

貨主의 相異한 物流特性을 고려한
鐵道네트워크상의 貨物輸送管理

Managing Heterogeneous Traffic on Rail Freight Networks
Incorporating the Logistics Needs of Market Segments

權 五 景

交通開發研究院 責任研究員
工學博士

I. 序論

1. 研究背景

o 서비스 改善의 중요성

- 輸送部門의 規制緩化이후 서비스改善의 중요성이 더욱 커짐
- 貨主에 대한 設問調査 結果
- 輸送手段 및 運送業體 選定에 있어서 서비스信賴度 (Service reliability)의 중요성이 상대적으로 커짐
 - 企業의 物流改善 노력
 - JIT (Just-In-Time) 생산체계
 - Supply Chain Management
- 鐵道輸送이 트럭輸送에 비해 매우 낮은 서비스信賴도를 보임
 - 低費用위주의 經營戰略
 - 輸送시스템의 構造와 관련된 문제
- 鐵道 運送業體들이 輸送시스템 각 부분의 改善을 통한 서비스 信賴度 改善 노력을 꾸준히 추진하고 있음

o 貨物の 相異性 (Heterogeneity)

- 한편 최근의 研究結果에 의하면 전체 貨物輸送市場이 서로 相異한 特性을 갖는 多數의 市場 (Market segments)으로 區分될 수 있다고 보고됨

- 輸送서비스 要素에 대한 相異한 選好度
- 輸送서비스 改善에 대한 相異한 追加費用支拂 意思
- 輸送서비스 提供者측에서는 각 市場별로 貨主의 物流特性 (Logistics needs) 을 적절히 고려한 輸送서비스를 開發, 提供 할 需要가 있음
- 輸送서비스를 差等化 시킬 수 있는 能力이 경쟁적인 輸送環境 하에서 手段間 및 手段內 競爭力을 提高시킬 수 있는 새로운 機會가 될 수 있음

2. 研究目的

- 鐵道 貨物輸送에 있어서 서비스差等化 戰略의 效果에 대한 經驗的이고 理論的인 이해의 증대
- 서비스差等化 戰略의 效果的인 運營段階의 適用方案 高찰

3. 主要 研究內容

- 1) 美國 鐵道産業에 있어서 서비스差等化 實例의 經驗的 分析
- 2) 鐵道運營에 있어서 서비스差等化의 供給側面의 效果 分析
- 3) 서비스差等化 能力提高를 위한 運營計劃 意思決定 模型 開發

II. 서비스差等化 實例의 經驗的 分析

1. 概要

- 주요 鐵道 貨物輸送서비스
 - 一般貨物 (General merchandise) 輸送서비스
 - 벌크直送貨物 (Bulk unit) 輸送서비스
 - 複合貨物 (Intermodal) 輸送서비스
- 자료 수집
 - 美國 鐵道協會 (AAR) 의 車輛週期 데이터베이스 (CCAS) 利用
 - 표본추출된 車輛들의 일년간 車輛週期 데이터 수집

	전체표본수	선정 O-D	추출표본수
一般貨物車輛	252, 619	477	29, 120 (11. 5%)
穀物運般用車輛	351, 024	102	11, 115 (3. 2%)
컨테이너 二重積載車輛	23, 026	20	10, 486 (45. 5%)

- 鐵道 貨物車種別 O-D 積載輸送時間 (Loaded trip time) 및 輸送時間 信賴度 分析
- 輸送時間 및 輸送時間 信賴度 分析方法
 - 平均 輸送時間
 - 輸送時間 標準偏差
 - N일 最大到着比率 (Maximum N-day-percent)

- 주요 鐵道서비스의 輸送時間 및 信賴度 分析結果

	一般貨物	벌크直送	複合貨物
平均 距離	1,260 km	1,330	n/a
平均 輸送時間	7.16 일	5.25	2.53
輸送時間 標準偏差	2.62 일	2.04	0.50
1일 最大到着比率	32.42%	41.90	89.2
2일 最大到着比率	48.56%	60.95	n/a

