

輸送體系의 効率化를 통한 에너지節約方案에 관한 研究

—貨物輸送을 對象으로—

李 石 泰*

A Study on the Energy Saving Plan by the Utilization of transport System

—Concerned to Cargo transportation—

Suk-Tae Lee

< 目 次 >

Abstract

記號說明

I. 序 論

II. 研究範圍

III. 輸送에너지 需要展望

IV. 모델

V. Simulation 및 檢討

VI. 結 論

參考文獻

Abstract

The transportation productivity is the throughput of utility per locations of resources and is able to be brought forth by using transportation mode.

Therefore, Oil energy is necessary for using the transportation mode that is mainly consisted of four parts trucks, railroad, ship and aircraft, and Oil quantity used for such modes is not respectively same. Noticing Such a Point, the purpose of this paper is to reaserch the transportation mode of convertable cargoes and to minimize energy consumption quantity by adopting such a mode.

We must attend to Energy-Intensity, Transportation, Distance and cargo quantity for selecting the transport mode to energy consumption and the minimization of transportation energy consumption is concluded in the next LP Problem.

Namely, Objective function : Minimize E_t

$$= \text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{ij}$$

$$= \text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot X_{ij}$$

$$(K_{ij} = e_{ij} \times D_{ij})$$

$$\text{constraints : } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} = X_t$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq U_t$$

$$X_{ij} \geq 0$$

* 正會員, 海洋研究所

As above mentioned, we can find the solution of X_{ij} by LP when X_{ij} is transportation cargo per routes, and fulfill the minimization of Energy Consumption.

記 號 說 明

- I : 輸送手段의 集合($I = \{i | 1 \leq i \leq M\}$, i 는 整數)
- M : 輸送手段의 數
- J : 輸送區間의 集合($J = \{j | 1 \leq j \leq N\}$, j 는 整數)
- U : 輸送區間의 數
- U_s : 單位積數能力規模(ton)
- U_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 總積載能力(ton)
- U_i : i 輸送手段의 總積載能力(ton)
- U_j : j 輸送區間의 總積載能力(ton)
- U_t : 總積載能力(ton)
- E_t : 貨物輸送部門 에너지總消費量(kcal)
- E_i : i 輸送手段의 에너지總消費量(kcal)
- E_j : j 輸送區間의 에너지總消費量(kcal)
- E_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 에너지消費量(kcal)
- e_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 에너지原單位(kcal/ton, km)
- X_t : 總貨物輸送量(ton)
- X_i : i 輸送手段의 總輸送貨物量(ton)
- X_j : j 輸送區間의 總輸送貨物量(ton)
- X_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 輸送貨物量(ton)
- D_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 輸送距離(km)
- K_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 單位貨物量에 대한 에너지消費量(kcal/ton)
- F_{ij} : i 輸送手段의 j 輸送區間의 經濟燃料
- k : 源油換算熱量係數(kcal/kg(ℓ , m^3))
- P_s : 積載率
- F_s : 經濟燃料
- E_s : 에너지消費均衡積載率
- E_{sq} : 에너지節約可能量(kcal(ton, ℓ))
- E_d : 에너지消費均衡 2次公路輸送距離(km)

I. 序 論

經濟成長의 限界에 關한 問題로서 天然資源의 枯渴은 人類에게 危機意識을 實感하게 하여 對備策을 講究하도록 하였다. 特히 生産의 原動力인 에너지資源의 枯渴은 經濟成長의 大 制約條件이 되고 있으며 世界 第1, 2次 石油波動의 結果는 이를 잘 證明해 주고 있다. 이를 契機로 人類는 에너지資源에 보다 大 關心을 갖게 되었고 그 結果, 代替에너지源의 開發生産設備에 대한 에너지節約, 技術開發 및 에너지消費의 最小化 등에 關한 努力이 活潑히 進行되어 왔다.

本考는 輸送部門의 主된 에너지源을 輸入에 全量依存하는 石油類임을 擘案하여 關聯部分의 에너

지를 節減하여야 한다는 必要性을 認識하고 輸送體系의 効率化를 통한 에너지消費의 節減方案을 提示하는 點에 目的을 두고 있다. 一定한 輸送서비스 生産에 있어서 輸送手段別 에너지消費가 相異하므로 輸送手段의 變換可能貨物에 對하여는 輸送手段을 變換시킴으로서 石油類 에너지의 消費를 最小化시키는 方法을 提案하였다.

이를 위한 積載能力別 輸送手段의 選擇은 에너지原單位 및 同一輸送區間에 있어서도 相異한 輸送手段別 輸送距離 및 貨物輸送量에 따라 決定하여야 한다. 주어진 輸送區間에 있어서 에너지消費가 最小化되도록 하는 輸送手段의 積載能力規模와 必要한 單位數를 決定하는 Simulation을 行하고 그 結果를 檢討하고자 한다.

I. 研究 範圍

에너지資源은 化石에너지, 核에너지, 太陽에너지 및 기타 再生에너지로 分類하며 에너지消費部門으로는 産業, 輸送, 家庭, 商業, 公共·其他部門으로 分類한다.

本考에서는 輸送部門의 主된 에너지源인 石油類의 에너지消費最小化를 위한 模型을 提示하고자 하며 이를 다음과 같은 限定된 範圍에서 考察하고자 한다.

- 1) 輸送對象은 國內貨物에 限定한다.
- 2) 輸送區間은 公路, 鐵道 및 海運輸送手段의 輸送이 可能한 場所로 限定한다. 단, 本考는 輸送 에너지 消費를 最小化하는데 目的을 두었으므로 輸送의 特性인 高速性, 便利性, 無公害性, 快速性 및 安定性等에 관한 것은 論外로 하였으며 輸送手段 變換에 따른 貨物特性上의 制約, 輸送能力上의 制約 및 投資上의 制約 등은 研究範圍에서 除外하였다.

