

2017 한국SCM학회 춘계컨퍼런스



복합적인 제품생산경로가 고려되는 공급사슬네트워크에서 다양한 제품들의 연속적 재고수준에 관한 연구

Incheon National University

Young-Bin Woo and Byung Soo Kim*

Acknowledgment. This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (Grant number: NRF-2016R1C1B2010224).

01 INTRODUCTION

02 LITERATURE REVIEW

03 PROBLEM STATEMENT

04 USEFUL PROPERTIES

05 MATHEMATICAL MODEL

06 CONCLUSIONS

Supply Chain Management

• 공급사슬 네트워크

- 기업은 단순히 개별 기업의 운영 비용을 줄여 수익성을 보장 할 수 없음
- 공급사슬 관리의 의사결정 수준은 전략적 수준과 운영적 수준으로 분류할 수 있음



Supply Chain Network



Inventory Management

• 재고 통합 관리

- 공급사슬 관리에 대한 관심이 증대됨에 따라 많은 다국적 기업은 보다 긴밀한 협조와 조정을 통해 전체 공급사슬의 재고를 보다 효율적으로 관리 할 수 있음

Related Research Literature

Decision level	Supply chain system problem			
	General	+ Inventory coordination		+ Multi-product
		Dependent (or identical) Replenishment cycle	Independent Replenishment cycle	
Strategic	Kalaitzidou et al. (2014) Akgul et al. (2011)	-	-	
Operational		Bazan et al. (2015) Verma et al. (2014) Chung et al. (2013)	-	
Strategic and Operational	Woo et al. (2016) Almansoori and Shah (2012)	Zhao et al. (2016) Kim et al. (2013) Sarker (2013)	Woo and Kim (2017)	This study

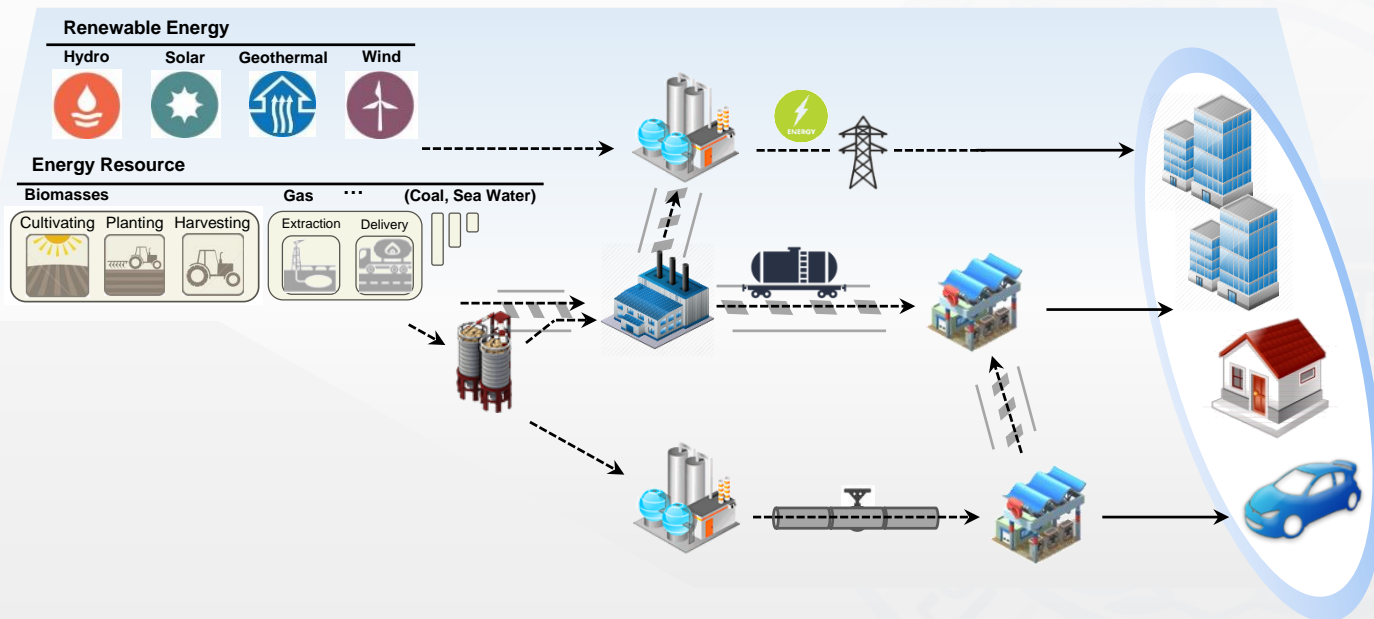
➤ 재고 통합관리 상황을 고려한 대부분의 연구는 선·후행 노드 사이의 재주문주기를 종속적인 관계로 가정하고 있기 때문에, 주문채널이 다양한 경우에 대해서는 합리적인 의사결정을 제공하지 못한다.

