



Session

공급사슬네트워크
디자인의 모델과 응용 사례 분석

김대기 교수 (고려대학교)

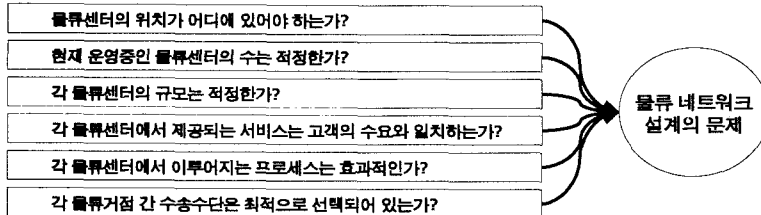


공급사슬 네트워크 디자인 모델과 응용사례 분석

네트워크 설계 - 전략적 의사결정

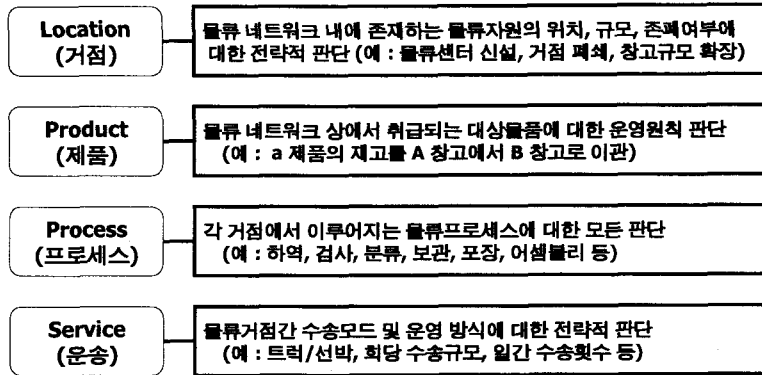
물류 네트워크 문제

- 물류 네트워크 설계는 기업의 의사결정 과정 중 가장 장기적이고 전략적인 판단을 요구하는 중요한 과정이며, 잘못된 설계는 사업수행 자체를 위험에 빠뜨리게 할 수 있음
- 그러나 대부분의 국내 기업들은 철저한 정량분석에 의하여 네트워크를 설계하는 대신 직관과 경험적 추측에 의존하는 경우가 대부분
- 복잡한 물류 현상을 수리모델을 통하여 재구성, 실행 가능한 대안을 도출하고, 각 시나리오의 기대 효과를 수치로 제시함으로써 기업 물류 인프라 투자와 장기적인 운영효율 최적화 의사결정을 지원 하는 네트워크 솔루션이 필요함



김대기

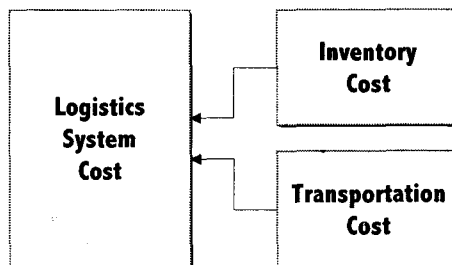
전략적 의사결정 항목



24/24

Logistics System Cost

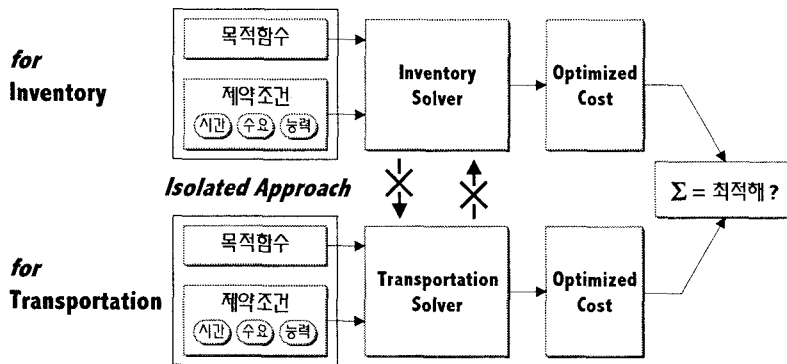
로지스틱스 문제의 특성은 비선형적인 비용함수, 많은 수의 변수, 많은 수의 제약식으로 인해 일반적인 LP 알고리즘으로는 문제의 해결이 불가능



