

자동차 차체공장에서 서브라인의 추가와 버퍼의 할당이 시스템 효율에 미치는 영향*

문덕희[†] · 남예슬^{**} · 신양우^{***}

*창원대학교 산업조선해양공학부 · **창원대학교 대학원 친환경해양플랜트 FEED 전공 · ***창원대학교 통계학과

Effects of Additional Sub-lines and Buffer Allocation on the System Performance in an Automotive Body Shop

Dug Hee Moon[†] · Ye Seul Nam^{**} · Yang Woo Shin^{***}

*School of Industrial Engineering and Naval Architecture, Changwon National University

**Department of Eco-friendly Marine Plant FEED Engineering, Graduate School, Changwon National University

***Department of Statistics, Changwon National University

Body shop in an automotive factory consists of many sub-lines, and the sub-lines are merged in many assembly operations. There is no buffer in a sub-line and finite buffers are allowed between two successive sub-lines due to the limited space and investment cost. To design a body shop, the layout concepts based on welding technologies and the material handling systems should be considered and optimized. Two types of layout concepts and two part transfer policies in a sub-line are compared by simulation. Optimal buffer allocation problem is also considered for increasing the production rate of the system.

Keywords: Automotive Body Shop, Layout, Transfer Policy, Buffer Allocation, Simulation

* This research is financially supported by Changwon National University in 2015~2016, and the earlier version has been presented in the 2016 Spring Conference of the Korean Society of Supply Chain Management.

† **Corresponding author:** School of Industrial Engineering and Naval Architecture, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon, Gyeongsangnam-do, 51140, Korea. Tel: +82-55-213-3723, E-mail: dhmoon@changwon.ac.kr

Received : 22 September 2016, **Accepted :** 6 October 2016

1. 서론

자동차 차체공장 (Body Shop)은 프레스공장 (Press Shop)에서 생산된 각종 부품들을 용접 공정을 이용하여 조립함으로써 자동차의 골격을 만드는 공장이다. 차체공장은 일반적으로 15~20개의 서브라인(Sub-line)으로 구성되는데 각 서브라인은 흐름라인으로 구성되며, 공간의 제약으로 인하여 버퍼(Buffer)를 허용하지 않는다. 반면에 서브라인 간에는 대차나 컨베이어를 이용하여 물류이송을 담당하도록 하며, 동시에 서브라인 사이의 재공품 저장공간 역할을 수행한다 (Moon et al., 2006; Kim et al., 2015). 특히 차체공장에서 보편적으로 사용하는 컨베이어의 경우에는 공간활용 효율을 위해 모노레일 (Electric Monorail)을 사용하는데, 개당 비용이 고가이기 때문에 용량을 무작정 늘일 수가 없다.

이와 같은 자동차 차체공장에 대해 그 동안 여러 편의 논문이 발표된 바가 있는데 주로 시뮬레이션을 이용하여 특정 차체공장의 설계안을 개선하거나 운영시스템을 검증하는 내용과 대기행렬이론 (Queueing Network Theory)과 같은 수리적 분석을 통해 시스템의 효율을 계산하는 내용으로 구분된다. 시뮬레이션을 이용하여 특정한 차체공장을 분석한 연구로는 Ulgen et al. (1994), Spieckermann et al. (2000), Kahan et al. (2009) 등의 논문이 있다. Moon et al. (2006)은 국내의 한 자동차 차체공장을 대상으로 차체공장의 설계절차를 정의하고, 3D 시뮬레이션을 이용하여 설계분석을 수행한 사례연구를 발표하였다.

제조시스템 설계 (Manufacturing System Design)분야에 수리적 기법을 적용한 연구들은 흐름라인에 대한 분야가 대표적이다. 이들은 주로 시스템의 생산량(Throughput)을 예측하는 연구이며, 일부 제한적인 조건 하에서만 체류시간(Flow Time)을 예측하는 연구를 수행하였다. 하지만 기본적으로 수리적 접근을 통하여 복잡한 생산시스템을 분석하는 것은 한계가 있기 때문에 기계가 2대 혹은 3대인 경우를 제외하고는 근사적 방법 (Approximation)을 이용하여 시스템 성능을 예측하고 있다. 근사적 방법으로는 Decomposition 방법과 (Gershwin, 1994), Aggregation 방법(Li and Meerkov, 2009)이 주로 사용되고 있다. 그런데 Approximation방법을 적용할 때 라인의 길이가 길어지거나 공간간 버퍼가 적은 경우에는 근사해법의 정확도가 많이 떨어진다. 따라서 최근에는 흐름라인보다 좀 더 복잡한 시스템에서 근사해법의 정확도를 높이는 연구들이 수행되고 있는데, 병렬기계로 구성된 흐름라인에서 생산량의 예측정도를 높이는 연구가 최근에 발표되었다 (Shin and Moon, 2014).

조립라인의 경우는 흐름라인보다 좀 더 구조가 복잡하기 때문

에 수리적 분석이 쉽지 않다. 생산량에 대해 정확한 해 (Exact Solution)를 구한 연구들은 조립공정 1개에 대한 것이 대부분이며, 복잡한 형태의 조립라인에 대해서는 Overlapping 방법을 이용한 근사해법에 대한 연구가 일부 있다. 하지만 마르코프 과정을 이용하는 데 한계가 있기 때문에 연속흐름(Continuous Flow) 개념을 활용하여 간접적으로 효율을 예측한 연구도 있다 (Li and Meerkov, 2009).

본 연구의 주제와 관련된 또 하나의 문제는 버퍼의 최적할당 (Optimal Buffer Allocation)에 대한 문제다. 흐름라인에서 생산량을 높이는 방법으로 버퍼를 최적으로 할당하는 문제는 NP-hard 문제로 알려져 있다. 그동안 많은 연구들이 진행되어 왔는데 대부분이 우수한 할당 알고리즘을 찾는 문제들로서 탐색방법 (Search Algorithm), 유전자이론(Genetic Algorithm), 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing) 등 다양한 메타휴리스틱 (Meta Heuristic)방법과 동적계획법 (Dynamic Programming)들을 사용하고 있다. 이 분야의 연구들은 Chan and Ng(2002), Amiri and Mohtashami(2012), Papadopoulos et al.(2013), Demir et al. (2014), Weiss et al.(2015) 등의 논문에 상세하게 분석되어 있다. 또한 최적 버퍼할당을 보다 빠르게 할 수 있는 다른 경험적 접근방식으로 Arrow Assignment Rule(Li and Meerkov, 2009; Li et al., 2010; Wang et al., 2017), Active Period Method (Kwon and Lim, 2013) 등도 제시된 바가 있다.

조립라인에서 버퍼의 최적 할당을 다룬 연구는 기본적으로 흐름라인의 버퍼 할당 문제와 문제해결의 방법론은 유사하다. 다만 생산량, 체류시간 등 목적함수의 값을 구하는 방법이 훨씬 복잡할 뿐이다.

따라서 시스템이 복잡해지면 수리적 모형으로 접근하는데 한계를 가지게 되므로 시뮬레이션을 이용하여 목적함수의 값을 구하는 경우가 많다. 하지만 시뮬레이션을 이용할 경우에는 목적함수의 값을 구하는데 소요되는 시간이 매우 길어질 뿐만 아니라 시뮬레이션 결과의 임의성(Randomness)때문에 최적해 근방에서는 의외의 결과가 나오는 경우도 있다. 예를 들어서 생산량의 경우 버퍼가 증가하면 이론적으로 목적함수의 값이 동일하게 유지되거나 증가해야 하지만 시뮬레이션 결과는 미세하게 감소하는 경우도 발생할 수 있다. 어찌되었든 복잡한 시스템에 대해 수리모형의 근사해법으로 목적함수를 구하는 방법이나 시뮬레이션에 의해 구하는 방법이나 오차를 포함할 수밖에 없다. 다만 최적해 근방에서 목적함수의 증가폭은 매우 미미하기 때문에 근사해의 오차보다는 시뮬레이션의 오차가 작다고 하겠다.

최근에는 목적함수를 생산량과 같은 시스템의 효율을 극대화하는 문제에서 탈피하여 생산량, 버퍼 투자비, 재공품 비용 등이

결합된 이익 최대화, 또는 비용 최소화 문제로 확대하기 위해 최적 버퍼를 할당하는 문제들이 다루어지고 있다. 이 분야의 연구로는 각 작업장의 공정시간들 사이에 균형이 이루어지지 않은 흐름라인을 대상으로 한 연구 (McNamara et al., 2013), 공정시간에 균형을 이루어지고 있지만 병렬구조를 가지는 흐름라인을 대상으로 한 연구 (Wang et al., 2015) 등이 있다. 또한 Bertazzi (2011)는 두 개의 흐름라인에서 생산된 제품이 조립되는 시스템에 대해 생산지연비용을 줄이기 위해 버퍼의 크기를 결정하는 문제를 수리적으로 다루었다. Nahas et al. (2014)은 조립/분해 라인에 대해 확률모형과 유전자이론을 결합하여 비용을 최소화하기 위한 최적 버퍼할당문제를 다루었다.

자동차공장이나 반도체나 전자제품 생산공장의 경우 기본적으로 직렬라인이면서 부분적으로 병렬라인을 혼합한 형태이며, 자동차 차체라인의 경우는 기본적으로 조립라인이면서 각 부분 조립라인 (Sub-Line)은 직렬라인의 특수한 형태인 트랜스퍼 라인(Transfer Line)이다. 트랜스퍼 라인은 공정간에 버퍼가 없고, 라인 전체가 연동되어 있는 경우가 일반적이다.

Kim et al. (2015)는 Layered Build 방식과 Modular Build 방식이라는 두 종류의 차체조립공정 방식에 따라 서로 다른 두 종류의 차체공장 설계안에 대해 다양한 형태의 고장분포가 생산성에 미치는 영향을 시뮬레이션을 이용하여 비교분석하였다. Wang (2014)은 차체공장을 대상으로 생산량(Throughput), 버퍼 투자비용, 재공품재고비용 등을 포함하는 이익함수를 최대화시키는 연구를 수행하였는데, 이 연구에서는 생산량을 추정하기 위해 대기행렬망 (Queueing Network) 이론을 활용한 근사식을 사용하였다.

하지만 위에서 언급한 논문들에서는 서브라인 내부의 부품 이송방식으로 동기화 이송방식 (Synchronous Transfer)을 가정하였다. 동기화 이송방식이란 서브라인 내의 모든 공정의 작업이 완료되는 순간 부품들이 동시에 다음공정으로 이동하는 방식으로 일명 셔틀(Shuttle)방식이라 한다. 동기화 방식을 사용하는 경우 서브라인 내의 어느 한 공정에서 장애가 발생할 경우 다른 공정들이 작업을 완료하더라도 고장 공정에 대한 수리가 완료되어 작업을 종료할 때까지 서브라인 전체의 부품이송이 중단된다. 즉 모든 공정이 막힘(Blocking) 상태가 된다.

반면에 비동기화 이송방식 (Asynchronous Transfer)이란 서브라인 내의 개별 공정을 연결하는 이송장치가 독립적으로 설치되어 있는 방식으로 일명 팔렛(Pallet) 방식이라고 한다. 이 방식을 사용하면 서브라인 내의 어느 한 공정에서 장애가 발생할 경우에 고장 공정의 선행공정들은 동기화방식과 마찬가지로 이송이 중단되지만 후속공정들은 공정이 완료된 부품을 다음 공정으로 이송할 수 있다. 따라서 고장이 발생한 공정의 선행공정들

은 막힘 상태가 되고, 후속 공정들은 결품(Starving) 상태가 된다 (Kim, 2016).

Kim(2016)은 두 종류의 차체공장 배치안 구조에서 서브라인의 부품이송정책이 다른 경우 시스템효율에 미치는 영향을 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 하지만 이 연구에서는 서브라인 간 버퍼의 크기가 동일하다는 가정을 하였다.

본 연구에서는 자동차 차체라인과 같은 조립시스템에서 서브라인내의 부품 이송정책이 서로 다른 경우에 버퍼의 할당이 시스템의 효율에 미치는 영향을 시뮬레이션을 이용하여 분석하며, 시스템 구조의 변화에 대한 민감도 분석 결과를 소개한다. 2절에서는 본 연구의 대상에 대한 소개를 하고, 3절에서는 대상 시스템의 특성을 고려한 버퍼 할당 방법을 제시한다. 4절에서는 시뮬레이션 실험결과에 대해 소개하고, 마지막으로 5장에서 결론을 제시한다.

2. 시스템 정의

본 연구에서 다루고자 하는 시스템은 Wang (2014), Kim et al. (2015), Kim(2016)에서 대상으로 삼았던 차체공장 모델을 오픈링 파트(Opening Parts)를 생산하고 조립하는 서브라인을 포함한 형태로 확장한 것으로 Figure 1과 같은 형태를 따른다. Figure 1은 차체조립공법중의 하나인 Modular Build 방법과 Layered Build 방법을 사용하는 차체공장의 구조를 축약한 것이다. 이 때 시스템은 기본적으로 다음과 같은 특성을 가지는 것으로 가정한다.

- 서브라인은 흐름라인으로 공정간 버퍼가 없으며, 서브라인 내의 모든 기계는 공정시간이 동일한 시스템 (Homogeneous System) 으로 공정시간은 1(시간단위)로 가정한다. 차체공장의 경우 고도로 자동화된 시스템이기 때문에 공정시간을 상수로 취급하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단하였다.
- 서브라인과 서브라인 사이에는 유한한 버퍼 (Finite Buffer)만이 존재한다.
- 조립작업 (Assembly)은 해당 서브라인의 첫공정에서 이뤄진다.
- 각 공정은 단일한 유형의 고장이 발생하는 것으로 가정하며, 고장은 지수분포를 따른다.
- 서브라인 내부의 이송정책은 동기화 이송정책과 비동기화 이송정책의 두 종류를 가정한다.
- 원자재가 투입되는 각 부분라인의 첫 공정에서 결품현상 (Starvation)은 발생하지 않으며, 최종 라인의 마지막 공정에서 막힘현상(Blocking)은 발생하지 않는다.

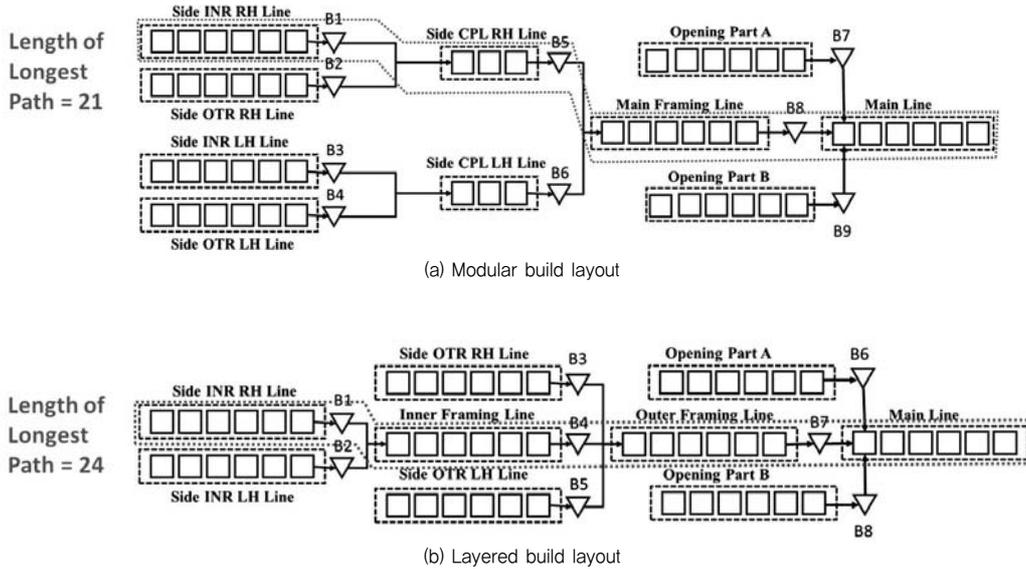


Fig.1. Abstract layout structures of automotive body shops

3. 버퍼 할당

본 논문의 목적은 Figure 1에서 제시된 시스템에 대해 배치 안 방식과 이송정책이 다른 경우의 생산량을 비교하는 것이다. 이 때 생산량은 버퍼의 할당 정책에 의해 변화한다. 따라서 각 경우를 비교하기 위해서는 버퍼의 총 수량을 유지하면서 최적의 버퍼할당을 해야 한다. 버퍼의 총 수량이 정해져 있을 때 각 버퍼의 크기를 얼마로 하는 것이 생산율(Production Rate)을 최대화시킬 수 있는 것인지에 대한 문제는 아래와 같이 정의할 수 있다. 이 때 N_i 는 버퍼 i 의 용량을 의미하며, B 는 총 버퍼의 수량이다. 또한 ϕ 는 생산량을 결정하는 함수다.

$$\max PR = \phi(N_1, N_2, \dots, N_n)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^n N_i = B$$

서론에서 언급하였듯이 버퍼 최적화 문제를 해결하기 위하여 Gradient Search, Genetic Algorithm, Ant Colony 방법 등 다양한 방법들이 사용된다. 하지만 문제는 본 논문에서 다루는 시스템과 같이 복잡한 상황에서는 ϕ 함수값을 추정하는 것이 어렵다는 점이다.

만일 수리모형을 사용하면 ϕ 함수값을 짧은 시간에 계산할 수 있어서 다양한 최적화 기법을 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 본 연구의 대상 시스템에서 오프닝 파트 생산 서브라인과 이들을 차체에 부착하는 서브라인을 제외한 비교적 간단한

시스템에서조차 근사해법에 의해 얻은 생산율과 시뮬레이션에 의해 얻은 생산율과는 5% 이상 차이가 날 수 있다고 Wang (2014)의 연구에서 보고된 바가 있다. 따라서 좀 더 정확한 생산율을 분석하기 위해 시뮬레이션을 이용하여 생산율을 추정하고 탐색방법을 이용해 최적화시키는 방법을 사용하기로 하였다.

본 논문에서는 과거의 다양한 실험 결과를 토대로 경험적인 탐색방법을 제시하고자 한다. 일반적으로 탐색을 위해서는 다음과 같은 세 가지 논리가 결정되어야 한다.

- ① 초기해 결정 논리
- ② 탐색대안(Alternatives) 선정 논리
- ③ 탐색거리(Step Size) 결정 논리

3.1 버퍼의 그룹핑

자동차 차체 조립공정의 특성상 좌우가 대칭적으로 조립되어야 한다. 따라서 유사한 구조를 가지는 버퍼들을 하나로 그룹핑(Grouping)하여 동일한 버퍼용량을 할당하는 방법을 택하였다. 배치안별 그룹핑 결과는 Table 1에 제시된 바와 같다.

Table 1. Results of buffer grouping

	G1	G2	G3	G4	G5
Modular	B1, B2, B3, B4	B5, B6	B7, B9	B8	-
Layered	B1, B2	B3, B5	B4	B6, B8	B7

3.2 초기해 결정

각 버퍼별 가중치(W_i)를 구한다. 각 버퍼의 가중치는 해당버퍼와 바로 직전 선행단계의 버퍼 위치 수의 합으로 한다(버퍼 용량의 합이 아님). Figure 1(a)에서 B5의 가중치는 B5와 직전 선행버퍼인 B1, B2를 합하여 총 3의 값을 가진다. 또한 Figure 1(b)에서 B7의 가중치는 B7과 직전 선행버퍼인 B3, B4, B5를 포함한 4로 계산한다. 이와 같은 방식에 따라 각 버퍼의 가중치는 Table 2에 제시된 바와 같이 계산하며, 총 가중치(TW)는 W_i 의 합으로 정의한다. 이 경우 각 버퍼의 초기용량 N_i^0 는 아래 식과 같이 정의한다. 이 식에서 $[\cdot]$ 는 가우스 (Gauss) 함수를 의미하며, $x \text{ mod } (y)$ 는 x 를 y 로 나눈 값의 나머지를 의미한다.

$$N_i^0 = \begin{cases} W_i \times [B/TW], & \text{if } B \text{ mod } (TW) \neq 0 \\ W_i \times ([B/TW] - 1), & \text{Otherwise} \end{cases}$$

이와 같은 초기해 설정방식은 유한 버퍼를 가지는 조립라인에서 조립해야 하는 부품 수가 많은 경우에 버퍼의 용량이 커지는 것이 생산을 증가에 유의하다는 특징을 반영한 것이다.

Table 2. Weights and initial buffer capacities of buffer

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	Sum
Modular	W_i	1	1	1	1	3	3	1	3	1	15
	N_i^0	2	2	2	2	6	6	2	6	2	30
Layered	W_i	1	1	1	3	1	1	4	1	-	13
	N_i^0	3	3	3	9	3	3	12	3	-	39

3.3 탐색대안 및 탐색거리 결정

먼저 다음 단계로의 탐색거리는 동일한 그룹에 포함된 버퍼의 수를 고려하여 결정한다. 예를 들어 Table 1에 제시된 바와 같이 Modular 방식에서는 그룹 G1에 포함된 버퍼가 4개로 최대값을 가지며, Layered 방식에서는 그룹 G1, G2, G4에 버퍼가 2개씩 있다. 따라서 추가로 버퍼를 할당하는 수량인 탐색거리 Δ 는 다음과 같이 정의한다. 이때 $\sum_{i=1}^n N_i^{(k)}$ 는 k단계까지 각 버퍼에 할당된 버퍼의 용량을 더한 값이다.

$$\Delta 1 = \max \{ \text{각 그룹에 포함된 버퍼의 수} \}$$

$$\Delta = \min \left\{ \Delta_1, \left(B - \sum_{i=1}^n N_i^{(k)} \right) \right\}$$

탐색거리가 결정이 되면 Δ 를 배분하는 경우의 수를 찾는다. 예를 들어 Modular 방식에서 $\Delta=4$ 로 결정되었을 때 이를 할당하는 대안은 Table 3과 같이 7가지 대안이 있다. 이들 7개 대안에 대해 시뮬레이션 실험을 수행하여 생산율이 가장 큰 안을 선택한 후 다음 단계로 넘어간다. 이와 같은 방식으로 총버퍼의 용량 B가 모두 할당될 때까지 탐색을 반복한다.

3절에서 제안한 방식은 차체공장의 특성을 반영하여 경험적으로 구성한 탐색방법으로 항상 최적해를 제공하지는 않는다. 다만 시뮬레이션 실험 횟수를 최소화시키면서 최적해에 가까운 버퍼 할당을 찾기 위한 방법이다.

Table 3. Search alternatives in modular build layout ($\Delta=4$)

Alternatives	G1	G2	G3	G4
	(B1, B2, B3, B4)	(B5, B6)	(B7, B9)	B8
1	(1, 1, 1, 1)			
2				
3		(1, 1)	(1, 1)	2
4		(1, 1)		2
5			(1, 1)	
6		(2, 2)		4
7			(2, 2)	

4. 실험 및 결과

4.1 모든 버퍼의 크기가 동일한 경우

먼저 버퍼의 크기에 따른 시스템의 거동을 살펴보기 위해서 총 버퍼수량이 고정된 상태에서 개별 버퍼의 크기를 동일하게 결정한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 ARENA™를 이용하여 개발하였다. Warm-up 기간은 30,000 시간단위로 하였고, 총 330,000 시간단위만큼 실험을 수행하였으며, 반복회수는 20회로 하였다.

