

신뢰성 이론을 이용한 공급 사슬 시스템의 평가 척도에 관한 연구

A Performance Measure for Supply Chain System using Reliability Theory

조민관¹⁾

Cho, Min Kwan

이영해²⁾

Lee, Young Hae

Abstract

The primary objective of Supply Chain Management (SCM) is to optimize the cash, material and information flow for satisfying customer demands through coordinating the relationship between Supply Chain components such as suppliers, manufacturers, and inventories, etc. By Supply Chain Planning (SCP), operation tasks or goals, should be done in specific due date, are ordered to each SC component for achieving such objective. However, the achievement for operation tasks or goals is affected by uncertainties in SC. In general, reliability theory is explained as the probability that a product or system will perform its specified function under prescribed conditions without failure for a specified period of time. Therefore, the reliability of SC can be defined as the probability that SC will satisfy customer demands until the specific due date. In this paper, a basic framework to evaluate reliability is respectively proposed as supply chain components, and then a overall framework to estimate the reliability for SC is also proposed.

1. Introduction

Supply Chain Management(SCM)은 원자재의 조달에서부터 생산을 거쳐 고객에게 판매되기까지의 전 과정에 걸친 개체간의 수요와 공급의 사슬관계를 의미하는 Supply Chain(SC)에 대한 정보, 자금, 물류의 흐름을 관리 및 통제하는 것을 의미한다. 그리고, 이러한 SCM을 실현하기 위하여 수립하는 일련의 계획을 Supply Chain Planning(SCP)라 하며, 이러한 SCP는 궁극적으로 고객 욕구 만족을 지향하고 있다. 그러나, 이러한 SCP의 실행은 SC내부의 불확실한 요소들(uncertain factors)의 영향을 받게 된다. 즉, SC

1 한양대학교 산업공학과 박사과정

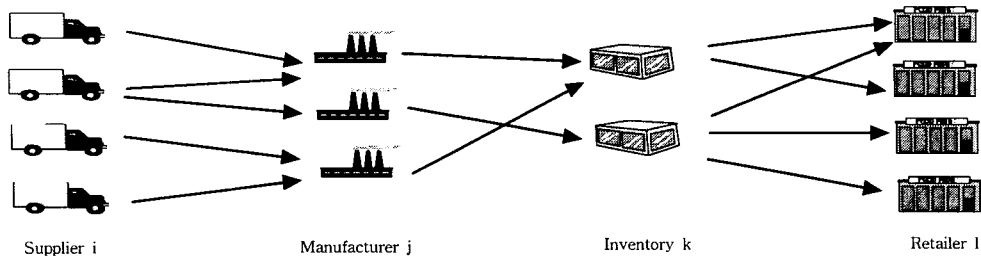
2 한양대학교 산업공학과 교수

의 불확실한 요소들로 인하여 SCP의 기대 효과를 얻을 수 없게 되고, 결과적으로 고객 요구 만족을 실현할 수 없게 된다는 것이다. 그러므로, 본 연구에서는 SC 내부의 불확실한 요소들을 규명하고, 이러한 요소들이 SC의 기대성과 고객 요구 만족에 미치는 영향의 정도를 신뢰성 이론을 이용하여 측정 및 분석할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. Decision Variables and Uncertain factors for SC

2.1 SC structure

SC구조는 기업의 생산 전략 및 공정에 따라 달라질 수 있지만, 기본적인 구조는 [그림2.1]과 같다.



[그림2.1] 기본적인 SC 구조

즉, SC은 Supplier i ($i=1, \dots, m$), Manufacturer j ($j=1, \dots, n$), Inventory k ($k=1, \dots, o$), 그리고, Retailer l ($l=1, \dots, p$)로 구성되어 있으며, 이러한 SC의 구성 요소들을 Supply Chain Component(SC Component)라고 한다. 이러한 SC Component간에는 물류적 관점에서 배송 및 운송(Delivery)의 관계가 존재한다고 할 수 있다.