24/24

기존의 Optimization 모델

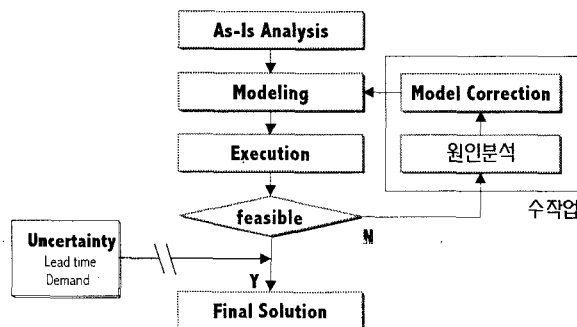
Inventory와 Transportation 측면에서 각각의 Local Optimization을 추구
 각각의 최적해의 통합이 전체 시스템의 최적해가 되지 못할 가능성 존재



김대기

기존의 Optimization 모델

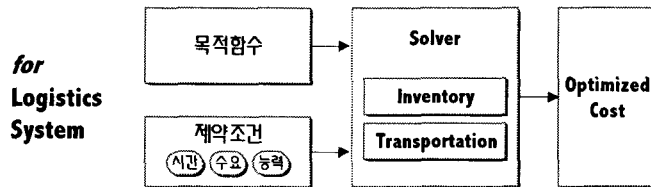
Optimization과정에서 feasible solution이 없는 경우 모델수정의 어려움
 기존의 Optimization모델은 정적인 구조로 리드타임이나 수요의 불확실성에 대한
 고려가 불가능



김대기

Optimization모델의 향후 발전방향

Inventory와 Transportation을 동시에 고려한 Global Optimization을 추구



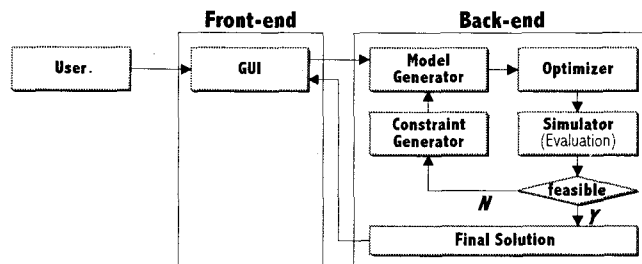
김대기

Logistics Service Network Designer

LSND 솔루션 아키텍처

수요를 충족시키기 위해 자사의 물류자원과 관련 프로세스를 사용자가 직접 모델링 할 수 있는 GUI 환경을 제공
최적화와 시뮬레이션을 통합한 2-Phase 알고리즘을 통해 로지스틱스 문제의 복잡성을 해결

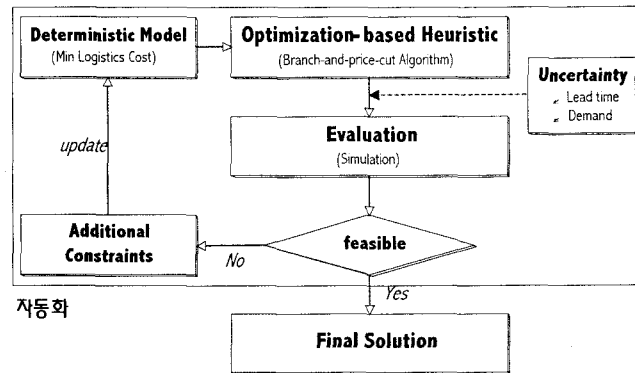
- Phase 1 : 최적화 솔루션을 통해 각 시나리오의 최적화된 결과를 도출
- Phase 2 : 최적화된 모델에 확률적 요소를 첨가하여 보다 현실적인 시나리오 분석 실시
- 실현가능성을 고려하여 모델 재 조정
- 이러한 일련의 과정을 통해 수송과 재고를 동시에 고려한 최적의 TO-BE 대안 도출