이 때 각 개별 공정의 TTF (Time to Failure)는 평균이 190인 지수분포를 가정하였으며, TTR (Time to Repair)는 평균이 10인 지수분포를 가정하였다. 따라서 각 개별 장비의 효율 (Isolated Efficiency)은 다음과 같이 계산된다.

$$e = \frac{MTTE}{MTTE + MTTR} = \frac{0}{190 + 10} = 0.95$$

1차 실험의 결과는 Table 4와 Table 5에 제시되어 있는데

Table 4는 Modular Build 방식에서 이송정책과 버퍼의 크기 변화에 따른 생산율과 체류시간(Flow Time)에 대한 실험 결과며, Table 5는 Layered Build 방식에서의 실험 결과다. 이 때 생산율(Production Rate)은 시뮬레이션 수행기간동안 생산된 최종제품의 수량을 시뮬레이션 시간으로 나눈 값으로 정의하였으며, 체류시간은 Figure 1에서 제시된 최장공정 (Longest Path) 상에서 부품이 첫 공정을 시작한 후 최종공정을 마칠 때까지 소요된 시간으로 정의하였다. 가정에서 각 배치안의 모든 첫 공정은 결품(Starving)이 발생하지 않는다고 가정하였기 때문에 첫 공정의 투입수량이 부족해서 생산량이 줄어드는 상황은 발생하지 않는다.

Figure 1에 제시되어 있듯이 Modular Build 방식에는 9개의 버퍼 위치가 있으며, Layered Build 방식에는 8개의 버퍼 위치가 존재한다. 따라서 각 버퍼의 용량을 동일하게 하면서 전체 버퍼수량을 정확하게 일치시키려면 총 버퍼의 용량이 72의 배수가 되어야 한다. 따라서 Table 4, Table 5와 같이 총 버퍼 수량

이 일치하는 경우와 일치하지 않는 경우를 섞어서 실험을 수행하였다.

실험결과 Modular Build 방식의 생산율 (Production Rate)이 Layered Build 방식의 생산율보다 다소 큰 것으로 분석되었다. 또한 동기화 이송정책을 적용한 경우가 비동기화 이송정책을 적용한 경우보다 생산율이 떨어짐을 알 수 있었다. 하지만 버퍼의 용량이 증가됨에 따라 그 차이는 점점 감소하였으며, 버퍼의 용량이 매우 커지면 네 가지 경우에 대해 거의 차이가 없는 것으로 분석되었다.

체류시간의 경우에는 비동기화 이송정책을 사용하는 경우가 동기화 이송정책을 사용하는 경우보다 체류시간이 짧은 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 Layered Build 방식이나 Modular Build 방식에 공통적으로 적용되었다. Figure 2와 Figure 3은 총 버퍼의 수량이 동일한 경우에 대해 네 가지 조합에 있어서 생산율과 체류시간을 표시한 그림이다. 버퍼가 무한대인 경우의 체류시간은 값이 너무 크기 때문에 그림에서 제외시켰다.

Table 4. Simulation results for the modular build layout with same buffer capacities

Total Buffer (B)	Asynchronous				Synchronous			
	Production Rate		Flow Time		Production Rate		Flow Time	
	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI
45 (5)*	0.3567	0.0012	76.32	0.2357	0.2996	0.0011	108.99	0.3747
72 (8)	0.4125	0.0013	84.26	0.2472	0.3717	0.0012	106.48	0.3119
90 (10)	0.4418	0.0013	89.77	0.2618	0.4080	0.0011	108.28	0.2840
144 (16)	0.5062	0.0013	106.73	0.3284	0.4840	0.0011	119.53	0.2366
216 (24)	0.5596	0.0013	129.97	0.4377	0.5450	0.0010	139.36	0.2805
288 (32)	0.5937	0.0013	153.62	0.5641	0.5829	0.0009	161.17	0.4223
Infinite	0.7318	0.0010	3778.00	250.88	0.7302	0.0015	3425.10	293.34

* Number in parenthesis means the capacity of each buffer

Table 5. Simulation results for the layered build layout with same buffer capacities

Total Buffer (B)	Asynchronous				Synchronous			
	Production Rate		Flow Time		Production Rate		Flow Time	
	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI	Mean	CI
48 (6)*	0.3590	0.0012	81.48	0.2623	0.3029	0.0010	118.10	0.4210
72 (9)	0.4004	0.0013	88.61	0.2748	0.3646	0.0011	113.94	0.3489
96 (12)	0.4437	0.0014	94.03	0.2823	0.4107	0.0010	115.04	0.3412
144 (18)	0.4982	0.0014	107.71	0.3558	0.4755	0.0010	123.03	0.3813
216 (27)	0.5511	0.0012	128.90	0.4941	0.5375	0.0011	140.27	0.5190
288 (36)	0.5853	0.0012	150.39	0.6530	0.5738	0.0011	159.67	0.6778
Infinite	0.7314	0.0010	3492.50	229.98	0.7297	0.0010	3259.10	215.64

* Number in parenthesis means the capacity of each buffer

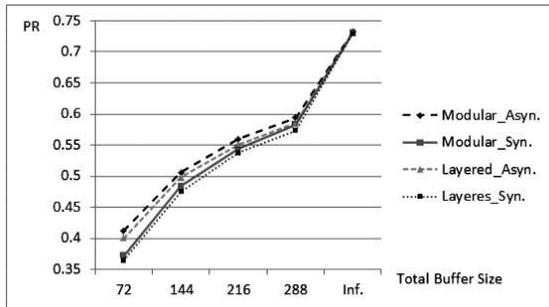


Fig.2. Behavior of production rates (Same buffer capacities)

허용된 버퍼의 수량이 증가하면 체류시간이 증가하는 것이 일반적인 경향이지만 Table 5의 동기화이송정책을 사용한 경우에 총 버퍼 용량이 48개인 경우보다 79개로 증가하였을 때 체류시간이 오히려 줄어들었다. 그 이유는 버퍼용량이 지나치게 작으면 각 작업장의 막힘과 결품 현상의 발생비율이 높아져서 버퍼의 증가에 따른 체류시간의 증가비율보다 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 분석되었다. 비동기화 이송정책을 사용할 때에도 총 버퍼 용량을 48개 이하로 줄이면 동일한 경향이 관측되었다.

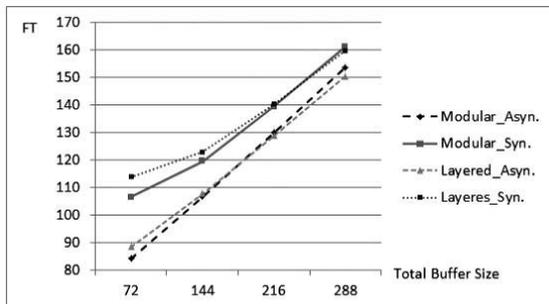


Fig.3. Behavior of flow times (Same buffer capacities)

체류시간의 경우 절대적인 값을 비교하는 것도 의미가 있지만 Figure 1에서 제시된 바와 같이 두 방식에서 체류시간을 계산하는 최장경로의 길이 (Length of Largest Path)가 각각 21과 24로 다르다는 점도 고려해야 한다. 따라서 버퍼의 크기가 변함에 따라 실험을 통해 얻은 체류시간이 최장경로의 길이에 비해 몇 배나 되는지를 조사하는 것도 의미가 있다. 따라서 체류시간비율 (Flow Time Ratio: FTR)을 체류시간을 최장경로 길이로 나눈 값으로 정의하고 그 결과를 Table 6에 제시하였다. 체류시간은 Modular 방식이 Layered 방식에 비해 작았으나

체류시간 비율은 반대의 현상이 나타났다. Figure 4는 총 버퍼의 증가에 따른 체류시간 비율의 변화를 보여준다. 그림에서 체류시간 비율은 버퍼의 수량이 증가함에 따라 동기화 이송방식을 사용하였을 때는 오목함수 형태로 증가하지만 비동기화 이송방식을 사용하였을 때는 거의 선형(Linear)으로 증가함을 알 수 있다.

Table 6. Flow time ratios with same buffer capacities

Layout -Transfer Policy	Length of Longest Path	Total Buffer Size			
		72	144	216	288
Mod_A	21	4.01	5.08	6.19	7.32
Mod_S	21	5.07	5.69	6.64	7.67
Lay_A	24	3.69	4.49	5.37	6.27
Lay_S	24	4.75	5.13	5.84	6.65

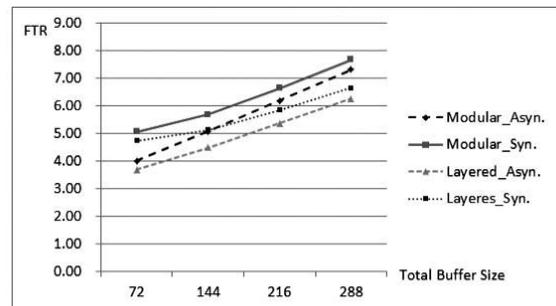


Fig.4. Behavior of flow time ratios (Same buffer capacities)

Table 7은 Wang(2014), Kim 등 (2015), Kim (2016)에서 다루었던 모델 (Prev. Model)과 본 논문에서 다룬 모델(This Model)의 차이가 생산율 및 체류시간에 미친 영향을 분석한 것이다. 두 모델의 차이는 자동차 도어와 같은 오픈링 파트를 생산하는 두 개의 부분라인과 이를 조립하는 하나의 부분라인, 총 3개의 부분라인이 추가된 점이다. 참고로 Modular Build 방식에서는 각 버퍼의 용량이 5이며, Layered Build 방식에서는 각 버퍼의 용량이 6이다. 따라서 이전 모델에서는 버퍼의 총량이 30으로 동일하였지만 본 논문에서 다루는 시스템에서 총 버퍼의 수량은 Layered Build 방식이 48개로 Modular Build 방식의 45개 보다 3개가 많다. 따라서 본 논문의 Layered Build 방식에서 생산율이 증가한 것으로 분석되었다. 따라서 총 버퍼의 수량이 동일하고, 각 배치안에서 총 버퍼가 각기 최적으로 할당되었을 때 시스템 효율의 차이를 분석해 볼 필요가 있다.

Table 7. Effects of system expansion ($N_i=5$ and 6)

Layout	Asynchronous						Synchronous					
	Production Rate			Flow Time			Production Rate			Flow Time		
	Prev. Model	This Model	DEV1 (%)	Prev. Model	This Model	DEV1 (%)	Prev. Model	This Model	DEV1 (%)	Prev. Model	This Model	DEV1 (%)
Modular	0.4154	0.3567	-14.1	50.89	76.32	50.0	0.3756	0.2996	-20.2	64.70	108.28	67.4
Layered	0.4086	0.3590	-12.1	51.81	81.48	57.3	0.3643	0.3029	-16.9	73.27	118.10	61.2
DEV2(%)	1.64	-0.64		-1.81	-6.76		3.01	-1.10		-13.25	-9.07	

※ DEV1(%) = (This Model - Previous Model)/Previous Model × 100 ※ DEV2(%) = (Modular - Layered)/Modular × 100

Table 8. Search steps and alternatives for buffer allocation (Layered build layout, asynchronous transfer policy)

Step	Alternatives	Groups, Buffers and Allocations								Sum	PR	FT
		G1	G1	G2	G3	G2	G4	G5	G5			
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8			
		N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8			
0		3	3	3	9	3	3	12	3	39	0.3456	86.225
1	1-1	4	4	3	9	3	3	12	3	41	0.3497	89.298
	1-2*	3	3	4	9	4	3	12	3	41	0.3511	85.423
	1-3	3	3	3	9	3	4	12	4	41	0.3494	84.085
	1-4	3	3	3	11	3	3	12	3	41	0.3508	89.40
	1-5	3	3	3	9	3	3	14	3	41	0.3495	86.706
	1-6	3	3	3	10	3	3	13	3	41	0.3503	88.017
2	2-1	4	4	4	9	4	3	12	3	43	0.3554	88.328
	2-2	3	3	5	9	5	3	12	3	43	0.3558	84.896
	2-3	3	3	4	9	4	4	12	4	43	0.3551	83.220
	2-4*	3	3	4	11	4	3	12	3	43	0.3562	88.484
	2-5	3	3	4	9	4	3	14	3	43	0.3551	85.979
	2-6	3	3	4	10	4	3	13	3	43	0.3558	87.198
3	3-1	4	4	4	11	4	3	12	3	45	0.3603	91.498
	3-2*	3	3	5	11	5	3	12	3	45	0.3609	87.842
	3-3	3	3	4	11	4	4	12	4	45	0.3604	86.152
	3-4	3	3	4	13	4	3	12	3	45	0.3606	91.641
	3-5	3	3	4	11	4	3	14	3	45	0.3603	88.997
	3-6	3	3	4	12	4	3	13	3	45	0.3606	90.280
4	4-1	4	4	5	11	5	3	12	3	47	0.3651	90.726
	4-2	3	3	6	11	6	3	12	3	47	0.3649	87.447
	4-3	3	3	5	11	5	4	12	4	47	0.3652	85.490
	4-4	3	3	5	13	5	3	12	3	47	0.3653	90.887
	4-5	3	3	5	11	5	3	14	3	47	0.3650	88.427
	4-6*	3	3	5	12	5	3	13	3	47	0.3653	89.621
5	5-1*	3	3	5	13	5	3	13	3	48	0.3674	91.141
	5-2	3	3	5	12	5	3	14	3	48	0.3673	89.916

Table 9. Best results of buffer allocation

Layout	Transfer Policies	Buffers and Allocations									TB	PR	FT
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9			
		N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉			
Modular	Asyn	2	2	2	2	10	10	3	11	3	45	0.3667	84.81
	Syn	2	2	2	2	10	10	3	11	3	45	0.3139	116.26
Layered	Asyn	3	3	5	11	5	3	12	3	-	45	0.3609	87.84
		3	3	5	13	5	3	13	3	-	48	0.3674	91.14
	Syn	3	3	5	11	5	3	12	3	-	45	0.3064	124.57
		3	3	5	13	5	3	13	3	-	48	0.3151	126.57

4.2 버퍼 할당을 최적화시킨 경우

총 버퍼의 수량이 동일할 때 개별버퍼의 수량을 동일하게 할당하는 방법은 최적의 할당방법이 아니며 각 배치안 별로 특성에 따라 개별 버퍼의 용량을 최적화 시키는 것이 생산율을 극대화시킬 수 있다. 따라서 두 종류의 배치안에서 버퍼의 총 수량을 45개로 고정시킨 후에 각각에 대해 생산율을 최대화 시키는 최적 버퍼 할당 결과를 3절에서 설명한 방법에 의해 탐색하였다. 이 과정에서 발생하는 문제는 시스템이 복잡하기 때문에 시뮬레이션 실험을 한번 수행하는데 소요되는 시간이 20분 이상 걸린다는 점이다.

Table 8은 비동기화 이송정책을 사용하는 Layered Build 배치안에서 버퍼의 총 용량을 45개로 고정시켰을 때 생산율을 최대로 하는 최적 버퍼할당 결과를 탐색하는 과정을 보여준다. 탐색은 3단계에서 종료되었으며, 대안 3-2가 최종해로 결정되었다. 최종해의 생산율은 0.3609인데, 이 값은 48개의 총 버퍼 용량을 6개씩 동일하게 할당한 경우의 생산율 0.3590보다 0.53% 증가하였다. 이 때 시뮬레이션 실험횟수는 초기해를 포함하여 19회 실시하였다. 만일 총 버퍼 용량을 48개로 증가시킨다면 Table 8에 제시된 바와 같이 탐색이 5단계에서 종료되며, 이 경우 시뮬레이션 실험횟수는 27회로 증가된다. 이 경우의 생산율은 0.3674가 되어 버퍼의 용량을 동일하게 설정한 경우보다 생산율이 2.34% 증가되는 것으로 분석되었다. Layered 배치안에서 동기화 이송정책을 사용한 경우 총 버퍼용량을 48로 한 경우 버퍼 재할당에 따른 생산율의 증가는 4.03%가 되어 동기화 이송정책에서의 버퍼 재할당 효과가 크게 나타났다.

이와 같은 방법으로 총 버퍼용량이 45일 때 나머지 3종류의 배치안에 대해 최적 버퍼할당을 수행한 결과가 Table 9에 제시되어 있다. 실험결과 동기화 방식이나 비동기화 방식이나 배치안이 동일하다면 버퍼할당 결과도 동일하게 결정됨을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 자동차의 차체공장과 같이 버퍼가 허용되지 않는 여러 개의 부분라인으로 구성되고 부분라인 사이에는 유한한 버퍼가 허용되는 시스템에서 배치안 유형과 부분라인의 이송정책이 시스템 효율에 미치는 영향을 살펴보았다. 선행연구의 배치안에서 오프닝 파트를 생산하고 차체에 조립하는 공정을 추가로 적용하여 새로운 배치안을 구성하였다.

또한 두 종류의 배치안에 대하여 동기화 이송방식과 비동기화 이송방식의 두 가지 이송정책을 적용하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 마지막으로 생산율을 극대화시키기 위한 버퍼 할당 정책이 미치는 영향을 분석하였는데 생산율의 증가 비율은 Modular Build 배치안이 Layered Build 배치안보다 큰 것으로 분석되었으며, 동기화 이송정책이 비동기화 이송정책보다 효과가 큰 것으로 분석되었다.

버퍼의 최적 할당을 위해 본 논문에서 고려하는 시스템의 특성을 반영한 탐색방법을 제시하였는데, 이 방법이 항상 최적해를 보장하지는 못하지만 시뮬레이션 실험횟수를 줄이면서 비교적 우수한 해를 찾을 수 있었다.

REFERENCES

[1] Amiri, M. and Mohtashami, A.(2012), Buffer Allocation in Unreliable Production Lines Based on Design of Experiments, Simulation, and Genetic Algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.62(1-4), pp.371~383.

[2] Bertazzi, L. (2011), Determining the Optimal Dimension of a Work-in-process Storage Area, *International Journal of Production Economics*, Vol.131(2), pp.483~489.

- [3] Chan, F.T.S. and Ng, E.Y.H.(2002), Comparative Evaluations of Buffer Allocation Strategies in a Serial Production Line, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.19(11), pp.789-800.
- [4] Demir, L., Tulai, S. and Eliiyi, D.T.(2014), The State of the Art on Buffer Allocation Problem; a Comprehensive Survey, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.25(3), pp.371~392.
- [5] Gershwin, S.(1994), *Manufacturing System Engineering*, Prentice-Hall International, London, U.K.
- [6] Kahan, T., Bukchin, Y., Menassa, R. and Ben-Gal, I.(2009), Backup Strategy for Robot's Failure in an Automotive Assembly System, *International Journal of Production Economics*, Vol.120(2), pp.315~326.
- [7] Kim, H.S., Wang, G., Shin, Y.W. and Moon, D.H.(2015), Comparison of the Two Layout Structures in Automotive Body Shops Considering Failure Distributions, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.41(5), pp.470~480.
- [8] Kim, H.S. (2016), A Study on the Effects of Layout Structures on the System Performances in Automotive Body Shops, Ph.D. Thesis, Changwon National University, Korea.
- [9] Kwon, C.M. and Lim, S. G.(2013), Bottleneck Detection Based on Duration of Active Periods, *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 22(1), pp.35~41.
- [10] Li, J.S. and Meerkov, S.M.(2009), *Production Systems Engineering*, Springer, New York, U.S.A.
- [11] Li, J.S., Meerkov, S.M. and Zhang, L.(2010), Production Systems Engineering Problem, Solutions and Applications, *Annual Reviews in Control*, Vol. 34(1), pp.73~88.
- [12] McNamara, T., Shaaban, S. and Hudson, S.(2013), Simulation of Unbalanced Buffer Allocation in Unreliable Unpaced Production Lines, *International Journal of Production Research*, Vol.51(6), pp.1922~1936.
- [13] Moon, D.H., Cho, H.I, Kim, H.S., Sunwoo, H. and Jung, J.Y.(2006), A Case Study of the Body Shop Design in an Automotive Factory Using 3D Simulation, *International Journal of Production Research*, Vol.44(18-19), pp.4121~4135.
- [14] Nahas, N., Nourelfath, M. and Gendreau, M.(2014), Selecting Machines and Buffers in Unreliable Assembly/Disassembly Manufacturing Networks, *International Journal of Production Economics*, Vol.154(1), pp.113~126.
- [15] Papadopoulos, C.T., O' Kelly, M.E.J. and Tsadiras, A.K.(2013), A DSS for the Buffer Allocation of Production Lines Based on a Comparative Evaluation of a Set of Search Algorithms, *International Journal of Production Research*, Vol.51(14), pp. 4175~4199.
- [16] Shin, Y.W. and Moon, D.H.(2014), Approximation of Throughput in Tandem Queues with Multiple Servers and Blocking, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.38(24), pp.6122~6132.
- [17] Spieckermann, S., Gutenschwager, K., Heinzl, H. and Voß, S.(2000), Simulation-based Optimization in the Automotive Industry - A Case Study on Body Shop Design, *Simulation*, Vol.75(5), pp.276~286.
- [18] Ulgen, O., Gunal, A., Grajo, E. and Shore, J. (1994), The Role of Simulation in Design and Operation of Body and Paint Shops in Vehicle Assembly Plants, Proceedings of the European Simulation Symposium, *Society of Computer Simulation International*, pp.124~128.
- [19] Wang, G. (2014), *Optimal Allocation Problem of Buffers and Machines in Automotive Manufacturing Systems*, Ph.D. Thesis, Changwon National University, Korea.
- [20] Wang, G., Shin, Y.W. and Moon, D.H.(2015), Comparison of Three Flow Line Layouts with Unreliable Machines and Profit Maximization, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Published on-line, DOI : 10.1007/s10696-015-9233-3.
- [21] Wang, G., Lee, D.R., Shin, Y.W. and Moon, D.H.(2017), A Simulation Study on Improving Throughput in a Crankshaft Line Considering Minimizing Investment Cost under Throughput Target, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, Vol.5(1), pp.32~36.
- [22] Weiss, S., Schwarz, J.A. and Stolletz, R.(2015), Buffer Allocation Problems for Stochastic Flow Lines with Unreliable Machines, *Proceedings of Stochastic Models of Manufacturing and Service Operations (SMMSO) 2015*, Volos, Greece, pp.271~277.



