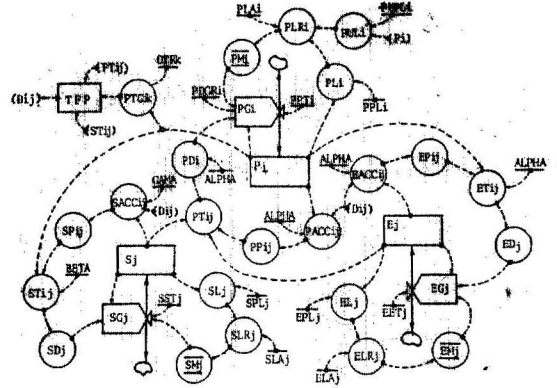


그림 3-1. SP Model Flowdiagram

3-1은 SD Model의 Flowdiagram이다.

그림 3-1은 都市地域內에서 i Zone의 人口 Sector와 j Zone의 雇傭 및 서비스 雇傭 Sector만을 表示한 簡略圖로서 實際로는 이와 같은 n 個의 Diagram이 因果 Loop로 相互連結된 것이다. Diagram에 使用된 變數名은 付記에 表示하였다.

土地利用—交通 System Dynamics Model의 開發에 있어서 各 Sector間의 關係는 그림 3-1과 같이 人口 Sector와 雇傭 및 서비스 雇傭 Sector間에는 正의 Feedback Loop가 存在하며 雇傭增加(또는 減少)에 따라 人口가 增加(또는 減少)하고 또 人口增加(또는 減少)에 따라 서비스 雇傭이 增加(또는 減少)하는 構造이다.

그리고 土地利用 Sector와 人口 및 雇傭 Sector間에는 負의 Feedback Loop가 存在하여 人口와 雇傭이 增加(減少)하면 住宅用地, 事業所用地 및 公共用地 등의 需要가 增加(減少)되어 利用可能 土地面積이 減少(增加)됨에 따라 人口 및 雇傭 成長은 抑制(促進)된다^(10,12).

위와 같이 土地利用—交通 System Dynamics Model은 多重 Feedback Loop가 存在하므로 都市活動은 無限成長을 하지 않고 土地利用制約에 따라 그 成長이 抑制되는 S-型成長 構造를 가진다.

SD Model의 Flowdiagram에서 P_i, E_j 및 S_j 는 Level 變數이며 PG_i, EG_j 및 SG_j 는 Level 變數을 調整하는 Rate 變數이다. ○內의 PD_i, ED_j, SD_j 그리고 $PT_{ij}, ET_{ij}, ST_{ij}$ 및 PP_{ij} ,

EP_{ij} , SP_{ij} 등은 補助變數이며 \ominus 內의 PM_i, EM_j, SM_j 는 住宅 및 産業用的 土地利用乘數로서 Table 變數, 그 以外는 모두 定數 및 Parameter 이다. 各 Sector 別 重要 Model 構造를 다음과 같이 要約하였다.

(1) 人口 Sector

K 時點에서 i Zone의 人口 P_i, K 는 J 時點에서 i Zone의 人口 P_i, J 에 JK 時間 間隔 즉, DT 間의 人口增減의 合이며 KL 間의 人口增減 PG_i, KL 는 現人口를 包含한 i Zone의 必要人口 PD_i, K 와 現人口와의 差異를 土地利用乘數 PM_i, K , 移住認識 時間遲滯(Delay) PPT_i 와 關聯시키고 純人口增減 NP_i, K 을 合한다. 그리고 i Zone에서 要求되는 人口 PD_i, K 는 就業者에 扶養率(α) 을 合한다.

$$(L) P_i, K = P_i, J + (DT)(PG_i, K)$$

$$(R) PG_i, K = (PM_i, K / PPT_i)$$

$$(PD_i, K - P_i, K) + NP_i, K$$

$$(A) PD_i, K = (\text{ALPHA}) (\sum^j PT_{ij}, K)$$

ij Zone 間의 通勤移動數 PT_{ij}, K 는 總雇傭과 Accessibility로부터 算定한 土地利用立地確率 PP_{ij}, K 의 積으로 求해진다.

$$(A) PT_{ij}, K = (E_i, K + S_i, K) * PP_{ij}, K$$

$$(A) PP_{ij}, K = (P_i, K * D_{ij} * LAMDA) / (\sum^j P_{ij}, K * D_{ij} * LAMDA)$$

PT_{ij}, K 는 K 時點에서 j Zone의 總雇傭 Stock 중 i Zone에 要求되는 通勤者數를 意味하며 i Zone의 分擔은 各 Zone間의 交通 Impedance를 考慮하여 算定된 Zone間의 魅力比 PP_{ij}, K 에 依存한다.

(2) 雇傭 및 서비스雇傭 Sector

各 Zone 別 雇傭 E_j, K 및 서비스雇傭 S_j, K 는 Level 變數로서 人口 Sector와 같은 構造를 갖는다.

$$(L) E_j, K = E_j, J + (DT) (EG_j, JK)$$

$$(L) S_j, K = S_j, J + (DT) (SG_j, JK)$$

Rate 變數인 雇傭增減 EG_j, KL 및 서비스 雇傭增減 SG_j, KL 는 土地利用可能乘數 EM_j, K, SM_j, K 와 雇傭機會認識 遲滯(Delay) EET_j, SST_j 에 關係되고 必要雇傭數 ED_j, K, SD_j, K 와 現雇傭數와의 差異에 依하여 決定되고 必要雇傭數 ED_j, K, SD_j, K 는 土地利用立地確率