김대기

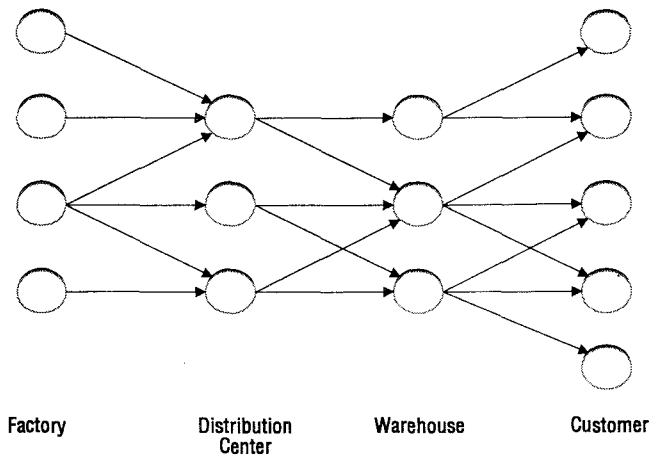
LSND 솔루션 알고리즘

Optimization과 시뮬레이션을 통합한 2-Phase Algorithm을 통해 로지스틱스 문제의 복잡성을 해결



권영기

LSND-Optimizer LP 네트워크



권영기

Optimization (Location)

INPUT

- 각 거점을 운영하는데 드는 고정비, 변동비, 거점 폐쇄비 및 최대/최소 용량

OUTPUT

- 각 거점의 운영여부 (Open or Close) 결정
- 거점 별로 발생하는 비용 분석

의사결정의 예

- 자사 네트워크에 HUB를 도입하고자 한다. 가장 비용 효율적인 대안지는 어느 곳이며, 그 규모는 얼마가 되어야 하는가?
또한, 이때 얻게 되는 비용 효과는 어떻게 되는가?
- 현재 전국에 산재하여 운영하고 있는 지점 중 일부를 매각하고 다른 일부를 확대하는 개편작업을 단행하려 한다.
어느 지점을 매각하고 어느 지점을 확대해야 할 것인가?
이로 인해 얻는 비용 효과는?

김덕기

Optimization (Product)

INPUT

- 각 거점의 제품별 최대/최소 취급 용량, 그리고 이들 제품을 취급하는데 드는 고정비 및 변동비

OUTPUT

- 각 거점에서 취급하는 제품 결정 및 최적 취급 물량 결정
- 각 거점에서 해당 제품을 취급하는 데 발생하는 비용 분석

의사결정의 예

- 늘어나는 냉동 제품 수요에 대처하기 위해 냉동 제품 취급점을 확대하고자 한다.
기존의 어느 지점에서 냉동 제품을 취급하는 것이 가장 효과적인가?

김덕기

Optimization (Process)

INPUT

- 각 프로세스에서 해당 제품을 취급할 수 있는 최대/최소 용량
- 각 프로세스 운영에 필요한 고정비 및 변동비
- 프로세스간의 순서 정의

OUTPUT

- 각 프로세스의 운영 여부 결정 및 각 프로세스를 통과하는 최적 물동량 결정
- 각 프로세스 운영에 따르는 비용 분석

의사결정의 예

- 현재 운영중인 5 개의 거점 내에서 A 제품과 B 제품의 분류 기능을 추가하고자 한다.
A 제품과 B 제품의 분류 기능은 각각 어느 거점에 도입하는 것이 가장 효과적인가?

김대기

Optimization (Service)

INPUT

- 운송사에서 제공하는 운송 수단 정의
- 운송사별 운송수단별 요율 정의

OUTPUT

- 구간별 최적 운송사 및 운송 수단 선정
- 구간별 수송 비용 분석

의사결정의 예

- 충북 옥천에 HUB를 도입하였다. 각 지점에서 HUB 까지 운송하는 운송수단을 어느 운송사의 몇 톤 트럭을 이용하는 것이 비용을 최소화 할 수 있는가?
만약 부산 지점에서 옥천 HUB 까지 철도 수송을 할 경우 예상되는 비용절감 효과는 어떻게 되는가?
- 현재 일부 운송사에서 운송비를 올릴 예정이다. 이 경우 전체 물류 네트워크에 미치는 영향은 어떻게 되는가?