문 덕 희

한양대학교 산업공학과 공학사
한국과학기술원 산업공학과 공학석사
한국과학기술원 산업공학과 공학박사
현재: 창원대학교 산업조선해양공학부 교수
관심분야: Facilities Planning, Scheduling,
Simulation



남 예 슬

창원대학교 통계학과 이학사
현재: 창원대학교 친환경해양플랜트 FEED 공
학과 석사과정
관심분야: 제조시스템설계, 시뮬레이션



신 양 우

경북대학교 수학과 이학사
한국과학기술원 응용수학과 이학석사
한국과학기술원 수학과 이학박사
현재: 창원대학교 통계학과 교수
관심분야: 대기행렬이론과 그 응용

회수 물류 네트워크 디자인: 최소 수거 품질 수준, 위치선정 및 용량 최적화

송병덕* · 오용희** · 박경수***†

*세종대학교 호텔관광경영학과 · **대진대학교 산업경영공학과 · ***부산과학기술기획평가원

Design of reverse logistics networks: optimization of the minimum collection quality level, location and capacity

Byung Duk Song* · Yong Hui Oh** · Kyungsu Park***†

*Department of Hotel and Tourism Management, Sejong University

**Department of Industrial and Management Engineering, Daejin University

***Busan Institute of Science and Technology Evaluation and Planning

With legislations and customers' increased attention to environment issues, interests on reverse logistics have been increased. In this paper, we address a design issue of reverse logistics network with the objectives of minimizing total establishment cost of collection centers and transportation cost of collected end-of-used product by determining the locations of centers, reverse logistics network and minimum quality of end-of-used product to be collected. We propose mathematical model and genetic algorithm to support such decisions. Validity of the proposed genetic algorithm was tested via numerical experiments with various distributions on the quality of end-of-products.

Keywords: End-of-used product, collection center, location and allocation, minimum collection quality level, genetic algorithm

1. 서론

기존의 물류 시스템에서는 자원의 가공을 통한 생산 및 판매에 초점을 두고 순방향의 물류(forward logistics)에 대해 주로

연구가 진행되었다. 하지만 가속화된 대량생산 및 제품의 수명주기(life cycle) 감소와 이로 인한 자원고갈 및 환경오염으로 인해, 회수물류와 같은 역방향의 물류(reverse logistics)에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 특히, 세계 각국에서 시행되는 자원의 무분별한 사용과 폐기물의 증가를 억제하기 위한 노력

† **Corresponding author:** Busan Institute of Science and Technology Evaluation and Planning, 79 Centum jungang-ro, Haeundae-gu, Busan, 48058, Korea. E-mail: kyungsu@kaist.ac.kr

및 환경정책들과 맞물려 회수물류에 대한 연구는 더욱 그 중요성이 커지고 있다.

EPR(Extended Producer Responsibility) 정책은 대표적인 환경정책 중 하나로, 제품에 대한 폐기비용을 생산자의 제품 가격에 고려하도록 한 정책이다(OECD, 1999). 즉, 폐기물의 일정량 이상을 재활용하도록 생산자에게 의무를 부여하거나, PRO(Producer Responsibility Organization)와 같은 공제조합을 통해 재활용의무 대행비용 등을 지원토록 하고 있다. 이러한 환경정책은 독일, 영국, 프랑스, 헝가리, 일본, 대만, 호주, 멕시코 브라질 등 세계 각국에서 도입됨으로써 회수물류에 대한 관심을 환기시키고 있다. 우리나라에서도 생산자책임원칙에 의해 1992년부터 운영해 오고 있는 예치금 제도를 보완, 개선하여 2003년도부터 생산자책임재활용제도(EPR)를 시행 중이다(한국환경공단 홈페이지). 즉, 제품의 생산자는 폐기물에 대하여 일정량의 재활용의무를 가지며 이를 이행하지 않을 경우 재활용에 소요되는 비용 이상의 재활용 부과금을 부과 받는다(자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률, 2016). 재활용 의무율은 2016년 기준으로 유리병 0.763, 철캔 0.808, 발포합성수지 포장재 0.807, 타이어 0.767, 윤활유 0.728 등이다(2016년 제품포장재별 재활용의무율, 2015).

생산자의 재활용의무 외에도 기업들은 여러 이유로 회수물류에 관심을 가진다. 하나는 원자재 및 천연자원의 비용 또는 비중 증가이다. 원자재 및 천연자원의 가격 상승이나 제품가격 대비 큰 자재 비중으로 인해 회수물류를 통한 재생산(re-manufacturing)이 새로 생산하는 것보다 더 경제적일 수 있다. Dowlatshahi(2000)에 따르면 재생산을 통한 생산과정은 완전히 새롭게 생산하는 일반적인 생산 과정 대비 80%의 노력과 40~60%의 비용 절감을 이룰 수 있다고 예상하고 있다. 또 다른 이유는 소비자들의 환경에 대한 관심 증가이다. 제품의 제조 및 폐기 과정에서 환경 문제를 야기할 경우, 제품 자체의 품질과는 관계없이 소비자들의 구매 거부 운동을 통한 제품 판매의 어려움, 회사 이미지의 실추 등 직접적이고 간접적인 경제적 손실이 발생 가능하다.

이렇듯 회수물류의 중요성은 점점 커져가며, 효율적인 회수물류 시스템의 구축을 위해서는 경제적이고 합리적인 시스템의 구축이 필수적이다. 본 연구에서는 각 지역에서 수거되는 사용 완료 제품(end-of-used product)의 품질이 일정하지 않고 수거 센터의 용량이 제한적인 가운데, 수거할 사용 완료 제품의 최소 품질수준을 특정하고 수거량, 수거 센터 및 물류 네트워크 구성을 확정하는 모델 및 방법론을 제시한다. 실제로 수거된 사용 완료 제품의 품질은 재생산 비용에 큰 영향을 미치며, 수거 센터는 후보지의 위치나 환경에 따라 수용할 수 있는 최대 수거량이

존재한다. 또한 현실적인 제약과 비용 절감을 고려하여 수거 지역으로부터 가장 가까운 수거센터, 수거 센터로부터 가장 가까운 공장으로 사용 완료 제품을 운송하도록 근접할당(Closest assignment, CA) 규칙을 적용하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존연구 고찰을 통해 기존연구의 방향성과 본 연구의 차별성을 알아본다. 3장에서는 문제상황을 소개하고 이를 위한 수리모델을 제시한 후 4장에서 수리 문제에 대한 해법 알고리즘을 소개한다. 5장에서는 수치 예제를 통해 제안된 해법 알고리즘의 타당성이 검토되며, 6장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

2. 기존 연구

회수물류에 대한 연구들은 환경에 대한 관심을 바탕으로 1990년대부터 더욱 활발히 진행되어왔다. Jayaraman et al. (1999)은 회수물류에서 설비를 구축하는 고정비용과 물류비용을 최소화하는 MILP(Mixed Integer Linear Programming) 모델을 연구하였고, Krikke et al.(1999)는 복사기 제조업체의 예를 통해 재생산비용과 재고비용을 고려하여 생산비용 및 물류비용, 재고비용을 최소화하는 MILP모델을 제안하였다. Aras et al. (2008)은 수거센터의 입지 선정뿐 아니라 수거할 제품의 가격을 최적화하는 MINLP(Mixed Integer Non-linear Programming) 모델을 제시하였다. 더 나아가, Fleishmann et al. (2001), Lu and Bostell (2007) 등은 회수물류뿐 아니라 순방향의 물류까지 통합한 통합물류(integrated forward/reverse logistics)에서의 네트워크 구축에 대해 연구하였다. 또한, Yun (2014)은 유전 알고리즘을 적용하여 회수물류에서 집중형 네트워크와 분산형 네트워크의 성능을 비교하였다.

위의 연구들이 모든 변수들을 확정적(deterministic)이라고 가정한 것과 달리 실제 수요의 양이나 회수되는 물류의 양, 품질 등의 변수(parameter)들이 상당한 변동성(uncertainty)을 가지고 있다. Listes and Dekker (2005)는 오염된 모래를 재활용하는 회수물류에서 회수되는 모래의 양이 시나리오에 따라 달라질 때, 총 이익(total profit)을 최대화시키는 확률적 방법(Stochastic Programming)을 제안하였다. Pishvaei et al. (2009)는 순방향과 역방향의 물류가 통합된 통합물류(integrated logistics)에서 제품의 수요와 회수되는 제품의 양이 특정분포를 따른다고 가정하고 물류네트워크를 결정하는 확률적 MILP(Stochastic MILP)를 연구하였다. 이 외에도 Salema et al. (2007), El-Sayed et al. (2010), Roghianian and Pazhoheshfar (2014)도 수요와 회수되는 제품의 양의 변동성을 고려하여 회수물류

네트워크의 최적화를 연구하였다.

물류네트워크 구축 시에도 단순히 회수되는 양뿐 아니라 회수된 물류의 품질(quality)에 대한 고려 또한 중요하다. 회수된 제품의 재생산을 위해서 드는 비용은 회수된 제품의 품질에 크게 의존하기 때문이다. Chouinard et al. (2008)은 회수된 제품과 재생산 비용에 대한 관계를 고려하여 회수되는 제품의 품질을 폐기, 새 제품, 좋은 상태, 훼손, 미파악의 5가지의 경우로 나누고 이를 고려하여 물류네트워크를 구성하였다. Pishvae et al. (2009)은 통합 물류 상황 하에서 회수되는 제품의 품질에 따른 폐기를 고려하였다. 이와 유사하게, 회수된 제품 통하여 재생산된 제품의 품질을 고려하여 물류 네트워크를 구축하는 연구도 진행되었다 (Das and Chowdhury, 2012).

한편 본 연구에서는 근접할당(CA) 규칙을 적용하여 회수 물류 네트워크 간 연결 (예: 지역-수거센터, 수거센터-공장 등)을 구축한다. 근접할당은 네트워크 상 가장 가까운 시설 (지역-수거센터, 수거센터-공장)로 할당되도록 제약식을 통하여 유도함으로써 비용 및 시간을 최소화 시킨다. Nozick (2001), Guha et al. (2003) 그리고 Song et al. (2013) 등은 근접할당을 적용, 다양한 시설의 네트워크 구축 문제를 연구하였다.

3. 수리 모형

3.1 문제 상황

전자 회사 A는 자사의 사용 완료 제품의 의무 수거율 달성과

사용 완료 제품의 재생산을 통한 이윤 창출을 위하여 제품 수거 센터를 설립하고자 한다. 재생산을 통한 제품 생산의 경제성은 사용 완료 제품의 품질에 매우 의존적이며, 사용 완료 제품의 품질 수준이 낮을 경우 비싼 재생산 비용이 요구됨으로써 재생산 과정의 경제성은 악화된다. 반면 높은 품질 수준의 사용 완료 제품만을 수거할 경우, 의무 수거율을 달성하지 못하여 벌금 및 정부의 제제가 가해질 수 있다. 최소 수거 품질 수준이 낮을 수록 더욱 많은 사용 완료 제품을 수거 가능하지만 재생산 과정의 경제성은 악화되기 때문에, 회사는 제품들의 품질 수준을 검사, 의무 수거율 달성을 위한 최소 품질 수준 (Q^*)을 만족시키는 사용 완료 제품들만을 회수, 수거 센터 및 공장으로 운송시킨다. 각각의 지역 i 에는 R_i 만큼의 사용 완료 제품이 존재되며, 사용 완료 제품의 품질 수준은 특정 분포를 따른다. 각각의 지역 i 에서 회수된 품질 수준 Q^* 이상의 사용 완료 제품은 j 지역에 위치한 수거 센터 센터를 거쳐 공장으로 운송, 재생산 과정을 거치게 된다. Fig. 1은 본 연구에서 고려된 회수 물류 네트워크를 나타낸다.

이와 같은 상황에서 수거 센터 설립을 위한 후보 지역들 $j \in J$ 중 의무 수거율 (δ)을 만족시키는 동시에 수거 센터 설립 예산과 운송 비용 최소화 시키기 위한 수거 센터들의 위치와 용량(C_j), 지역 $i \in I$, 수거 센터 $j \in J$ 그리고 공장 $k \in K$ 간의 회수 물류 네트워크 구성 그리고 사용 완료 제품의 최소 수거 품질 기준이 수리 모형의 개발을 통해 결정된다. 지역, 수거 센터, 공장 간의 네트워크 연결은 근접 할당(CA) 규칙을 적용, 각 지역(수거 센터)는 할당 가능한 수거 센터(공장) 중 가장 가까운 곳으로 할당됨으로써 운송 비용을 최소화 시키고자 한다.

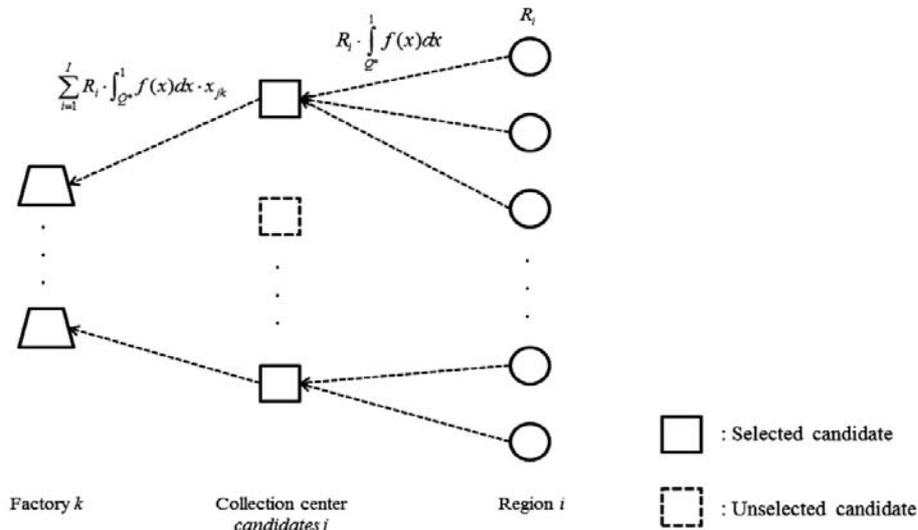


Fig. 1. Reverse logistics network with minimum quality level of end-of-product

3.2. 시스템 및 결정 변수

I : 지역 i 의 집합

J : 수거 센터 후보 지역 j 의 집합

K : 공장 k 의 집합

d_{ij} : 지역 i 에서 수거 센터 j 까지의 거리

d_{jk} : 수거 센터 j 에서 공장 k 까지의 거리

R_i : 지역 i 에서 수거되는 사용 완료 제품의 양, 수거된 사용 완료 제품의 품질은 특정 분포를 따름

t_{ij} : 지역 i 에서 수거 센터 j 까지의 단위 운송 비용

t_{jk} : 수거 센터 j 에서 공장 k 까지의 단위 운송 비용

D : 의무 수거율의 기준이 되는 판매된 제품량

δ : 의무 수거 쿼터

C_j : 양의 실수 결정 변수, 수거 센터 j 의 용량

F_j : 양의 실수 결정 변수, 수거 센터 j 의 설립 비용

A_j : 후보 지역 j 의 수거 센터 설립 기본 비용

C_{jmax} : 후보 지역 j 에 설립 가능한 수거 센터의 최대 용량

Q^* : 양의 실수 결정 변수, 최소 수거 품질 기준, $0 \leq Q^* \leq 1$

y_j : 이진법 결정 변수, 수거 센터 후보 지역 j 에 수거 센터가 설립되면 1, 아닐 경우 0.

x_{ij} : 이진법 결정 변수, 지역 i 의 사용 완료 제품이 수거 센터 j 로 운송될 경우 1, 아닐 경우 0.

x_{jk} : 이진법 결정 변수, 수거 센터 j 에서 품질 검사를 통과한 사용 완료 제품이 공장 k 로 운송될 경우 1, 아닐 경우 0.

3.3. 수리 모형

Minimize

$$\sum_{j=1}^J F_j \cdot y_j + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_i \cdot \int_{Q^*}^1 f(x) dx \cdot t_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_j \cdot t_{jk} \cdot x_{jk} \quad (1)$$

Subject to

$$C_j = \sum_{i=1}^I R_i \cdot \int_{Q^*}^1 f(x) dx \cdot x_{ij} \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J C_j \geq \delta \cdot D \quad (3)$$

$$C_j \leq C_j^{\max} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$F_j = a_j \cdot y_j \cdot (1 + \alpha \ln(\sum_{i=1}^I C_j)) \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^J d_{is} \cdot x_{is} \leq d_{ij} + M(1 - y_j) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} = y_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{l=1}^K d_{jl} \cdot x_{jl} \leq d_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (10)$$

$$0 \leq Q^* \leq 1 \quad (11)$$

$$C_j, F_j \text{ is positive real number} \quad (12)$$

$$y_j, x_{ij}, x_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (13)$$

수식 (1)은 본 수리 모형의 목적 함수를 나타낸다. 목적 함수를 통하여 수거 센터의 설립 비용, 총 운송 비용을 최소화 시키고자 한다. 수식 (2)는 수거 센터 j 에 회수된 후 재생산 과정을 위하여 수거 센터 j 에서 공장 k 로 운송될 사용 완료 제품의 양을 나타내는 반면, 수식 (3)은 회수된 사용 완료 제품의 총 양이 법적으로 지정된 의무수거량을 넘어야 함을 나타낸다. 수식 (4)는 각 후보 지역별 수거 센터 설립에 대한 용량의 제약을 나타낸다. 수식 (5)는 수거 센터 j 의 설립 비용을 나타내며, 이는 수거 센터 j 의 용량에 관한 함수로 표시된다. 수식 (6), (7) 그리고 (8)은 지역 i 와 수거 센터 j 간의 할당을 나타낸다. 수식 (6)에 의하여 지역 i 는 하나의 수거 센터 j 로 할당되어야 하며, 수식 (7)에 의하여 수거 센터 후보지 j 에 수거 센터가 설립되지 않은 경우, j 로의 할당은 불가능하다. 수식 (8)은 지역 i 와 수거 센터 j 간의 근접 할당 규칙을 나타낸다. 수식 (9)과 (10)은 수거 센터 j 와 공장 k 간의 할당을 나타낸다. 수식 (9)에 의하여 수거 센터 j 에서 공장 k

로의 할당은 수거 센터 j 가 설립되었을 경우에만 가능하며 하나의 공장으로부터만 할당 가능하다. 수식 (10)에 의하여 수거 센터 j 와 공장 k 간의 근접 할당이 이루어 진다. 수식 (11), (12) 그리고 (13)은 개발된 수리 모형의 결정 변수들을 나타낸다.

4. 해법 알고리즘

본 연구에서는 제안된 수리모형은 비선형적 요소로 인하여 최적 해를 보장하는 해법 방법론의 개발이 제한적이다. 본 연구에서는 다양한 분야의 최적화 문제에 범용적으로 사용되는 유전 알고리즘의 개발을 통하여 제안된 수리 모형의 최적 혹은 근사 최적해를 탐색한다. 유전 알고리즘은 Holland (1975)에 의해 처음 개발된 전역 최적화 알고리즘으로 생물의 진화를 모방, 문제의 해를 표현하는 각각의 염색체들이 선별, 교차 그리고 변이 과정을 반복적으로 거치며 최적의 해를 탐색하는 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 위치 선정 문제에서 최적해 혹은 근사 최적해를 찾기 위해 널리 사용되었다 (Jaramillo et al. 2002). Kannan et al. (2010)은 배터리 재활용을 위한 폐쇄 루프 공급 사슬 모델을 제안하였으며, 그 해법 알고리즘으로써 유전 알고리즘을 사용하였다. Ferdinand et al. (2015)은 유전알고리즘을 이용하여 전략적 제휴를 고려한 택배 수집 및 배달 경로를 설계 하였다. Song et al. (2015)은 근접 할당 규칙을 적용, 장기요양 시설의 최적 입지 선정 및 할당을 위한 유전 알고리즘을 개발하였다.

유전 알고리즘의 전반적인 절차는 다음과 같다. 초기 모집단

은 임의로 생성이 되며 모집단에 속하는 각각의 염색체는 최소 수거 품질 수준과 수거 센터 j 의 설립에 대한 정보를 담고 있다. 수거 센터 j 의 설립에 대한 정보와 근접 할당 규칙을 이용, 각 염색체 별 지역, 수거 센터 그리고 공장으로서의 할당이 계산된다. 염색체의 적합도는 염색체의 우수성을 나타낸다. 제안된 유전 알고리즘에서는 염색체의 정보와 할당 정보를 바탕으로 각 염색체들의 적합도가 계산되는데, 적합도는 설립비용, 운송비용 그리고 의무 수거량 위반으로 인한 벌금으로 계산된다. 계산된 각 염색체의 적합도를 바탕으로 선별 과정을 통해 모집단 내에서 두 개의 염색체를 부모 염색체로 선별한다. 선별된 부모 염색체들로부터 교차와 변이 과정을 거쳐 하나의 자손 염색체가 생성되며 다음 세대의 모집단이 모두 생성될 때까지 위 과정은 반복된다. 제안된 유전 알고리즘에서는 종료 조건으로써 반복 횟수를 적용하였다. 즉, 지정된 반복 횟수 만큼의 모집단이 생성되었을 경우 제안된 유전 알고리즘은 종료, 유전 알고리즘의 진행 과정 중 가장 좋은 적합도 값을 가진 염색체가 최종 해로써 선택된다. 제안된 유전 알고리즘의 전반적인 절차는 Fig. 2과 같다.

4.1 염색체 구조

유전 알고리즘에서 모집단을 구성하는 각각의 염색체는 각각 제안된 문제의 해를 나타낸다. 본 연구에서 제안된 염색체는 결정 변수인 최소 수거 품질 수준과 수거 센터 후보지 별 수거 센터 설립 여부에 대한 정보를 지니고 있다. Fig. 3은 개발된 유전 알고리즘의 염색체의 구조를 나타낸다.