EP_{ij}, K 및 SP_{ij}, K 에 따라 配分된 雇傭數에 就業率(扶養率의 逆數)과 서비스雇傭率(β)을 合한다.

$$(R) EG_j, KL = (EM_j, K / EET_j)$$

$$(ED_j, K - E_j, K)$$

$$(R) SG_j, KL = (SM_j, K / SST_j)$$

$$(SD_j, K - S_j, K)$$

$$(A) ED_j, K = \sum^i ET_{ij}, K$$

$$(A) SD_j, K = \sum^i ST_{ij}, K$$

$$(A) ET_{ij}, K = (1 / \text{ALPHA}) * P_i, K * EP_{ij}, K$$

$$(A) ST_{ij}, K = \text{BETA} * P_i, K * SP_{ij}, K$$

여기서 ET_{ij}, K 및 ST_{ij}, K 는 Zone 間의 雇傭者 및 서비스雇傭者의 移動量이다.

(3) 土地利用 및 交通 Setor

人口 및 雇傭 Sector 別로 1人當 所要 住宅地面積, 公共用地面積 및 事業所用地面積 즉, 土地利用原單位를 人口 및 雇傭數에 合하여 用途別 土地利用面積을 算定한다. 用途別 土地利用可能乘數는 利用可能地面積과 實際利用地面積比 즉, 土地利用率에 따라 定해지는 Table 變數로 都市의 無限成長을 制約하는 負의 Feedback Loop의 重要要素이다⁽¹²⁾.

交通發生과 集中은 人口 및 用途別 土地利用面積에 目的別 交通發生原單位를 合하여 算定하며 Zone 間의 通勤者의 移動은 人口 및 雇傭 Sector에 包含된다.

4. 適用例

大邱都市圈을 中區 (1), 東區 (2), 西區 (3), 南區 (4), 北區 (5), 壽城區 (6) 그리고 慶山, 漆谷, 達城의 3 Dummy Zone 으로 한 9個 Zone 으로 分割하고 1983年을 基準年度로 하여 向後, 50年間의 都市活動을 Simulation 하였다.

4.1 Base Run

Model Simulation에서 Base Run에 使用된 初期値는 表 4-1 과 같이 1983年度의 實測值이다⁽¹³⁾. 扶養率 $\alpha = 3.34$, 서비스 雇傭率 $\beta = 0.171$ 人口增減率 PDGR는 2.86%, 認識時間 Delay는 各 Sector 共히 3年으로 假定하였다.

交通 Impedance는 Zone 間의 旅行時間(分)으

表 4-1. Base Run의 初期條件

變數名 Zone	人口 P (人)	雇傭者 E (人)	서비스雇傭 S (人)	住宅地面積 PLA(1000m ²)	産業地面積 ELA(1000m ²)	서비스用地 SLA(1000m ²)
中 區 (1)	201,000	31,700	100,800	3,881	672	2,497
東 區 (2)	317,900	24,000	61,000	16,873	971	5,143
西 區 (3)	511,500	48,900	58,800	28,134	8,847	4,950
南 區 (4)	337,800	18,300	54,700	35,062	963	4,554
北 區 (5)	325,900	70,900	34,000	18,145	10,524	2,970
壽 城 區 (6)	246,600	12,600	25,100	25,060	48	2,179
計	1,940,800	206,400	334,400	127,155	22,025	22,298

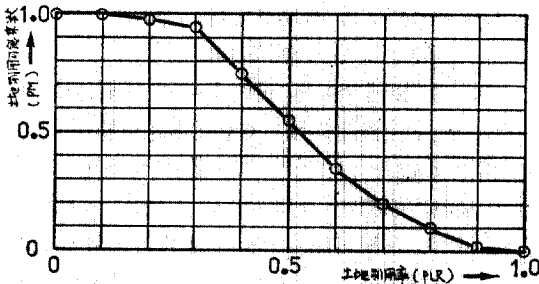


그림 4-1. 土地利用率과 土地利用乘數와의 관계

로 하였으며⁽¹⁵⁾ 그 Parameter는 通勤目的의 경우 $\lambda = -2.3$, 自由目的인 경우 $\gamma = -1.9$ 로 하였으며 目的別交通發生單單位 OTRk는 通勤 0.35, 通學 0.22, 業務 0.24, 自由 0.49 그리고 歸宅 1.1(trip/人/日)로 假定하였다⁽¹⁶⁾.

土地利用乘數는 各 Sector, 各 Zone 모두 同一하다고 보고 各 Zone의 用途別 土地利用率에 따라 그림 4-1과 같이 算定되었다.

Simulation 結果는 表 4-2, 그림 4-2~4와 같으며 시스템의 成長은 約 20年後에 均衡狀態에 到達하고 있다.

表 4-2는 基準年에서 50年間을 10年間隔으로 豫測한 都市活動量이다. P, E, S는 各 Zone 別 人口, 雇傭 및 서비스 雇傭의 豫測值이며 POP, EMP, SER는 위의 Control Total 值이다. 그리고 TPL, TEL, TSL는 住宅, 工業, 서비스 用途別 土地利用面積이다. Control Total 의 人口成長을 보면 1983年 194.1萬人, 1993年 257.9萬人, 2003년에는 306萬人으로 되며 50年後인 2043년에는 370.2萬人으로 豫測되었다.