Generalized Supply Chain

• 공급사슬 네트워크의 고려 요소

- 다양한 생산물 형태
- 다양한 기술시설
- 다양한 운송모드
- 다양한 운송주기
- 다양한 수요 형태
- 복수의 생산물 경로
- 생산율 제약
- 공급률 제약
- 통합 재고 시스템

예시) 통합 에너지 공급사슬 네트워크

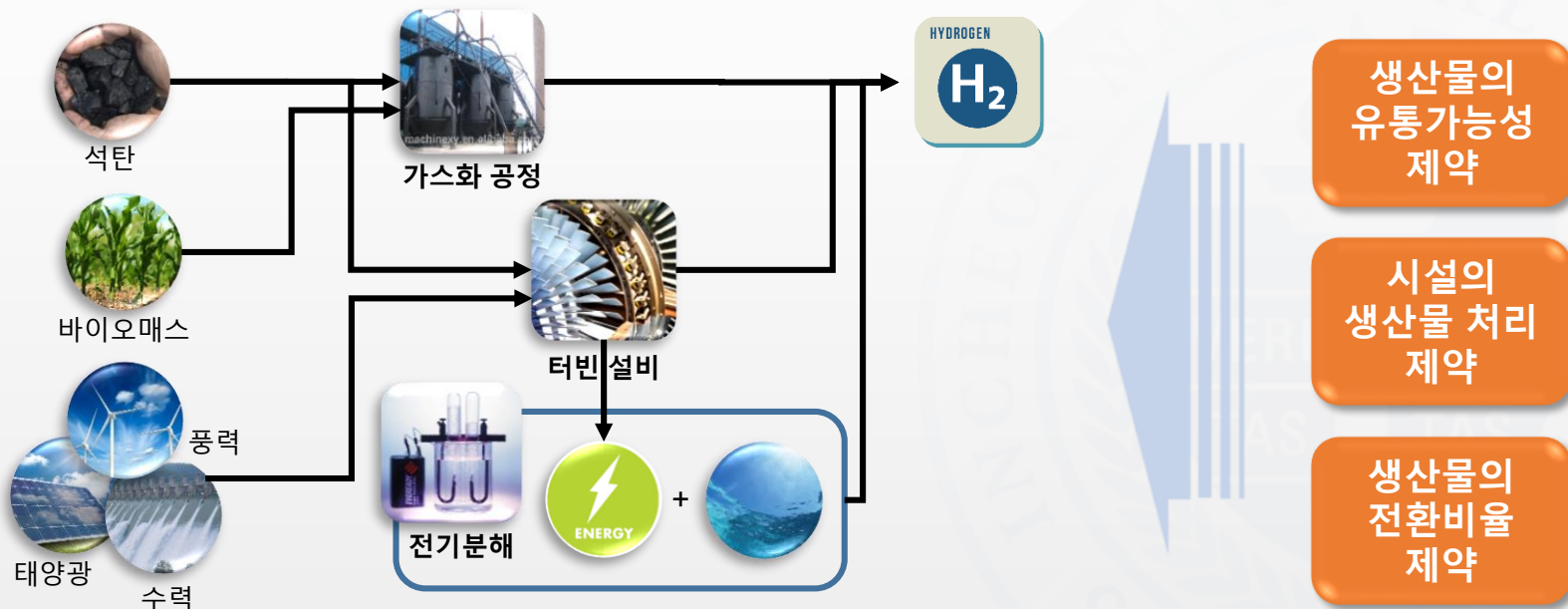


Multiple Pathway

• 생산물 경로 (Pathway)