이러한 구조를 갖는 SC을 분석하기 위한 기본적인 가정은 다음과 같다.

- a. 대상 제품의 종류는 단일 제품이며, 생산 전략은 Make To Stock 방식임
- b. SC 내부의 Inventory에 대한 운영 정책은 정기 조사 정책(period review policy)을 따르며, 운영을 위한 재고 수준은 사전에 결정되어 있음. 즉, (R,S) 정책임
- c. Manufacturer의 주요한 생산 공정은 안정상태에 있으며, 이들의 생산 능력은 하청(subcontracting)을 고려하지 않더라도, 고객의 수요를 만족할 수 있음
- d. Manufacturer는 선행 Inventory에 대하여 주기적으로 제품을 공급하며, 그 공급량은 Inventory의 주문량(ordered volume)에 의해 결정됨
- e. 제품 생산을 위한 부품 및 원자재는 외부의 공급업자(supplier)로부터 공급됨
- f. 주문 처리의 우선순위는 선입선출(FIFO: First In First Out)원칙을 따르며, 동일 시간에 수주 받은 주문은 동일한 우선순위를 가짐

2.2 Decision variables for SC

SCP는 원자재 및 부품의 수급 계획, 제품 생산 계획, 그리고 완제품의 고객에 대한 배송 계획과, 각 SC components 간의 재고 정책을 대상으로 하는 수학적 모델로 수립

되어 진다. 이러한 수학적 모델은 특정 기간이나 혹은 납기 시간까지 각각의 SC component가 충족해야 할 산출량(Output)과 물류 흐름의 목표로 설정될 SC component(Target)에 대한 변수로서 표현되는 것이 일반적이다. 결국, SCP는 SC의 가능한 자원 및 능력(부품 재고, 완제품 재고, 생산 능력, 운송능력, 배송 능력 등)을 효율적으로 할당하는 자원 할당 모형(Resource assignment model) 또는 자원 배치 모형(Resource deployment model)의 한 형태라고 할 수 있다. 이런 모형에 대한 대표적인 연구로서 Cohen과 Moon이 EOQ(Economic Order Quantity)를 기반으로 제시한 혼합 정수 비선형 (Mixed integer, non-linear) 모형이 있다. 해당 연구에서는 다음 4가지 사항을 해당 모형의 해로서 제시하고 있다[5].

- a. 운영할 Manufacturer 와 Inventory의 선택
- b. Supplier에 대한 원자재 및 부품 주문량 결정
- c. Manufacturer에 대한 제품 생산량 결정
- d. Manufacturer의 DC와 Retailer에 대한 배송량 결정

위와 같은 대안은 궁극적으로 SC을 운영에 대한 일련의 방향성을 제시한다고 볼 수 있다. 그렇기 때문에, 본 연구를 위해 Cohen과 Moon이 제시한 해를 SC운영을 위한 기본적인 변수로 간주하겠다.

2.3 Uncertain factors in SC

System운영에 대한 특정 대안을 실제 System 운영에 적용할 경우, 운영 대안의 효과가 기대치에 못 미치는 경우가 대부분이다. 그러한 이유는 System 내부에 존재하는 불확실성 요소들 때문이다. 이러한 불확실성 요소들의 성향은 고정적이지 않고, 무작위(Random)적인 성질에 기반을 두고 있기 때문에, 그 행동 성향을 예측하기 어렵다. 마찬가지로, SC에는 다양한 불확실성 요소들이 내재되어 있고, 이러한 요소들은 SCP 실행에 악영향을 주어 기대효과를 감소시키는 결과를 낳는다. SC 내부의 대표적인 불확실성 요소들을 정리하면 [표2.1]과 같다.