III. 輸送에너지 需要展望

에너지는 生産活動의 投入要素로서, 國民生活의 便宜度增進의 手段으로서 國家의 經濟活動의 水準, 即 國民總生産과 密接한 關聯을 갖는다.

이러한 것을 考慮하여 韓國動力資源研究所가 作成한 研究報告書의 에너지源別, 部門別 長期展望을 보면, 다음(表 1)과 같으며 이 資料를 根幹으로 輸送部門의 石油類 에너지源의 需要展望을 보기로 한다.

表 1)의 數值들은 韓國開發研究院(KDI)의 「2,000年代를 向한 國家長期發展構想」 및 經濟企劃院의 暫定展望을 參考한 「經濟總量指標」를 使用한 것이다. 이 經濟總量指標의 國民總生産(GNP) 成長率은 1980年代에는 年平均 7.2%, '90年代에는 年平均 6.3%로 展望하고 있으며 이에 따른 1983年 및 2001年의 1次 石油類 에너지源의 部門別 構成比는 다음 그림 1)과 같다.

表 1)과 그림 1)의 結果를 보면 2001年의 에너지 需要는 92,544 千 TOE로서 1983年 41,629 千 TOE의 222.3%가 될 것이며 그중 石油類 에너지需要는 47,021 千 TOE로 1983年 27,925 千 TOE의 68.4%로 增加할 展望이다. 이것은 脫石油産業의 影響과 石油代替에너지의 開發等으로 總에너지 供

표 1) 에너지源別, 部門別 長期展望(Reference Case)

—1983年—

(單位: 千 TOE)

	石油	LPG	石油 (LPG)	LNG	가스計	無煙炭	有煙炭	水力	原子力	其他	1次 에너지	電力	最終 에너지	構成比 (%)
産業部門	8624.	131.	8755.	0.	131.	243.	5998.	0.	0.	0.	14996.	2435.	17431.	(41.9)
輸送部門	5844.	557.	6401.	0.	557.	0.	0.	0.	0.	0.	6401.	44.	6445.	(15.5)
家庭/商業	2291.	334.	2625.	0.	334.	9025.	0.	0.	0.	2378.	14028.	910.	14938.	(35.9)
公共·其他	2476.	10.	2486.	0.	10.	53.	0.	0.	0.	0.	2539.	276.	2815.	(5.8)
發電	7658.	0.	7658.	0.	0.	796.	360.	680.	2242.	0.	11736.	—	—	—
總計	26893.	1032.	27915.	0.	1032.	10117.	6358.	680.	2242.	2378.	49700.	3665.	41629.	(100.0)
構成比 (%)	(54.1)	(2.1)	(56.2)	(0.0)	(2.1)	(20.4)	(12.8)	(1.4)	(4.5)	(4.8)	(100.0)	—	—	—

—2001年—

(單位: 千 TOE)

	石油	LPG	石油 (LPG)	LNG	가스計	無煙炭	有煙炭	水力	原子力	其他	1次 에너지	電力	最終 에너지	構成比 (%)
産業部門	12174.	1656.	13830.	532.	2188.	187.	16671.	0.	0.	0.	31220.	8482.	39702.	(12.9)
輸送部門	18871.	1189.	20060.	0.	1189.	0.	0.	0.	0.	0.	20060.	189.	20249.	(21.9)
家庭/商業	6617.	1360.	7977.	2804.	4164.	7976.	0.	0.	0.	3147.	21904.	6595.	28499.	(30.8)
公共·其他	2424.	0.	2424.	0.	0.	43.	0.	0.	0.	787.	3254.	840.	4094.	(4.4)
發電	2729.	0.	2729.	3165.	3165.	694.	20280.	1157.	24608.	0.	52633.	—	—	—
總計	42815.	1205.	47021.	6501.	10706.	8900.	36951.	1157.	24608.	3934.	129072.	16106.	92544.	(100.0)
構成비 (%)	(33.2)	(3.3)	(36.4)	(5.0)	(8.3)	(6.9)	(28.6)	(.9)	(19.1)	(3.0)	(100.0)	—	—	—

資料: 韓國動力資源研究所, 中·長期에너지 需給構造研究(1984年度), p. 25~27.

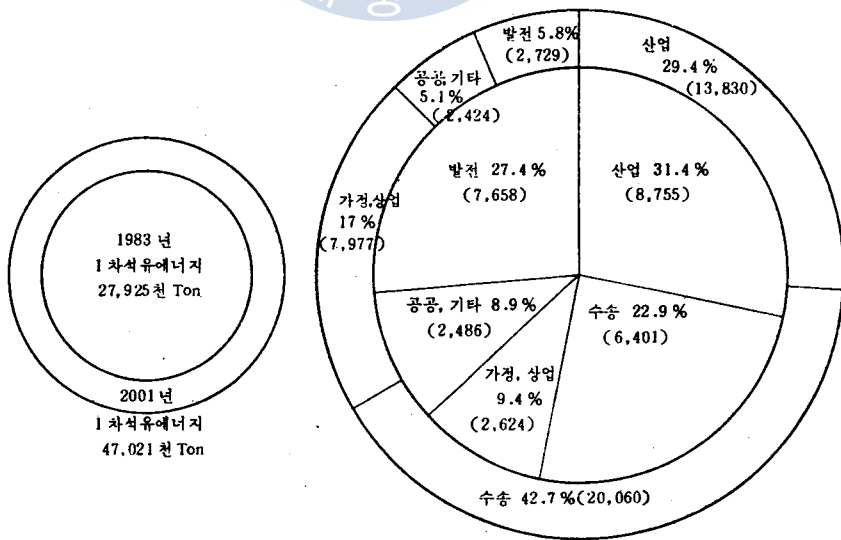


그림 1) 1983년 및 2001년의 부문별 석유 1차 에너지 수요의 구성비 비교

給에서 石油類 에너지源의 構成比가 他에너지源보다 相對的으로 減小할 展望을 豫測한 것이다.