염색체의 처음 두 유전자는 최소 수거 품질 기준을 나타낸

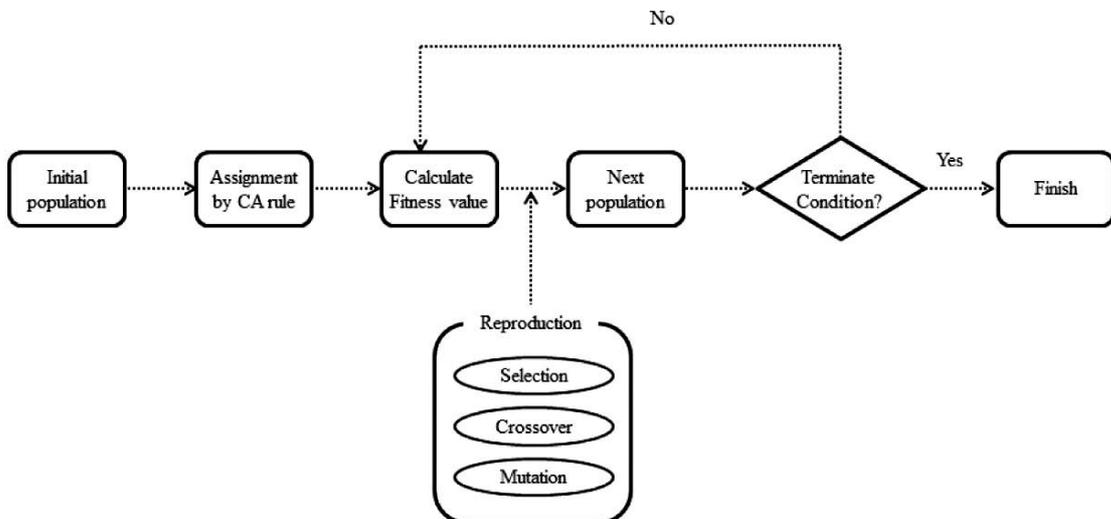


Fig. 2. Procedures for genetic algorithm



Fig. 3. An example of proposed chromosome structure

다. Fig. 3에서 처음 두 유전자의 값 4와 3은 사용 완료 제품 중 품질 수준이 0.43 이상인 사용 완료 제품을 수거하겠다는 정보를 나타낸다. 염색체의 세 번째 유전자부터 마지막 까지는 수거 센터 설립 후보지 j 에 수거 센터의 설립 여부를 나타낸다. 유전자의 값이 1일 경우는 수거 센터의 설립을, 0일 경우는 수거 센터를 설립하지 않음을 나타낸다. 최초 모집단 염색체들의 유전자 값은 임의적으로 결정된다. 주어진 염색체는 최소 수거 품질 기준과 수거 센터의 설립 여부에 대한 정보만을 포함하고 있지만, 근접 할당 규칙 즉 수식 (8)과 (10) 그리고 지역, 수거 센터 후보지, 공장 간의 거리 정보를 이용하여 회수 물류 네트워크 연결이 자동적으로 산출 가능하며 이를 통하여 수거 센터 j 의 용량 또한 계산된다. 염색체를 통하여 주어진 최소 품질 기준, 수거 센터의 위치 정보와 산출된 물류 네트워크 연결, 수거 센터의 용량 정보를 이용하여 각 염색체의 적합도 값이 계산된다.

4.2 적합도 함수

적합도 평가는 각 염색체의 목적함수 값 및 제약 사항의 위반 여부를 평가하기 위해 이루어진다. 효율적인 적합도 함수의 개발은 유전 알고리즘의 최적해로의 수렴도를 증가시킴으로써, 효율적인 최적해의 탐색을 가능케 한다. 본 연구에서 각 염색체의 적합도 값은 적합도 함수 (14)에 의해 계산된다.

$$\sum_{j=1}^J F_j \cdot Y_j + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_i \cdot \int_{Q^*}^1 f(x) dx \cdot T_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_j \cdot T_{jk} \cdot X_{jk} + \sum_{j=1}^J C_{p1} \cdot (C_j^{\max} - C_j) + C_{p2} \cdot \max \left\{ 0, \left(\delta \cdot D - \sum_{j=1}^J C_j \right) \right\} \quad (14)$$

적합도 함수는 총 두 부분으로 구성되어 있다. 첫 부분은 염색체가 나타내는 목적함수 값이며, 두 번째 부분은 제약 조건의 위반에 따른 벌금이다. 수식 (14)에서 C_{p1} 은 시설이 용량 제약을 위반하였을 때, 초과한 단위 용량당 부과되는 벌금을, C_{p2} 는 의무 수거율의 위반에 따른 벌금을 나타낸다. 수식 (14)을 통하여 유전 알고리즘은 목적함수 값을 최소화 시키는 동시에 의무 수거량 위반과 수거 센터 용량 제약 위반으로 인한 패널티를 최소화 하는 방향으로 염색체들을 진화시킨다.

4.3 선별, 교차, 변이

선별 과정의 목적은 다음 세대 자손 염색체를 생성하기 위한 두 개의 부모 염색체를 고르는 것이다. 제안된 수리 모형은 최소화 모형으로써 적합도 함수의 값이 적은 염색체일수록 좋은 자손 세대 염색체를 생성할 확률이 크다. 선별 과정은 수레 바퀴 방법을 사용하였으며, 적은 적합도 값을 가지는 염색체가 부모로 선별될 확률을 높이기 위하여 모집단 내 각 염색체의 적합도에서 모집단의 염색체 중 최대 적합도를 가지는 염색체의 값을 빼준 후 그 제곱 값을 취함으로써 가장 적은 적합도 값을 가지는 염색체가 가장 큰 선별 확률을 가지도록 하였다.

선별된 두 부모 염색체로부터 교차와 변이 과정을 거쳐 다음

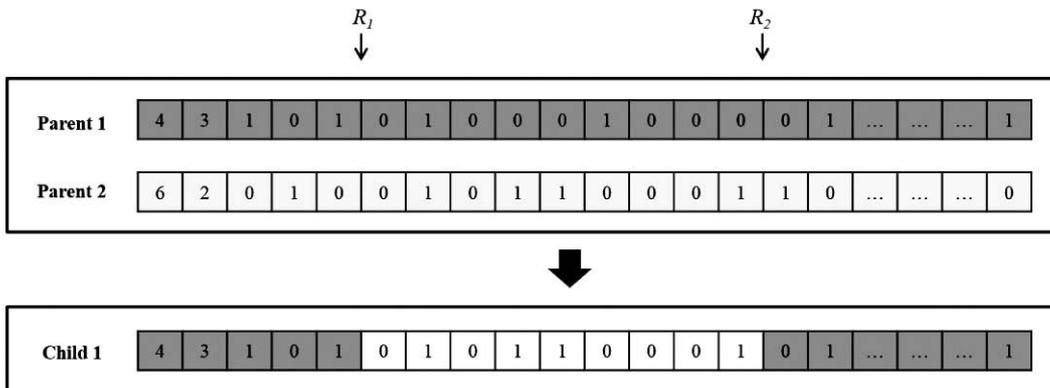


Fig. 4. Generation of a child chromosome with two point crossover

세대의 자손 염색체가 생성된다. 임의로 생성된 확률이 기존에 정해진 교차 확률 P_c 보다 작을 경우, 자손 세대 염색체에 대한 교차 과정이 진행된다. 본 연구에서는 이점 교차방법이 적용되었으며 Fig. 4는 이점 교차 방법을 나타낸다. $[1, |J|]$ 사이의 임의의 두 값 R_1, R_2 가 생성, Fig. 4의 과정을 거쳐 하나의 자손 염색체가 생성된다. 제안된 염색체의 특성상 이점 교차를 수행할 경우 최소품질수준 부분에서 교차가 일어날 경우가 적지만, 최소 품질 수준의 경우의 수가 100가지에 제한되므로 충분한 수의 모집단 별 염색체 수와 유전 알고리즘의 반복 횟수의 설정을 통하여 최소 품질 수준의 수렴성을 보장할 수 있다.

교차 과정 후 마지막으로 변이 과정을 거치게 된다. 변이 과정은 확률적으로 유전자를 변화시킴으로써 다양한 해법 공간을 탐색할 수 있도록 한다. 각 염색체의 각 유전자마다 임의의 확률을 발생, 기존에 정해진 돌연변이 허용 확률 P_m 보다 작은 경우 처음 두 유전자는 0과 9 사이의 수를 임의로 발생, 나머지 유전자는 0과 1 중 하나의 값을 임의로 발생하여 새로운 해를 탐색한다.

5. 수치 예제

5.1 수치 예제

본 연구에서 제안된 수리 모형과 유전 알고리즘의 타당성은 임의로 생성된 데이터를 적용, 수치 예제를 통하여 검증되었다. Table 1은 30개의 지역에 대한 위치 및 각 지역에서 수거되는 사용 완료 제품의 양, R_i 정보를 나타내며 Table 2는 10개의 수거 센터 설립 후보지에 대한 위치, 설립 기본 비용 및 최대 설립 가능 용량을 나타낸다. 3개의 공장의 (619, 124), (688, 293) 그

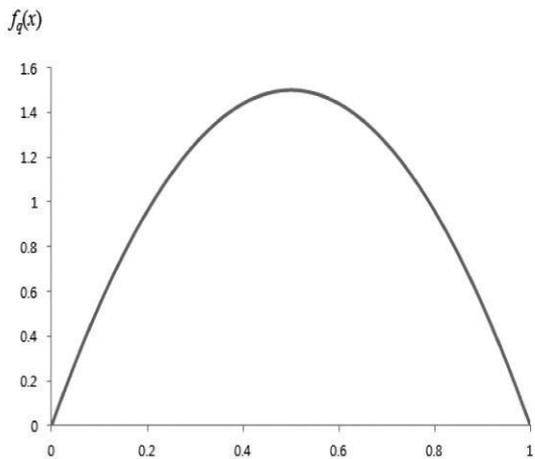


Fig. 5. Probability density function of Beta distribution (2, 2)

Table 1. Information of 30 regions in numerical example

지역 번호	x 좌표	y 좌표	R_i	지역 번호	x 좌표	y 좌표	R_i
1	643	2	477	16	744	722	425
2	205	261	410	17	966	570	441
3	762	848	440	18	890	397	436
4	254	171	496	19	274	27	418
5	238	932	411	20	680	218	451
6	688	947	440	21	704	513	433
7	292	584	465	22	147	399	426
8	699	333	456	23	245	246	405
9	120	212	402	24	324	571	440
10	157	271	486	25	354	929	474
11	732	571	441	26	660	573	491
12	921	860	491	27	478	721	495
13	590	150	469	28	81	571	480
14	765	647	449	29	701	300	437
15	810	579	464	30	243	614	443

Table 2. Information of candidate locations for collection center

후보지 번호	x 좌표	y 좌표	A_j	C_j^{max}
1	802	651	113	1200
2	223	479	200	1300
3	907	355	109	1500
4	929	602	157	1300
5	891	981	166	2000
6	328	269	144	1200
7	354	636	165	1800
8	904	876	173	1500
9	54	266	142	1400
10	118	368	149	1300

리고 (854, 872)에 위치해있다.

각 지역에서 수거된 사용 완료 제품의 품질은 베타 분포(2,2)를 따르는 것으로 가정되었다. Fig. 5는 베타 분포(2,2)의 확률 밀도함수를 나타낸다.

의무 수거량의 기준이 되는 판매 제품량(D)은 10,000, 그리고 의무 수거 쿼터 (θ)는 0.7로 설정되었다. 유전 알고리즘은 각 모집단 별 200개의 염색체를 생성하였으며, 이러한 과정을 200번 반복함으로써 총 40,000개의 염색체를 탐색하였다. 교차 확률 P_c 와 돌연변이 허용 확률 P_m 은 0.7과 0.05로 설정되었다. 유전 알고리즘은 C^{++} 프로그래밍 언어를 사용, Intel(R) Core(TM) i5-4460 CPU 3.20GHz, 8.00 GB RAM의 개인용 컴퓨터에서

구현되었으며, 유전 알고리즘의 실행 시간은 1.73 초였다. 유전 알고리즘의 결과, 품질 수준 0.48 이상의 사용 완료 제품만을 수거하며, 총 수거량은 7,134 개로 나타났다. 이는 의무 수거량인 7,000을 만족시키며 최소 수거 품질 수준이 0.47인 경우에는 의무 수거 제약을 위반하게 된다. 수거 센터는 후보지 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 에 설립되는 것으로 나타났으며 각 지역과 공장과의 연결은 근접 할당을 통해서 이루어 졌다. 총 설립 비용은 4535.24 이며 운송 비용은 609.676으로 나타났다. 10개의 후보 지역 중 7군데에 수거 센터가 설립되는데 이는 각 후보지 별 설립 가능 용량의 제약, 즉 제약식 (4) 때문이다. 제약식 (4)를 적용하지 않을 경우에는 유전 알고리즘은 기본 설립 비용이 가장 저렴한 후보 지역 3에 하나의 센터를 설립, 품질 수준 0.48 이상인 사용 완료 제품 7,134 개를 하나의 수거 센터에서 처리하도록 한다.

5.2 확률 밀도 함수 민감도 분석

수거된 사용 완료 제품의 품질은 다양한 분포를 따를 수 있다. 본 절에서는 수거된 사용 완료 제품의 품질이 베타 분포(5,2)와 베타 분포(2,5)를 따르는 경우에 대하여 유전 알고리즘을 적용시켜 보았다. Fig. 6은 베타 분포(5,2)와 베타 분포(2,5)의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

사용 완료 제품의 품질이 베타분포(5,2)를 따를 때, 유전 알고리즘은 품질 수준 0.72 이상의 사용 완료 제품을 수거, 총 7,210개의 사용 완료 제품을 수거 센터로 운송한다. 한편 사용 완료 제품의 품질 수준이 베타분포(2,5)를 따를 때는 품질 수준 0.25 이상의 사용 완료 제품 7,187개를 수거한다. 두 경우 모두 수거 센터는 후보 지역 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 에 설립이 되지만 사용 완료 제품 수거량의 차이에 따라 목적함수 값은 5156.889와 5153.322로 약간의 차이가 존재한다. 실제 사용 완료 제품의

품질은 제품의 특성에 따라 다양한 확률 분포를 따를 것으로 예상되며, 개발된 유전 알고리즘은 다양한 확률 분포를 가진 사용 완료 제품의 품질 수준에 대하여 최적 혹은 근사 최적의 최소 수거 품질 수준과 수거 네트워크를 구성할 수 있을 것으로 기대 된다.

6. 결론

최근 대량생산이 가속화되고 제품의 수명주기는 짧아지면서, 자원의 고갈이나 환경오염, 폐기물 처리문제 등이 대두되었다. 또한 소비자들의 환경에 대한 관심 증대, EPR과 같은 환경정책 등과 맞물려 회수물류에 대한 관심은 더욱 증대되고 있다. 본 연구에서는 사용 완료 제품의 최소 수거 품질 기준, 수거 센터의 위치 선정 및 수거 네트워크 구성에 대한 최적화 문제가 다루어 졌다. 수리 모형이 개발되었으며 개발된 수리 모형의 최적 혹은 근접 최적해를 찾기 위하여 유전 알고리즘이 개발되었다. 개발된 유전 알고리즘은 임의의 데이터를 통하여 그 타당성이 검증되었는데, 도출된 해는 최소 의무 수거량, 수거 센터의 용량 제한 및 근접 할당에 대한 제약 사항들을 준수하며 최소의 수거 센터 설립 비용과 운송 비용을 제공하는 수거 물류 네트워크를 도출하였다. 또한 다양한 품질 분포를 따르는 사용 완료 제품에 대하여도 합리적인 해를 도출함으로써 실제 수거 네트워크 상의 다양한 제품 품질 수준 분포에 대하여도 최적 혹은 근접 최적 해를 도출할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 최소 품질 수준과 수거 센터 위치 선정 및 수거 네트워크 구성만이 고려되었다. 하지만 추후 연구에서는 수거된 제품의 품질 수준에 따른 차등적인 재생산 비용을 고려, 재생산 과정을 통한 이윤 최대화도 동시에 다루어 질 수 있을 것이다.

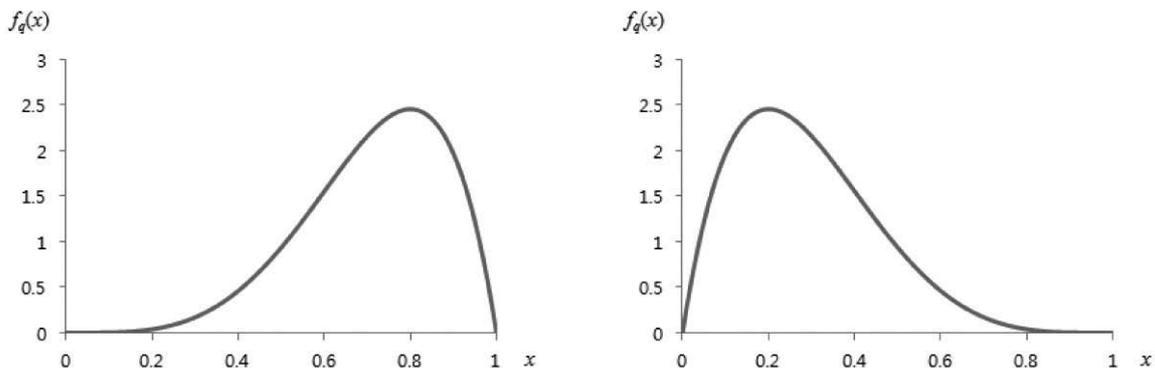


Fig. 6. Probability density function of Beta distributions (5, 2) and (2, 5)

REFERENCES

- [1] Act on the promotion of saving and recycling of resources Article 16 (Obligations of Manufacturers, etc. to Recycle), Act no. 14230 (Enforcement Date: 2016.05.29).
- [2] Aras, N., Aksent, D., Tanuğur, A. Gönül (2008), Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles, *Eur. J. Oper. Res.*, 191(3), 1223~1240
- [3] Chouinard, M., D'Amours, S., Ait-Kadi, D. (2008), A stochastic programming approach for designing supply loops, *International Journal of Production Economics*, 113(2), 657~677.
- [4] Das, K., Chowdhury, A.H. (2012), Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning, *International Journal of Production Economics*, 135(1), 209~221.
- [5] Dowlatshahi, Shad (2000), Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30, 143~155.
- [6] El-Sayed, M., Afia, N., El-Kharbotly, A. (2010), A stochastic model for forwardreverse logistics network design under risk. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 423~431.
- [7] Ferdinand, F.N., Kim, H.B., Ko., C.S. (2015), Design of Pick-up and Delivery Routes for Strategic Alliance in Express Delivery Services, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 15(1), 63~70.
- [8] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-ruwaard, J.M., Wassenhove, L. (2001), The impact of product recovery on logistics network design, *Prod. Oper. Manag.*, 10, 156~173
- [9] Guha, S., Meyerson, A., and Munagala, K. (2003), A constant factor approximation algorithm for the fault-tolerant facility location problem, *Journal of Algorithms*, 48(2), 429~440.
- [10] Holland, J.K. (1975), *Adaptation in natural and artificial system: An introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence*, Michigan: University of Michigan Press.
- [11] Jaramillo, J.H., Bhadury, J. and Batta, R. (2002), On the use of genetic algorithm to solve location problems, *Computers and Operations Research*, 29(6), 761~779.
- [12] Jayaraman, V., V.D.R. Guide Jr., R. Srivastava (1999), A closed-loop logistics model for remanufacturing, *Journal of the Operation Research Society*, 50(5), 497~508
- [13] Kannan, G., Sasikumar, P., and Devika, K. (2010). A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling, *Applied Mathematical Modeling*, 34(3), 665~670.
- [14] Korea Environment Corporation Homepage (<https://www.iepr.or.kr/epr/irdt/eprPrdcOrRspnRyclSstm.do>).
- [15] Krikke, H.R., A. van Harten, P.C. Schuur (1999), Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers, *OR Spektrum*, 21(3), 381~409.
- [16] Listes, O, Dekker, R. (2005), A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*, 160, 268~287.
- [17] Lu, Z. and Bostel, N. (2007), A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities, *Comput. Oper. Res.*, 34(2), 299~323.
- [18] Nozick, L. K. (2001). The fixed charge facility location problem with coverage restrictions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(4), 281~296.
- [19] OECD (1999), *Extended producer responsibility: A guidance manual for governments*. France: Paris.
- [20] Pishvaei, M.S., Jolai, F., Razmi, J. (2009), A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design, *Journal of Manufacturing Systems*, 28(4), 107~114.
- [21] Public announcement on the mandatory recycling ratio for each product and packing material for 2016, Ministry of Environment, no. 2015~242, 2015.12.29.
- [22] Roghanian., E. and Pazhoheshfar, P.(2014), An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm, *Journal of Manufacturing Systems*, 33(3), 348-356
- [23] Salema, MIG, Barbosa-Povoa, A.P., Novais, AQ. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179, 1063~1077.
- [24] Song, B.D., Ko, Y.D., and Hwang, Hark (2015), The

design of capacitated facility networks for long term care service, *Computers and Industrial Engineering*, 89, 177 ~ 185

- [25] Song, B.D., Morrison, J.R., Ko, Y.D. (2013), Efficient location and allocation strategies for undesirable facilities considering their fundamental properties, *Computers &*

Industrial Engineering, 65(3), 475~484.

- [26] Yun, Y. (2014), Comparison of Reverse Logistics Networks in Centralized and Decentralized Areas, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 14(1), 41 ~ 54.



송병덕

고려대학교 산업시스템정보공학과 학사
KAIST 산업및시스템공학과 석사
KAIST 산업및시스템공학과 박사
현재: 세종대학교 호텔관광경영학과
관심분야: 최적화, SCM, Logistics,
Revenue Management



오용희

KAIST 산업공학과 학사
KAIST 산업공학과 석사
KAIST 산업공학과 박사
현재: 대진대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 생산관리, 재고관리, 일정관리,
OR응용



박경수

연세대학교 정보산업공학과 학사
KAIST 산업및시스템공학과 박사
관심분야: SCM, 제조시스템, 모델링 및
최적화

인공신경망을 이용한 계획 공정 프로세스 군집 예측*

주병준 · 배혜림[†]

부산대학교 산업공학과

Planning Process Cluster Prediction Using Artificial Neural Networks

Byeong Jun Joo · Hye Rim Bae[†]

Department of Industrial Engineering, Pusan National University

In order for recent manufacturing to meet customer demand in the complex production environments, many conditions need to be satisfied. In such environments of the increased order requirements of the production, the frequent change of the production process may occur. With current production technology, it is difficult to prepare an exact process plan due to the uncertain customer demand. In this paper, we develop a method to prepare a production process by utilizing artificial neural network (ANN) to classify the process into a cluster group considering the various requirements. As a result, we expect that it can contribute to improving the efficiency of real steel manufacturing company, of which we will show a case study.

Keywords: Planning Process Prediction, Artificial Neural Network, Trace Clustering, Mixed-Model Production Systems, Multiclass classification

1. 서론

국내 제조업의 형태가 다품종 소량 생산으로 변화하면서 제조 현장에서는 수요에 맞는 제품을 생산하는데 고려하여야 할 사항이 많아지고 있다. 동일 제품의 생산량은 감소하고 생산 품목의 주문 사항이 늘어나게 되면서, 생산 프로세스가 다양해지고 이는 공정 형태 변환이 자주 발생하게 한다. 뿐만 아니라 고객 수요의 불확실성으로 공장 내 자재 확보 및 계획 공정 수립에 어려

움이 존재한다.

이에 따라 다양한 제조업에서 하나의 생산 라인에서 여러 가지 제품을 동시에 생산할 수 있는 '혼류생산'을 통해 재고량과 불량률을 줄이고 수요에 신속히 대응하는 생산 방식을 사용하고 있다. 혼류 생산 방식을 택한 제조업들은 범용 설비를 사용하거나 표준화된 부품 조합에 의한 모듈러 생산 등을 통해 생산 효율성을 높이고 고객들의 주문 상황에 발 빠르게 대응하고 있다. 하지만 공용의 자재 및 생산 설비를 사용하게 되면서 다양한 제품 요구 사항과 제품 생산에 필요한 자재의 종류 및 규격, 수요자의

*본 연구는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)의 일환으로 수행되었습니다.