표2.1 SC 내부의 대표적인 불확실성 요소들

Supplier	-부품 생산 lead time -부품 및 원자재의 불량률
Manufacturer	-제품 생산 lead time -생산 제품의 불량률
Inventory	-재고 보유량

SC 내부에 존재하는 불확실한 요소들은 크게 시간(Time)과 양(Volume)에 관계된 것으로 분류할 수 있다. 이와 같은 불확실성 요소들은 SC 운영에 악영향을 미치게 되며, 이러한 영향으로 SC 운영 대안에 대한 기대성능이 저하된다. 즉, 이런 영향력은 고객에 대한 제품 납기일이나, 납기량을 준수하지 못하게 되는 현상으로 나타나게 된다.

3. Reliability in SC

3.1 Definition of Reliability for SC

System 성능에 대한 효과성을 평가하기 위한 척도로 신뢰성(Reliability)이라는 개념이 있다. 이러한 신뢰성은 일반적인 System에서의 신뢰성은 시스템이 규정된 운용조건 하에서 일정 시간 동안 그 기능을 만족스럽게 수행할 확률을 의미한다[1].

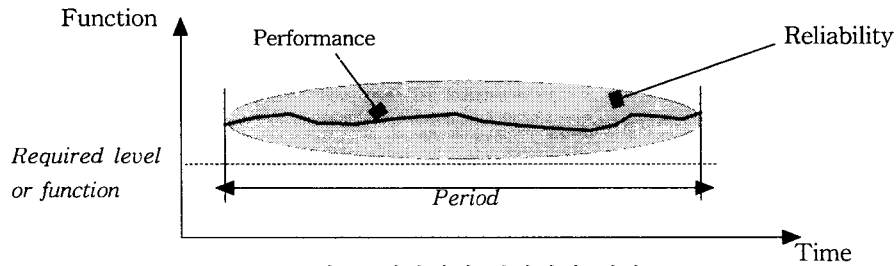


그림3.1 일반적인 신뢰성의 개념

SC의 성능 또는 효과성 정도는 고객이 요구하는 납기일(Due-date)에 요구하는 수량(Volume)의 제품을 전달할 수 있는가에 의존한다고 할 수 있다. 즉, SCP에 의해 결정되어 지는 목표 또는 기능에 대한 각 SC component의 만족정도가 SC 성능에 영향을 준다는 것이다. 이러한 의미는 SC component의 목표 성취 정도가 높을수록, 고객에 대한 납기 준수 정도 역시 높아진다는 것을 암시한다. 그렇기 때문에, 이러한 SC의 속성은 신뢰성 이론으로 분석가능 하다고 할 수 있다. 신뢰성 이론을 바탕으로 SC을 분석하기 위하여, 일반 시스템과 Supply Chain System(SC System)을 비교하면 [표3.1]과 같다.

표3.1 신뢰성 관점에서의 일반 System과 SC System의 비교

General System	Supply Chain System
<i>Required level or function</i>	<i>Ordered volume customer required</i>
<i>Period</i>	<i>Due-date customer hoped</i>
<i>Performance</i>	<i>Capability to satisfy customer order</i>

위의 사실을 고려한다면, 대상 SC의 고객 주문에 대한 납기 준수 정도를 Supply Chain Reliability(SCR)라고 할 수 있다[그림 3.2].