그림 4-2는 向後 50年間의 各 Zone 別, 人口成

ACD-6 DYNARDI-6 V/A 5.4 MODEL FOR TABUK LAND-USE/TRANSPORTATION SYSTEM DYNAMICS
DYNAMO EXECUTION LIST (PRINT) RUN FOR BASE 8

TIME	P(1)	E(1)	S(1)	POP
E+00	E+00	E+00	E+00	E+00
0.	0.2019E+06	0.3170E+05	0.1008E+06	0.1941E+07
10.00	0.3117E+06	0.2400E+05	0.6100E+05	0.2579E+08
20.00	0.5115E+06	0.4890E+05	0.5880E+05	0.3060E+09
30.00	0.3378E+06	0.1830E+05	0.5470E+05	0.2042E+09
40.00	0.3259E+06	0.7090E+05	0.3400E+05	0.2579E+09
50.00	0.2466E+06	0.1260E+05	0.2510E+05	0.3702E+09
60.00	0.2382E+06	0.1940E+05	0.7400E+05	0.4000E+09
70.00	0.2017E+06	0.1900E+05	0.1509E+06	0.4000E+09
80.00	0.3118E+06	0.3180E+05	0.3180E+05	0.2779E+09
90.00	0.3167E+06	0.1691E+06	0.2002E+05	0.3448E+09
100.00	0.4048E+06	0.3281E+05	0.2454E+05	0.2497E+09
110.00	0.4133E+06	0.2478E+06	0.1422E+05	0.1317E+09
120.00	0.2365E+06	0.1260E+05	0.2972E+05	0.3764E+09
130.00	0.2413E+06	0.1940E+05	0.1092E+05	0.3764E+09
140.00	0.3269E+06	0.3201E+05	0.2881E+05	0.2049E+09
150.00	0.3909E+06	0.2320E+06	0.771E+05	0.2722E+09
160.00	0.8064E+06	0.2583E+06	0.2177E+05	0.3231E+09
170.00	0.4482E+06	0.3039E+06	0.432E+05	0.3807E+09
180.00	0.3774E+06	0.1260E+05	0.2091E+05	0.1607E+09
190.00	0.2309	0.1940E+05	0.0000	0.0000
200.00	0.2900	0.2900	0.1611	0.1611
210.00	0.8324	2920	80.25	0.8324
220.00	234.8	7.983	525.0	0.8324
230.00	0.3133E+06	0.5300E+05	0.2880E+05	0.3382E+09
240.00	0.3924E+06	0.3672E+05	0.1120E+05	0.7132E+09
250.00	0.2602E+06	0.2493E+05	0.157E+05	0.3812E+09
260.00	0.1000E+07	0.3700E+05	0.3300E+05	0.2930E+09
270.00	0.5384E+06	0.2349E+06	0.3780E+05	0.1807E+09
280.00	0.0200E+06	0.1260E+05	0.3800E+05	0.3750E+09
290.00	0.4000	0.1940E+05	0.2380	0.4000
300.00	0.8196	2800	1.054	0.8196
310.00	235.7	145.2	0.488	0.488
320.00	0.3168E+06	0.7308E+05	0.2097E+06	0.3168E+09
330.00	0.4112E+06	0.3488E+05	0.7075E+05	0.7496E+09
340.00	0.6198E+06	0.2838E+06	0.241E+05	0.2838E+09
350.00	0.1171E+07	0.1740E+05	0.3997E+05	0.3749E+09
360.00	0.5751E+06	0.2428E+06	0.7460E+05	0.1724E+09
370.00	0.3948E+06	0.1260E+05	0.4880E+05	0.2013E+09
380.00	0.1940E+05	0.1940E+05	0.1940E+05	0.1940E+09
390.00	0.4000	0.3999	1.225	0.4000
400.00	0.1128E+06	0.1308E+05	0.171E+06	0.2709E+09
410.00	0.6924E+06	0.3110E+06	1571	0.6176E+09
420.00	0.1260E+06	0.2780E+05	0.4495E+05	0.3949E+09
430.00	0.4823E+06	0.3727E+06	0.65.3	0.2013E+09
440.00	0.3976E+06	0.1260E+05	0.3732E+05	0.1163E+09
450.00	0.3182E+06	0.1940E+05	0.8494E+05	0.1163E+09
460.00	0.3182E+06	0.1940E+05	0.1346E+06	0.1163E+09
470.00	17.23	214.3	0.1694	0.1694

表 4-2. SD Model의 Simulation 結果

長을, 그림 4-3은 雇傭成長을, 그림 4-4는 서비스 雇傭成長의 Computer Simulation 結果를 plot한 例이다.