[†] **Corresponding author:** Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Korea.

Tel: +82-51-510-2733, E-mail: hrbae@pusan.ac.kr

특징 등을 모두 고려하여 계획 공정을 반영하기 힘들다는 단점은 여전히 존재하고 있다. 제조업에서 수요자와 공급자의 요구를 빠르게 충족시키기 위해서는 유연한 생산 방식의 전환이 필요하고, 이에 따라 재빠른 계획 공정 수립과 주기적인 공정 흐름 파악이 중요시되고 있다.

본 연구에서는 국내 철강 산업의 사례를 바탕으로 유사한 특징의 제품 단위 프로세스가 가지는 공정들을 군집화하고 새로운 철강 제품의 수요가 발생했을 때, 이 제품이 어떤 군집에 속할지를 예측하는 모델을 개발한다. 이를 위해서 기존 공정의 로그 데이터를 수집하고 제품별 로그를 자취 군집화(Trace Clustering)하여 예측하는 모델을 제안한다.

철강 산업의 업무 형태는 대부분 철 코일을 가져와 두께와 폭, 철의 강도, 용도 등을 거래처와 수요자의 주문에 맞추어 가공하는 공정을 거치게 되고 추세에 따라 주문 제품의 종류가 계속해서 변화됨에 따라 공정의 형태도 함께 변화하게 된다. 이러한 상황을 고려하여 계획 공정 프로세스를 수립하기 위해 고려되는 생산 제품의 요구 사항, 자재 정보, 수요자의 특징 등의 요소들을 반영하는데 발생하는 실수를 최소화하고자 기계학습의 한 종류인 인공신경망 모델을 통해 예측 정확도를 향상시켰다. 이는 다품종 소량 생산의 제조 형태에서 추세에 따라 제품 특성이 변화됨에 따라 수요에 맞는 맞춤형 계획 공정을 신속하고 정확하게 예측함으로써 공장 내 효율성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

본 논문의 전체적인 구성은 2장의 배경 연구에서 실험에 사용되는 다층 전방향 인공신경망과 기존의 연구에 대해 살펴보고, 3장에서 제품 단위 계획 프로세스 예측을 위한 모델링 방법을 소개한다. 다음 4장에서는 실제 데이터를 사용하여 신경망 모델의 분류 예측 정확도를 확인하고 5장에서 본 연구에 대한 결론 및 향후 연구에 대한 요약으로 끝을 맺는다.

2. 배경 연구

2.1 다층 전방향 인공신경망

다층 전방향 인공신경망(Multi-layer Feed-forward Neural network) 또는 다층 퍼셉트론(Multilayer Perceptron)으로 알려진 이 모델은 선형 분리가 되지 않는 기존 퍼셉트론[1]의 문제점을 보완하기 위해 입력 층과 출력 층 사이에 은닉 층을 추가한 형태이다[2] [3]. 각 노드는 인접한 층끼리 모두 연결되며 동일 층 내에서의 연결은 되지 않고 입력 정보를 순방향으로 전달한다. 즉 입력 층의 한 노드는 인접한 은닉 층의 모든 노드들과 연결되며 출력 층과는 직접적으로 연결되어 있지 않다.

다층 퍼셉트론은 각 층마다 연결된 가중치를 반복 조정하여 원하는 목표 값이 수렴되도록, 지도 학습에서 사용되고 일반화된 델타 규칙(Generalized Delta Rule)이라고도 불리는 오류 역전파(Back-propagation) 알고리즘 [4]을 통해 학습 성능을 향상시켰다. 오류 역전파 알고리즘은 각 층의 가중치(연결 강도)의 반복적인 편미분을 통해 원하는 목표 값(T_{nk})과 신경망 모델의 학습으로 계산된 실제 출력 값(O_{nk})의 차이를 비교하고, 평균 제곱 오차(Mean Square Error)를 계산하여 오차 함수($E(w)$)가 최소가 되는 지점을 찾는 과정이라 할 수 있다. 오차 함수의 형태를 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$E(w) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} (T_{nk} - O_{nk})^2 \quad (1)$$

[Notation]

- N : 학습 패턴의 총 개수
- n : 입력 패턴
- k : 출력 패턴

오차 함수의 값이 최소가 되는 지점을 찾는 방법은 경사 하강법(Gradient Descent)을 사용한다. 이는 학습 구간 마다 오차 함수의 기울기를 구하고, 그 값과 해당 구간의 가중치 값의 차이를 다음 학습 구간의 가중치 값으로 사용하는 방법이다. 그리고 학습 구간을 단계적으로 늘려나가면서 오차 함수의 기울기가 낮은 쪽으로 이동시켜 값이 최소가 되는 지점으로 수렴하도록 한다. 경사 하강법은 학습 단계마다 계산되는 오차 함수의 기울기에 따라 다음 학습 단계의 가중치 값을 얼마나 이동할지 결정하기 때문에 적절한 거리만큼 이동할 수 있도록 보정 값이 필요하다. 그 이유는 기울기 값이 너무 작으면 오차 함수가 최소가 되는 지점까지 도달하는데 반복 횟수가 많아져 계산 시간이 오래 걸리게 되고, 반대로 기울기 값이 너무 크면 원하는 지점에 수렴하지 못하고 발산해버릴 위험이 있기 때문이다. 이를 보완하기 위해 0과 1사이의 값을 가지는 학습률 상수(Learning Rate)를 오차 함수의 기울기에 곱하고 반복 조정하면서 적절한 모델의 학습 조건을 찾도록 한다. 경사 하강법을 수식으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$\Delta w_i = w_i - \eta \frac{\partial E}{\partial w_i} \quad (2)$$

[Notation]

- w_i : i 번째 반복 학습에서의 가중치 값
- η : 학습률 상수
- E : 오차 함수

최종적으로 오류 역전파 알고리즘은 인공 신경망 모델 결과와 실제 값과의 오차, 즉 비용함수가 최소가 되는 목표 값에 점점 수렴하도록 하는 역할을 한다. 그리고 이때 신경망의 출력 값이 이진값의 출력이 아닌 0에서 1사이의 연속적인 값을 산출하고 모든 점에서 미분 가능한 형태의 연속적인 곡선으로 표현되어 경사 하강법이 가능하도록 활성화 함수로 시그모이드(Sigmoid) 함수를 사용하였고, 학습 구조를 그림으로 나타내면 Figure. 1과 같다.

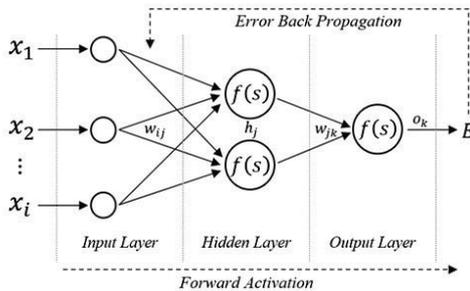


Fig. 1. Schematic Diagram of back-propagation

Figure. 1의 다층 퍼셉트론의 기본적인 학습 구조 형태를 보면 입력 신호 정보를 전방향(Forward)으로 순차적으로 전달하면서 각 노드의 가중치 합을 계산하여 실제 출력 값과 목표 값과의 오차를 구한다. 그리고 다시 반대 방향(Backward)으로 입력층까지 전달하면서 가중치를 반복적으로 조정하여 최종 실제 값과의 오차가 최소가 되는 학습 모델을 형성한다.

2.2 기존 연구

제조업에서 제품에 영향을 미치는 요인들을 판단하고 제어하여 최적의 결과를 찾는 것은 현재까지도 중요한 이슈이다. 하지만 특정 결과에 영향을 미치는 특성치, 물성, 환경 변수 등과 같은 여러 인자 혹은 변수 간의 상관관계를 명백히 규명하기는 매우 힘들다[5]. 기존의 요인 분석에 대한 연구로는 실험에 의해서 몇 가지 요인의 효과를 통계적으로 분석하는 방법론인 분산분석, 상관분석, 회귀분석 등과 같은 실험계획법 연구들이 다방면에서 진행되었다.

하지만 실험계획법은 실험에 직접 영향을 미치는 요소(인자)와 실험을 실시하기 위한 인자의 조건(수준), 반복 및 교호 작용 여부 등에 따라 실험 횟수가 기하급수적으로 증가한다는 특징을 가지고 있다[5]. 이에 따라 현실적으로 가능한 모든 실험을 관리 상태 하에서 실시하는데 시간적, 비용적 어려움이 존재하였다. 이후 1980년대 중반 다층 퍼셉트론의 등장과 함께 1990년대 후

반부터는 국내외 제조업에서 실험계획법과 인공신경망을 활용한 연구들이 다방면에서 진행되어왔다. 실험계획법과 인공신경망을 활용하여 설비의 설계 변수를 예측하거나[6] 공구의 마모, 변수 등을 예측하는 연구[7]가 진행되었다. 또한 제품의 성질이나 신뢰성 등을 예측하는 연구[8] 등에서 최적의 실험계획법 결과와 비교하였을 때 비슷한 결과를 보여 나쁘지 않은 예측력을 보였고, 결괏값에 영향을 미치는 요인들에 대해 분석 또는 분류하는데 인공신경망의 성능을 입증한 바 있다[9].

계획 공정 수립에 관한 연구로는 수리적인 접근 방법인 혼잡정수계획법, PERT/CPM 네트워크 기법, TSP(Traveling Salesman Problem)과 같은 연구가 널리 사용되어왔고[10], 공급 사슬망 관리를 통해 공급자에서부터 소비자에 이르는 전체 프로세스가 효율적으로 이루어지도록 최적화한 연구들이 다양하게 진행되나 있다[11]. 또한 시뮬레이션 모델링을 활용하여 시설 운용 또는 공정 흐름에 대한 전반적인 통찰력을 제공하고, 변화되는 공정 상황에 대한 가치 있는 대안을 찾아내었다[12]. 최근 들어 기계학습(Machine Learning)을 활용한 계획 공정 수립에 관한 연구는 가중 지연(Weighted Tardiness)의 최소화를 통해 효율적인 일정 계획 수립을 실시하거나[13] 인공신경망 기법을 활용하여 비정상 프로세스를 예측하여 항만터미널에서 프로세스 개선을 도모한 연구가 진행되었고[14], 인공신경망과 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 활용하여 복잡한 Job-Shop 스케줄링 문제를 다룬 연구가 진행되었다[15]. 그리고 본 연구의 사례 연구인 철강 산업에서도 평균 생산 흐름 시간 및 유휴 시간을 최소화하는 목적으로 공정의 여러 상황을 고려하기 위해 인공신경망 모델을 사용한 연구가 진행된 바 있다[16].

3. 제품 단위 계획 프로세스 예측 모델

3.1 예측 모델 소개

본 연구는 철강 산업에서 제품에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 고려하여 어떠한 계획 공정 군집을 수행하는 것이 좋은지 인공신경망 모델을 통해 분류 예측을 실시하며, 해당 모델의 전반적인 활동 흐름은 Figure. 2와 같이 표현된다.

기존의 인공신경망 모델을 통해 특정 결괏값에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 다양한 연구들로부터 그 성능이 입증되었고, 각 요인들이 계획 공정에 영향을 미치는 원인들을 명백히 규명하기 어렵다는 문제가 존재하였다. 이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 과거의 공정 프로세스 흐름이 좋은 데이터를 예측 모델의 학습 시 사용하여 추후 새로운 수요가 들어왔을 때 특정

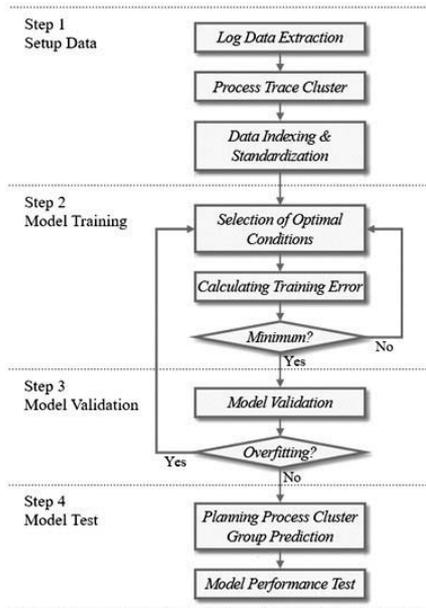


Fig. 2. Activity Diagram of Prediction Model

프로세스 군집 그룹을 예측하는 모델을 제안한다.

해당 예측 모델은 철강 산업의 특성상 공용의 자재 및 생산 설비를 사용하면서 발생할 수 있는 공정 프로세스가 다양하고, 추세에 따라 제품의 형태가 계속해서 변화한다는 점을 고려하였을 때 주기적이고 신속한 계획 공정 업데이트의 지원을 통해 공정 내 생산 효율성 향상에 기여할 것으로 기대된다. 모델의 예측 정확도를 높이기 위해 3장에서는 분류 대상(종속 변수)의 군집화, 데이터의 표준화, 모델의 최적 학습 조건 선정, 모델의 적합도 검증과 같은 사전 실험을 통해 실시한다.

3.2 로그 데이터 프로세스 자취 군집화

데이터를 다루는 연구 분야에서 데이터를 추출하고 전처리 과정을 통해 데이터 안에서 의미 있는 정보를 찾거나 활용하는 기술은 상당히 중요하다 [17]. 이에 따라 비정형화된 제조 빅데이터를 다루는 데이터 마이닝, 기계 학습, 프로세스 마이닝 등의 학문들에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 정보시스템에서 발생한 이벤트 로그를 인스턴스(Instance) 단위로 묶어 해당 인스턴스의 흐름(Trace) 정보로 프로세스 모델을 찾는 프로세스 마이닝을 통해 공정 간의 흐름을 분석하는데 유용하다 [18].

이벤트 로그 데이터는 기본적으로 공정 흐름 또는 특정 사건의 CaseID와 발생한 활동(Activity), 시간정보(Timestamp)로 형성되며, 활동을 수행한 주체인 CaseID가 식별자의 역할을 하여 해당되는 시간 정보를 기준으로 프로세스 흐름이 생성된다.

본 연구에서는 단위 제품 생산 및 주문 정보에 따른 공정 프로세스를 분류 예측하기 위해 로그 데이터에서 유사한 흐름의 공정을 CaseID별로 자취군집화(Trace Clustering)를 실시하였고, 해당 군집 그룹을 분류 대상(종속 변수)으로 사용하였다.

자취 군집화는 이벤트 로그의 발생 프로세스 간의 유사성을 따져 군집화를 수행하는 방법이다 [19]. 본 연구에서는 프로세스 마이닝 분석 도구인 ProM 5.2 프레임워크 내 기능을 사용하여 병합 계층 군집화 (Agglomerative Hierarchical Clustering)를 실시하였다. 계층적 군집화는 가장 유사한 활동 흐름에 대해서 단계적으로 병합을 수행하는 방법으로 군집들 사이의 거리 정보를 트리 형태의 덴드로그램(Dendrogram)으로 확인할 수 있어 적당한 군집을 선택하는데 도움이 된다 [19] [20].

3.3 데이터 인덱싱 및 표준화

병합 계층 군집화를 통해 추출된 이벤트 로그 활동 흐름의 군집 그룹은 기존의 로그 데이터에서 각 CaseID의 프로세스 흐름에 영향을 미치는 부가적인 정보들과 결합하여 분석에 사용되며 이는 예측에 필요한 요소(독립 변수)로 사용된다. 기존의 로그 데이터와 활동 흐름의 군집 그룹은 서로 식별 가능한 CaseID를 기준으로 데이터 인덱싱이 가능하다. 본 연구에서는 엑셀의 'vlookup' 함수를 이용하여 군집 그룹에 대한 정보를 불러와 데이터를 구성하였다.

분석에 앞서 인공지능망을 포함한 대부분의 기계 학습에서는 입력 값에 따라 결과 값이 결정되게 된다. 특히 인공지능망은 각 노드마다의 연결 가중치, 임계 값에 따라 결과 값이 크게 변화할 수 있어 입력 값을 표준화 하는 것이 상당히 중요하다 [21]. 실제로 기계학습에서 사용되는 입력 값들은 단위 기준이 다르거나 데이터 항목마다 범위가 다른 경우가 많기 때문에 데이터의 퍼짐 정도(분포)를 일정하게 하는 표준화를 실시하여 모델의 성능을 향상시키는 경우가 많다. 본 연구에서는 입력 값의 정보를 평균이 0, 표준편차가 1인 표준정규분포를 사용하여 데이터를 표준화하였다.

입력 값을 표준화하였다면, 범주 형태의 출력 값을 이항변수화하고 이진 형태의 값인 가변수(Dummy Variable)를 사용하여 예측의 정확도를 높였다. 인공지능망 모델에서 다중 분류 예측의 목적은 여러 범주 값들 중 하나의 변수 값을 선택하는 것이다. 분류하고자 하는 범주의 대상의 개수가 2개라면 바로 이진 형태의 값을 사용하면 되지만, 3개 이상인 다 범주 분류 문제인 경우에는 분류 대상 개수만큼 열 행렬을 생성하여 자신의 행에 해당되는 셀에만 1을 부여하고 나머지 셀에는 0을 부여하는 방법(One-hot Encoding)을 사용하여 모델의 성능을 높일 수 있

다. 여기서 변환된 행렬은 추후 분류 예측 모델에서 학습 대상의 출력 값(종속 변수)으로 사용된다.

3.4 최적 예측 모델 조건 설정

모델 형성에 필요한 데이터 구성이 끝나면 인공신경망 예측 모델 학습에 필요한 조건들의 조합을 반복적으로 변경시키면서 학습 오차율이 가장 낮은 최적의 예측 모델 학습 조건을 설정한다. 이때 학습 오차율은 두 모델의 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error: RMSE)를 계산하여 도출하였다.

본 연구의 예측 모델에서 고려하는 조건으로는 은닉 노드의 개수와 가중치 감소 매개 변수(Weight Decay Parameter), 학습 연산을 수행하는 반복 수(Iteration)이다. 먼저 신경망 모델에서 은닉 층 또는 은닉 노드의 개수는 조건 설정에 따라 추정하여야 할 가중치의 수가 달라지게 되고 이는 모델의 계산량, 학습 시간, 성능 등에 영향을 미치게 된다. 그렇기 때문에 적절한 은닉 노드의 수를 선정하여 적합한 예측 모델을 생성하는 것이 첫 번째 조건 설정이다.

두 번째 조건 설정은 입력 정보가 아닌 가중치 값에 의해 모델의 성능이 저하되는 단점을 극복하기 위해 가중치 감소 매개 변수를 사용하는 것이다. 인공신경망 모델은 각 층의 노드마다 연결된 가중치에 따라 모델의 복잡도와 성능이 결정되므로 신경망 모델이 가중치에만 너무 치중하여 학습이 되면 새로운 데이터가 들어왔을 때 학습이 잘 되지 않고 성능이 저하되는 과적합 문제를 발생시킨다 [22] [23]. 이러한 문제를 최소화하기 위해 본 연구에서는 기존의 다층 퍼셉트론의 학습 구조에 가중치 감소 매개 변수를 추가하여 가중치를 갱신하는 방법을 사용하였다.

인공 신경망 모델의 목적은 원하는 목표 값과 신경망 모델의 학습으로 계산된 실제 출력 값 차이를 비교하고 오차 함수가 최소가 되는 값을 찾아 나가는 과정이라고 할 수 있다. 여기서 소개되는 오차 함수($\tilde{E}(w)$)와 경사 하강법의 수식에는 기존의 식 (1), (2)에서 가중치 감소 매개 변수(λ)가 추가된 형태이며, 식 (3), (4)와 같이 표현된다.

$$\tilde{E}(w) = \tilde{E}(w) + \frac{\lambda}{2} w^2 \quad (3)$$

$$\Delta w_i = w_i - \eta \frac{\partial E}{\partial w_i} - \eta \lambda w_i \quad (4)$$

식 (3)을 보면 기존의 오차 함수($E(w)$)에 가중치 값에 대한 새로운 항이 추가된 형태이다. 새로운 오차 함수는 가중치 값을 클 경우에는 오차 함수가 같이 커지게 되면서 가중치 값을 억제

하는 역할을 한다. 역할의 원리는 오차 함수의 값이 커지게 되면 오차 함수의 기울기(편미분 값)도 증가하게 되고, 이를 식 (4)에 적용시켰을 때 다음 반복 학습에서의 가중치 값을 감소시켜 결국 변화량이 작아지도록 식에서 유도한다. 반대로 기존의 가중치 값이 작은 경우 현재의 식을 적용하면, 0에 가깝게 수렴하게 하여 모델 학습에 크게 영향을 미치지 않는 가중치들의 개수를 줄이는 역할을 한다. 결론적으로 가중치 감소 매개 변수를 추가하여 학습 모델이 유효한 가중치만 계산하도록 하여 모델의 복잡도를 낮추고 가중치 간의 편차를 줄이는 효과를 보이게 된다. 여기서 가중치 감소 매개 변수(λ)의 값은 0에서 1사이의 값으로 사용자가 조정함에 따라 모델의 복잡성을 통제하는 정도를 변화시킬 수 있다 [22] [23] [24].

본 연구의 예측 모델을 생성하기 위해 데이터 분석 도구인 R에서 'nnet' 패키지를 사용하였다 [25]. 이 알고리즘의 특징은 신경망 모델의 학습 시 가중치 감소 매개 변수를 사용자가 조절하면서 모델의 과적합 문제를 최소화하고 성능을 향상시키도록 하였다. 학습률 상수의 경우 학습 과정에서 이미 가중치 값 내부에 포함되어 있으며 별도의 조정은 하지 않는다 [23] [26]. 또한 가중치 감소 매개 변수의 값은 모델 성능에 적합하다고 제안되는 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 범위 값을 적용시켜가면서 오차율이 가장 낮은 최적의 모델 조건을 찾도록 설정하였다 [23].

위에서 은닉 노드의 개수와 가중치 감소 매개 변수의 최적 조건을 찾았다면, 해당 조건에서 학습 반복 수의 최적 값을 찾는다. 신경망 모델의 학습 연산을 수행하는 반복 과정은 너무 낮게 설정하면 학습률이 떨어질 수 있지만 일정 설정값부터 모델의 성능이 크게 향상되지 않는다면 효율적인 측면에서 높게 설정하지 않아도 되며, 오히려 너무 높게 설정하면 과적합의 문제가 발생할 가능성이 있다 [24]. 본 연구에서는 오차율의 감소 폭이 적은 구간의 학습 반복 수를 최적 조건으로 설정하여 신경망 모델의 학습을 진행하였다.