김대기

Simulation

- 최적화 모델은 정적인 요소만을 고려하여 최적의 솔루션을 제공한다.
- 시뮬레이션은 이러한 정적인 모델에 현실에 존재하는 불확실한 확률적 변수 (수요의 불확실성, 리드타임의 불확실성 등) 를 추가로 고려하여 솔루션의 현실 적용 가능성을 제고한다.
- 시뮬레이션을 통해 사용자는 각 거점의 재고수준, 각 프로세스의 정체 정도, 각 운송서비스의 서비스 요구수준 달성 정도 등을 계량적인 값으로 확인할 수 있다.
- 도출된 결과가 실현 불가능할 경우에 제약조건을 변경하거나 추가하여 실현 가능한 최적의 시나리오를 유도해 낼 수 있다.

김대기

Optimization Model Definition

Sets

N : Node-Location

N_O	Origins (e.g. Factory)
N_T	Transshipment Nodes (e.g. Warehouse)
N_D	Destinations (e.g. Customer)

R : Node-Process

R_S	Starting process (S)
R_N	Normal process (p, q, r)
R_T	Terminal process (T)

K : Product

P : Process

M : Modes of Transportation

A : Location-Location links (i,j)

V : Process-Process links (p,q) $(p,q) \in R_N, R_T$

김대기

Definition

Variables

Y_i	Binary variable to determine whether Location i operates or not (1 if Loc i operates; 0 otherwise)
E_i	Binary variable to determine whether Location i is closed or not (1 if Loc i is closed; 0 otherwise)
Z_i^k	Binary variable to determine whether Location i produces Product k or not (1 if Loc i produces Product k ; 0 otherwise)
D_i^k	Binary variable to determine whether Product line k at Location i is closed or not (1 if Product line k is closed; 0 otherwise)
$L_{(i,j)}^m$	Binary variable to determine whether Loc i sends product to Loc j by Trans. mode m or not (1 if Loc i sends product to Loc j by Trans. mode m ; 0 otherwise)
I_p	Binary variable to determine whether Process p at Loc i operates or not (1 if Process p operates; 0 otherwise)
G_p	Binary variable to determine whether Process p at Loc i is closed or not (1 if Process p is closed; 0 otherwise)
Q_i^k	The amount of Product k produced at Location i
$X_{(i,j)}^{km}$	The amount of Product k sent by Trans. mode m associated with link (i, j)
$F_{(p,q)}^k$	The amount of Product k sent on Process link (p, q) at Location i

김대기

Definition

Coefficient

α_i	Fixed cost to operate the Location i
ψ_i	Closing cost(+) plus Opportunity cost(-) incurred by closing Location i
β_i^k	Fixed cost to produce Product k at Location i
η_i^k	Closing cost(+) plus Opportunity cost(-) incurred by closing Product line k at Location i
γ_i^k	Unit variable cost to produce Product k at Location i
$\sigma_{(i,j)}^m$	Fixed cost to move from Loc i to Loc j by Trans. mode m
$\delta_{(i,j)}^{km}$	Variable cost to transfer Product k from Loc i to Loc j by Trans. mode m
ω_p	Fixed cost to operate Process p at Location i (i.e., setup cost)
θ_p	Closing cost(+) plus Opportunity cost(-) incurred by closing Process p at Location i
$\phi_{(p,q)}^k$	Unit variable cost associated with inter-process (p, q) at Location i