4.2 Model의 適用性檢討

土地利用-交通 System Dynamics Model의

P(12)=, P(2)=, P(3)=, E(4)=, P(5)=, P(6)=, P(7)=, P(8)=, P(9)=

0.	0.20000E+04	0.10000E+07	0.10000E+07	0.20000E+07 123456789
0.	1	1	1	12,47.89
0.7	1	1	1	24.89
1.4	1	1	1	24.89
2.1	1	1	1	24.89
2.8	1	1	1	24.89
3.5	1	1	1	24.89
4.2	1	1	1	24.89
4.9	1	1	1	24.89
5.6	1	1	1	24.89
6.3	1	1	1	24.89
7.0	1	1	1	24.89
7.7	1	1	1	24.89
8.4	1	1	1	24.89
9.1	1	1	1	24.89
9.8	1	1	1	24.89
10.5	1	1	1	24.89
11.2	1	1	1	24.89
11.9	1	1	1	24.89
12.6	1	1	1	24.89
13.3	1	1	1	24.89
14.0	1	1	1	24.89
14.7	1	1	1	24.89
15.4	1	1	1	24.89
16.1	1	1	1	24.89
16.8	1	1	1	24.89
17.5	1	1	1	24.89
18.2	1	1	1	24.89
18.9	1	1	1	24.89
19.6	1	1	1	24.89
20.3	1	1	1	24.89
21.0	1	1	1	24.89
21.7	1	1	1	24.89
22.4	1	1	1	24.89
23.1	1	1	1	24.89
23.8	1	1	1	24.89
24.5	1	1	1	24.89
25.2	1	1	1	24.89
25.9	1	1	1	24.89
26.6	1	1	1	24.89
27.3	1	1	1	24.89
28.0	1	1	1	24.89
28.7	1	1	1	24.89
29.4	1	1	1	24.89
30.1	1	1	1	24.89
30.8	1	1	1	24.89
31.5	1	1	1	24.89
32.2	1	1	1	24.89
32.9	1	1	1	24.89
33.6	1	1	1	24.89
34.3	1	1	1	24.89
35.0	1	1	1	24.89
35.7	1	1	1	24.89
36.4	1	1	1	24.89
37.1	1	1	1	24.89
37.8	1	1	1	24.89
38.5	1	1	1	24.89
39.2	1	1	1	24.89
39.9	1	1	1	24.89
40.6	1	1	1	24.89
41.3	1	1	1	24.89
42.0	1	1	1	24.89
42.7	1	1	1	24.89
43.4	1	1	1	24.89
44.1	1	1	1	24.89
44.8	1	1	1	24.89
45.5	1	1	1	24.89
46.2	1	1	1	24.89
46.9	1	1	1	24.89
47.6	1	1	1	24.89
48.3	1	1	1	24.89
49.0	1	1	1	24.89
49.7	1	1	1	24.89
50.4	1	1	1	24.89
51.1	1	1	1	24.89
51.8	1	1	1	24.89
52.5	1	1	1	24.89
53.2	1	1	1	24.89
53.9	1	1	1	24.89
54.6	1	1	1	24.89
55.3	1	1	1	24.89
56.0	1	1	1	24.89
56.7	1	1	1	24.89
57.4	1	1	1	24.89
58.1	1	1	1	24.89
58.8	1	1	1	24.89
59.5	1	1	1	24.89
60.2	1	1	1	24.89
60.9	1	1	1	24.89
61.6	1	1	1	24.89
62.3	1	1	1	24.89
63.0	1	1	1	24.89
63.7	1	1	1	24.89
64.4	1	1	1	24.89
65.1	1	1	1	24.89
65.8	1	1	1	24.89
66.5	1	1	1	24.89
67.2	1	1	1	24.89
67.9	1	1	1	24.89
68.6	1	1	1	24.89
69.3	1	1	1	24.89
70.0	1	1	1	24.89

그림 4-2. Zone 別 人口成長豫測

E(1)=, E(2)=, E(3)=, E(4)=, E(5)=, E(6)=, E(7)=, E(8)=, E(9)=

0.	0.20000E+04	0.40000E+04	0.40000E+04	0.80000E+04 123456789
0.	1	1	1	12,47.89
0.7	1	1	1	24.89
1.4	1	1	1	24.89
2.1	1	1	1	24.89
2.8	1	1	1	24.89
3.5	1	1	1	24.89
4.2	1	1	1	24.89
4.9	1	1	1	24.89
5.6	1	1	1	24.89
6.3	1	1	1	24.89
7.0	1	1	1	24.89
7.7	1	1	1	24.89
8.4	1	1	1	24.89
9.1	1	1	1	24.89
9.8	1	1	1	24.89
10.5	1	1	1	24.89
11.2	1	1	1	24.89
11.9	1	1	1	24.89
12.6	1	1	1	24.89
13.3	1	1	1	24.89
14.0	1	1	1	24.89
14.7	1	1	1	24.89
15.4	1	1	1	24.89
16.1	1	1	1	24.89
16.8	1	1	1	24.89
17.5	1	1	1	24.89
18.2	1	1	1	24.89
18.9	1	1	1	24.89
19.6	1	1	1	24.89
20.3	1	1	1	24.89
21.0	1	1	1	24.89
21.7	1	1	1	24.89
22.4	1	1	1	24.89
23.1	1	1	1	24.89
23.8	1	1	1	24.89
24.5	1	1	1	24.89
25.2	1	1	1	24.89
25.9	1	1	1	24.89
26.6	1	1	1	24.89
27.3	1	1	1	24.89
28.0	1	1	1	24.89
28.7	1	1	1	24.89
29.4	1	1	1	24.89
30.1	1	1	1	24.89
30.8	1	1	1	24.89
31.5	1	1	1	24.89
32.2	1	1	1	24.89
32.9	1	1	1	24.89
33.6	1	1	1	24.89
34.3	1	1	1	24.89
35.0	1	1	1	24.89
35.7	1	1	1	24.89
36.4	1	1	1	24.89
37.1	1	1	1	24.89
37.8	1	1	1	24.89
38.5	1	1	1	24.89
39.2	1	1	1	24.89
39.9	1	1	1	24.89
40.6	1	1	1	24.89
41.3	1	1	1	24.89
42.0	1	1	1	24.89
42.7	1	1	1	24.89
43.4	1	1	1	24.89
44.1	1	1	1	24.89
44.8	1	1	1	24.89
45.5	1	1	1	24.89
46.2	1	1	1	24.89
46.9	1	1	1	24.89
47.6	1	1	1	24.89
48.3	1	1	1	24.89
49.0	1	1	1	24.89
49.7	1	1	1	24.89
50.4	1	1	1	24.89
51.1	1	1	1	24.89
51.8	1	1	1	24.89
52.5	1	1	1	24.89
53.2	1	1	1	24.89
53.9	1	1	1	24.89
54.6	1	1	1	24.89
55.3	1	1	1	24.89
56.0	1	1	1	24.89
56.7	1	1	1	24.89
57.4	1	1	1	24.89
58.1	1	1	1	24.89
58.8	1	1	1	24.89
59.5	1	1	1	24.89
60.2	1	1	1	24.89
60.9	1	1	1	24.89
61.6	1	1	1	24.89
62.3	1	1	1	24.89
63.0	1	1	1	24.89
63.7	1	1	1	24.89
64.4	1	1	1	24.89
65.1	1	1	1	24.89
65.8	1	1	1	24.89
66.5	1	1	1	24.89
67.2	1	1	1	24.89
67.9	1	1	1	24.89
68.6	1	1	1	24.89
69.3	1	1	1	24.89
70.0	1	1	1	24.89