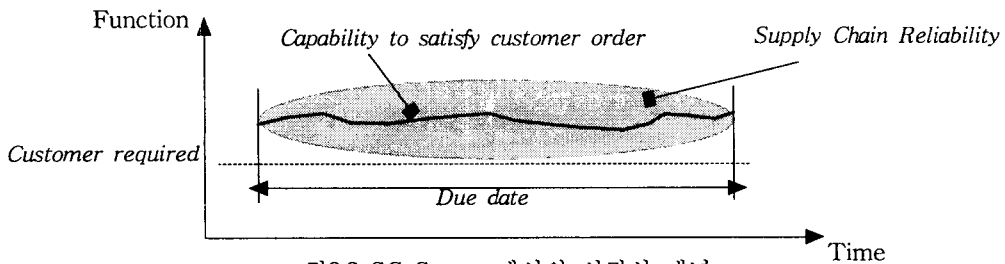


그림3.2 SC System에서의 신뢰성 개념

3.2 Comparison of SCR and Order fulfillment

SC의 성능을 평가하는 척도 중 대표적인 척도로서 주문 충족률(Order fulfillment) 이

있다. 이는 전체 수주 받은 주문 중 SC이 만족시킬 수 있는 주문 수의 상대적 비율을 의미한다. 즉, SC을 구성하는 입장에서 SC을 분석하기 위해 사용하는 척도라고 할 수 있다. 하지만, 이와는 다르게 SCR은 고객의 관점에서 SC의 전체적인 능력을 고려하였을 때, 납기일까지 고객의 주문이 만족될 확률을 의미하는 척도라 할 수 있다. 이러한 두 척도의 차이를 예를 들어 비교한다면 [표4]와 같다.

표3.2 SCR과 Order fulfillment의 비교

척도	의미
SCR	0월 0일까지 제품 100개를 요구한 고객의 주문을 만족시킬 확률은 75% 이다.
Order fulfillment	0월 0일 까지 수주 받은 100개의 주문 중 75개(75%)는 만족시킬 수 있다.

3.3 Estimation reliability in SC Component

SC component의 신뢰성을 추정한다는 것은 SCP에 의해 부여되는 기능이나 목표를 해당 component가 성공적으로 수행할 정도를 수치적으로 계산하는 것을 의미한다.

3.3.1 Estimation reliability in supplier

Supplier에 대한 신뢰성은 SCP에 의해 Supplier에게 주문된 부품이나 원자재의 양을 부품 납기 기간에 맞추어 공급해 줄 수 있는 정도를 의미한다. 이러한 Supplier의 납기량과 납기일 준수는 부품 생산 Cycle time의 변동, 부품 불량률 등에 의해 영향을 받는다. 하지만, 실제로 SCP를 운영하는 manufacturer입장에서는 supplier 내부의 불확실성 요소에 대한 정보가 상대적으로 미약하여, 이들의 납기 준수 여부에 대한 평가가 주관적인 믿음을 기반으로 이루어지기 때문에, 일반적인 분포로 표현하기에는 적당하지 않다. 이런 경우에는 Supplier의 납기 준수에 대한 Fuzzy set을 정의하고, 이에 대한 소속 함수(membership function)를 이용하여 신뢰성을 평가 및 측정하는 것이 효과적이다. 따라서, 본 연구에서는 부품 납기일과 부품 납품량 각각에 대하여 D_s =(납기일-실제 납기일), D_v =(납기량- 실제 납기량)를 정의하고, 다음과 같은 Fuzzy set과 소속 함수를 이용하여 Supplier의 신뢰성을 측정하는 방안을 제시하고자 한다.

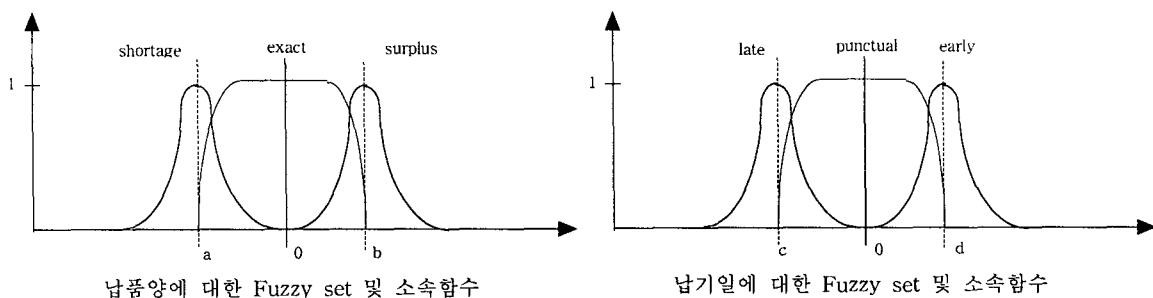


그림 3.3 Supplier에 대한 Fuzzy set 및 소속함수

3.3.2 Estimation reliability in Manufacturer

Manufacturer에 대한 신뢰성은 SCP에 의해 결정된 완제품의 양을 생산 납기일까지 생산할 수 있는 확률을 의미한다. 이러한 확률은 Manufacturer의 생산 능력의 변동, 제