- 주요 鐵道서비스간에 명확한 서비스의 差異가 존재
- 같은 鐵道서비스를 提供받는 O-D들 사이에서도 서비스의 差異가 존재
- O-D 水準에서의 보다 高度화된 서비스 差等化 노력은 최근들어 이루어지기 시작되었기 때문에 이를 細部的으로 分析할 수 있는 資料의 未洽
- 다양한 서비스 差等化 戰略의 效果를 分析하기 위한 模型開發의 필요성

III. 鐵道運營에 있어서 서비스 差等化 戰略의 效果分析

1. 概要

- 시뮬레이션에 의한 서비스 差等化 戰略의 效果分析
- 두 터미널간에 直送貨物서비스가 提供될 경우
- 複數 터미널간에 一般貨物서비스가 提供될 경우

- 서비스 差等化 戰略의 예로서 貨物車輛의 優善順位 (Priority) 를 고려한 Train make-up 代案分析
- 이들 Train make-up 代案의 效果에 대한 敏感度 分析
 - 需要條件
 - 列車容量
 - 터미널에서의 空車 在庫水準
 - 列車運行 信賴度
- 效果分析 方法
 - 輸送時間과 輸送時間 信賴度
 - 鐵道運營者의 運營費用
 - 貨主의 總物流費用 (Total logistics costs)

2. 두 터미널간에 直送貨物 서비스가 提供될 경우

- 列車容量을 높이거나 空車 在庫水準을 높이게 되면 전체 貨物의 輸送時間과 輸送時間 信賴度が 改善 됨
 - 서비스-費用 相殺關係 (Trade-off)가 존재 (Keaton [1992])
 - 전체적인 (Aggregate) 서비스水準을 改善하기위한 이러한 費用增加가 모든 市場에서 정당화 될 수 있는가 하는 의문제기
- Train make-up 代案
 - 代案 1 : 貨物車輛의 優善順位만 고려
 - 代案 2 : 貨物車輛의 누적 列車連結 실패회수를 고려
 - 代案 3 : 優善順位別 列車連結 실패회수의 上限 정의

- Train make-up 代案別, 貨物の 優善順位別 서비스水準 評價

優善順位	輸送時間	代案 1	代案 2	代案 3
높음	平均	2.00 일	2.10 일	2.00 일
	標準偏差	0.00	0.21	0.00
중간	平均	2.06	2.34	2.21
	標準偏差	0.22	0.43	0.33
낮음	平均	3.32	2.64	3.10
	標準偏差	1.16	0.50	0.93
전체	平均	2.28	2.28	2.28
	標準偏差	0.75	0.43	0.63

- Train make-up 代案別 總物流費用 評價

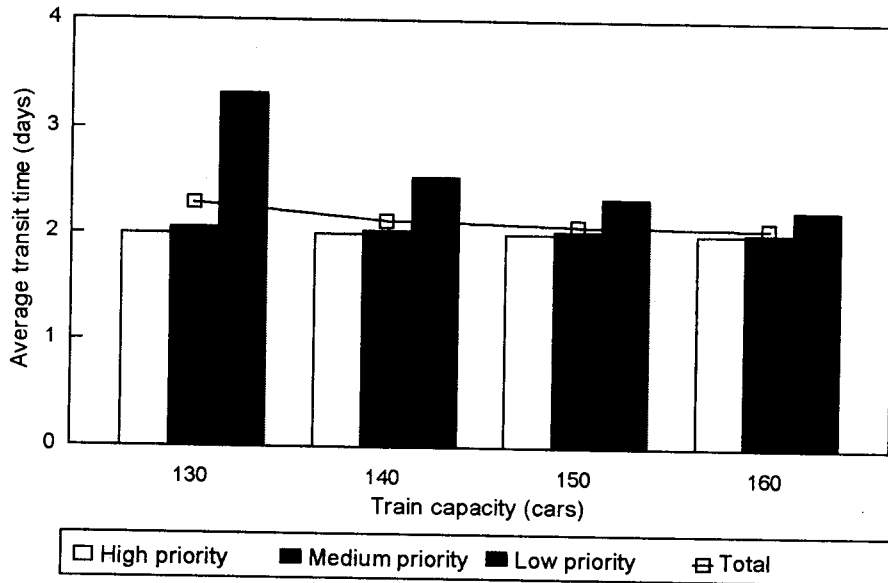
- 전체화물의 輸送時間 信賴度を 가장 개선시키는 代案이 가장 높은 總物流費用 초래