輸送部門의 石油類 에너지源을 比較하면 2001년에는 20,060千 TOE로서 1983년 66401千 TOE의 313.4%나 되며 이것은 産業部門의 增加率에 比해 2倍에 가까운 것으로 展望되었다.

2001년의 石油類 에너지總需要 47,021千 TOE 중에서 輸送部門이 42.7%인 20,060千 TOE로 가장 많으며 이것은 輸送部門의 에너지需要가 大部分 石油에너지에 의존하는 것에 比해 他部門의 에너지需要는 石油外의 에너지源으로의 代替가 可能함을 意味한다.

Ⅳ. 모 델

輸送의 生産性(productivity)은 場所的 効用(place utility)의 創出이며 이는 財貨의 場所的 移動으로 이루어진다. 이러한 移動에는 輸送手段을 利用해야 하며 그 輸送手段의 特性에 따라 輸送方法과 經路가 다르다. 또한 財貨의 一定한 輸送生産에 있어서의 에너지消費는 輸送手段別로 相異하다. 왜냐하면, 單位輸送手段 및 輸送區間別로 에너지原單位와 輸送經路에 다른 積貨屯當 에너지消費量이 相異하기 때문이다. 이에 影響을 주는 要素들로는 輸送距離, 使用에너지源, 積載能力, 積載率 및 燃料經濟가 있으며 이들 要素에 따라 決定되는 輸送量, 에너지原單位 및 에너지消費量은 다음 그림 2)와 같은 關係가 있다.

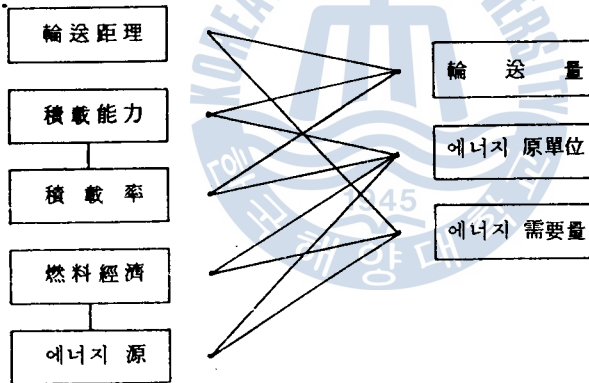


그림 2) 單位輸送手段에 있어서 輸送要素間의 關係

위 그림 2)의 輸送要素중 單位輸送手段의 輸送量, 에너지原單位 및 에너지消費量을 輸送距離, 積載能力, 積載率, 燃料經濟 및 使用에너지源의 關係로 表示하고자 한다.

1) 輸送生産量: 輸送手段別 輸送生産量은 그 輸送서비스이며 이의 基準에는 輸送貨物量 ton과 輸送한 距離 km와의 積 ton·km가 있다. 에너지消費와 密接한 關係가 있는 ton·km基準으로 輸送生産量을 나타내기로 하며 輸送要素와의 關係는 (1)式과 같다.

$$\text{輸送生産量}(\text{ton}\cdot\text{km}) = \text{輸送距離}(\text{km}) \times \text{積載能力}(\text{ton}) \times \text{積載率} \dots\dots\dots(1)$$

(1)式에서 輸送生産量은 選擇possible한 積載能力和 積載率에 따라 變化된다.

2) 에너지原單位: 에너지原單位는 單位輸送生産量당 投入된 에너지消費量으로 定義되며 에너지原單位는 kcal/ton·km基準으로 나타내며 輸送要素와의 關係는 (2)式과 같다.

에너지原單位(kcal/ton·km)

$$= \text{換算係數(kcal/ℓ)} \times \frac{1}{\text{積載能力(ton)} \times \text{積載率} \times \text{燃料經濟(km/ℓ)}} \dots\dots\dots(2)$$

(2)式에서 에너지原單位的 减小化는 ① 積載能力的 大型化, ② 積載率의 上昇, ③ 燃料經濟의 改善을 圖謀함으로써 이루어질 수 있다.

3) 에너지需要量 : 에너지需要量은 體積熱量 換算係數를 使用하면 源油換算體積 ℓ(liter)單位이나 熱量換算 kcal 基準중 어느 것으로도 表示할 수 있으며, 輸送要素와의 關係는 다음 (3)式과 같다.

$$\text{에너지需要量(kcal)} = \text{輸送生産量(ton·km)} \times \text{에너지原單位(kcal/ton·km)} \dots\dots(3)$$

(3)式에서 에너지需要量은 輸送生産量과 에너지原單位로 決定된다.

(1), (2)式 및 (3)式에 關係된 輸送距離(km), 積載能力(ton), 積載率, 燃料經濟(km/ℓ) 및 使用 에너지源은 輸送手段別로 差異가 있으므로 이에 대한 輸送生産量 및 에너지原單位가 輸送手段別로 差異가 있다.