추가적으로 해당 예측 인공 신경망 모델의 성능을 향상시킬 수 있도록 'nnet' 패키지에서 분류 예측 시 출력 값의 결과 값을 정규화하는 Softmax 함수를 사용하여 보다 정교하고 정확한 예측 모델을 수립하였다. 기존의 신경망 모델의 출력 값은 활성화 함수(Sigmoid)에 의해 0에서 1의 값을 출력하게 된다. 이와 달리 Softmax 함수는 신경망 모델의 출력 값의 합이 1이 되도록 정규화하고 하나의 출력 노드가 1로 수렴하게 되면 나머지 출력 노드들의 값은 0에 수렴하도록 하는 Winner-Take-All 방법을 사용하였다. 이는 특정 출력 노드의 값이 변함과 동시에 나머지 다른 출력 노드들의 영향을 미치고, 반복 학습 시에 각 노드마다 연결된 가중치 값에도 관여를 함으로써 기존의 시그모이드 함수보다 학습을 가속한다는 장점이 있다 [23] [26]. 아래 식 (5)는 N

개의 출력 값이 존재 할 때 특정 출력 노드 x_i 가 활성화 되었을 때의 Softmax 함수의 형태를 나타낸다.

$$Softmax(x)_i = \frac{exp(x_i)}{\sum_{j=1}^N exp(x_j)} \quad (5)$$

3.5 모델 적합도 검증의 필요성

앞에서 학습 데이터의 표준화와 이항변수화, 그리고 신경망 모델의 최적 학습 조건을 찾아 기계학습에서 빈번히 발생하는 과적합 문제를 최소화하는 방법에 대해 소개하였다. 하지만 해당 학습 데이터가 아닌 새로운 데이터를 적용하였을 때, 즉 일반적인 신경망 모델로서의 적용이 적합하다고 판단하기는 이른다. 과적합의 문제는 과소 적합과 과대 적합으로 구분할 수 있다. 과소적합은 모델의 학습 또는 평가 및 검증을 할 때 모두 오차율이 높게 나타나는 경우다. 이는 입력되는 값들의 특성을 제대로 찾아내지 못하여 원하는 출력 값을 얻지 못하거나, 학습 조건이 제대로 설정되지 않은 경우이다.

그에 반해 과대적합은 주로 데이터의 무시되어야 할 요소나 이상치 데이터를 모두 정상이라 판단하고 데이터 전체를 학습하면서 발생한다. 만약 학습 데이터를 사용하여 형성된 모델의 성능이 좋다고 하였을 때, 해당 모델이 다른 유사 문제에서도 비슷한 예측 성능을 보일 것이라는 판단의 오류를 범하는 경우가 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 모델의 학습 데이터와는 별개인 검증용 데이터를 사용하여 모델의 적합도를 평가한다. 실제로 검증용 데이터를 사용하였을 때 학습 데이터에서는 나타나지 않았던 오류가 발생할 가능성이 있으며, 그 형태는 Figure. 3과 같다. 본 연구에서도 검증 데이터를 사용하여 이러한 과대적합의 문제가 발생하는지 사전에 확인하였다.

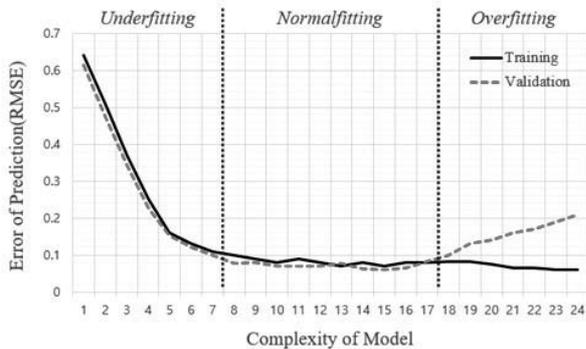


Fig. 3. Example of Overfitting in Neural Network Model

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험 데이터 소개 및 전처리

본 연구에서 다루는 철강 산업 D사의 사례의 경우 업무의 형태가 대개 코일(Coil) 단위의 철판을 두께, 폭, 제품 용도 등의 주문 사항에 따라 가공하는 공정을 가지며, 주요 공정 프로세스는 Figure. 4와 같이 표현된다.

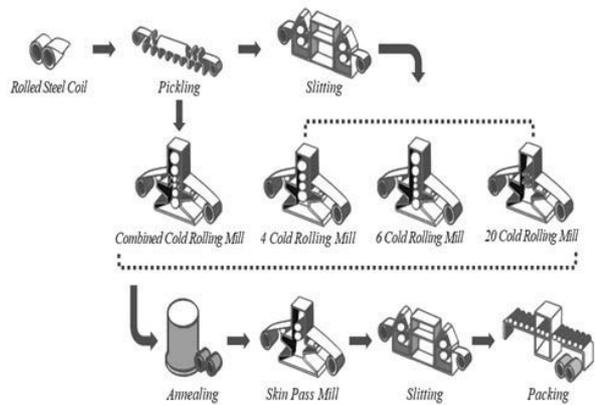


Fig. 4. Production Process of Case Study

대부분의 코일들은 표면의 스케일(Scale)을 제거하는 산화 처리 공정(Pickling: PP)으로 시작하게 되며, 코일의 폭 및 길이를 목표치에 맞게 절단하는 공정(Slitting: WS / SS), 코일의 두께를 냉간 압연을 통해 조정하는 공정(Cold Rolling Mill: CR), 코일의 가열과 냉각의 반복을 통해 성질을 개선하는 공정(Annealing: AN), 가벼운 냉간 압연을 통한 표면 처리 및 형상 교정 공정(Skin Pass Mill: SP)을 반복 수행 또는 순서를 변경하며 수요에 맞는 제품 생산을 실시한다. 그 외 공정 도중 코일을 되감거나(RC / RS / RW), 용접하여 붙이고(TW) 용접을 위해 등분하는(TD) 부가적인 공정이 포함된 경우도 존재한다.

본 사례 연구에서는 신경망 모델의 좋은 학습을 위해 과거에 수립되었던 계획 공정을 잘 이행한 3달간의 이벤트 로그 데이터를 사용하였고, 기간 동안 총 17,975개의 코일이 작업되었다. 또한 해당 데이터에는 총 11개의 공정이 있으며, 공정 별로 설비가 여러 대인 경우를 포함하여 총 21대의 설비가 존재한다. 신경망 모델을 통해 분류 예측하고자 하는 대상인 공정 흐름(Trace)의 경우 총 294건이 존재하였고, 분류 대상의 개수를 줄여 예측률을 향상시키기 위해 유사한 공정 프로세스에 대해 자취 군집화를 실시하여 50개의 군집 그룹을 종속 변수로 사용하였다. 한 예로 'Cluster 16'의 군집 결과를 보면 Table 1과 같다.

Table 1. Example of 'Cluster Group 16'

No	Process Trace
1	PP11, WS41, AN10, CR11, AN11, SP91, SS11
2	PP11, WS21, AN10, CR11, AN11, SP91, SS11
3	PP11, WS21, AN10, CR11, RS11, AN11, SP91, SS11
4	PP11, RW11, WS11, AN10, CR11, AN11, SP91, SS11
5	PP11, WS11, AN10, CR11, AN11, SP91, SS11
6	PP11, WS11, AN10, CR11, AN11, SP91, SS31
7	PP11, WS11, AN10, CR11, AN11, SP91, SS41

여기서 공정 뒤에 붙은 첫 번째 숫자는 해당 공정의 설비 번호를 나타내고, 두 번째 숫자는 같은 공정을 반복하는 경우의 차수를 의미한다. 군집 결과를 보면 공정 설비와 차수를 제외하면, 'Cluster 16'의 공정은 대부분 산화 처리 공정(PP)으로 시작하여 절단(WS), 소둔(AN), 냉간 압연(CR)을 실시하고 다시 소둔 작업(AN) 후 가벼운 냉간 압연(SP), 절단(SS)을 통해 주문에 맞는 제품을 생산하는 공정으로 형성되어 있음을 볼 수 있다.

실제로 전체 데이터에서 195개의 CaseID가 존재하는 'Cluster 16'의 이벤트 로그 데이터를 기반으로 프로세스 모델을 형성하면 Figure. 5와 같다.

프로세스 모델은 웹 기반의 프로세스 분석 도구인 BAB(Best Analytics of Big-data)의 Heuristic Miner 기능을 사용하여 도출하였다. 프로세스 모델에서 노드는 프로세스 활동에 대한 정보와 빈도 수(Frequency)를 나타내고, 색이 진할수록 발생 빈도수가 높음을 의미한다. 그리고 각 노드를 연결하는 아크는 다음 노드로 전달되는 활동의 빈도수와 의존도(Dependency)를 뜻하며, 마찬가지로 색이 진할수록 발생 빈도가 높다. 프로세스 모델의 결과를 보면 주 프로세스가 PP→WS→AN→CR→AN→SP→SS 으로 형성되어 군집의 결과와 크게 다르지 않음을 볼 수

있다.

모델의 종속 변수를 정했다면 제품 단위 계획 프로세스에 영향을 미치는 여러 요인들을 독립 변수로 사용하게 되는데, 우선 자재의 재고 상황에 따른 제품 생산 시 투입 코일의 규격(두께, 폭, 중량)과 제품 주문의 요구 사항(주문 두께 및 폭)을 사용하였다. 또한 해당 주문을 실시한 회사(거래처, 수요사)의 정보와 최종 제품 생산 후 제품의 특징(경도 상·하한, 최종 중량)을 사용하여 추후 계획 공정 수립에 필요하다고 판단되는 10가지의 요소를 선정하였다. 이에 대해서 어떠한 공정 프로세스를 시행하는 것이 좋을지 과거의 실적이 좋은 데이터의 학습을 통해 분류 예측을 시행하였다.

4.2 최적 예측 모델 학습

본격적인 신경망 모델의 학습에 앞서 형성된 데이터는 표준정규분포를 통해 독립 변수의 값들을 표준화하였다. 종속 변수에 해당되는 50개의 군집 그룹은 이항변수화 하기 위해 One-hot Encoding 방법을 사용하여 데이터를 변환하였다. 그리고 CaseID가 전체 17,945개인 전체 데이터에서 학습용, 검증용, 평가용 데이터로 각각 60%, 20%, 20% 무작위 추출하여 모델 학습에 사용하였다.

본 장에서는 최적 예측 신경망 모델을 찾기 위해 학습 조건 값을 변경하면서 오차율이 낮은 가장 효율적인 조건을 찾는다. 여기서 사용되는 변수는 독립 변수의 개수를 고려하여 은닉 노드의 수를 16개에서 35개의 범위로 설정하였고, 가중치 감소 매개 변수의 경우 모델의 성능을 고려하여 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 범위의 값으로 설정하여 두 변수의 조합을 통해 총 200회의 사전 실험을 진행하였다. Figure. 6은 은닉 노드 및 가중치 감소 매개 변수 설정에 따른 모델의 오차율을 나타낸 그래프이다.

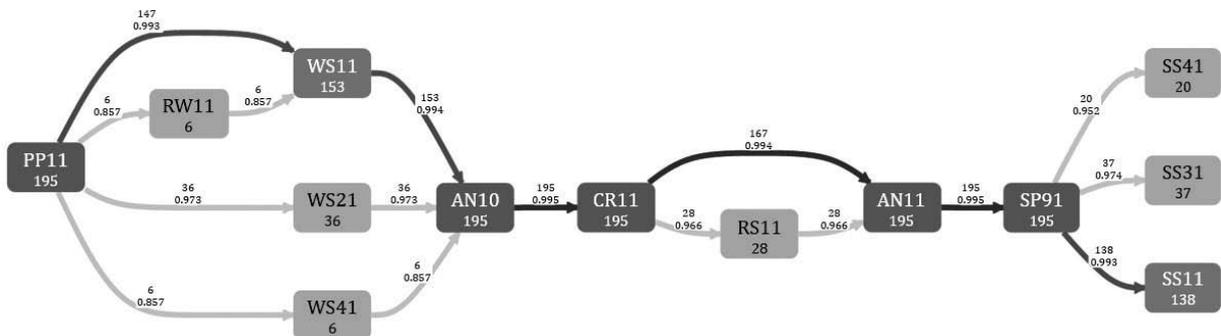


Fig. 5. Process Model of 'Cluster Group 16'

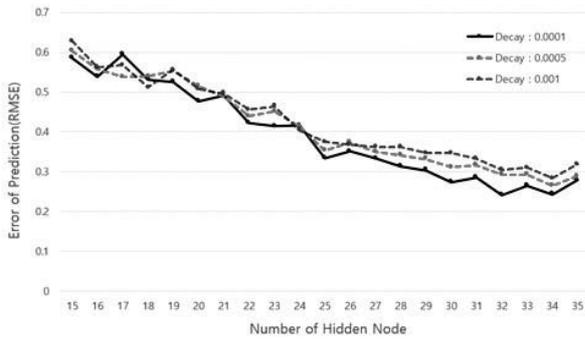


Fig. 6. Learning error of different number of hidden node

위의 그래프는 신경망 모델의 가중치 감소 매개 변수(Decay)가 0.0001, 0.0005, 0.001 인 경우 은닉 노드의 수가 증가 됨에 따라 학습 오차를 변화를 나타낸 것이고, Decay 값이 0.0001 일 때 은닉 노드의 수가 32개인 지점에서 오차율이 가장 낮고 그 이후로 다시 오차율이 커짐을 볼 수 있다. 모델의 복잡도와 성능의 효율성을 따져 보았을 때 감소치 매개 변수의 값을 0.0001로 하고 은닉 노드의 수를 32개로 설정하여 본 사례 연구에서 신경망 모델의 최적 학습 조건으로 설정하였다. 그리고 모델의 학습 반복 수는 'nnet' 패키지의 초기값인 100회부터 2000회까지 늘려 효율적인 값을 선정하였다. 그 결과인 Figure. 7을 보면 학습 반복 수가 대략적으로 1000회인 구간부터 오차율이 크게 감소하지 않는 것을 볼 수 있으며 해당 신경망 모델의 최적 값으로 선정하였다.

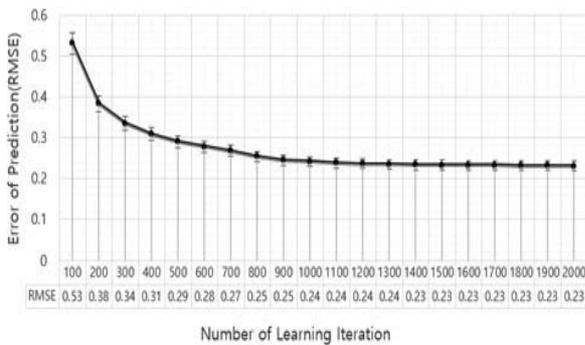


Fig. 7. Learning error of number of Learning Iteration

4.3 모델 적합도 검증

적합도 검증은 모델 복잡도에 따른 학습 및 검증 데이터의 학습 오차율을 비교를 통해 진행한다. 여기서 모델 복잡도는 은닉 노드의 개수를 의미하며 1개에서 은닉 노드 개수의 최적 조건인

32개로 기준 범위를 설정하여 각 데이터에 동일하게 적용하였다. 그리고 나머지 학습 조건들도 앞에서 구한 최적 값을 사용하였다. 그 결과는 Figure. 8과 같다.

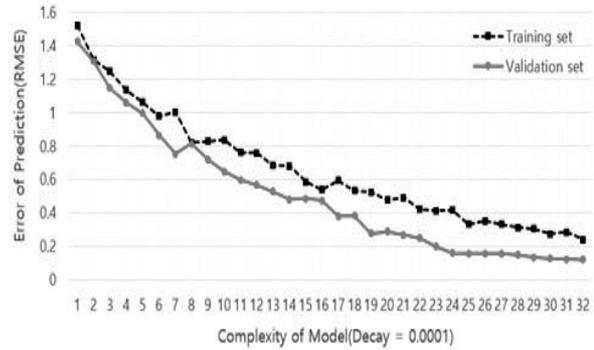


Fig. 8. Prediction Error of Complexity of Model

결과를 보면 신경망 모델의 복잡도가 단순한 경우(은닉 노드의 수 1~15개)에는 감소 폭이 크고 학습 데이터와 검증 데이터 모두 계속해서 감소하는 추세를 보이고 있어 과소적합의 문제를 피했다. 그리고 은닉 노드의 수가 16개부터는 학습 오차율의 감소 폭이 크지 않고 비교적 안정적인 형태로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 과대적합의 문제가 발생하지 않고 적정 상태를 유지하고 있다고 할 수 있다.

결과적으로 신경망 모델이 학습 데이터와 무관한 검증 데이터를 사용하더라도 거의 동일한 성능을 보였으며, 학습 오차율이 최적 조건(은닉 노드의 수 32개)일 때 가장 최솟값을 보였다. 본 장의 결과를 통해 해당 신경망 모델이 다른 유사 문제에서도 적용 가능하며, 특정 입력 정보들에 의해서 모델의 성능이 좌우되지 않고 일반화 성능을 가지고 있는지 검증하였다고 할 수 있다.

4.4 제품 단위 계획 프로세스 군집 예측

해당 장에서는 학습된 신경망 모델을 평가 데이터를 활용하여 지도 학습에 따른 분류 예측 결과를 확인한다. 프로세스 군집 그룹을 예측하는 방법은 최적 조건으로 선정된 신경망 모델에서 평가 데이터의 종속 변수(군집 그룹)를 제외한 독립 변수만을 사용하여 해당 정보가 모델에 입력되었을 때 군집 그룹을 분류 예측한다. 예측 후 기존 평가 데이터의 종속 변수 값(목표 값)과 예측 모델의 출력 값을 비교함으로써 신경망 모델의 분류 예측 성능을 평가하였다.

Figure. 9는 본 연구에서 계획 프로세스 군집 그룹을 분류 예측하기 위한 신경망 모델의 형태이다. 현재 사례 연구에서는 학

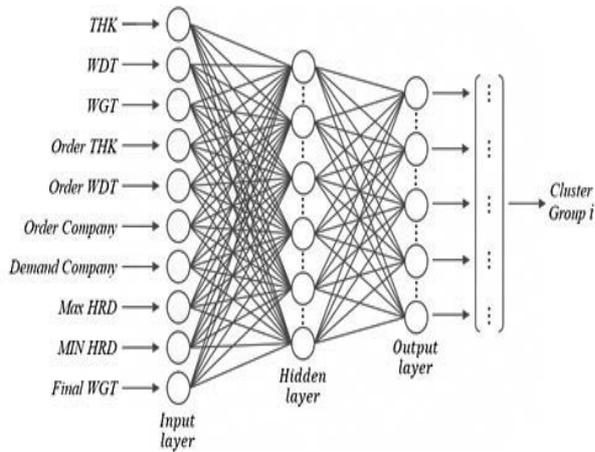


Fig. 9. Classification Neural Network Model

습을 통해 예측에 사용되는 신경망 모델은 입력 노드 10개, 은닉 노드 32개, 출력 노드가 50개인 10-32-50 형태의 구조를 가지고 있다. 또한 실제 평가를 위해 사용되는 평가 데이터는 총 3,627개의 CaseID를 가지고 있으며, 해당 데이터에는 총 50개의 군집 그룹 중 46개의 군집 그룹이 포함되어 있다. 신경망 모델 학습에 사용되는 실험 환경은 Intel Core I7-4790K 프로세서와 16.0GB RAM 성능의 PC를 사용하였고, R 패키지의 'nnet'를 사용하여 모델의 학습 반복 수를 1000회로 설정하였을 때 약 3분 20초 가량의 학습 시간이 소요되었다.

평가 데이터에서 학습된 신경망 모델로 실제 예측을 한 결과를 보면 기존의 실제 값인 46개의 군집 그룹에는 없는 '50'이라는 군집 그룹을 하나 더 예측하여 총 47개의 군집 그룹을 예측하였다. 분류 예측의 결과를 보다 객관적으로 판단하기 위해 결과 값을 분류 행렬로 나타내어 정확도(Accuracy), 민감도(Sensitivity), 특이도(Specificity)를 계산하여 평가하였다. 여기서 정확도는 전체 개수에서 분류 예측을 제대로 한 경우의 합을 나눈 것을 의미하고, 민감도는 실제 결과를 제대로 예측할 확률, 특이도는 실제 결과가 나오지 않을 것이라고 제대로 예측하는 확률을 의미한다. 한 예로 실제 신경망 모델의 결과 값 중 Cluster 35에 대한 분류 행렬은 Table 2와 같다.

Table 2. Confusion Matrix of 'Cluster 35'

Pred. \ Obs.	Prediction :	
	Yes	No
Actual : Yes	True Positive (TP) = 310	False Negative (FN) = 7
Actual : No	False Positive (FP) = 28	True Negative (TN) = 3282

'Cluster 35'의 예로 예측 성능을 계산해 보면 정확도의 경우 99.04%, 민감도의 경우 97.79%, 특이도의 경우 99.15%로 상당히 높은 확률을 보였다. 그 이유는 True Negative(TN)의 값이 평가 데이터에서 'Cluster 35'가 아닌 나머지 군집 그룹의 수를 모두 포함하기 때문에 예측 성능의 계산에서 TN의 값이 포함되는 정확도와 특이도의 확률이 높게 계산될 수 밖에 없다. 본 사례연구처럼 다중 분류 예측의 경우 여러 범주 중 하나의 변수에 대한 예측력을 확인할 때는 민감도를 주로 사용한다. 민감도는 실제 결과를 제대로 예측할 확률을 뜻하기 때문에 현재의 예시에서는 실제 목표 값이 'Cluster 35'일 때 97.79%의 확률로 신경망 모델이 그 값을 예측하였다고 할 수 있다.

결과적으로 'Cluster 35'를 포함한 전체 신경망 모델이 실제로 각 군집그룹에 대한 실제 값과의 예측률(민감도)은 평균 90.59%로 제품 단위의 계획 프로세스 군집 그룹을 예측하는데 있어 좋은 성능을 가졌다고 할 수 있다. 그리고 평가 데이터를 실제 분류한 결과를 보면 총 3,627개의 CaseID 중에서 3,510건을 제대로 분류하였고, 이는 96.77% 확률로 신경망 모델이 분류 예측 정확도를 가졌다고 할 수 있다.

추가로 모델의 객관적인 성능을 확인하기 위해 검증 데이터로 학습한 모델로 분류 예측을 실시해보았다. 예측 결과 각 군집 그룹에 대한 실제 값과의 예측률(민감도)은 평균 81.68%, 목표 값과 신경망 모델의 출력 값이 일치한 경우 총 3,627개의 CaseID 중에서 3,510건을 제대로 분류하여 93.25% 확률로 분류 예측 정확도를 나타내었다. 학습 데이터의 1/3에 해당되는 양의 검증 데이터를 사용하여 모델을 학습하였다는 것을 고려한다면, 신경망 모델이 전체적으로 분류 예측을 제대로 하고 있다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 철강 업체인 D사의 사례에서 과거에 발생한 생산 프로세스 흐름에 영향을 미치는 다양한 요소를 선별하고, 추후 해당 항목이 입력 정보로 들어왔을 때 어떠한 프로세스 흐름을 이행할지 지도 학습을 통해 분류 예측을 실시하였다. 여기서 예측하고자 하는 프로세스 흐름은 유사한 형태끼리 자취 군집을 실시하여 종속 변수의 수를 줄여 분류 예측의 정확도를 높임과 동시에 계획 공정 수립 시 반영할 수 있는 선택의 폭을 넓혔다. 또한 본 연구에서는 데이터의 표준화, 최적 학습 조건의 선정, 적합도 검증 등을 통해 신경망 모델의 과적합 문제를 최소화하였고, 결과적으로 약 90% 이상의 좋은 성능의 분류 예측 정확도를 도출하였다.