優善順位	代案 1	代案 2	代案 3
높음	\$210.11/대	\$229.09/대	\$210.11/대
중간	122.25	140.62	131.91
낮음	116.28	85.32	105.44
전체	165.25	174.12	165.98

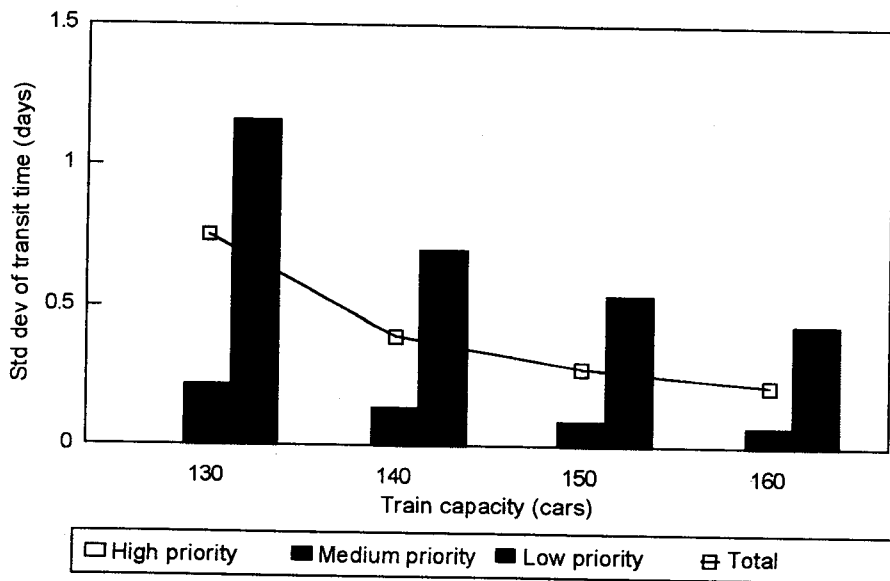
- 서비스개선을 위한 추가투자과 優善順位別 서비스 수준

- 철도운영에 있어서 화물의 優善順位를 고려할 경우, 서비스개선을 위한 일정규모 이상의 追加投資는 優善順位가 높은 화물 보다는 優善順位가 낮은 화물의 서비스개선을 가져오게 됨

- 列車容量과 貨物等給별 平均 輸送時間과의 관계



- 列車容量과 貨物等給별 輸送時間 標準偏差와의 관계



- 分析結果가 시사하는 점

- 貨物의 相異性 (Heterogeneity) 을 運營計劃에 어떻게 고려하느냐에 따라 貨物의 優善順位別로 각각 相異한 서비스 水準을 가져오게 됨을 보여줌
- 貨物의 相異性을 적절히 고려함으로써 서비스에 敏感한 (Service-sensitive) 貨主에게는 信賴度가 높은 서비스를, 費用에 敏感한 貨主 (Cost-sensitive) 에게는 다소 信賴度가 낮더라도 저렴한 서비스를 提供하는 등의 서비스差等化가 가능
- 서비스에 敏感하고 서비스改善에 대해 追加費用支拂 의사가 있는 市場에 대해 서비스改善을 위한 加用資源을 優善配定 함으로서 시스템이 가지고 있는 서비스 容量을 보다 效率的으로 사용할 수 있음