김대기

Definition

Coefficient 계속 – Capacity Related

Max_C_i	Maximum capacity of Location i
Min_C_i	Minimum capacity of Location i
$Max_C_i^k$	Maximum capacity of production of Product k at Location i
$Min_C_i^k$	Minimum capacity of production of Product k at Location i
$Max_C_{(i,j)}^m$	Maximum flow capacity from Loc i to Loc j by Trans. mode m
$Min_C_{(i,j)}^m$	Minimum flow capacity from Loc i to Loc j by Trans. mode m
Max_C_p	Maximum capacity of Process p at Location i
Min_C_p	Minimum capacity of Process p at Location i

계속

LSND-Optimizer LP Model

목적함수 $Min \sum_i \alpha_i Y_i + \sum_i \psi_i E_i + \sum_i \sum_k \beta_i^k Z_i^k + \sum_i \sum_k \eta_i^k D_i^k + \sum_i \sum_k \gamma_i^k Q_i^k$
 $+ \sum_m \sum_{(i,j)} \sigma_{(i,j)}^m L_{(i,j)}^m + \sum_m \sum_k \sum_{(i,j)} \delta_{(i,j)}^{km} X_{(i,j)}^{km} + \sum_i \sum_p \omega_p I_p + \sum_i \sum_p \theta_p G_p + \sum_i \sum_{(p,q)} \phi_{(p,q)}^k F_{(p,q)}^k$

- | | |
|-------------------------------------|--|
| (1) Location Fixed Cost | $\sum_i \alpha_i Y_i + \sum_i \psi_i E_i, Y_i, E_i \in \{0,1\}, i \in (N_o, N_T)$ |
| (2) ProductAtLocation Fixed Cost | $\sum_i \sum_k \beta_i^k Z_i^k + \sum_i \sum_k \eta_i^k D_i^k, Z_i^k, D_i^k \in \{0,1\}, i \in (N_o, N_T)$ |
| (3) ProductAtLocation Variable Cost | $\sum_i \sum_k \gamma_i^k Q_i^k, i \in (N_o, N_T)$ |
| (4) Link Fixed Cost | $\sum_m \sum_{(i,j)} \sigma_{(i,j)}^m L_{(i,j)}^m, L_{(i,j)}^m \in \{0,1\}, (i,j) \in A$ |
| (5) Link Variable Cost | $\sum_m \sum_k \sum_{(i,j)} \delta_{(i,j)}^{km} X_{(i,j)}^{km}$ |
| (6) ProcessAtLocation Fixed Cost | $\sum_i \sum_p \omega_p I_p + \sum_i \sum_p \theta_p G_p, I_p, G_p \in \{0,1\}, i \in (N_o, N_T)$ |
| (7) ProcessAtLocation Variable Cost | $\sum_i \sum_{(p,q)} \phi_{(p,q)}^k F_{(p,q)}^k, (p,q) \in V$ |

계속

LSND-Optimizer LP Model

Constraints 1

- (1) Flow Balance Constraint
$$\sum_m \sum_j X_{(i,j)}^{km} - \sum_m \sum_j X_{(j,i)}^{km} = \begin{cases} Q_i^k, & \text{if } i \in N_o \\ -D_i^k, & \text{if } i \in N_D \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \forall i, k$$
- (2) Loc i 를 운영할 것인가?
$$(Min_C_i) \cdot Y_i \leq \sum_k Q_i^k \leq (Max_C_i) \cdot Y_i, \quad \forall i \in (N_o \cup N_T), k \in K$$
- (3) Loc i 에서 product k 를 처리할 것인가?
$$(Min_C_i^k) \cdot Z_i^k \leq Q_i^k \leq (Max_C_i^k) \cdot Z_i^k, \quad \forall i, k \in (N_o \cup N_T), k \in K$$
- (4) Trans. mode m 을 통해 Loc i 에서 Loc j 로 가는 link 를 만들 것인가?
$$(Min_C_{(i,j)}^m) \cdot L_{(i,j)}^m \leq \sum_k X_{(i,j)}^{km} \leq (Max_C_{(i,j)}^m) \cdot L_{(i,j)}^m, \quad \forall m \in M, \forall (i, j) \in A$$
- (5) Loc i 에서 Process p 를 가동 할 것인가?
$$(Min_C_{ip}) \cdot I_p \leq \sum_j F_{(i,p,q)} \leq (Max_C_{ip}) \cdot I_p, \quad \forall i, p$$