품에 대한 불량률 등에 의해 결정되어진다고 할 수 있다. 이러한 변동을 고려한 manufacturer의 생산 주기시간 동안의 생산 능력은 정규분포형태로 표현될 수 있다.

그렇기 때문에, SCP에 의해 생산 납기일까지 생산해야 하는 양을 a, 변동을 고려한 manufacturer의 생산능력에 대한 확률변수를 X로 표현한다면, 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$P(X \geq a) = 1 - F_x(a) \quad (1)$$

그런데, 본 연구에서는 manufacturer의 생산 능력은 고객의 수요를 충분히 수용할 수 있다고 하였기 때문에, 생산 공정의 평균을 μ , 분산을 σ^2 로 하여, 공정 능력에 대한 변동을 표준정규분포로 형태로 나타내어 표현하는 것이 가능하다.

$$P(X \geq a) = P\left(\frac{x - \mu}{\sigma} \geq \frac{a - \mu}{\sigma}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{a - \mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

이러한 수식의 의미는 공정내의 변동이 manufacturer의 신뢰성에 영향을 주는 것을 의미한다.

3.3.3 Estimation reliability in Inventory

Inventory의 신뢰성은 현재의 재고정책을 고려하였을 경우, 고객이 원하는 제품의 수량을 임의의 납기 시간에 정확히 공급할 수 있는 정도를 의미한다. 이러한 특정시점에서의 재고량은 재고 보충기간, 보충량, 고객 수요 변동, 그리고, 고객 주문 간의 우선순위 등에 영향을 받는다. 결국, Inventory에서의 신뢰성은 이러한 요건들을 고려하였을 때, 고객납기를 위한 임의의 시점에서 고객 요구량보다 재고량이 많거나 같을 확률을 의미한다고 할 수 있다. 그렇기 때문에, 재고 보충 후 임의의 고객 납기 전까지의 고객의 수요를 x 라 하고, 이에 대한 확률 밀도 함수를 $f_x(x_0)$ 라 하고, 임의의 고객의 주문을 o, 그리고, 이 고객의 수요보다 우선순위를 갖는 주문을 b 라고 했을 때, Inventory의 신뢰성은 수식(3)에 의해 산출할 수 있다.

$$R(i) = P(S - d - x \geq o) = P(S - d - o - x \geq 0) = P(rS - x \geq 0): rS = S - d - o$$

$$= P(rS \geq x) = P(x \leq rS)$$

$$\text{where, } P(x \leq rS) = \int_0^{rS} f_x(x_0) dx_0 \quad (3)$$

결국 식(3)의 의미는 임의의 납기 시간 전까지의 예상 총 주문 수 보다, 납기 당시의 실제 재고 보유량이 많을 확률을 의미한다.

3.4 Estimation reliability in SC

실제 재고 보유량이 많을 확률을 의미한다.