IV. 서비스 差等化 能力提高를 위한 意思決定 持援模型 開發

1. 鐵道運營計劃을 위한 階層的 意思決定과 기존의 意思決定 持援模型 檢討

- 鐵道는 다른 貨物輸送手段에 비해 매우 복잡한 運營시스템을 가지고 있음

- 鐵道運營을 위한 階層的 意思決定

(1) 戰術的 (Tactical) 意思決定

- Train routing
- Blocking policy
- Train make-up policy

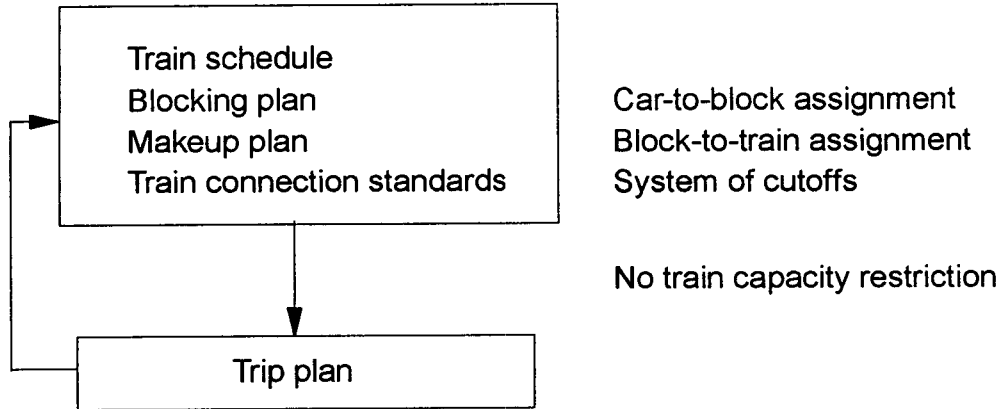
(2) 運營的 (Operational) 意思決定

- Train timetables
- Track scheduling and priority policy
- Locomotive distribution
- Car scheduling
- Crew scheduling
- Terminal work plan
- Maintenance plan

- 貨物의 相異性이 運營計劃에 적절히 고려될 수 있도록 持援해 줄 수 있는 意思決定 持援模型이 開發되어 있지 않음

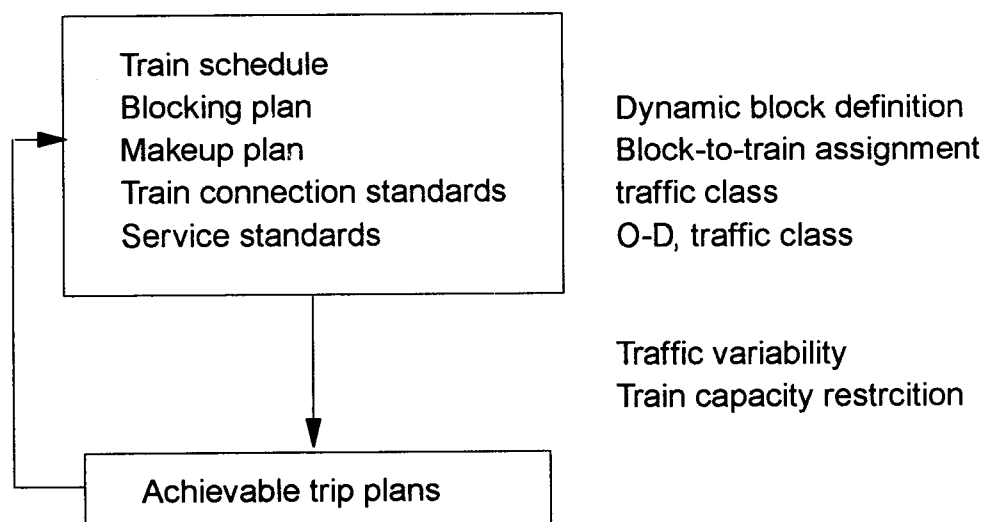
- 企業이 計劃物流 추진을 위한 貨物의 到着地까지의 輸送計劃 (Trip plan) 요구가 增加하면서 運營計劃중 車輛 스케줄링 (Car scheduling) 의 비중과 중요성이 커짐