輸送手段 *i* 로 어느 輸送區間 *j* 까지 輸送하는데 積載屯當 에너지消費量 K_{ij} 및 輸送貨物量을 X_{ij} 라 하면 이 境遇 에너지消費量 E_{ij} 는 다음 式 (4)와 같다.

$$E_{ij} = K_{ij} \cdot X_{ij} \dots\dots\dots(4)$$

단) $i = 1, 2, \dots, m$
 $j = 1, 2, \dots, n$

(4)式에서 輸送輸段 *i* 에 대하여 모든 輸送區間의 에너지需要量을 合하면 이것은 輸送手段 *i* 의 總 에너지需要量 E_i 가 된다. 그리고, 輸送區間 *j* 에 대하여 모든 輸送手段의 에너지需要量을 合하면 이것은 輸送區間 *j* 의 總에너지需要量 E_j 가 된다.

$$\begin{aligned} E_i &= \sum_{j=1}^n E_{ij} \\ &= \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot X_{ij} \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

단) $i = 1, 2, \dots, m$

$$\begin{aligned} E_j &= \sum_{i=1}^m E_{ij} \\ &= \sum_{i=1}^m K_{ij} \cdot X_{ij} \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

단) $j = 1, 2, \dots, n$

全體 輸送體系의 總에너지需要量 E_t 는 輸送手段 *i* 와 輸送區間 *j* 에 대하여 合하면 된다.

$$\begin{aligned} E_t &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{ij} \\ &= \sum_{i=1}^m E_i \\ &= \sum_{j=1}^n E_j \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot X_{ij} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

단) $i=1, 2, \dots, m$

$j=1, 2, \dots, n$

式 (4)~(7)의 K_{ij} 는 常數로서 輸送手段別 輸送距離 D_{ij} 와 輸送手段 및 輸送區間에 依해 決定되는 에너지原單位 e_{ij} 에 依해 決定된다. 단, 여기에서 各輸送手段의 積載能力 및 積載率과 이에 따른 使用에너지源과 燃料經濟에 依한 에너지原單位 e_{ij} 는 決定되어진다. 그러나 이들 要素의 變化에 따라 에너지原單位가 變化함으로 便宜上 積載率을 0.5 이상은 1로 하여 그때의 燃料經濟를 同一하게 보며 積載率 0.5미만은 輸送하지 않는 것으로 看做한다.

結局 輸送體系的 効率化를 통한 에너지消費量의 節減은 輸送總에너지消費量 E_t 를 最小化하는 것이 目的函數가 되고 制約條件은 주어진 輸送區間別 貨物量 X_t 와 總積載能力 U_t 인 線型計劃法問題이다.

$$\begin{aligned} \mu_{in} E_t &= \mu_{in} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot X_{ij} \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} &= X_t \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} &\leq U_t \\ X_{ij} &\geq 0 \dots\dots\dots(8) \\ \text{단) } i &= 1, 2, \dots, m \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ K_{ij} &= e_{ij} \times D_{ij} = \text{constant} \end{aligned}$$

(8)式에서 目的函數를 最小을 한다는 것은 i 輸送手段 j 輸送區間에 總積載能力 U_t 範圍內에서 貨物量 X_t 를 配置하는 것으로서 주어진 貨物積載屯當 에너지消費量 K_{ij} 에 대해 에너지消費가 最小가 되도록 輸送貨物量 X_{ij} 를 配定하는 問題이다.

同一輸送區間에 있어서 輸送手段別 에너지消費量 E_i 는 積載貨物屯當에 대한 에너지消費量 K_{ij} 로 比較되며 最小 K_{ij} 輸送手段의 總積載能力 U_t 의 範圍內에서 이 輸送手段의 利用이 이루어질 수 있다. 全輸送區間에서 輸送서비스 生産의 効用이 同一하다면 全區間的 最小 K_{ij} 를 찾아 貨物을 配置하는 것으로 輸送問題의 西北隅規則(North West Corner Rule)과 同一하다. 即, 輸送總에너지消費量 E_t 를 最小로 하는 輸送貨物量 X_{ij} 를 貨物積載屯當 에너지消費量 K_{ij} 에 따라서 配定하되 j 區間 輸送貨物量 X_j 와 i 輸送手段의 總積載能力 U_i 의 範圍內에서 에너지消費 E_{ij} 의 減少가 일어나지 않을 때까지 이루어져야 한다. 이때의 貨物配定量 X_{ij} 가 最適解가 되어 總에너지消費量 E_t 를 最小로 한다. 그러나 實際에 있어서는 輸送區間別 輸送生産의 效率이 同一하지 않으므로 優先順位가 定해진다.

또한 本모델에서는 靜的인 狀態를 假定한 것으로서 總輸送手段 積載能力 U_t 를 一定하게 看做하였으나 動的인 狀態에서는 U_t 가 變化된다. 그리고 汽車와 같은 輸送手段의 境遇에는 單位積載能力規程 U_s 도 可變的이다.

輸送에 있어서 에너지消費의 最小化를 위한 輸送手段別 貨物量을 配定하는 過程과 輸送手段別 에너지消費量 比較를 흐름圖로 나타내던 그림 3)과 같다. 다만 이때의 에너지消費에 輸送手段別 特性을 無示하였으며 換橋등 荷役に 대한 直接受入 에너지와 輸送手段製造에 使用된 에너지 및 輸送路 施設을 建設할 때 消費되는 間接에너지 消費等은 考慮하지 않았다.