3.4 Estimation reliability in SC

SC전체에 대한 신뢰성은 SC component 각각의 신뢰성에 의존하며, 물류 흐름에 따른 시간적 순서가 존재한다. 그렇기 때문에, SC component들에 대한 납기일은 물류 흐름의 역방향으로 진행되는 Backward Scheduling 방법으로 결정하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

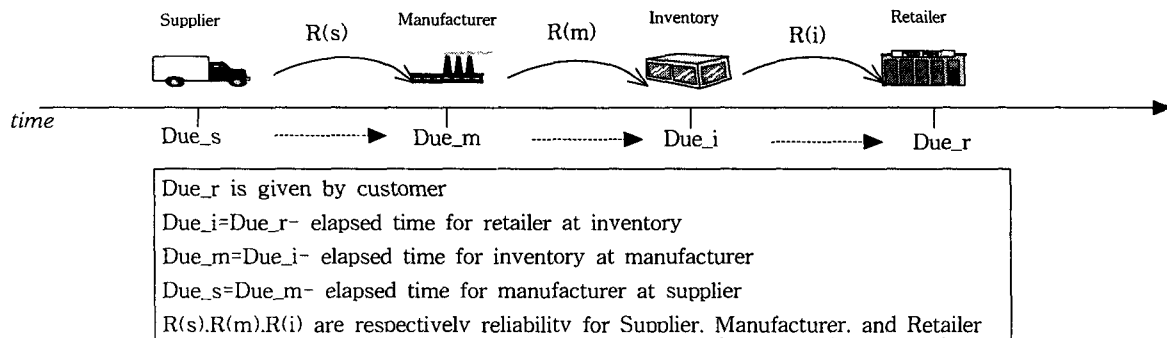


그림 3.4 SC 내부의 신뢰성과 납기일의 관계

이러한 상황을 정리해 보면, 고객 납기 만족을 위해서는 각 SC component들이 시간순서대로 목표 및 기능을 성공적으로 수행해야 함을 알 수 있다. 또한, 각 SC component들의 목표 및 기능 수행 자체는 독립적으로 이루어지는 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에, 특정 고객에 대한 SC의 신뢰성은 각 SC component에 대한 신뢰성에 대한 곱의 형태로 산출할 수 있으며, 이러한 관계는 수식(4)으로 표현될 수 있다.

$$R(SC) = R(s) \times R(m) \times R(i) \tag{4}$$

식(4)의 의미를 고찰하여 보면, 납기일에 고객 주문이 성공적으로 만족되기 위해서는 모든 SC component들이 SCP에 의해 주어진 기능 및 목표를 충실히 수행되어야 함을 의미한다고 할 수 있다.

4. Conclusion

본 연구에서는 신뢰성 이론을 바탕으로, SC의 성능을 측정할 수 있는 새로운 척도와 이를 측정하기 위한 방법 안을 제시하였다. SC 내부의 다수의 불확실성 요소를 고려해 본다면, 본 연구에서 제시하는 척도의 중요성은 매우 높다고 할 수 있다. 추후 연구를 생각해 본다면, 다양한 각본(Scenario)을 기반으로 한, Simulation을 통하여, 본 논문에서 제시하고자 하는 SC의 신뢰성과 다른 성능 척도와의 관계를 모색할 필요가 있다. 또한, SC의 신뢰성을 바탕으로 하여 SCP나 Supply Chain의 최적화에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다.

5. Reference

- [1]대한산업공학회; 산업공학 용어사전, 청문각, 서울, pp.194,1992
- [2]Beamon, B.M.; “Supply Chain design and analysis: Models and Method” , International Journal of Production Economics, Vol 55: 281-294, 1998
- [3]Escudero ; “Schumann, a modeling framework for supply chain management under uncertainty” , European Journal of Operational Research, Vol 119: 14-34, 1999
- [4]Lakhal, S., et.al ; “On the optimization of supply chain networking decisions” , European Journal of Operational Research, Vol 129: 259-270, 1999
- [5]M.A Cohen, S.Moon ; “Impact of production scale economics, manufacturing complexity, and transportation costs on supply chain facility networks, Journal of Manufacturing and Operations Management, Vol 3 ;269-292, 1990
- [6]Petrovic, D. ; “Simulation of supply chain behavior and performance in an uncertain environment” , International Journal of Production Economics, Vol 55 ;429~438, 2001