- 기존의 車輛 스케줄링 方法



2. 鐵道貨物의 相異性과 鐵道시스템의 서비스 容量을 고려한 動的 配送經路 및 스케줄링 模型 開發

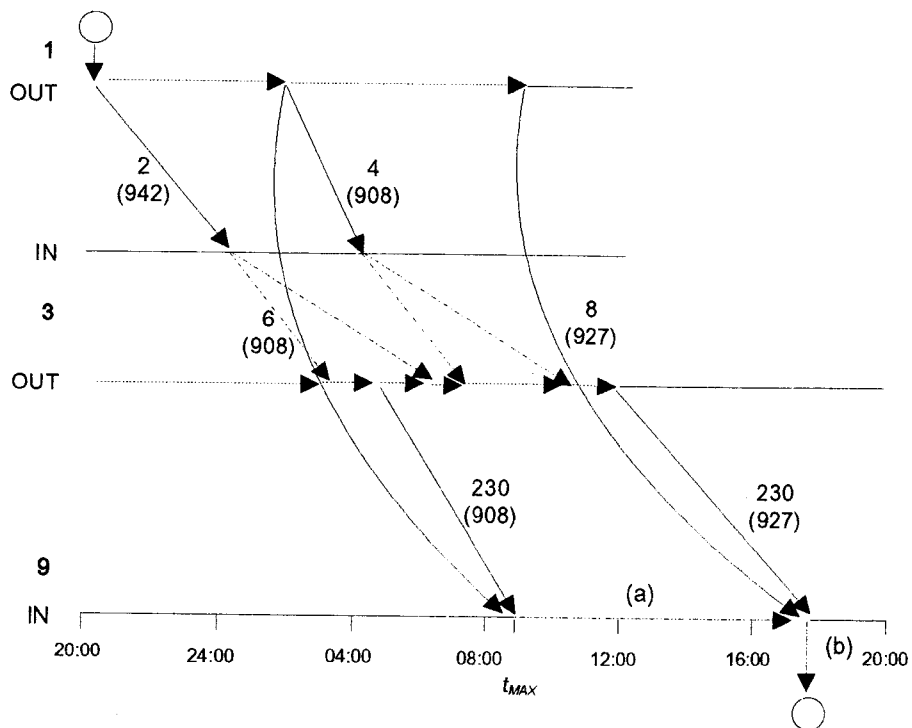
o 車輛 스케줄링 方法의 改善



o 模型樹立 接近方法

- 時-空 네트워크 (Time-space network) 表現

- Service standards
- Train schedule
- Blocking plan
- Make-up plan
- Terminal processing



o 서비스基準 設定을 통한 貨物의 相異性 고려

- Delivery time windows

$$t_p^k \in [t_{MIN}^k, t_{MAX}^k] \quad \forall p, \forall k$$

- Penalty cost function

$$\varphi(t_p^k) = \begin{cases} \phi_1(t_p^k - t_{MAX}^k) & \text{if } t_p^k > t_{MAX}^k \\ 0 & \text{if } t_{MIN}^k \leq t_p^k \leq t_{MAX}^k \\ \phi_2(t_{MIN}^k - t_p^k) & \text{if } t_p^k < t_{MIN}^k \end{cases}$$