그림 4-3. Zone 別 雇傭成長豫測

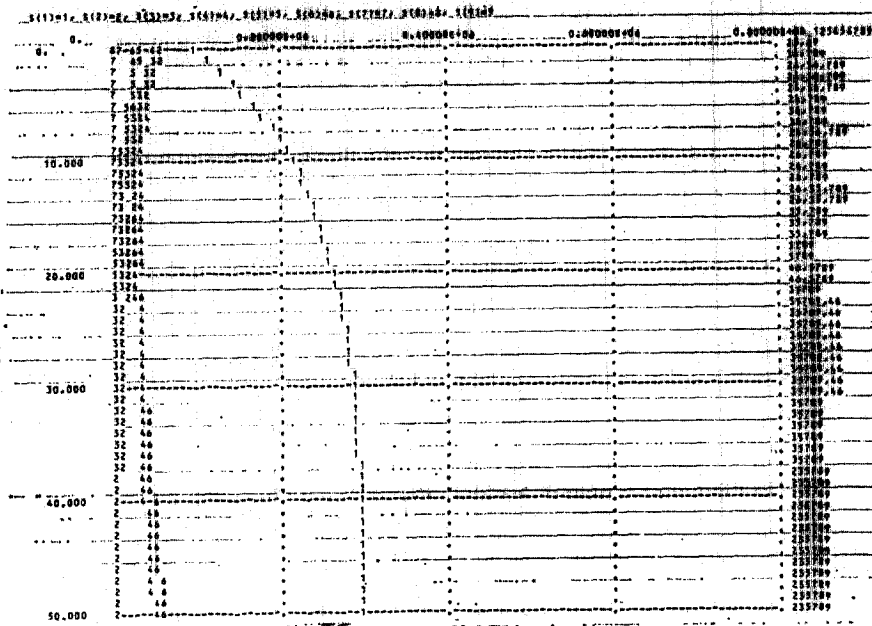


그림 4-4. Zone 別 Service 履備成長豫測

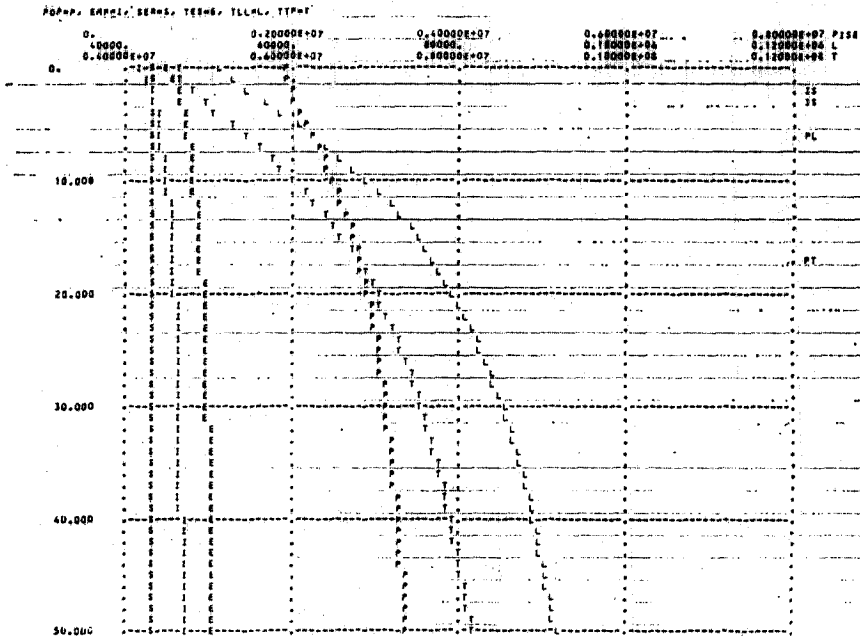


그림 4-5. Control Total 豫測(Base Run)