해당 모델은 상황에 따라서 입력 정보를 얼마든지 수정하여

고객의 요구 사항이 많아지거나 추가로 발생하여도 맞춤형 모델링을 할 수 있을 것으로 판단되며, 제조업뿐만 아니라 다양한 산업 군으로의 적용도 충분히 가능하며, 해당 분야의 전문적인 지식을 활용한다면 보다 정교하고 정확한 프로세스의 예측을 할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] McCulloch, W. S., & Pitts, W.(1943), A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.
- [2] Minsky, M., Papert. S.(1969), Perceptrons.
- [3] Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H.(1989), Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural networks*, 2(5), 359-366.
- [4] LeCun, Y. A., Bottou, L., Orr, G. B., Müller, K. R.(2012). Efficient backprop. In *Neural networks: Tricks of the trade*, Springer Berlin Heidelberg, 9-48
- [5] 박성현, *현대 실험 계획법*, 민영사, 2003
- [6] Chen, Wen-Chin, et al.(2008), A neural network-based approach for dynamic quality prediction in a plastic injection molding process, *Expert systems with Applications*, 35(3), 843-849.
- [7] Altan, Mirigul(2010), Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA and neural network methods, *Materials & Design*, 31(1), 599-604.
- [8] Yeh, I-C.(1998), Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural networks, *Cement and Concrete research*, 28(12), 1797-1808.
- [9] Bishop, Christopher M.(1995), Neural networks for pattern recognition. *Oxford university press*.
- [10] Taha, Hamdy A(1982), Operations Research: An Introduction (For VTU), *Pearson Education India*.
- [11] 이도현, 권창모, 이영훈(2006), 국내 유통기업의 CPFR 적용 사례연구, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 6(1), 37-48.
- [12] 문일경, 조규갑, 조면식, 최원준(2007), *Arena를 이용한 시뮬레이션 4E*, McGraw-Hill Korea.
- [13] Y. Park, S. Kim, Y. H. Lee(2000), Scheduling jobs on parallel machines applying neural network and heuristic rules, *Computers & Industrial Engineering*, 38(1), 189-202.
- [14] 전대욱, 배혜림(2015), 인공지능경망을 이용한 항만터미널에서 컨테이너의 비정상 이송 프로세스 예측, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management* 15(2), 117-126.
- [15] Yu, H., W. Liang(2001), Neural network and genetic algorithm-based hybrid approach to expanded job-shop scheduling, *Computers & Industrial Engineering*, 39(3), 337-356.
- [16] Tang, L., Liu, W., Liu, J.(2005), A neural network model and algorithm for the hybrid flow shop scheduling problem in a dynamic environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16(3), 361-370.
- [17] Pyle, D.(1999), *Data preparation for data mining 1*, Morgan Kaufmann.
- [18] Van Der Aalst, Wil, et al.(2011), Process mining manifesto, International Conference on Business Process Management, *Springer Berlin Heidelberg*, 169-194.
- [19] Song, M., Günther, C. W., & Van der Aalst, W. M.(2008), Trace clustering in process mining. *International Conference on Business Process Management*, Springer Berlin Heidelberg, 109-120
- [20] 이동하 (2014), *프로세스 마이닝을 이용한 조선 산업의 생산 공정 분석*, 부산대학교 공학박사 학위논문.
- [21] Shanker, M., Hu, M. Y., Hung, M. S.(1996), Effect of data standardization on neural network training, *Omega*, 24(4), 385-397.
- [22] Moody, J., Hanson, S., Krogh, A., & Hertz, J. A.(1995). A simple weight decay can improve generalization. *Advances in neural information processing systems* 4, 950-957.
- [23] Venables, W. N., & Ripley, B. D.(2013),?Modern applied statistics with S-PLUS, *Springer Science & Business Media*.
- [24] Ripley, B. D.(2007), *Pattern recognition and neural networks*, Cambridge university press.
- [25] Ripley, Brian, William Venables, Maintainer Brian Ripley(2016), Package 'nnet' , *R package version*, 7-3.
- [26] Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G.(2012), *Pattern classification*. John Wiley & Sons.



주 병 준

동의대학교 산업공학과 학사

현재 : 부산대학교 산업공학과(석사 과정)

관심분야 : 프로세스 마이닝, 스마트공장,
운영 빅데이터 분석, 기계 학습
응용, 데이터 마이닝 등



배 혜 림

서울대학교 산업공학과 석사

서울대학교 산업공학과 박사

현재 : 부산대학교 산업공학과 교수

관심분야 : 프로세스 마이닝, 스마트공장,
운영 빅데이터 분석, 물류IT융합,
BPM(Business Process
Management), Enterprise
Information System Integra-
-tion, e-SCM & e-CRM 등

구매자-공급자 관계 유형에 따른 공급사슬 품질경영 프로세스에 관한 실증연구*

김현정* · 손지윤**†

*상지영서대학교 경영과 · **서울대학교 경영학과

An Empirical Study on Processes of Supply Chain Quality Management by Buyer-Supplier Relationship Type

Hyun Jung Kim* · Ji Yoon Son**†

*Department of Business Administration, Sangji Youngseo College

**Department of Business Administration, Seoul National University

This study investigated the relationship between the relationship management and the efficiency of Supply Chain Quality Management (SCQM) by an empirical survey through matching buyers and suppliers in actual trades. In buyers, the characteristics of length of relationship and contract were statistically significantly higher in the efficient group than in the inefficient group while the information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group. In suppliers, only information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group than in the inefficient group. In buyer-supplier dyads, length of relationship was statistically significantly higher in the efficient group than in the inefficient group while the information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group. This study has a substantial implication in that it analyzed the efficiency of SCQM by analyzing separately the efficiency of buyers and suppliers that form supply chain, and subsequently organizing buyer-supplier dyads. Another implication of this study is that it classified the entire group into the efficient and inefficient groups based on the SCQM efficiency, and examined the relationship between the relationship management and the efficiency of SCQM.

Keywords: Supply Chain Quality Management (SCQM), Supply Chain Management (SCM), Quality, Relationship management, Efficiency

* This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2014S1A5A8019200)

† **Corresponding author:** Department of Business Administration, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Korea.

Tel: +82-2-880-8594, E-mail: imangela@snu.ac.kr

Received : 1 October 2016, **Accepted :** 15 October 2016

1. Introduction

Supply Chain Quality Management (SCQM) involves delivering the best quality products and services to clients through collaborative quality management of the supply chain by its members, such as buyers and suppliers (Kuei et al., 2001; Robinson and Malhotra, 2005). Robinson and Malhotra (2005) defined SCQM as the integration of the business processes related to all the companies within the supply chain and the consistent assessment and improvement process of the product and service to give intermediary and final customers values and satisfaction. In other words, to gain competitive advantage and improve performance, enterprises must monitor their internal efficiency and simultaneously manage companies within their chain or network. Quality management is not only about finding and correcting manufacturing defects but also about achieving quality in the entire organization and its supply chain network, influencing companies within the network and maintaining relations with them.

Most of previous studies have focused on the impact of SCQM on the performance (Kaynak and Hartley, 2008), and little research has focused on the role of members in improving SCQM efficiency. In addition, there are only few studies that link the SCQM efficiency with buyer-supplier relationship despite the importance of this relationship. The fundamental cause of the uncertainty in the supply chain is that the supply chain is formed in the relationship among different companies, and it can be stated that the efficiency of the supply chain can be reduced due to the sub-optimization in which different members attempt to optimize their performance. Therefore, this study investigated the relationship between the relationship management and SCQM efficiency by an empirical survey through matching buyers and suppliers in actual trades.

In order to measure the efficiency of SCQM, input variables were classified into SCQM infrastructure, SCQM processes, and SCQM performance (Kuei and Madu, 2001; Lin et al., 2013). Among variables that explain the buyer-supplier relationship in a SCQM, length of relationship and contract are the relationship management variables with positive effects on performance, whereas information asymmetry and goal conflict

have negative effects on it (Zu and Kaynak, 2012; Cachon and Lariviere, 2005; Özer and Raz, 2011).

This study has a substantial significance in that it analyzed the efficiency of SCQM by analyzing separately the efficiency of buyers and suppliers that form supply chain, and subsequently organizing buyer-supplier dyads. Since the supply chain is composed of buyers and suppliers, it is more reasonable to take both into account for analysis. In addition, it classified the entire group into the efficient and inefficient groups based on the efficiency of SCQM, and examined the relationship between the SCQM efficiency and the relationship management variables.

This paper is organized as follows: section 1 explores the research purpose; section 2 reviews literature on the efficiency of SCQM and relationship management; section 3 provides a description of the analysis method, variables selection, and data collection; section 4 presents results of analysis; and section 5 summarizes our findings, describes theoretical and practical implications of study.

2. Literature review

2.1 Efficiency of SCQM

Studies on the efficiency at the level of the supply chain are as follows. Wang and Shu (2007) carried out a study on the composition of a supply chain and stock policy that would maximize the level of target service and minimize the total supply chain cost. In the study, they argued that stock policy in consideration of both customer service and cost needed to be implemented in order to measure and enhance the efficiency of the supply chain since there were conflicts among the level of customer service, product cost and inventory investment. However, these studies only examined supply chain in general, and did not investigate the elements within the supply chain specifically.

Perona and Miragliotta (2004) argued that complex relations within the supply chain needed to be considered to enhance the effectiveness and efficiency of the supply chain, and investigated the supply chain at the level of sales process, supply and distribution logistics, new product development,

production process, and production engineering. While their study revealed specifically what elements existed within a supply chain, it failed to present the results quantitatively. Recently, as various input elements including human resources are emphasized in addition to the operating cost of a supply chain, and intermediaries and consumers demand fast supply and delivery, the rates of order fulfillment and delivery should be considered as an output element in addition to profits. Accordingly, as a method to measure the efficiency of a supply chain by considering various input and output elements has been needed, Data Envelopment Analysis (DEA) has been mainly used.

Liang et al. (2006) argued that the relationship between buyers and suppliers also needed to be measured when the relationship between each entity and performance of the supply chain. They classified the buyer-supplier relationship as the leader-follower relationship or cooperative relationship. In the leader-follower relationship, the efficiency of the leader is first evaluated, and subsequently, the efficiency of the follower evaluated using the information related to the efficiency of the leader. In contrast, the common efficiency is measured as the average of the efficiency scores of buyers and suppliers in the cooperative relationship. In addition, Amirteimoori and Khoshandam (2011) criticized that previous studies in which the DEA was applied to the efficiency of Supply Chain Management (SCM) overlooked the buyer-supplier relationship, and argued that this needed to be considered since it could reduce the efficiency of the entire supply chain.

Meanwhile, SCQM efficiency measures comprehensive efficiency, including corporate external factors, such as outsourcing and buyer-supplier relationship. Park et al. (2001) claimed all supply chain stakeholders, from raw material suppliers to retailers, affect the SCQM efficiency. Because quality control of upstream suppliers is critical to downstream suppliers' efficiency, quality management should consider all factors that may affect the internal supply chain. The study contributes to the research by addressing the importance of buyer supplier efficiency in SCQM, but is limited in evidence of specific factors influencing SCQM efficiency.

To sum up, there are only few studies that link the SCQM efficiency with buyer-supplier relationship despite the

importance of this relationship. The fundamental cause of the uncertainty in the supply chain is that the supply chain is formed in the relationship among different companies, and it can be stated that the efficiency of the supply chain can be reduced due to the sub-optimization in which different members attempt to optimize their performance. Therefore, this study is aimed at deriving the measures for the SCQM efficiency by identifying the variables of supplier-buyer relationship management that can reduce the number of the sub-optimization attempts by the members in the supply chain.

2.2 Relationship management

Among variables that explain the buyer-supplier relationship, length of relationship and contract are the relationship management variables with positive effects on performance, whereas information asymmetry and goal conflict have negative effects on it (Zu and Kaynak, 2012; Cachon and Lariviere, 2005). These variables affect performances of the buyers and suppliers in the SCQM, influencing performances of each other in dealing.

There are the previous studies on the relationship management variables with positive effects on performance: length of relationship and contract. First, in strategic SCM, buyers build long-term relationships with key suppliers through interactions, and these allow buyers access to information about the reliability and performance of suppliers, increase awareness of specialized capabilities, and establish a basis for trust (Holcomb and Hitt, 2007). As such, collaboration also corresponds to one of the key elements in SCQM (Robinson and Malhotra, 2005). A close relation between the buyer and the supplier allows the latter to participate in development of new products, leading to improvement of the product quality (Kaynak and Hartley, 2008).

Second, a contract within a supply network represents pre-determination of operation methods in the network, such as purchase price, order volume, quality, and others. Cao and Zhang (2011) had studied contracts sharing quality cost within SCMs, pointing out that the optimal quality chosen by the suppliers improves their own cost efficiency, while the optimal wholesale price chosen by the buyers increases their

own profit margin by reducing the cost efficiency of the suppliers. They claimed that there exists an appropriate cost-sharing percentage which would determine the profit margins of both the buyers and suppliers at a proper level, and that it should be specified so in the contract.

Meanwhile, there are the previous studies on the relationship management variables with negative effects on performance: information asymmetry and goal conflict. First, information asymmetry refers to a situation when one member in the relationship has more or better information than the other (Eisenhardt, 1989). Such information asymmetry within a supply network would be used by either the buyer or the supplier to maximize one's own profit (Özer and Raz, 2011). In SCQM, it is important that buyers gather and analyze information about the quality of their suppliers. Through such information sharing, the supplier can deliver products with the quality demanded by the buyer, and the buyer can control the quality of the supplier (Kaynak and Hartley, 2008).

Second, goal conflict may occur in a supply network as both the buyer and the supplier prioritize one's own profit (Zsidisin and Ellram, 2003). These conflicts can be managed by cooperation, common interest activation, reduction of opportunism, and others among the companies. Flynn and Zhao (2014), while arguing for the importance of SCQMs, claimed that goal conflicts must be managed to improve the overall quality, as any recall of the final products would cause harm to not only the buyer but also the supplier.

3. Method

3.1 Analysis method

DEA is a linear programming based technique that evaluates the relative efficiencies of Decision Making Units (DMUs) in the presence of multiple inputs and outputs. Efficiency is defined as the ratio of weighted outputs to weighted inputs. Some of the strengths of DEA are that it does not require assumptions of parametric methods such as normality and equal variance. It does not need a priori factor weights to be specified in the evaluation process, and it is based on best practice (Swink et al., 2006).

DEA is divided in several models using two criteria. The first criterion examines the relationship between the input and the output to determine whether a Constant Returns to Scale (CRS) or a Variable Returns to Scale (VRS) should be applied. Depending on the input-output relationship, one can use either the Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) model based on CRS or the Banker, Charnes, and Cooper (BCC) model based on VRS. The CCR model assumes that a 1% increase in input results in a 1% increase in output, whereas the BCC model assumes that a 1% increase in input results in an output that is greater than or less than 1%. The second criterion determines whether efficiency measurement should be based on the input or the output. The input-oriented model assumes that optimal efficiency is achieved by minimizing the input level while maintaining the current output level. The output-oriented model assumes that optimal efficiency is achieved by maximizing the output level while maintaining the current input level.

This study uses both the output-oriented CCR model and the BCC model for analysis. If the value of the efficiency is 1, the DMU is evaluated as efficient. If the value is less than 1, the DMU is evaluated as inefficient.

3.2 Variables selection

The variables related SCQM were selected since they were commonly used in previous studies. The index includes SCQM infrastructure, SCQM processes, and SCQM performance (Kim and Kim, 2014). First, SCQM infrastructure refers to a basic structure for the efficient collaboration between buyers and suppliers. In detail, it is configured as five elements such as corporate culture (Saraph et al., 1989), leadership (Robinson and Malhotra, 2005), organizational structure (Kuei and Madu, 2001), systems (Kaynak and Hartley, 2008), and budget (Kuei and Madu, 2001).

Second, SCQM comprises seven processes: delivery of quality, talent development, risk management, support, communication, evaluation, and benefit sharing. Each process has its own sub-criteria and each criterion was chosen by comprehensive quality management factors mentioned in traditional quality practice and SCQM literature. Among these processes, since support, communication, evaluation, and

benefit sharing are buyer-driven activities, they were not measured from suppliers but only from buyers (Kaynak and Hartley, 2008).

Third, SCQM performance refers to performance achieved from the cooperation between buyers and suppliers, and it is used as one of output variables in research analysis. The SCQM performance of buyers can be scaled to include communication and employee training (Robinson and Malhotra, 2005; Lin et al., 2013). In contrast, supplier performance is measured using the five SCQM performance criteria: quality, cost, productivity, safety-environmental, and ethical performance (Kaynak and Hartley, 2008).

Meanwhile, the variables related to the buyer-supplier relationship include length of relationship, contract, information asymmetry, and goal conflict. First, there are the relationship management variables with positive effects on performance. When buyers trust suppliers and believe that they can rely on key suppliers to meet their obligations, the level of collaboration is improved (Holcomb and Hitt, 2007; Kim et al., 2010). Building long term relationships with key suppliers is essential to maximizing the SCQM performance (Robinson and Malhotra, 2005). Moreover, Cao and Zhang (2011) had pointed out that the optimal quality through a contract improves their own cost efficiency.

Second, there are the relationship management variables with negative effects on performance. In SCQM, information asymmetry would be used by either the buyer or the supplier to maximize one's own profit (Özer and Raz, 2011). Through such information sharing, the supplier can deliver products with the quality demanded by the buyer, and the buyer can control the quality of the supplier (Kaynak and Hartley, 2008). In addition, Flynn and Zhao (2014) claimed that goal conflicts must be managed to improve the overall quality, as any recall of the final products would cause harm to not only the buyer but also the supplier.

Variables in previous literature on relationship management and efficiency in SCQM are summarized in Table 1.

3.3 Data collection

This study is aimed at identifying the relationship between the relationship management and the efficiency of SCQM. To

meet this purpose, a dyadic data set extraction method that Krause et al. (2007) suggested was applied. The specialized survey company sent out an email detailing the purpose of the study along with a survey URL to 1,000 purchasing executives in buyers. Among them, 192 responses were received.

Meanwhile, we matched buyers with suppliers by asking buyers the key suppliers with the largest trading volume as a survey question. A survey was emailed to the supplier contact with a letter describing the purpose of the study. They were asked to complete a questionnaire that was similar to the buyer's.

4. Results

As shown in Table 2, after analyzing the efficiency of buyers and suppliers separately, both buyers and suppliers were split into the efficient group and the inefficient group in order to investigate the efficiency of SCQM. The analysis showed that the ratio of efficient buyers among the entire buyers (CCR model 30.2%, BCC model 35.9%) was higher than the equivalent ratio in the entire suppliers (CCR model 17.7%, BCC model 22.9%). Also, the group in which both buyers and suppliers were efficient could be deemed the group with efficient SCQM, and based on BCC model, the number of buyer-supplier dyads satisfying this definition was 31, accounting for 16.1%.

Next, in Table 3, correlating the efficiency of SCQM with the relationship management revealed that multiple relationship management variables between the efficient group and the inefficient group were statistically significant in buyers, but they were not in suppliers. In buyers, length of relationship and contract were statistically significantly higher in the efficient group than in the inefficient group while the information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group. Also, goal conflict did not show statistically significant difference. In suppliers, only information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group than in the inefficient group. In buyer-supplier dyads, length of relationship was statistically significantly higher in the efficient group than in the inefficient group while the information asymmetry was

Table 1. Variables selection

Category	Variable	Measurement	Related Studies
Input	SCQM infrastructure	Organization culture, leadership, organizational structure, system, and budget	Robinson and Malhotra (2005), Kuei and Madu (2001), Lin et al. (2004), Wang and Shu (2007)
	Delivery of quality	Product development, review and approval of production, purchasing, examination, storage and delivery, and service	Robinson and Malhotra (2005), Kuei and Madu (2001)
	Talent development	Education programs development, training and assessment	Flynn and Flynn (2004), Chang and Lo (2005), Lin et al. (2013)
	Risk management	Risk management system, risk management manual creation	Robinson and Malhotra (2005), Kuei and Madu (2001)
	Support	Support system development, human resources, technology, education and training facilities and logistics support, and financial support	Robinson and Malhotra (2005), Kaynak and Hartley (2008), Chang and Lo (2005)
	Communication	Communication channel development, coordination and resolving conflict	Robinson and Malhotra (2005), Kaynak and Hartley (2008), Lin et al. (2013)
	Evaluation	Education system development, evaluation feedback and share	Robinson and Malhotra (2005), Kaynak and Hartley (2008)
	Benefit sharing	Sharing system development, and benefit share execution	Robinson and Malhotra (2005), Kaynak and Hartley (2008)
Output	SCQM performance	Quality performance, cost performance, productivity performance, safety and environmental performance, and ethical performance	Chang and Lo (2005), Robinson and Malhotra (2005), Kaynak and Hartley (2008), Zhao et al. (2015)
	Sales	Sales per person	Lin et al. (2004)
Buyer-Supplier Relationship	Length of relationship	Number of years doing business with suppliers	Hitt (2007), Robinson and Malhotra (2005), Fynes et al. (2005), Kaynak and Hartley (2008)
	Contract	Clarity of processes and procedures in contract, job responsibility and results	Van Der Rhee et al. (2010), Cao and Zhang (2011), Van Der Rhee et al. (2010)
	Information asymmetry	Buyer-supplier information sharing, buyer decision-making uncertainty about its suppliers due to lack of information	Özer and Raz (2011), Kaynak and Hartley (2008)
	Goal conflict	Frequency of disagreement and overall level of perceived conflict	Luo (2002), Flynn and Zhao (2014), Hinds and Mortensen (2005)

Table 2. Comparison of efficiency

Model	Group	Buyer	Supplier	Buyer and Supplier
CCR Model	Group I: Efficient			
	N	58	34	22
	Percent	30.2	17.7	11.5
	Group II: Inefficient			
BCC Model	N	134	158	170
	Percent	69.8	82.3	88.5
	Group I: Efficient			
	N	69	44	31
BCC Model	Percent	35.9	22.9	16.1
	Group II: Inefficient			
	N	123	148	161
	Percent	64.1	77.1	83.9

Table 3. Relationship management and efficiency in SCQM

Relationship Management	Buyer			Supplier			Buyer and Supplier		
	Efficient	Inefficient	t (Sig)	Efficient	Inefficient	t (Sig)	Efficient	Inefficient	t (Sig)
Length of Relationship									
Mean	4.93	4.07	3.78	3.85	3.22	1.29	4.24	3.38	3.25
S.D.	1.16	1.29	(0.00)	1.40	1.56	(0.21)	1.36	1.17	(0.01)
Contract									
Mean	4.56	3.81	3.26	3.36	3.08	0.93	3.34	3.02	0.58
S.D.	1.22	1.17	(0.01)	1.29	1.16	(0.40)	1.34	1.20	(0.33)
Information Asymmetry									
Mean	1.53	3.47	-5.43	1.37	3.82	-6.56	1.29	4.03	-6.98
S.D.	0.32	1.21	(0.00)	0.25	1.03	(0.00)	0.40	1.76	(0.00)
Goal Conflict									
Mean	2.53	2.97	-1.78	2.86	3.09	-1.75	3.88	4.02	-0.79
S.D.	1.10	1.03	(0.26)	1.08	1.25	(0.32)	1.20	1.71	(0.29)

statistically significantly lower in the efficient group.