- 공급사슬에서 목적 생산물이 얻어지기까지의 경로를 의미
- 화학산업의 경우, 목적 생산물에 대해 다양한 생산물 경로가 존재

예시) 수소 생산에 관련된 생산물 경로



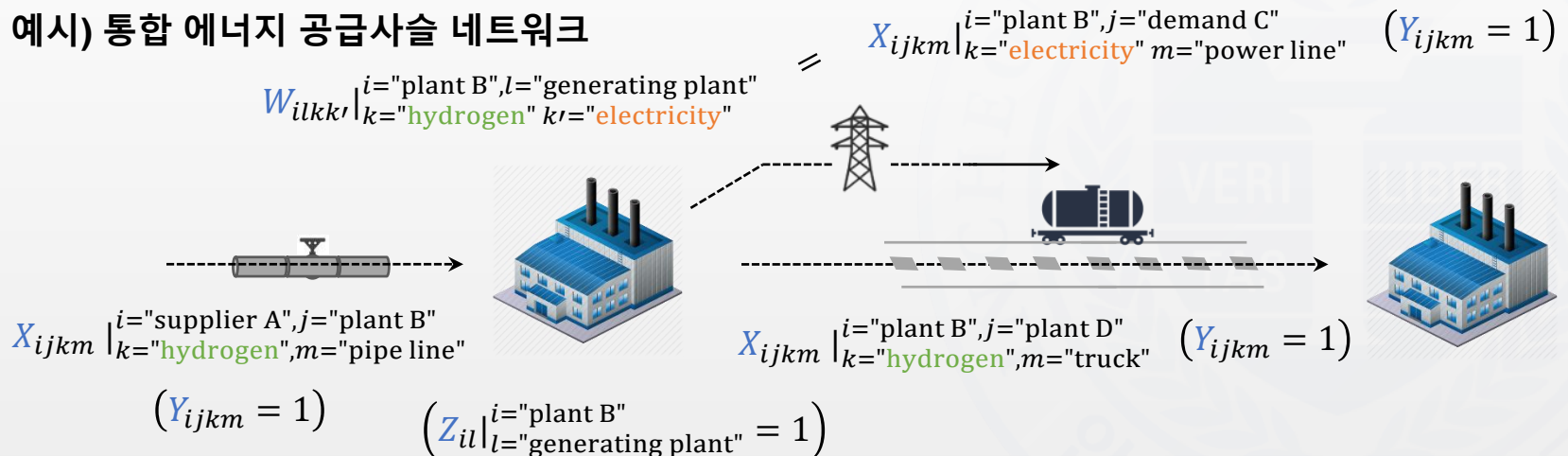
Decisions

• 의사결정 변수

Decision	Index	Mean
$W_{ijkk'}$	생산 노드 i	생산량 (전환량)
	후행 노드 j	
	재료 k	
	생산물 k'	
X_{ijkm}	선행 노드 i	운송량
	후행 노드 j	
	물질 k	
	재주문 주기 m	

Decision	Index	Mean
Y_{ijkm}	생산 노드 i	운송 여부
	후행 노드 j	
	재료 k	
	생산물 k'	
Z_{il}	노드 i	시설 입지 여부
	시설 타입 l	

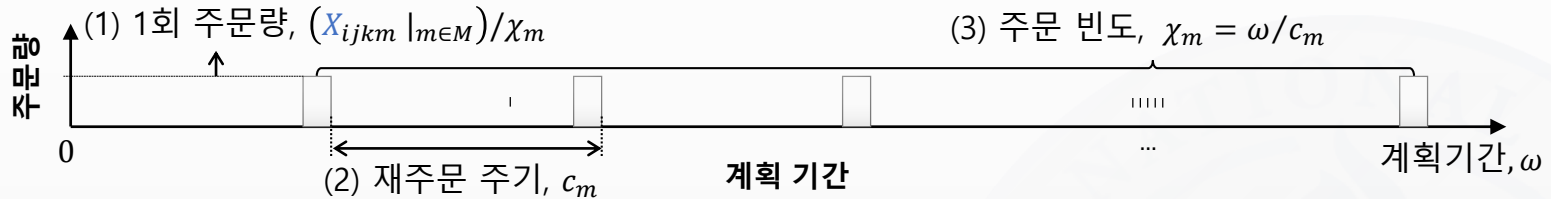
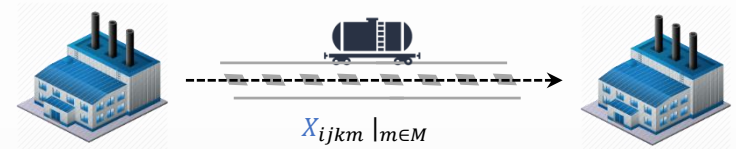
예시) 통합 에너지 공급사슬 네트워크



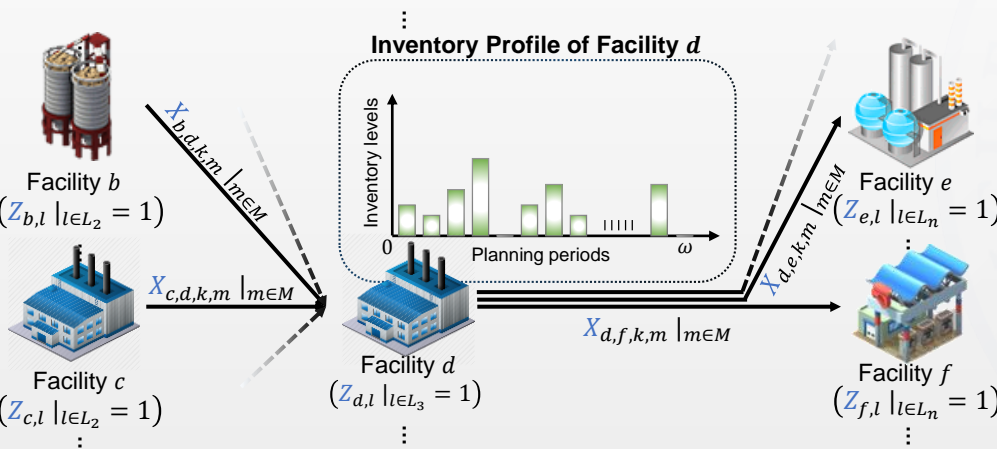
Inventory

• 재주문 (Replenishment)