DYNAMO EXECUTION LIST (PLOT) RUN 101 BASE 1 PLOT NO. 17

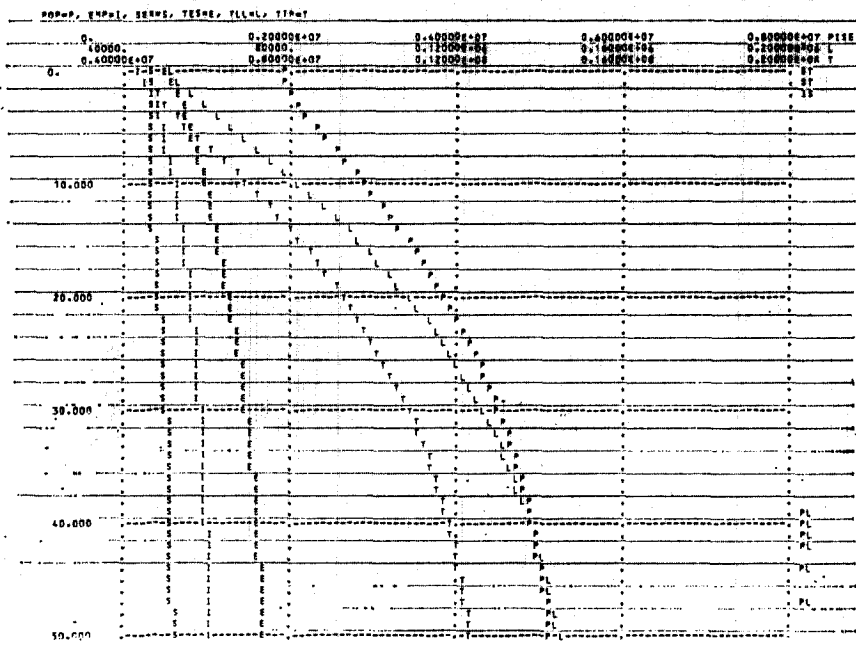


그림 4-6. Control Total 豫測(代案 B)

DYNAMO EXECUTION LIST (PLOT) RUN 101 BASE 1 PLOT NO. 17

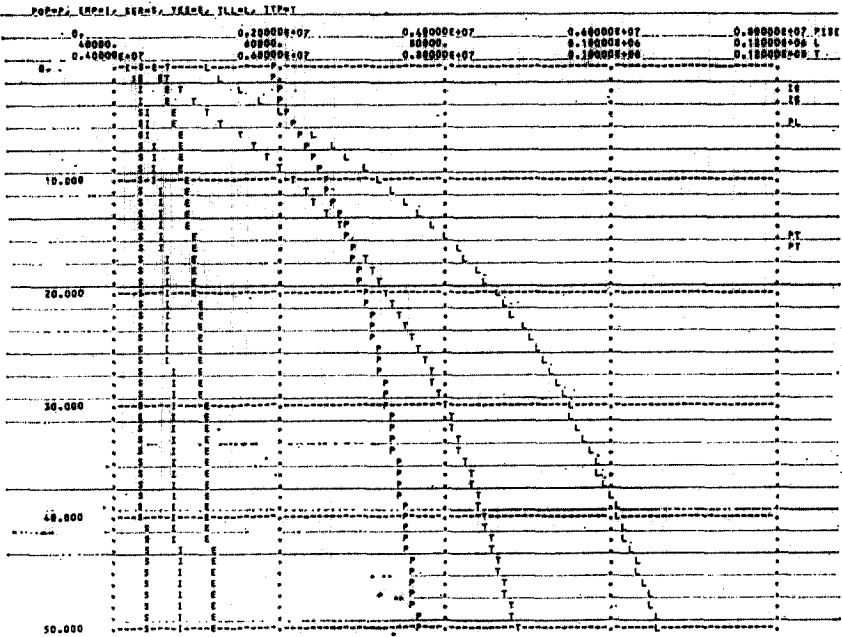


그림 4-7. Control Total 豫測(代案 B)

適用性を 檢討하기 위하여 Base Run의 初期條件을 變更한 아래와 같은 代案에 對하여 Computer Simulation하고 그 結果를 比較하였다.

① 對案 A : 東區, 北區, 壽城區의 Green Belt를 各各 20 km², 10 km², 5 km²를 開發하여 住居地, 商業地, 工業地를 供給할 경우.

② 對案 B : 大邱의 東西軸 軸, 西區—中區—壽城區을 通하는 地下鐵이 建設될 경우.

代案 A는 該當 Zone의 用途別 土地利用可能面積을 修正하고 代案 B는 地下鐵開設에 따른 Zone間의 旅行時間 軸, 交通 Impedance을 修正하였으며 Simulation 結果, 地域全體의 Control Total 豫測値는 그림 4-5~7과 같다.

그림 4-5은 Base Run, 그림 4-6은 代案 A, 그림 4-7은 代案 B의 경우이며, 人口(P), 總雇傭(E), 土地利用面積(L), 交通發生量(T)을 나타낸다. Base Run에 比하여 代案 A는 土地利用制約을 緩和시켰으므로 都市活動의 成長이 促進되어 約 30年 後에 Model은 均衡狀態에 들어가며 代案 B는 都市活動의 成長이 鈍化함을 보여주는데 이는 東西間의 地下鐵이 建設됨에 따라 東西軸方向의 交通 Impodance가 減少하므로 Dummy Zone(慶山·達城)에의 移住가 促進됨에 그 原因이 있다고 생각된다.

代案 B 軸, 地下鐵의 Impact 效果를 檢討하기 위하여 Base Run의 均衡時點인 20年 後의 人口 및 雇傭數와 代案 B의 人口 및 雇傭數를 比較한 것이 그림 4-8이다.

그림 4-8(a)는 東西間 地下鐵建設이 人口成長에 미치는 影響으로 地下鐵 路線方向 軸, 東西方向의 Zone은 人口가 增加하고 南北方向에는 減少하며 中區人口의 分散效果를 나타내고 있다. 그림 4-8(b)는 雇傭에 미치는 影響으로 人口의 경우와 같은 傾向을 보이나 中區의 雇傭이 增加하는데 이는 都心出入이 便利함에 그 原因이 있는 것으로 생각된다.

그리고 그림 4-9는 各 代案의 경우, 都市活動의 相互作用(Interaction) 軸, Zone間의 通勤者移動에 미치는 影響이다.