o 模型定立

- 變數定義

f_p^k : 經路 p를 利用하는 品目 k의 車輛臺數

x_a : Block a로 움직이는 車輛臺數

u_t : 列車區間 t의 容量

δ_a^p : 經路 p가 block a를 利用하는가의 index 變數

ξ_t^a : Block a가 列車區間 t에 配定 되었는가의 index 變數

- 目的函數

- 設定된 서비스基準 達成度를 最大化
- Delivery time windows 내에 到着하는 貨物車輛수의 最大化

- Total penalty costs 의 最小化

$$\sum_{k \in K} \sum_p c_p^k f_p^k$$

- 品目 k 가 通行經路 p 를 利用할 경우의 費用

$$c_p^k = \sum_{a \in p} c_a^k = \varphi(t_p^k) \quad \forall p, \forall k$$

- 列車容量 制約條件

- Car-to-block assignment

$$x_a = \sum_{k \in K} \sum_p \delta_a^p f_p^k \quad \forall a \in A$$

- Block-to-train assignment

$$\sum_{a \in A} \xi_t^a x_a \leq u_t \quad \forall t \in T$$

- Multicommodity flow problem

最小化

$$\sum_{k \in K} \sum_p c_p^k f_p^k$$

制約條件

$$\sum_p f_p^k = d^k \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{a \in A} \xi_t^a \left[\sum_{k \in K} \sum_p \delta_a^p f_p^k \right] \leq u_t \quad \forall t \in T$$

$$f_p^k \geq 0 \quad \forall p, \forall k \in K$$

- 解法
- Column generation technique

o 模型의 Output

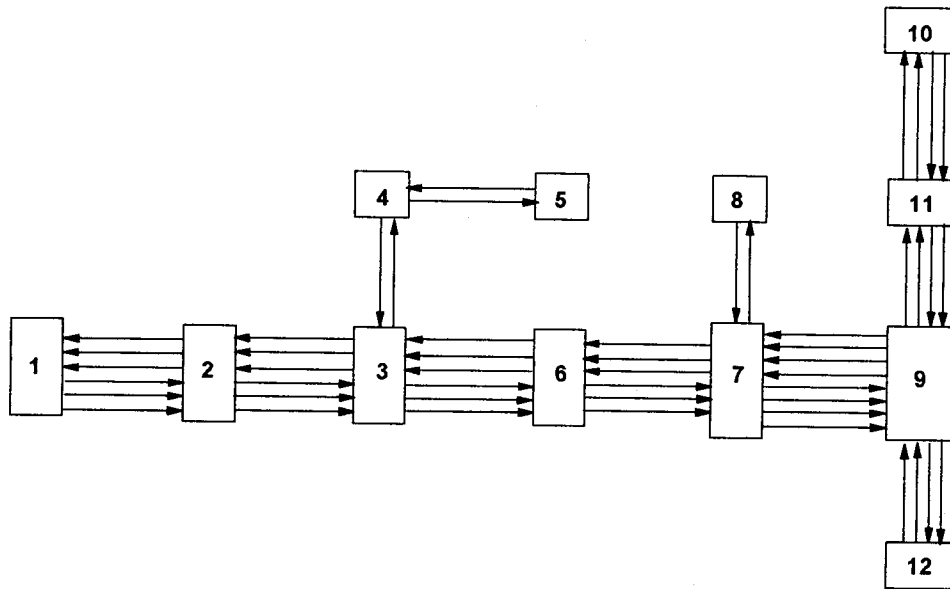
- 輸送計劃 (配送經路 및 스케줄)
- O-D, 貨物 等給別
- 出發 時間帶別
- 列車容量 利用率
- 列車區間別
- 時間帶別

o 실험方法

- IBM RS 6000/370 Workstation
- 프로그래밍
- IBM OSL (Optimization Subroutine Library)
- C language