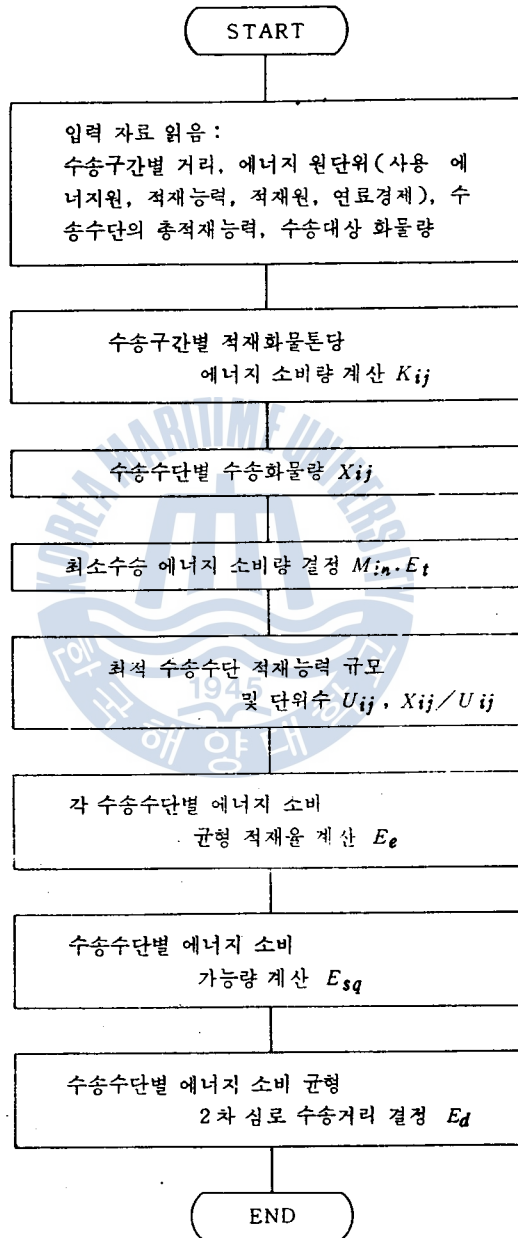


그림 3) 輸送의 最小에너지 消費過程

V. Simulation 및 檢討

輸送手段別 輸送可能한 仁川, 釜山 및 東海의 輸送區間을 다음과 같은 에너지原單位로 Simulation 하여 그 結果를 檢討해 보기로 한다.

① 入力資料

- 輸送區間 $J=3$ (個)
- 輸送手段 $i=3$ (個)
- 總貨物量 $X_i=74,361$ (ton)
- 總積載能力量 $U_i=191,700$ (ton)

(단위 : kcal/ton·km)

수송구간	단위적재 능력규모 ton	수송거리 km	트럭					기차			선박				수송화물량 (구간별 중 적재능력)
			1	2.5	4.5	8	12	400	750	1000	100	1000	3000	10000	
인천~부산	트럭	495	858	583	474	377	348	—	—	—	—	—	—	—	14432 (63900)
	기차	447	—	—	—	—	—	96	68	49	—	—	—	—	
	선박	752	—	—	—	—	—	—	—	—	462	95	78	57	
	단위적재 능력규모수		50	50	50	50	50	10	10	10	10	5	5	2	
부산~동해	트럭	341	916	641	521	414	382	—	—	—	—	—	—	27618 (63900)	
	기차	431	—	—	—	—	—	105	74	54	—	—	—		—
	선박	311	—	—	—	—	—	—	—	—	462	95	78		57
	단위적재 능력규모수		50	50	50	50	50	10	10	10	10	5	5		2
동해~인천	트럭	322	815	554	450	358	331	—	—	—	—	—	—	32311 (63900)	
	기차	376	—	—	—	—	—	92	65	47	—	—	—		—
	선박	1028	—	—	—	—	—	—	—	—	462	95	78		57
	단위적재 능력규모수		50	50	50	50	50	10	10	10	10	5	5		2
단위적재능력 규모수			150	150	150	150	150	30	30	30	30	15	15	6	74361
총적재능력량			150	375	675	1200	1800	12000	22500	30000	3000	15000	45000	60000	191700

단) 상기 에너지 원단의 c_{ij} 는 적재율 1로 한 것임.

② 輸送區間 積載貨物屯當 에너지消費量 K_{ij} 및 이 區間의 單位積載能力에 對한 에너지消費量 E_{ij} 를 計算한 結果

단위 : K_{ij} 10^3 kcal/ton
 U_{ij} 10^8 kcal

수송구간 : j	수송수단 : i	T1	T2.5	T4.5	T8	T12	K400	K750	K1000	S100	S1000	S3000	S10000	M_{ij} K_{ij}
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
인천~부산	1	4.2471	2.88585	2.3463	1.86615	1.7226	0.42912	0.30396	0.21903*	3.47424	0.7144	0.58656	0.42864	K1000 : 0.21903*
		0.0042471	0.00721462	0.01053702	0.01679535	0.0206712	0.171648	0.22797	0.21903	0.347424	0.7144	1.75968	4.2864	
부산~동해	2	3.12356	2.18581	1.77661	1.41174	1.30262	0.45255	0.31894	0.23274	1.43682	0.29545	0.24258	0.17727*	S10000 : 0.17727*
		0.00312356	0.00546452	0.007994745	0.01270566	0.01563144	0.18102	0.239205	0.23274	0.143682	0.29545	0.72744	1.7727	
동해~인천	3	2.6243	1.78388	1.449	1.15276	1.06582	0.34592	0.2444	0.17672*	1.74936	0.9766	0.80184	58596	K1000 : 0.17672*
		0.0026243	0.0044597	0.0065205	0.00922208	0.01278984	0.138368	0.1833	0.17672	0.474936	0.9766	2.40552	5.8596	

단) $K_{ij} = D_{ij} \times e_{ij}$
 $E_{ij} = K_{ij} \times U_{ij}$

③ 最小 에너지消費를 위한 輸送區間別 積載貨物屯當 에너지消費量 K_{ij} 에 따른 貨物配置量 X_{ij} 및 單位輸送手段의 利用數와 그때의 에너지消費量 E_{ij} 의 計算

단위 : No. of unit 10^8 kcal

수송구간 : j	수송수단 : i	T1	T2.5	T4.5	T8	T12	K400	K750	K1000	S100	S1000	S3000	S10000	수송화물량 (총에너지소비량)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
인천~부산	1	-	-	-	-	-	-	6	10	-	-	-	-	14432 (3.55812)
		-	-	-	-	-	-	1.36782	2.1903	-	-	-	-	
부산~동해	2	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	2	27618 (5.40732)
		-	-	-	-	-	-	-	1.86192	-	-	-	3.5454	
동해~인천	3	-	-	-	-	-	10	10	10*	-	1	-	1	32311 (11.82008) M_{ij} ⊕8.695
		-	-	-	-	-	1.38368	1.833	⊕21 1.7672 ⊕3.71112	-	0.9766	-	5.8596	

총에너지 소비량 : 정적시스템 (20.78552)

⊕동적 " 17.66044

단) 적재율 0.5 이상 되는 수송수단만을 이용하는 것으로 함.