그림 4-9(a)는 代案 A 軸, 東區, 北區, 壽城區에 土地利用制約을 緩和시켰을 때의 Zone間의 通勤者移動을 比較한 것이다. 壽城區(06)와

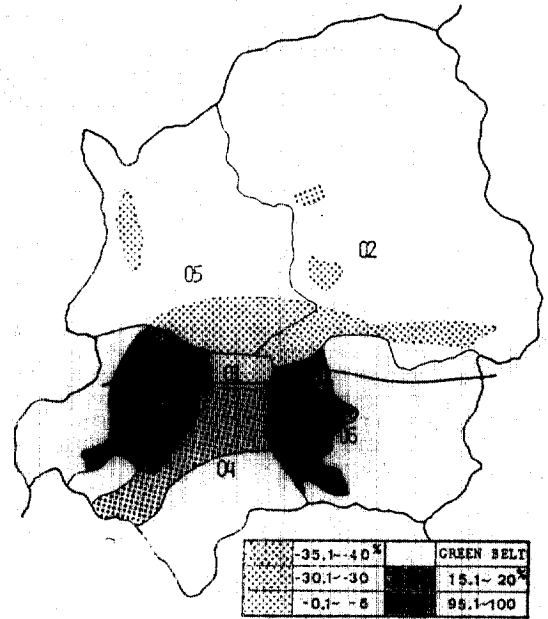


그림 4-8(a). 地下鐵의 Impact (人口)

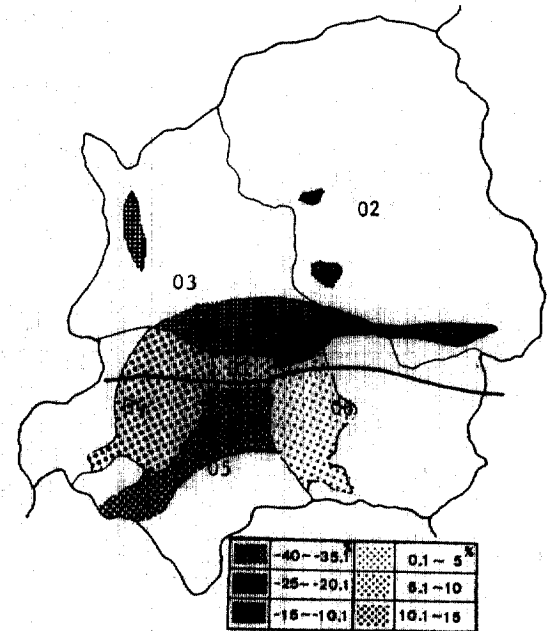


그림 4-8(b). 地下鐵의 Impact (雇傭)

東區(02)를 Base로 하는 通勤者移動은 大幅增加하고 그 外의 Zone間은 다소 減少하는 것으로 나타났다.

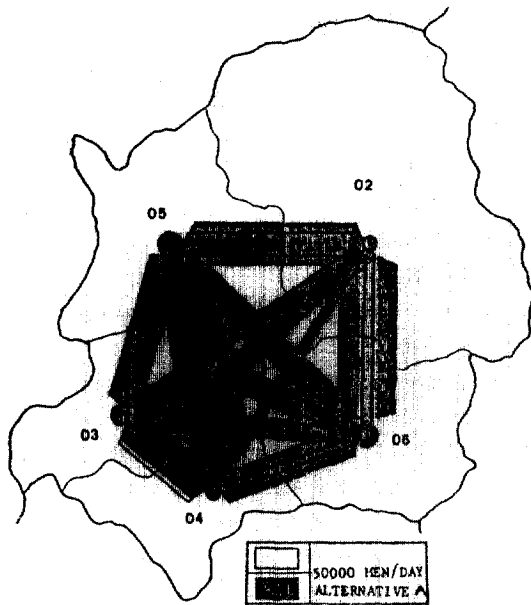


그림 4-9(a). Zone 間의 通勤者移動(代案 A)

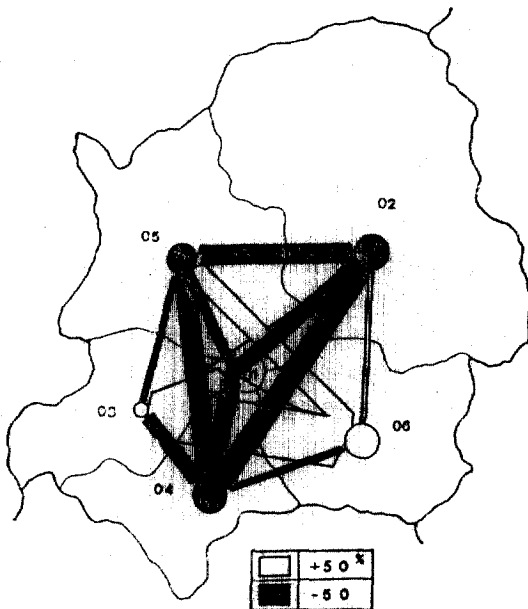


그림 4-9(b). Zone 間의 通勤者移動變化(代案 B)

그림 4-9(b)는 代案 B 즉, 地下鐵建設에 따른 Zone 間의 通勤者移動에 미치는 Impact를 나타내며 壽城區(06)를 Base로 하는 移動은 大幅

增加되고 그 外의 Zone 間에는 減少하는 傾向을 보인다.

위와 같이 土地利用—交通 System Dynamics Model의 適用性을 檢討한 結果, 各 初期條件에 따라 都市活動의 將來豫測이 可能하였으며 특히 都市活動의 Impact Analysis가 可能하므로 代案의 選擇은 물론 政策決定에 있어서 그 有効性은 本 Model의 가장 큰 特徵이라고 判斷된다.

5. 結 論

都市活動의 生成 Model을 SD化하여 土地利用—交通 System Dynamics Model을 構築하였다. SD Model은 人口 Sector, 雇傭 Sector, 서비스 Sector 그리고 土地利用과 交通 Sector로 構成되었고 各 Sector 間에는 因果關係 Loop에 의하여 經濟基礎假說의 都市成長概念이 導入되었다.