o 事例研究

- SantaFe Railroad의 일부 네트워크에 適用, 評價



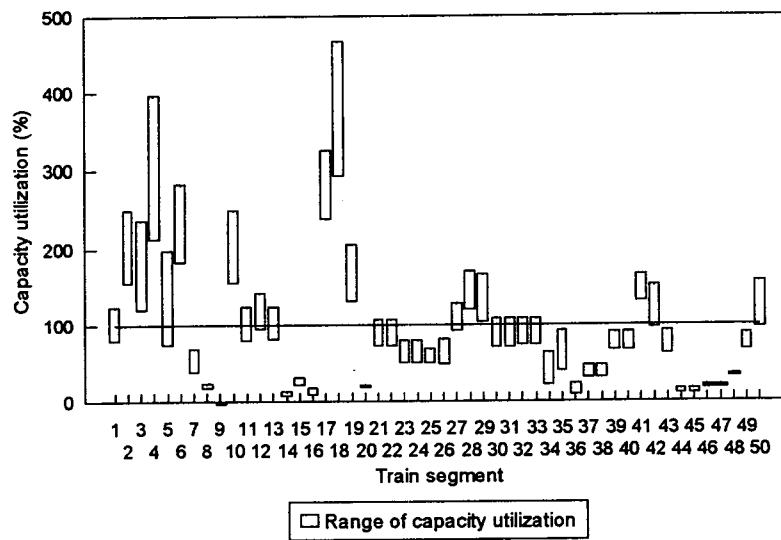
- O-D, 貨物等給 數 57개
- 平均 貨物車輛 通行量 1,387대/일
- 鐵道貨物 터미널 수 12개소
- 運行 列車數 16列車/일
- 總 列車區間 數 50 區間
- Block 수 59

- 假定

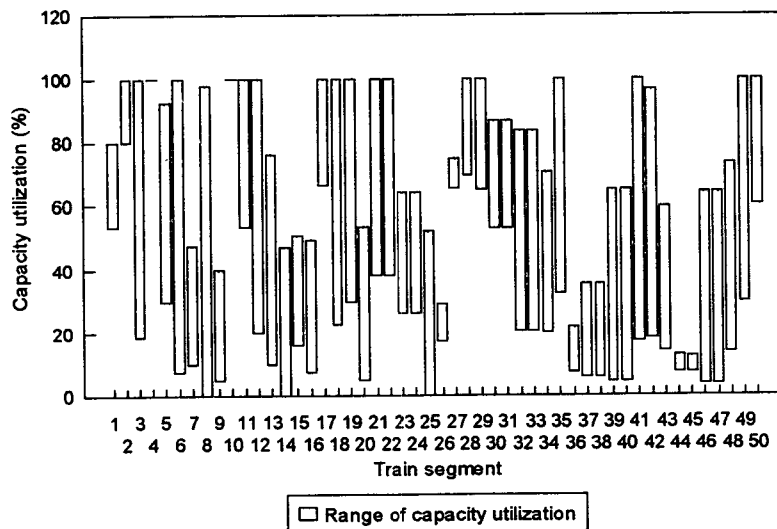
- Late arrivals 에만 penalty 부여
- 貨物等給別 단위시간당 在庫費用에 기준한 penalty 산정
- 整數制約條件의 완화