- 두 선.후행 노드 사이에 흐름이 존재한다면,
다음 3가지 특성을 가지는 재주문 계획이 정의됨



• 재고기록철 (Inventory Dynamic)

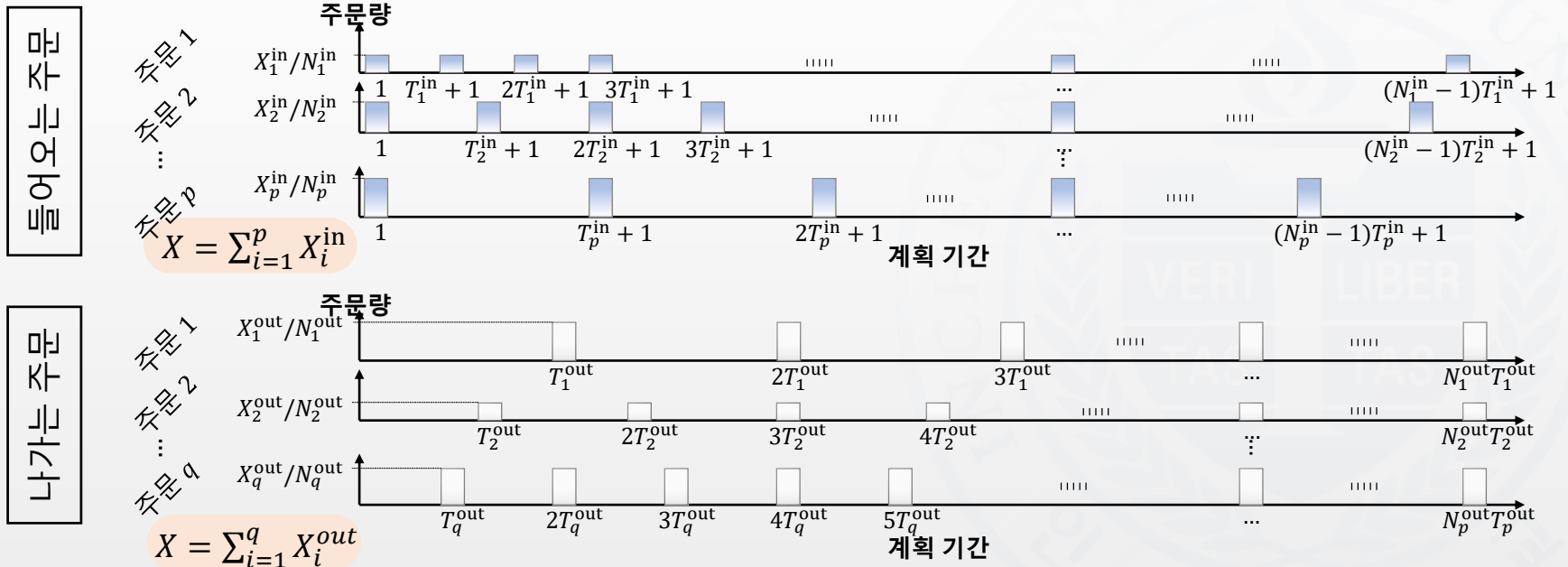


- 복수의 노드로부터 주문을 받거나,
복수의 노드로 주문을 보낼 수 있음
- 다양한 주문들의 재주문 주기에 의해
계획기간 동안 재고가 발생함

성질 1 - 단일제품 시스템에서의 재고시스템 (Discrete)