上記와 같이 어느 輸送區間의 輸送貨物量 X_j 을 貨物發着地區間 j 에 輸送하는 同一한 輸送서비스 生産에 있어서 各輸送手段別 輸送距離 D_{ij} 와 에너지原單位 e_{ij} 가 相異하며 이에 따라 輸送區間 積載 貨物屯當 에너지消費量 K_{ij} 가 決定되며 輸送手段別 單位積載能力規模 U_{ij} 에 따라 單位積載能力 貨物 輸送當 에너지消費量 E_{ij} 가 定해지며 이들은 ②와 같다. ②에서 輸送區間別 最小 K_{ij} 인 輸送手段 i 의 單位積載能力規模 U_{ij} 에 輸送能力 U_{ij} 의 限界內에서 輸送貨物量 X_{ij} 를 配置한다. 이리 各輸送區間 j 의 輸送貨物量 X_j 가 輸送配置貨物量 X_{ij} 보다 많다면 次善의 K_{ij} 에 上記와 같은 方法으로 配置하되 積載率이 1 以下인 境遇의 貨物量은 次善의 K_{ij} 에 對한 U_{ij} 를 比較하여 에너지消費가 적은 輸送手段을 選擇하여 配置한다.

輸送手段別 에너지消費量의 大小比較의 根源은 輸送生産量 및 에너지原單位이므로 이에 對한 關係要素의 檢討와 上記 Simulation 의 境遇 輸送手段別 에너지消費의 差異에 對한 比較를 해보고자 한다.

1) 輸送生産量 및 에너지原單位에 關係된 輸送要素

輸送量 要素중 輸送貨物量은 輸送手段의 單位能力規模를 選擇하는 데는 積載率의 影響이 많다. 輸送貨物量이 輸送單位能力規模에 比하여 적다면 積載率이 낮아지고 이로 因하여 에너지原單位가 커진다. 즉 汽車나 船舶은 單位能力이 트럭에 比해 크기 때문에 積載率이 낮아질 수 있고 이 때문에 에너지原單位는 높아지나 集貨倉庫等を 設置하여 積載率을 높인다면 에너지原單位는 積載能力이 增加할수록 작아진다.

輸送距離는 同一한 貨物輸送發着地間에도 輸送手段別로 相異하여 이에 따라 에너지消費도 相異하다. 輸送距離가 短距離일 때는 特殊한 境遇를 除外하고는 公路部門의 트럭輸送外에는 意味가 없다. 鐵道는 驛區間까지의 移動이므로 驛에서 貨物發着地까지의 區間은 2次 公路輸送에 依하여야 하며 船舶도 港口間의 輸送이므로 港口에서 貨物發着地까지의 區間은 2次 公路輸送에 依하여야만 한다. 어느 주어진 貨物發着地間 輸送에서 公路輸送은 鐵道輸送驛에서 어느 程度까지의 2次 公路輸送距離와 그리고 海運輸送의 港口로부터 어느 程度까지의 2次 公路輸送距離와 에너지消費量에서 均衡이 되느냐를 決定하는 데에는 貨物發着地의 輸送距離가 한 要因이 된다. 貨物發着地間의 距離가 길수록 汽車나 船舶이 트럭보다 에너지節約에서 有利하며 에너지消費均衡 2次 公路輸送距離가 길어진다.

結局 貨物輸送量이 많다는 것은 大量의 貨物量을 長距離 貨物發着地間을 輸送하는 것을 뜻하며 이의 에너지消費量은 積載率이 1이 된다고 하면 公路輸送보다는 相對的으로 에너지原單位가 적은 鐵道나 海運의 輸送이 적어서 有利하다.

輸送手段別 單位輸送積載能力은 에너지原單位에 關한 變數이다. 積載能力은 輸送手段의 單位規模에 달하며 이 規模에 따라 엔진의 出力과 이에 따른 에너지消費量도 決定된다.

$$Q = G \times P \times T \times 10^{-6} \dots\dots\dots(9)$$

- 但, Q : 燃料消費量 (ton)
- G : 基準燃料消費率 ($gr/P_s \cdot hr$)
- P : 機關出力 (P_s)
- T : 機關運轉時間 (hr)

式(9)에서 船舶엔진의 境遇 基準燃料消費率 G 는 다음 表 2)와 같다.

表 2) Specific Fuel Consumption

Output (PS)	F.O Consumption (g/PS·hr)	Output (PS)	F.O Consumption (gr/PS·hr)	Output (PS)	F.O Consumption (gr/PS·hr)
10— 50	220—210	300— 500	180—170	2,000—4,000	170—165
50—100	210—190	500—1,000	190—180	4,000—6,000	165—160
100—300	190—180	1,000—2,000	180—170	6,000 and above	160—150



表 2)를 基準으로 一定時間에 使用한 燃料消費量은 엔진出力이 클수록 많아지나 單位時間·出力當, 使用燃料消費量은 적어진다.