本 Model의 適用性을 檢討하기 위하여 大邱 都市圈을 對象으로 Model Simulation한 結果, 都市活動의 將來豫測과 Impact Analysis에 의한 代案이나 政策의 評價 및 選擇이 可能的 것으로 判斷되었다.

SD Model은 그 構造의 擴張이 容易하기 때문에 經濟, 環境 등의 必要한 要素를 添加하여 더욱 完全한 Model 開發에 관한 研究가 要望된다.

謝 辭

本研究는 1983年度 文敎部 國費海外派遣研究教授로 日本 大阪大學에 派遣되어 遂行된 것임을 밝히며 文敎部와 大阪大學에 感謝를 表하는 바이다.

付 記

Model에 使用된 變數의 定義는 아래와 같다.

(Level, Rate變數)

P_i ; i Zone의 人口(人)

PR_i ; i Zone의 人口增減(人)

E_j ; j Zone의 雇傭(人)

ER_j ; j Zone의 雇傭增減(人)

S_j ; j Zone의 Service雇傭(人)

SR_j ; j Zone의 Service雇傭增減(人)

(補助變數)

$PACC_{ij}$; 居住地에 對한 Accessibility

EACC_{ij}; 從業地에 對한 Accessibility
SACC_{ij}; 서비스地域에 對한 Accessibility
PP_{ij}; *j* Zone의 雇傭者가 *i* Zone에 居住하는 確率
EP_{ij}; *i* Zone의 人口가 *j* Zone에 雇傭될 確率
SP_{ij}; *i* Zone의 人口가 *j* Zone에서 서비스를 求할 確率

PT_{ij}; *i, j* Zone 間의 就業者移動(人)
ET_{ij}; *i, j* Zone 間의 從業者移動(人)
ST_{ij}; *i, j* Zone 間의 서비스雇傭者移動(人)
PD_i; *i* Zone의 居住希望者(人)
ED_j; *j* Zone의 雇傭希望者(人)
SD_j; *j* Zone의 서비스雇傭希望者(人)
PL_i; *i* Zone의 住居地面積(1000m²)
EL_j; *j* Zone의 産業用地面積(1000m²)
SL_j; *j* Zone의 서비스業用地面積(1000m²)
PUL_i; *i* Zone의 公共用地面積(1000m²)
PLR_i; *i* zone의 住宅地利用率
ELR_j; *j* Zone의 産業地利用率
SLR_j; *j* Zone의 서비스用地利用率
PM_i; *i* Zone의 住宅地 土地利用乘數
EM_j; *j* Zone의 産業地 土地利用乘數
SM_j; *j* Zone의 서비스用地 利用乘數
PTG_{ik}; *i* Zone의 *k*目的 交通發生量(trip)

parameter 와 const

PT_i; *i* Zone의 移住知覺 Delay時間(年)
ET_j; *j* Zone의 雇傭知覺 Delay時間(年)
ST_j; *j* Zone의 Service 雇傭知覺 Delay時間(年)
PDGR_i; *i* Zone의 年平均 人口增加率
D_{ij}; *i, j* Zone 間의 交通 Impedance(分)
LAMDA; 通勤交通 Impedance의 parameter
GAMA; 서비스交通 Impedance의 parameter
ALPHA; 扶養率
BETA; 서비스雇傭率
PPL_i; *i* Zone의 人口 1人當 所要 住宅地面積(m²)
EPL_j; *j* Zone의 雇傭者 1人當 所要 産業地面積(m²)
SPL_j; *j* Zone의 서비스雇傭 1人當 所要 서비스 用地面積(m²)
RURL_i; *i* Zone의 人口 1人當 所要 公共用地面積

(m²)

OTR_{ik}; *i* Zone의 *k*目的 交通發生 原單位(trip/人)
 (Sub Model)
TFP; 交通計劃 Model

參 考 文 獻

1. Michael Batty, "Urban Modelling", Cambridge Univ. Press, 1976.
2. "DYNAMO User's MANUAL", ALEXANDER L. PUGH III.
3. Jay W. Forrester, "Industrial Dynamics", MIT Press, 1961.
4. R. Andrew Sayer, "A Dynamics Lowry Model", URBAN SIMULATION, Netherland, 1974.
5. 齋藤達三外, "都市政策のための システム分析", 日本都市計劃, No. 81, 1974.
6. 高棟琢馬外, "水の需給構造に關するシステムダイナミックス論的研究", 日本土木學會論文集, 第27卷 第6號, 1979.
7. Jay W. Forrester, "Urban Dynamics", M.I.T. Press, 1969.
8. Jay W. Forrester, "World Dynamics", Wright-Allen Press, 1977.
9. 深瀬英彌編, "システムダイナミックス", 共立出版, 1973.
10. Jay W. Forrester, "Principles of System", Wright-Allen Press, 1972.
11. 小王陽一, "BASICによるシステム・ダイナミックス", 共立出版, 1982.
12. Michael R. Goodman, "System Dynamics Note", Wright-Allen Press, 1974.
13. 金大雄, "土地利用活動을 考慮한 都市交通發生特性", 大韓土木學會誌, 第27卷 第6號, 1979.
14. 金大雄, "經濟基礎假說에 依據한 都市活動의 生成豫測", 大韓土木學會誌, 第28卷 第1號, 1980.
15. 大邱直制市都市計劃局, "都市計劃資料", 1983.
16. 日本京都市都市計劃局, "京都市交通計劃", 1977.

(接受: 1984. 8. 3)