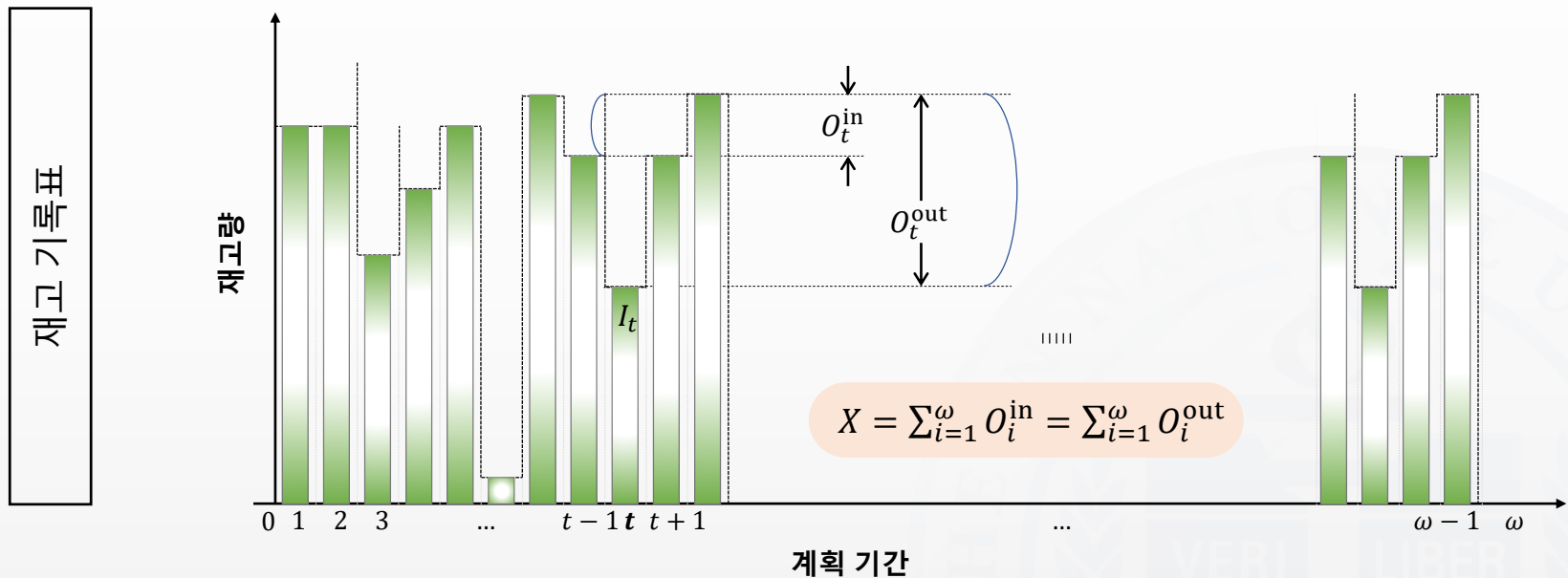
□ 다음조건들이 만족된다면, 특정 노드는 계획기간 동안 항상 비음인 재고량들을 가진다.

- 1) 들어오는 주문과 나가는 주문이 각각 p 개와 q 개가 존재하고, 각 주문은 고정된 1회 주문량과 재주문 주기가 정해져 있다.
- 2) 들어오는 주문 $i(i = 1, 2, \dots, p)$ 는 최초 $t = 1$ 에 배송이 완료되고 나가는 주문 $j(j = 1, 2, \dots, q)$ 는 최초 $t = T_j^{\text{out}}$ 에 배송이 완료된다.
- 3) 들어오는 주문들의 총량과 나가는 주문들의 총량이 같다. i.e., $(\sum_{i=1}^p X_i^{\text{in}} = \sum_{j=1}^q X_j^{\text{out}})$.



성질 1 - 단일제품 시스템에서의 재고시스템 (Discrete)

예시) 이산 재고시스템에 대한 일반적인 재고 기록표



$$I_0 = 0 \quad I_1 = I_0 + O_1^{\text{in}} - O_1^{\text{out}} \quad \dots \quad I_t = I_{t-1} + (O_t^{\text{in}} - O_t^{\text{out}}) = \sum_{a=1}^t (O_a^{\text{in}} - O_a^{\text{out}})$$

성질 1 - 단일제품 시스템에서의 재고시스템 (Discrete)

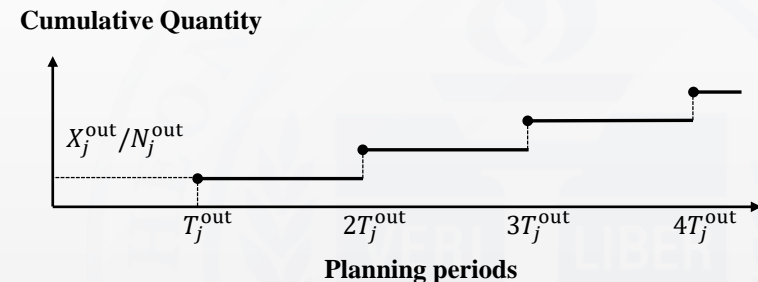
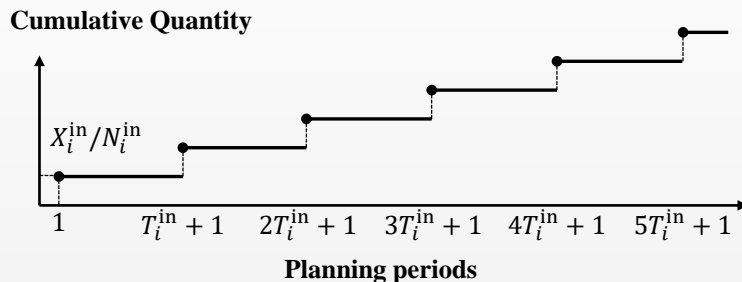
• 성질 1의 증명 (Woo and Kim (2017))