관대기

LSND-Optimizer LP Model

Constraints 계속

- (6) Process 가 있는 Loc i 로 들어오는 양의 합은 Loc 내의 starting process 에서 normal process 로 나가는 양의 합과 같다.
$$\sum_q F_{(R_s,q)}^k - \sum_m \sum_j X_{(R_s,j)}^{km} = 0, \quad \forall i, k$$
- (7) Process 내에서 input 과 output 과의 관계식 input: p -> q, output: q -> r
$$\sum_r F_{(q,r)}^k - \frac{1}{\rho_q^k} \sum_p F_{(p,q)}^l = 0, \quad \forall i, l$$

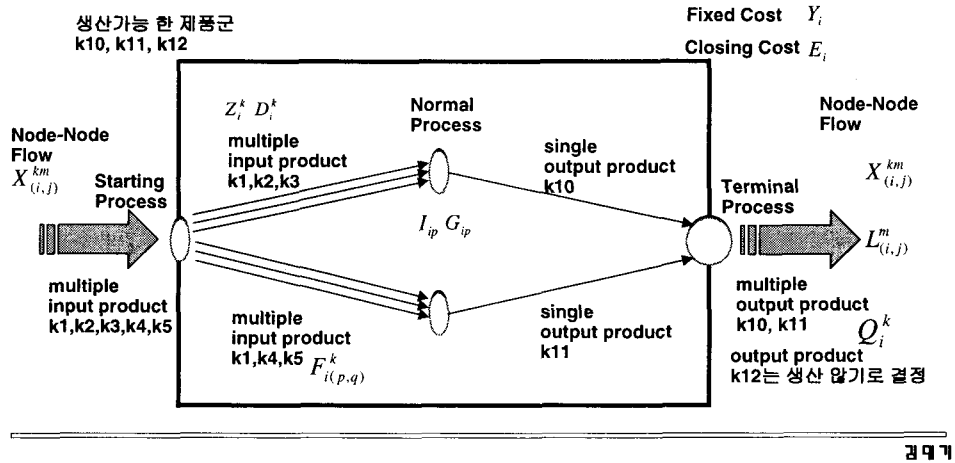
$$l \in \{q\} \text{ input products of process } q$$

$$k \in \{q\} \text{ output product of process } q$$
- (8) Process 가 있는 Loc 의 마지막 node (terminal process) 로 들어오는 양의 합은 Loc i 에서 나가는 양의 합과 같다.
$$\sum_m \sum_j X_{(T,j)}^{km} - \sum_r F_{(r,T)}^k = 0, \quad \forall i, k$$
- (9) Loc i 를 열거나 또는 닫거나 양자택일
$$Y_i + E_i = 1, \quad \forall i$$
- (10) Loc i 에서 Product k 를 생산하거나 혹은 생산을 중단하거나 양자택일
$$Z_i^k + D_i^k = 1 \quad \forall i, k$$
- (11) Loc i 에서 Process p 를 가동하거나 혹은 가동을 중단하거나 양자택일
$$I_p + G_p = 1 \quad \forall i, p$$

관대기

LSND-Optimizer LP 네트워크

노드/프로세스



관망기

고려사항

Number of Constraints

제약식	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
개수	NK	N	NK	AM	NP	NK	NK	NK	N	NK	NP

Number of Variables

목적함수	1	2	3	4	5	6	7
개수	2N	2NK	NK	AM	AKM	NP	NV

추가 고려사항

- PATH VARIABLE 도입
- 시간개념의 도입 - 0/D 남기 준수

관망기

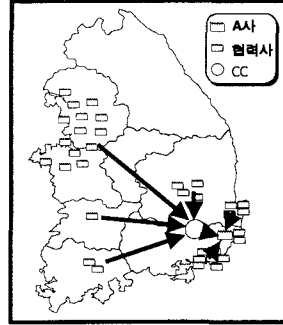
적용 사례 1 : 자동차 조달물류 네트워크

문제 정의

- 초단납기 납입체제 구축 및 조달 물류비 절감 방안으로 공장인근에 C/C를 구축할 경우 이 대안이 조달물류에 미칠 영향을 분석한다.