一般的으로 單位輸送積載能力이 커질수록 引擎出力이 커진다고 할 수 있으므로 이에 對한 燃料消費量은 單位積載能力이 클수록 많아지나 積載單位屯當 에너지消費量은 적어진다. 單位輸送積載能力이 클수록 에너지原單位를 減小시키지만 運營에 制限이 있으며 汽車나 船舶에 있어서는 貨物의 集貨 등이 問題가 되므로 國內貨物輸送에 있어서 輸送單位積載能力의 最適規模(Handy Size)를 決定하는 것은 또다른 하나의 問題이다.

表 3) 燃料 및 에너지 石油換算基準

區 分	換 算 基 準		石 油 換 算		
	單 位	發 熱 量	單 位	換 算 係 數	
石油類	原 油	Kcal / kg	10,000	kg / kg	1.00
	揮 發 油	Kcal / ℓ	8,300	kg / ℓ	0.83
	납 사	"	8,000	"	0.80
	燈 油	"	8,700	"	0.87
	輕 油	"	9,200	"	0.92
	병 커 A 油	"	9,400	"	0.94
	병 커 B 油	"	9,700	"	0.97
	병 커 C 油	"	9,900	"	0.99
	제 트 A-1	"	8,700	"	0.87
	J P - 4	"	8,500	"	0.85
가스類	프로판 가스	Kcal / kg	12,000	kg / kg	1.20
	부 탄 가스	"	11,800	"	1.18
	도 시 가 스	Kcal / m ³	7,000	kg / m ³	0.70
	液化天然가스	"	9,500	"	0.95
石炭類	無 煙 炭	Kcal / kg	4,600	kg / kg	0.46
	有 煙 炭	"	6,600	"	0.66
	코 크 스	"	6,500	"	0.65
其 他	電 氣	Kcal / KWH	2,500	kg / KWH	0.25
	薪 炭	kcal / kg	4,500	kg / kg	0.45

註 : 1) 石油換算基準은 原油인. 石油 1 kg=10,000 Kcal 로 換算.

2) 本 基準은 에너지利用 合理化法 第8條 및 第10條의 規定에 의한 에너지 使用計劃의 申告 및 에너지管理 對象者 指定을 위한 基準임.

積載率이란 輸送積載能力에 대한 積載貨物量의 比率을 말하며 積載率의 提高는 輸送서비스의 生

産力을 向上시키게 된다. 積載率이 높으면 에너지消費量은 많아지나 積載屯當 에너지消費量은 적어진다. 積載率은 積載能力規模가 적은 公路部門의 트럭이 他輸送手段보다 有利하다. 上記 Simulation에서는 積載率을 1로 한 에너지原單位이다.

燃料經濟란 에너지源의 單位體積當 얼마의 距離를 갈 수 있는 것으로서 輸送機關의 技術的 및 運營的인 에너지節約努力은 이 燃料經濟의 改善을 爲한 것이다. 에너지消費節約을 爲한 엔진效率의 向上 및 輸送의 合理化等은 이러한 努力의 一換이다. 그리고 燃料經濟는 輸送時의 여러가지 條件 卽, 使用에너지源, 積載能力, 積載率, 速力, 輸送路의 事情 및 輸送特性等에 따라 變한다. 이 燃料經濟는 에너지原單位的 關係變數이고 에너지原單位는 에너지消費量의 關係變數가 된다.

에너지原單位는 使用에너지源에 따라 單位體積當 發燃量이 다르므로 使用燃料에 따라 表 3)과 같은 換算係數를 使用하여 에너지消費量을 同一한 熱量單位로 表示할 수 있다.

2) Simulation의 境遇 輸送手段別 比較

上記 Simulation에서는 세가지 輸送區間의 貨物發着地와 各區間에 있어서 輸送手段別 距離 및 使用燃料, 單位積載能力, 積載率 및 이의 燃料經濟를 아는 것으로 하여 에너지原單位를 주어진 數置로 하였다. 이것을 土臺로 하여 모든 輸送區間에 있어서 에너지消費量이 最小化가 되게 貨物量 X_{ij} 를 配置하였다.

이렇게 配置된 輸送手段別 貨物量 X_{ij} 와 이에 따른 各輸送手段別 에너지消費量에 對해 消費均衡 積載率(E_e), 에너지節約 可能量(E_{sq}) 및 消費均衡 2次 公路輸送距離(E_{2j})를 比較해 본다.

同一한 輸送手段에서는 最大 積載能力規模가 同一한 積載率에서는 積載屯當 에너지原單位가 3)이므로 이들에 對한 輸送手段別 同一貨物量을 輸送하는데 드는 에너지消費量이 均衡되는 積載率을 求하면 表 4)과 같으며 이 數値는 各輸送手段 積載能力의 公培數의 貨物이면 一致하나 그렇지 않은 경우 多少의 誤差가 있다.

表 4) 수송수단별 에너지 소비 균형 적재율 비교

구간	수단 트럭 (12 ton)	기차 (1,000 ton)	선박 (10,000 ton)
인천~부산	1	0.127	0.249
부산~동해	1	0.179	0.136
동해~인천	1	0.166	0.550

同一輸送手段에 있어서는 運營possible한 範圍內에서 單位積載能力이 클수록 에너지原單位가 적어지므로 輸送手段別 에너지消費量 比較에 있어서는 各輸送手段중 積載能力이 最大인 것만을 考慮한다.

表 5) ton 당 수송수단별 에너지 절약량
단위 : 10³ kcal

구간	수단 트럭 (12.0 ton)	기차 (1,000 ton)	선박 (10,000 ton)
인천~부산	0	1.50357*	1.29396
부산~동해	0	1.06988	1.12535*
동해~인천	0	0.88910*	0.47986

各輸送區間別 貨物積載屯當 에너지消費量을 比較하여 節約可能量을 보면 다음 表 4)과 같다. 이 境遇 輸送手段 모두 積載率을 1로 하여 比較하기 爲하여 貨物量은 各輸送手段의 積載能力의 公培數가 된다고 假定하여 單位輸送手段의 數는 制限이 없이 利用possible한 것으로 假定하였다.