기간 t 때 재고수준에 대한 함수를 $f(t)$,

기간 t 때 들어오는 주문 i (나가는 주문 j)의 배송량에 대한 함수를 각각 $g(i,t)$, $h(j,t)$ 라 한다면
다음이 성립한다.

$$g(i, t) = \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}} \left\lfloor 1 + \frac{t-1}{T_i^{\text{in}}} \right\rfloor$$

$$h(j, t) = \frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}} \left\lfloor \frac{t}{T_j^{\text{out}}} \right\rfloor$$



$$f(t) = \sum_{i=1}^p g(i, t) - \sum_{j=1}^q h(j, t)$$

성질 1 - 단일제품 시스템에서의 재고시스템 (Discrete)

• 성질 1의 증명 (Woo and Kim (2017))

그런데 식을 정리하면 다음이 만족되므로 증명된다.

$$f(t) = \sum_{i=1}^p \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}} \left\lfloor 1 + \frac{t-1}{T_i^{\text{in}}} \right\rfloor - \sum_{j=1}^q \frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}} \left\lfloor \frac{t}{T_j^{\text{out}}} \right\rfloor$$

$$= \sum_{i=1}^p \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}} \left[1 + \left\lfloor \frac{t-1}{T_i^{\text{in}}} \right\rfloor \right] - \sum_{j=1}^q \frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}} \left[\left\lfloor \frac{t}{T_j^{\text{out}}} \right\rfloor \right] \quad \leftarrow [1+a] = 1 + [a]$$

$$= \sum_{i=1}^p \left[\frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}} + \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}} T_i^{\text{in}}} \left\{ T_i^{\text{in}} \left\lfloor \frac{t-1}{T_i^{\text{in}}} \right\rfloor + \underline{(t-1) - (t-1)} \right\} \right] - \sum_{j=1}^q \left[\frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}} T_j^{\text{out}}} \left\{ T_j^{\text{out}} \left\lfloor \frac{t}{T_j^{\text{out}}} \right\rfloor + \underline{t-t} \right\} \right]$$

$$= \sum_{i=1}^p \left[\frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}} - \frac{X_i^{\text{in}} \{(t-1) \bmod T_i^{\text{in}}\}}{N_i^{\text{in}} T_i^{\text{in}}} + \frac{X_i^{\text{in}} (t-1)}{N_i^{\text{in}} T_i^{\text{in}}} \right] - \sum_{j=1}^q \left[-\frac{X_j^{\text{out}} \{t \bmod T_j^{\text{out}}\}}{N_j^{\text{out}} T_j^{\text{out}}} + \frac{X_j^{\text{out}} \cdot t}{N_j^{\text{out}} T_j^{\text{out}}} \right] \quad \leftarrow a \bmod b = a - b \left\lfloor \frac{a}{b} \right\rfloor$$

$$= \left(\sum_{i=1}^p \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}} - \frac{X}{\omega} \right) - \sum_{i=1}^p \left[\frac{X_i^{\text{in}} \{(t-1) \bmod T_i^{\text{in}}\}}{\omega} \right] + \sum_{j=1}^q \left[\frac{X_j^{\text{out}} \{t \bmod T_j^{\text{out}}\}}{\omega} \right] \geq 0 \quad \leftarrow 0 \leq a \bmod b \leq b-1$$

성질 2 - 확장 재고 시스템 (Continuous)