네트워크 구조

- 전체 400여개 협력사 중 19사 29공장을 표본으로 선정
- 적용 대상 공장 : 4개 공장 (A, B, C, D 공장)
- 운행구간별 수송방법
 - 협력사~C/C : 현행 방식 유지, 단 적재율은 85%로 향상
 - C/C~공장 : Trolley 혹은 대차 이용
 - 협력사~공장(직납) : 현행 방식 유지
- C/C 이용물량 산출기준
 - 모사 공장까지 납품리드타임 90분 이내 업체의 물동량 중 팔레트 단위 공급 아이템은 제외(박스 단위 공급 아이템만 C/C 이용)
 - 납품리드타임 90분 이밖에 있는 업체는 모두 C/C 이용



과대기

적용 사례 1 : 자동차 조달물류 네트워크

의사결정 내용

- C/C 도입시 운송비 및 재고비 감소 효과
- C/C 적정 규모 도출
- Supply Chain 상의 재고 현황 파악

Input

- 거점간 운송비용
 - 고정비 : 차량 감가 상각비, 인건비, 검사비, 정기 점검비, 책임 보험료 자동차세, 월장 약정금액
 - 변동비 : 유류비, 도로교통비, 운송회당 비용, 운송 박스당 비용
- 재고비
 - 모사 재고 현황 및 협력사 재고 현황
 - 협력사의 공장별 납품액
- 거점 관련 비용(C/C 구축 비용 등) 은 제외

Output

	A 공장	B 공장	C 공장	D 공장
절감 효과 (운송비 + 재고비)	19.3%	23.1%	17.4%	22.4%

과대기

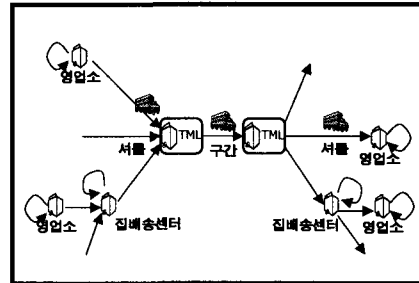
적용 사례 2 : 택배 네트워크

문제 정의

- 택배 물량 증가에 따른 터미널 물량편중 현상을 해결하기 위한 방안으로 Load Balancing을 구현하여 고정자산의 활용도를 높이는 방안 및 신규 터미널 구축 방안을 분석한다.

네트워크 구조

- 전국 (12개의 터미널, 360여 개의 영업소)
- 수도권 (5개의 터미널과 116개의 영업소)
- 영업소에서 터미널까지의 거리가 먼 경우에는 중간 지점에 집배송센터를 두어 이들과의 운송을 연계함
- 현재 한 영업소에서 상위 계층의 터미널 (혹은 집배송센터)로 가는 경로는 단일경로로 확정되어 있으나 분석시에는 이 현실제약을 완화함 (다중 경로).
- 운송비는 제품은 크기 및 중량에 상관없이 매출의 기준으로 요금 산정
- 제품 분류는 터미널에서 이루어짐



김대기

적용 사례 2 : 택배 네트워크

의사결정 내용

- 터미널의 Load Balancing 및 비용(운송비, 제품 분류비 등) 조건을 고려한 최적의 네트워크 도출
- 물량 증가시 새로운 터미널의 최적 위치 선정 및 최적 처리 용량 결정
- 각 링크별 최적 운송 수단 결정

Input

- 거점간 운송비용
 - 출발지-도착지 물량 정보
 - 거점간 운송 물량, 거점간 약정 수수료율, 운송 수단
- 터미널 처리 능력
 - 터미널 별 분류기의 Capacity
 - 터미널 별 분류기 설치 대수
 - 분류기 도입 비용
 - 제품 분류 당 드는 변동비
- 신규 터미널 구축 비용

김대기