o 分析 結果

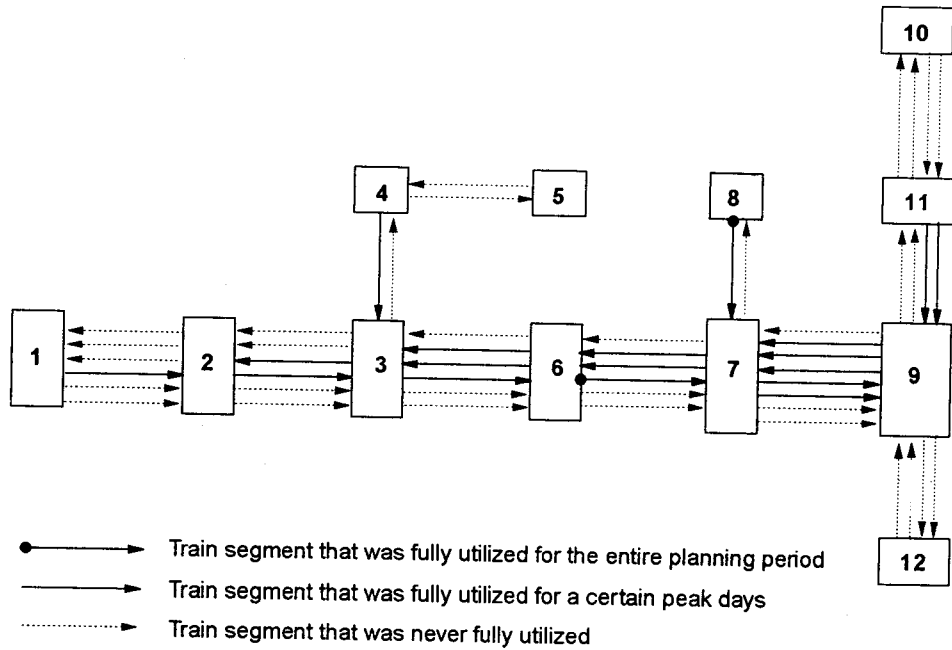
- 列車區間別 容量 利用率
- 기존의 車輛 스케줄링



- 容量을 고려한 車量 스케줄링



- 容量 碍路區間の 파악



- 貨物等給別 서비스수준의 差等化 (敏感度 分析)

Test cases with different traffic mixes

Problem	High priority (cars)	Low priority (cars)	High priority share (%)
P1	3,068	6,644	31.6
P2	3,224	6,488	33.2
P3	3,784	5,928	39.0
P4	4,484	5,228	46.2
P5	5,424	4,288	55.8
P6	5,884	3,828	60.6
P7	6,724	2,988	69.2
P8	7,362	2,350	75.8

Optimal solutions for case problems

Problem	Min. penalty cost (dollar)	Mean lateness (hours)	Std dev lateness (hours)	Mean lateness (hours)	Std dev lateness (hours)
P1	220,495.2	0.1	0.9	10.9	31.4
P2	222,674.7	0.1	0.9	11.3	30.8
P3	222,674.7	0.1	0.9	12.3	32.7
P4	224,588.7	0.1	0.8	14.1	34.6
P5	238,542.0	0.5	2.2	16.7	37.6
P6	242,761.5	0.6	2.7	18.4	37.7
P7	255,185.5	0.8	3.4	23.0	43.1
P8	262,529.3	0.9	3.9	28.5	45.7

o 分析 結論

- 動的 車輛配送 및 스케줄링 模型이 서비스差等化를 效果的으로 持援
- 列車容量 制約條件을 고려함 으로써 보다 실현 가능한 輸送計劃 도출
- 터미널에서의 car-to-train 연결을 위한 터미널 運營者의 統制 負荷를 줄여 줌
- 주어진 容量을 보다 效率的으로 活用
- 容量 병목구간을 파악케 함 으로써 效果的인 容量計劃을 가능케 함

V. 研究 結論

- 規模의 經濟性을 강조, 低費用 위주의 戰略을 유지했던 鐵道部門에서, 貨主의 다양한 物流特性을 고려한 貨物輸送管理로의 轉換이 현재 얼마나 이루어 지고 있는지, 서비스差等化 戰略의 效果는 어떻게 나타나는지, 鐵道 시스템의 特性을 고려한 서비스差等化 戰略의 運營上의 적용은 어떻게 이루어져야 하는지를 종합적으로 고찰
- 서비스差等化 戰略은 鐵道運營者로 하여금 보다 物流特性에 敏感한 서비스를 提供케 하고, 서비스 容量을 보다 效率的으로 사용할 수 있게 함으로써, 收益性 증대를 도모할 수 있게 함