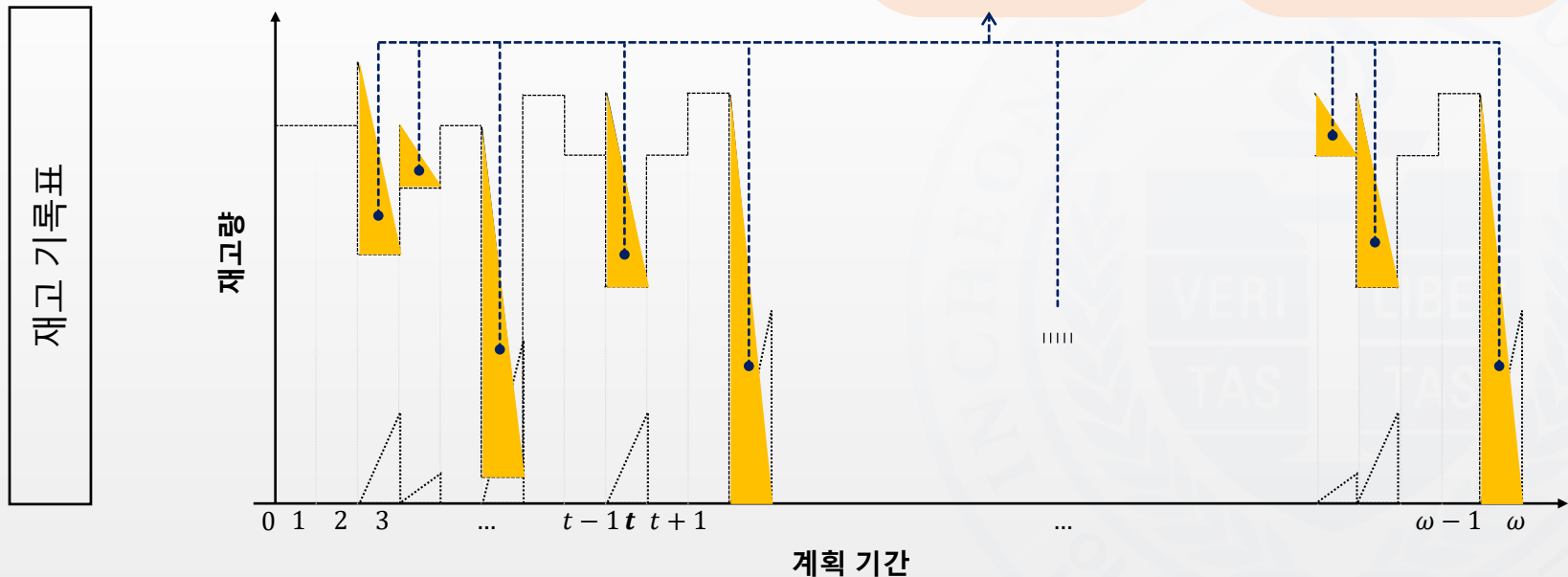
□ 모든 제품의 생산은 배송 하루 직전에 시작되며 생산율은 무한하다는 가정상황에서,

목적 생산물의 누적 재고량은 $\sum_{i=1}^p X_i^{\text{in}} \frac{(T_i^{\text{in}} + \omega)}{2} - \sum_{j=1}^q X_j^{\text{out}} \left(\frac{\omega - T_j^{\text{out}}}{2} + 3 \right)$ 이다.

예시) 연속 재고시스템에 대한 일반적인 재고 기록표

$$\sum \triangle = \sum_{a=1}^{\omega} \frac{O_a^{\text{out}}}{2}$$

$$\sum \triangle = \sum_{a=1}^{\omega} \alpha \times \frac{O_a^{\text{out}}}{2}$$



성질 2 - 확장 재고 시스템 (Continuous)

□ **부명제 1**, 성질 1의 조건이 만족된다면,

$t = \omega$ 에서 들어오는 주문 i 와 나가는 주문 j 의 누적주문량의 합계는 각각

$$\sum_{t=1}^{\omega} g(i, t) = X_i^{\text{in}} \frac{(T_i^{\text{in}} + \omega)}{2}, \quad \sum_{t=1}^{\omega} h(j, t) = X_j^{\text{out}} \left(\frac{\omega - T_j^{\text{out}}}{2} + 1 \right) \text{ 이다.}$$

• 부명제 1의 증명

주문 i 의 누적주문량 수열: $\underbrace{\frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}}, \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}}, \dots, \frac{X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}}}_{T_i^{\text{in}} \text{개}}, \underbrace{\frac{2X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}}, \frac{2X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}}, \dots, \frac{2X_i^{\text{in}}}{N_i^{\text{in}}}}_{T_i^{\text{in}} \text{개}}, \dots, \underbrace{X_i^{\text{in}}, X_i^{\text{in}}, \dots, X_i^{\text{in}}}_{T_i^{\text{in}} \text{개}}$

주문 j 의 누적주문량 수열: $\underbrace{0, \dots, 0}_{(T_j^{\text{out}} - 1) \text{개}}, \underbrace{\frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}}, \frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}}, \dots, \frac{X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}}}_{T_j^{\text{out}} \text{개}}, \dots, \underbrace{\frac{(N_j^{\text{out}} - 1)X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}}, \frac{(N_j^{\text{out}} - 1)X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}}, \dots, \frac{(N_j^{\text{out}} - 1)X_j^{\text{out}}}{N_j^{\text{out}}}}_{T_j^{\text{out}} \text{개}}, X_j^{\text{out}}$

T_i^{in} (혹은 T_j^{out})개의 중복된 등차수열이 존재하기 때문에 등차수열의 합 공식으로 증명된다.

성질 2 - 확장 재고 시스템 (Continuous)

• 성질 2의 증명

부명제 1에서 증명된 (a) 들어오는 주문과 나가는 주문의 누적 주문량의 합계의 차와
예시에서 일반화한 네트워크 (b) 계획 기간 중 연속 재고시스템의 재공재고의 합을 고려하면,

$$(a): \sum_{i=1}^p X_i^{\text{in}} \frac{(T_i^{\text{in}} + \omega)}{2} - \sum_{j=1}^q X_j^{\text{out}} \left(\frac{\omega - T_j^{\text{out}}}{2} + 1 \right) \quad (b): \sum_{a=1}^{\omega} \frac{O_a^{\text{out}}}{2} \quad \left(= \sum \triangle \right)$$

이고, 이때 (a)는 이산 재고시스템의 누적 재고량과 같다.