表 5)와 같이 各輸送區間에 있어서 積載屯當 에너지消費는 公路部門의 트럭에 比하여 汽車나 船

舶의 에너지消費가 적어節約된다. 이節約分에對하여 公路部門의 트럭(12 ton 規模)의 燃料經濟로 나누어 汽車나 船舶의 貨物發着地間의 2次 公路輸送距離와 公路輸送의 輸送距離의 短縮을 勘案하여 1/4倍로 하던 表 5)와 같은 輸送貨物 ton 當 에너지消費均衡 2次 公路輸送距離가 된다.

結局 同一輸送手段에 있어서는 積載率이 一定하다면 積載能力의 規模가 클수록 積載屯當 에너지原單位가 적어지며, 同一輸送區間에 있어서는 輸送手段別 輸送路의 距離가 적을수록 積載屯當 에너지消費가 적다. 上記 Simulation의 境遇 各輸送區間別 에너지消費가 最少되는 輸送手段은 表 5)에서 *표가 되어 있는 列欄의 輸送手段이다. 輸送積載能力의 數에 制約이 없다면 同輸送手段을 利用하면 에너지消費가 最少가 된다.

表 6) ton 당 에너지 소비균형 2차 공로 수송거리 단위 : km

구간	수단			
	기	차	선	박
인천~부산		10.21		8.79
부산~동해		7.27		7.65
동해~인천		6.04		3.26

단) 트럭 12.0 ton의 경제연료를 2.5 km/ℓ로 하고 사용에너지원을 경우 9,200 kcal/ℓ로 함.

VI. 結 論

輸送部門 에너지源의 大部分이 全量 輸入依存하는 石油類에 屬하고 있으므로 關聯部分의 에너지節約努力은 에너지 自體의 效率的인 利用뿐만 아니라 國際收支를 改善시킨다는 點에 있어서도 그 意義가 크다.

輸送部門의 에너지消費는 1983年度 總消費에너지 41,629千 TOE의 15.5%이었던 것이 2001年境에 는 總需要에너지 92,544千 TOE의 21.9%로써 漸次 그 需要가 增加趨勢에 있다.

이러한 輸送部門의 에너지를 效率的으로 使用하기 爲하여 同一한 輸送生産에 對하여 輸送手段別 에너지消費量을 比較하여 에너지節約上 比較優位에 있는 輸送手段을 選擇하여 輸送貨物量을 配置하였다. 이때의 輸送手段別 選擇은 輸送手段의 使用燃料源, 單位積載能力, 積載率 및 燃料經濟에 關係된 에너지原單位와 輸送手段別 輸送距離에 依한 貨物積載屯當 에너지消費量 K_{ij} 에 따라 決定된다. 이러한 輸送手段의 選擇에는 輸送手段間의 特性이 同一한 것으로, 輸送對象貨物을 輸送手段別 變換이 可能한 品目으로, 輸送貨物發着地間을 모든 輸送手段이 輸送可能한 場所로 假定하였다.

本考의 Simulation의 境遇 仁川~釜山間 및 東海~仁川間에는 汽車가, 釜山~東海間은 船舶이 他 輸送手段보다 比較優位에 있다. 그렇지만 輸送의 特性等 上記 假定을 無視한 現實的인 各各의 境遇에 는 어느 輸送手段이 輸送에 있어서 比較優位에 있는가는 變化될 수 있다. 또한 에너지消費節約上 比較優位에 있는 輸送手段으로 變換하는 데에도 貨物特性上의 制約, 輸送能力上의 制約 및 投資上의 制約等이 있다.

하여 輸送手段別 總에너지消費의 比較에는 便宜上 除外된 換積 및 積陽貨에 使用되는 追加的인 直接에너지와 輸送機關의 制作 및 輸送路의 建設等 間接에너지의 消費를 考慮하여야 한다. 그리고 等의 輸送시스템下에서의 輸送貨物의 起終點과 各輸送手段別 輸送單位積載能力 및 單位, 保有數를 記

握한 後 이것을 動的 시스템내에서 最適으로 運用토록 해야 한다. 그러면 實用的인 研究가 될 것이
며 이러한 研究가 계속되어져야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 動力資源部：1985, 에너지센서스結果報告書, 1984, 第2卷, 輸送部門, 서울.
- 朴明燮：1984, 海運生産性에 관한 諸問題, 韓國海運學會誌, 第1號, pp.130~154.
- 韓國動力資源研究所：1984, 輸送部門에 너지節約政策研究, 1984, 서울.
- 海洋工學研究室·海洋政策研究室：1984, 海洋에너지資源, 海洋政策動向, 第4號, pp.1~6.
- 藤井彌平·卷島勉·原深：1981, 海上交通工學, 海文堂, 東京, 日本.
- 運輸經濟研究センター：1979, 運輸部における省エネルギーの技術的方策よその評價に關する調査研究報告書,
東京, 日本.
- 日本エネルギー經濟研究所：1981, 交通部門の省エネルギーに關する研究, 東京, 日本.
- Penner. S. S. and Iceman. L. : 1981, Energy Consumption by Sector. Energy. Volume I. and Ed. Addison-
wesley Publishing Co., Inc. Massachusetts. U. S. A.
- Said M. Easa. : 1985, Shortest route algorithm with movement prohibitions. Transpn. Res. -B Vol. 1913,
No. 3, pp.197~208.