연속 재고시스템의 누적 재고량을 계산하기 위해 (a)에 대한 덧셈 (b)를 고려하면,

$$\sum_{i=1}^p X_i^{\text{in}} \frac{(T_i^{\text{in}} + \omega)}{2} - \sum_{j=1}^q X_j^{\text{out}} \left(\frac{\omega - T_j^{\text{out}}}{2} + 3 \right)$$

이 되어 간단하게 증명된다.

Formulations

• 목적함수

총 주문비:

$$ODC = \sum_{i \in IUJ} \sum_{j \in IUJ \setminus i} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \sigma_m \cdot \chi_m \cdot Y_{ijkm} \quad (1)$$

총 운송비:

$$TPC = \sum_{i \in G} \sum_{j \in G \setminus i} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \left(\frac{\partial_{km}^A \cdot \Lambda_{ij}}{\theta_{km}} + \partial_{km}^B \right) \cdot X_{ijkm} + \sum_{i \in G} \sum_{j \in G \setminus i} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \left(\frac{\varphi_{km}^A \cdot \Lambda_{ij}}{\theta_{km}} + \varphi_{km}^B \right) \cdot Y_{ijkm} \quad (2)$$

총 재고비:

$$IHC = \sum_{i \in I} IHC_i^{WIP} + \sum_{i \in IUJ} IHC_i^P \quad (3)$$

$$IHC_i^{WIP} = \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \delta_k \left[\sum_{j \in G \setminus i} \left\{ X_{ijkm} \frac{(c_m + \omega)}{2} \right\} - \sum_{j \in IUJ \setminus i} \left\{ X_{ijkm} \left(\frac{\omega - c_m + 3}{2} \right) \right\} \right], \forall i \in I \quad (4)$$

$$IHC_i^P = \sum_{j \in IUJ \setminus i} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \delta_k \left\{ \frac{X_{ijkm}}{2} \right\}, \forall i \in I \quad (5)$$

$$IHC_i^P = \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} \delta_k \left[\sum_{j \in IUJ \setminus i} \left\{ X_{ijkm} \frac{(c_m + \omega)}{2} \right\} - \sum_{j \in IUJ \setminus i} \left\{ X_{ijkm} \left(\frac{\omega - c_m}{2} + 1 \right) \right\} - \left\{ \rho_i \cdot \omega \cdot \frac{(\omega + 1)}{2} \right\} \right], \forall i \in J \quad (6)$$

*성질 2

총 시설 투자비:

$$FIC = \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \varphi_l \cdot Z_{il} \quad (7)$$

총 운영비:

$$OPC = \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \sum_{k' \in K} \alpha_{lkk'} \cdot W_{ilkk'} \quad (8)$$

Formulations

• MILP 모델

Minimize $TNC = ODC + TPC + IHC + FIC + OPC$ (9)

subject to [흐름 밸런스 제약식] [시설 선택 제약식], [재주문 주기 제약식]

$$X_{ijm} \geq 0, \quad \forall k = 1, 2, \dots, n-1, \forall i \in I_k, \forall j \in I_{k+1}, \forall m \in M \quad (10)$$

$$Y_{ijm} \in \{0, 1\}, \quad \forall k = 1, 2, \dots, n-1, \forall i \in I_k, \forall j \in I_{k+1}, \forall m \in M \quad (11)$$

$$Z_{il} \in \{0, 1\}, \quad \forall k = 1, 2, \dots, n-1, \forall i \in I_k, \forall l \in L_k \quad (12)$$

Research Plan

• 연구 성과

- 1) 공급사슬 문제에 재주문주기와 재고수준과 같은 구체적인 운영계획을 고려하였다.
- 2) 복수의 주문들을 고려한 복잡한 상황에서 재고수준에 대한 성질을 알아냈다.
- 3) 복수의 제품의 복수의 생산물 경로를 고려 통합 공급사슬 문제를 제안하였다.
- 4) 알아낸 성질들에 기반하여 MILP 모델을 제안하였다.

• 향후 연구

- 1) 운송주기뿐만 아니라 복수의 운송수단을 고려하는 문제상황으로 확장해본다.
- 2) 제안된 MILP 모델을 이용하여 사례연구를 수행해본다.
- 3) 계절성이 존재하는 현실적인 수요를 고려하기 위한 방법론을 개발한다.

2017 한국SCM학회 춘계컨퍼런스



복합적인 제품생산경로가 고려되는 공급사슬네트워크에서 다양한 제품들의 연속적 재고수준에 관한 연구

Incheon National University

Young-Bin Woo and Byung Soo Kim*

Acknowledgment. This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (Grant number: NRF-2016R1C1B2010224).