These results suggest that efficient companies among buyers conclude a thorough contract with suppliers as the trade partner under a long term relationship, and pay attention to information sharing. In addition, it can be seen that efficient companies among suppliers make efforts to share information with buyers in order to overcome information asymmetry. Lastly, these results show that efficient buyers and suppliers

put emphasis on the length of relationship and information asymmetry.

5. Conclusions

This study investigated the relationship between the relationship management and the efficiency of SCQM by an

empirical survey through matching buyers and suppliers in actual trades. In order to measure the efficiency of SCQM, input variables were classified into SCQM infrastructure, SCQM processes, and SCQM performance (Kuei and Madu, 2001; Lin et al., 2013). Among variables that explain the buyer-supplier relationship, length of relationship and contract are the relationship management variables with positive effects on performance, whereas information asymmetry and goal conflict have negative effects on it (Zu and Kaynak, 2012; Cachon and Lariviere, 2005).

The findings are summarized. First, the number of buyer-supplier dyads in efficient SCQM was 31, accounting for 16.1% in BCC model. This implies that it is very difficult for both buyers and suppliers to be efficient simultaneously without attempting opportunistic behaviors such as partial optimization to maximize buyers' or suppliers' own individual performance, which is consistent with the results of previous studies (Swink and Zsidisin, 2006; Zu and Kaynak, 2012). Second, in buyers, the characteristics of length of relationship and contract were statistically significantly higher in the efficient group than in the inefficient group while the information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group. Also, goal conflict did not show statistically significant difference. In suppliers, only information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group than in the inefficient group. In buyer-supplier dyads, length of relationship was statistically significantly higher in the efficient group than in the inefficient group while the information asymmetry was statistically significantly lower in the efficient group. This supports previous studies that emphasized the importance of information sharing in the SCQM (Juan Ding et al., 2014; Li and Lin, 2006).

As theoretical and practical implications, this study has a substantial significance in that it analyzed the efficiency of SCQM by analyzing separately the efficiency of buyers and suppliers that form supply chain, and subsequently organizing buyer-supplier dyads. Most of previous studies on SCQM did not consider buyers and suppliers simultaneously, but were conducted on the basis of the stance of the only one side. However, since the supply chain is composed of buyers and suppliers, it is more reasonable to take both into account for

analysis. Particularly, since quality is dependent on materials and parts supplied by suppliers, quality management of both buyers and suppliers that form the supply chain is important.

Another implication of this study is that it classified the entire group into the efficient and inefficient groups based on the efficiency of SCQM, and examined the relationship between the relationship management and the efficiency of SCQM. This study is aimed at deriving the measures for the efficiency management of the supply chain by identifying the variables of buyer-supplier relationship management that can reduce the number of the sub-optimization attempts by the members in the supply chain. This may provide not only academics but also executives of companies with a significant implication about which variable should be intensively managed among various relationship management variables with trade partners.

On the other hand, this study has a few limitations and the direction of future studies to overcome these is as follows. First, in this study, data that formed dyads between buyers and suppliers were used, and subsequently, the data size was not sufficiently large. Thus, since the results are limited within the scope of data examined in this study, their generalization is somewhat limited. If more efforts to collect questionnaires are made in the future studies, more samples will be secured. Second, various situational variables could not be taken into consideration in examining the relationship between the relationship management and the efficiency of SCQM. It will be meaningful to examine the relationship between the relationship management and the efficiency of SCQM in consideration of various situational variables.

REFERENCES

- [1] Amirteimoori, A. and Khoshandam, L.(2011), A Data Envelopment Analysis Approach to Supply Chain Efficiency, *Advances in Decision Sciences*, Vol.2011, pp.1~8.
- [2] Cao, M. and Zhang, Q.(2011), Supply Chain Collaboration: Impact on Collaborative Advantage and Firm Performance, *Journal of Operations Management*, Vol.29(3), pp.163~180.
- [3] Flynn, B. B. and Zhao, X.(2014), *Global Supply Chain*

- Quality Management: Product Recalls and Their Impact*, CRC Press.
- [4] Hinds, P. J. and Mortensen, M.(2005), Understanding Conflict in Geographically Distributed Teams: The Moderating Effects of Shared Identity, Shared Context, and Spontaneous Communication, *Organization Science*, Vol.16(3), pp.290~307.
- [5] Holcomb, T. R. and Hitt, M. A.(2007), Toward a Model of Strategic Outsourcing, *Journal of Operations Management*, Vol.25(2), pp.464~481.
- [6] Juan Ding, M., Jie, F., Parton, A. K. and Matanda, J. M.(2014), Relationships between Quality of Information Sharing and Supply Chain Food Quality in the Australian Beef Processing Industry, *The International Journal of Logistics Management*, Vol.25(1), pp.85~108.
- [7] Kaynak, H. and Hartley, J. L.(2008), A Replication and Extension of Quality Management into the Supply Chain, *Journal of Operations Management*, Vol.26(4), pp.468~489.
- [8] Kim, H. and Kim, S.(2014), Impact of Buyer-Supplier Collaboration on Supplier Performance in Supply Chain Quality Management, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.14(1), pp.75~87.
- [9] Kim, J., Han, J. and Ok, S.(2010), The Mediating Effect of Internal Collaboration on the Relationship between External Collaboration and Supplier Performance, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.10(1), pp.151~161.
- [10] Krause, D. R., Handfield, R. B. and Tyler, B. B.(2007), The Relationships between Supplier Development, Commitment, Social Capital Accumulation and Performance Improvement, *Journal of Operations Management*, Vol.25(2), pp.528~545.
- [11] Kuei, C. H., Madu, C. N. and Lin, C.(2001), The Relationship between Supply Chain Quality Management Practices and Organizational Performance, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.18(8), pp.864~872.
- [12] Li S. and Lin, B.(2006), Accessing Information Sharing and Information Quality in Supply Chain Management, *Decision Support Systems*, Vol.42(3), pp.1641~1656.
- [13] Liang, L., Yang, F., Cook, W. D. and Zhu, J.(2006), DEA Models for Supply Chain Efficiency Evaluation, *Annals of Operations Research*, Vol.145(1), pp.35~49.
- [14] Lin, C., Kuei, C. H. and Chai, K. W.(2013), Identifying Critical Enablers and Pathways to High Performance Supply Chain Quality Management, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.33(3), pp.347~370.
- [15] Lin, C., Madu, C. N., Kuei, C. H. and Lu, M. H.(2004), The Relative Efficiency of Quality Management Practices: A Comparison Study on American-, Japanese-, and Taiwanese-Owned Firms in Taiwan, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.21(5), pp.564~577.
- [16] Özer, Ö. and Raz, G.(2011), Supply Chain Sourcing under Asymmetric Information, *Production and Operations Management*, Vol.20(1), pp.92~115.
- [17] Park, S., Hartley, J. L. and Wilson, D.(2001), Quality Management Practices and Their Relationship to Buyer's Supplier Ratings: A Study in the Korean Automotive Industry, *Journal of Operations Management*, Vol.19(6), pp.695~712.
- [18] Perona, M. and Miragliotta, G.(2004), Complexity Management and Supply Chain Performance Assessment. A Field Study and a Conceptual Framework, *International Journal of Production Economics*, Vol.90(1), pp.103~115.
- [19] Robinson, C. J. and Malhotra, M. K.(2005), Defining the Concept of Supply Chain Quality Management and Its Relevance to Academic and Industrial Practice, *International Journal of Production Economics*, Vol.96(3), pp.315~337.
- [20] Saraph, J. V., Benson, P. G. and Schroeder, R. G.(1989), An Instrument for Measuring the Critical Factors of Quality Management, *Decision Sciences*, Vol.20(4), pp.810-829.
- [21] Swink, M., Talluri, S. and Pandejpong, T.(2006), Faster, Better, Cheaper: A Study of NPD Project Efficiency and Performance Tradeoffs, *Journal of Operations Management*, Vol.24(5), pp.542~562.
- [22] Swink, M. and Zsidisin, G.(2006), On the Benefits and Risks of Focused Commitment to Suppliers, *International Journal of Production Research*, Vol.44(20), pp.4223~4240.
- [23] Wang, J. and Shu, Y. F.(2007), A Possibilistic Decision Model for New Product Supply Chain Design, *European Journal of*

Operational Research, Vol.177(2), pp.1044~1061.

- [24] Zsidisin, G. A. and Ellram, L. M.(2003), An Agency Theory Investigation of Supply Risk Management, *Journal of Supply Chain Management*, Vol.39(2), pp.15~27.

- [25] Zu, X. and Kaynak, H.(2012), An Agency Theory Perspective on Supply Chain Quality Management, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.32(4), pp.423~446.



김현정

이화여자대학교 경영학과 학사
 서울대학교 경영학과 석사
 서울대학교 경영학과 박사
 현재: 상지영서대학교 경영과 조교수
 관심분야: Service Operations, Quality Management, SCM, SCQM, Efficiency, Productivity, Buyer-Supplier Relationship



손지윤

국민대학교 공업디자인학과 학사
 서울대학교 경영학과 석사
 서울대학교 경영학과 박사 수료
 현재: 서울대학교 경영학과 연구조교
 관심분야: SCM, Technology Management, DEA, Service Operations

중국 중소 제조기업의 전통적 용자 모델과 금융SCM모델 비교 연구

김영길* · 김수욱**†

*성균중국어연구소 · **서울대학교 경영대학

SMEs are an important part of our economy, they have played an
important role in the creatio

Yeong Gil Kim* · Soo Wook Kim**†

*Sungkyun Institute of China Studies

**Department of Business Administration, Seoul National University

SMEs are an important part of our Economy, they have played an important role in the creation of social wealth, as well as solving the unemployment problem. Since recently, China's SMEs have been facing enormous challenges, such as shrinking external demand, and the plight of internal cost increases, in this situation, the issue of SMEs' financing becomes more prominent. Specifically, the issue of SMEs' financing mainly represent by the lack of financing channels, difficulty to obtain bank loans, increase of financing costs, short financing terms, and the lack of guarantee system.

In facing the actual status of SMEs in China, this paper proposes a number of solutions, including building guarantee system, developing multi-level capital market, and guiding financial institutions to financial products innovation. Supply chain financing (SCF) is a newly innovated financial product which was designed by commercial banks in recent years. SCF combines SMEs' upstream and downstream in daily operations, it bases on the core enterprises, introducing the logistics enterprises into its operation, therefore meets the commercial banks' management needs for "logistics, cash flow, information flow" of supply chain. SCF is an effective solution to the problem of asymmetry information between SMEs and banks.

Keywords: Supply Chain Financing, Small and Medium-Sized Enterprises, Financing

† **Corresponding author:** Department of Business Administration, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Korea.

Tel: +82-2-880-9081, E-mail: kimsoo2@snu.ac.kr

1. 서론

금융 기업의 SCM은 제조업 기업이나 서비스 기업과 구분되는 금융기업의 공급사슬을 의미한다. 금융기업이란 금융상품을 개발, 판매, 운용하는 기업으로 정의한다. 금융 상품은 은행의 예, 적금, 자산운용사의 펀드, 증권사의 ELS 등 다양한 투자 상품들과, 보험사의 생명보험, 화재 보험 등을 포괄한다. 금융 상품이 개발되고, 판매 된 후, 일정 기간이 지나 다시 고객에게 지급되는 시점까지의 공급사슬을 금융 기업의 SCM이라 정의하고 본 논문은 중국 중소 제조기업의 금융SCM에 대해 연구하고자 한다.

금융 SCM의 또 하나의 흐름인 제조업 기업의 금융 SCM에 대해 실물 거래가 이루어지는 제조업은 사실상 한 나라 경제의 근간이 된다(XieShiqing; HeBin,2013). 유럽의 국가 중, 관광 산업에 의존하고 제조업이 발달하지 않는 나라는 국제 시장 상황이나 외풍의 영향에 매우 심하게 흔들리고, 국가 경제의 자생력이 떨어지는 것이 사실이다. 따라서 나라의 경제가 튼튼하게 유지되기 위해서는 제조업의 발달이 근본을 이루어야 한다(HuYuefei; HuangShaoliu,2009).

그 동안 제조업의 SCM은 실물 관점에서 연구되어 왔으나, 그 이면에는 자금의 흐름이 있다. 그리고 자금의 흐름이 있는 곳이라면 언제나 함께 가는 위험이라는 것도 있다. 제품 공급 계약이 이루어지는 순간부터 자금의 흐름과 위험은 제조업 SCM과 함께 한다(YanGuangle,2011). 이러한 제조업 SCM 이면에 흐르는 금융 SCM은 실제로 기업의 수익 및 위험 관리에 직접적인 관련이 있다.

또한 제조업은 해외에서 부품을 공급 받는 일도 많고, 해외에 물건을 납품하는 경우도 많다. 기업이 다국적 기업으로 성장할 경우 환위험 노출에 따른 다양한 이슈에 봉착하는데, 이러한 부분을 제조업의 금융 SCM이 관할하고 있다. 해외에 큰 시장을 가지고 있는 기업의 경우 제조업의 운영을 원활히, 안전하게 뒷받침할 금융 SCM의 역할과 중요성은 더욱 커진다(LeiLei, 2014).

본 연구는 중국 중소 제조기업을 중심으로 전통적인 용자 모델과 금융SCM모델을 비교하여 경쟁력 있는 모델을 도출함으로써 중소 제조기업에 용자에 관한 전략적 모델을 제시하고자 한다.

2. 중국 중소기업 자금 조달 어려움의 원인

정책면에서 전통 제조업 발전에 유리한 정책을 많이 제정하지만 중국 전통적 경제성장 전략으로 하여 전통제조기업은 보편적으로 자금조달의 어려움을 비롯한 각종 어려움에 직면하여 있다. 대기업과 비교할 때, 전통제조기업은 자금조달 채널이 단순하며, 상업은행을 비롯한 사회자본의 지원을 받기 어려운 상황이며, 자금조달비용도 상대적으로 높다. 제조기업 자금조달 어려움의 원인에 대하여 학계에서 많은 선행연구가 이루어 졌으며, 본 연구에서는 간략하게 핵심 이론을 다음과 같이 정리하였다.

2-1 정보비대칭이론

정보비대칭이론에 따르면, 일부 전통제조기업의 경영상황은 양호하고 수익성이 높으며 성장 속도도 빠르지만 경영관리의 개선점이 여전히 존재함으로 재무데이터 공개가 규범화 되어있지 않기에 금융기관에서 전통제조기업의 발전 전망과 위험에 대하여 정확히 평가할 수 없을 뿐 아니라 상업은행은 제조기업의 대출업무에 있어서 막대한 정보비용을 부담하게 된다. 역선택과 도덕적 해이 요인으로 하여, 기업정보비대칭 상황 혹은 기업정보 왜곡 상황에서 전통 제조기업이 대출을 신청함에 있어서 역선택과 도덕적 해이 문제가 심각하다. 그러므로 상업은행은 전통제조기업에 용자 제한(Credit Constraint) 정책을 실시하며, 용자심사 조건이 까다롭다. Stiglitz와 Weiss(1981)는 투자에 대한 정부 개입(간섭)이 없더라도 차용인의 역선택과 도덕적 해이가 존재함으로 여신배급에 있어서 장기균형이 형성되어 있다고 주장하였다. Jaffee와 Russell(1976)는 이러한 상황에 직면하였을 때 상업은행은 경쟁력 있는 이자율을 채택하여야 하며 '수익으로 위험을 감당(오버레이)' 하여야 한다고 주장하였다. Helmut Bester(1985)는 저당제도를 도입하여 기업위험을 파악하여 여신균형을 이루어 중소기업의 여신 제약을 해소 할 수 있다고 주장하였다. Zhang, Guo와 Liu등도 2002년에 은행과 기업의 정보비대칭 원인에 대하여 분석하였다.

2-2 가격차별이론(Price Discrimination)

가격차별이론은 전통기업 자금조달 어려움의 궁극적인 원인은 상업은행이 각 전통제조기업에 차별화 이자율 제도를 실시하지 못하는데 있다고 한다. Jaffee와 Modigliani(1969)은 신용대출공급곡선은 이익극대화 원칙을 준수하며, 만약 상업은행이 각 차용인에 가격차별정책을 시행하여, 차별화 가격을 책정한다면

기업은 여신 제한을 받지 않는다고 주장한다. 하지만 각 차용인에 서로 다른 이자율을 적용할 수 없기에 절충의 이자율 수준을 채택하며 일부 중소기업은 여신 제한을 받는다. 이러한 현상의 해결책은 (1) 규제 완화와 이자율 시장화를 통하여 사업은행은 대출 별 차별 이자율을 적용시키는 것과 (2)은행간 경쟁(Lin Yifu, 2000)이었다.

2-3 자금조달비용이론

자금조달비용이론은 신용관계이론이라고도 한다. 자금조달비용이론에 따르면 전통제조기업의 대출 비용은 높으며, 사업은행은 대기업과 여신거래를 진행하는 것을 선호하며 이러한 관계를 안정적으로 유지하려 한다. Dewatripont와 Maskin(1995)은 대기업 신용대출량은 사업은행 신용대출 공급함수의 주요 요인이며, 전기 대출은 후기 결정에 영향을 끼치기에 '예산 소프트 제약'의 효과로 나타난다고 주장하였다. Hodgman(1960)은 사업은행이 신용대출을 축소 할 때 우선 대기업(주요고객)의 신용대출 수요를 만족시키며, 중소기업 신용대출업무는 소매 업무에 해당되기에 비용도 다르다고 주장하였다. Fan(1999)은 비국유기업 대출은 '추가비용'이 발생한다고 주장하였다. 그는 '만약 어느 개인기업에 제공한 대출이 문제가 생겼을 경우, 관련 책임자가 대출기업으로부터 뇌물을 받았을 가능성이 있다'고 주장하였으며, 이렇게 발생한 '추가비용'은 기업 소유제도 차이로 발생한 것이기 때 문에 은행은 전통제조기업보다 국유대기업에 대출을 제공하는 것을 선호한다.

3. 중국 중소기업 자금 조달 어려움에 대한 해결방법

자금조달의 어려움은 전통제조기업 발전의 걸림돌이 되고 있다. 기존의 문헌연구 성과를 토대로 주요해결 매커니즘을 다음과 같이 제시한다.

주요 은행들이 중소기업을 외면하는 현실에서 지역 사업은행, 농촌 신용사, 소액대출회사의 성장과 발전을 추진하고, 은행 규모에 따라 각 고객층을 타겟 고객으로 금융서비스를 제공하는 것을 격려해야 한다. 금융기관에서는 중소기업 유동자산 심사권한을 은행에 부여하여, 시장성이 높고, 실적이 우수하며 신용등급이 높은 중소기업에 신용대출을 제공하며, 대출 심사를 간소화하고, 신용거래제도를 완화하고, 신용대출 비용을 확대하여 기업의 자금조달 비용과 은행의 관리비용을 줄여야 한다.

현재 많은 사업은행에서는 중소기업 자금조달 어려움이 가져다 준 거대한 기회를 겨냥하고 있다. 각 사업은행의 중소기업 금융혁신의 매커니즘은 주로 수평협업과 수직협업으로 나뉠 수 있다.

수평적 협업: 유사한 산업의 중소기업이 자발적으로 집합체를 결성하여, 집합체의 명의로 용자를 신청하는 것이며 주로 집단 연합대출(group joint credit), 중소기업집합부채 등 자금조달 방법이 있다. 집합체에 가입한 중소기업은 주로 다음과 같은 특징을 지니고 있다. 동일하거나 유사한 산업에 종사하며, 규모의 차이는 크지 않으며, 기업들은 서로 잘 알고 있으며, 서로 감독을 할 수 있다. 신용대출 위험이 발생하였을 때, 집합체의 모든 구성원은 담보 책임을 지게 된다. 이러한 수단을 통하여 대량으로 유사한 고객의 공통 특징과 금융수요를 파악할 수 있으며 산발적 고객의 고비용과 고위험을 피할 수 있으며, 규모화 생산을 실현할 수 있다.

수직적 협력: 실물경제 각 영역의 업스트림과 다운스트림 기업을 연합시킴으로, 금융기업은 공급사슬거래 프로세스 통제를 통하여 전통제조기업의 위험을 공급사슬기업의 총체적 위험으로 전환시킨다. 수직적 협력은 산업 중에서 자질이 높은 핵심기업을 선정 후, 핵심기업을 중심으로 업스트림과 다운스트림에 대한 통제, 협상과 관리 능력을 기반으로 업스트림과 다운스트림 중소기업에 금융 서비스를 제공한다. 본 연구는 공급사슬금융모델은 수평적 협력의 금융혁신 관점을 채택하였다.

4. 금융SCM 문헌연구

근래 공급사슬금융 이념은 많은 사업은행에서 수용되고 있으며, 보편적으로 중소기업 자금조달 어려움을 해결하는 효과적인 수단으로 부상하고 있다 (Yeonggil Kim, Ning ye, Soowook Kim, 2015).공급사슬금융 제품이 다양해짐에 따라, 관련 영역의 이론연구도 끊임없이 진행되고 있다. 하지만 현재 중국 국내에서는 공급사슬금융에 대한 문헌은 협소하며, 현재 금융기관이 시행하고 있는 현황에 대한 정리연구에 그치고 있다. 하지만 국내의 '공급사슬', '물류금융'과 공급사슬금융 중 구체적 제품에 대한연구는 공급사슬금융 연구의 이론적 기반을 마련하였으며, 본 연구에서는 위에서 제기한 관점에서 국내외 공급사슬금융의 관련 문헌에 대하여 종합하고 정리하였다.

공급사슬금융위험관리에 관한 연구에서, Wright(1998)는 재고를 표적으로 하는 물류금융업무 중 '재고가치를 평가하고 효과적으로 감독을 하는' 것이 중요한 과제이다 라고 주장하였다.

또한 재고기반 용자 업무에 있어서, 시장변화, 신기술 업데이트, 치열한 시장경쟁과 차용기업의 통제 등 여러 요인의 영향인하여 상업은행은 재고 평가를 시행하기 어렵기에 상업은행은 재고 현금화 가치와 현금화 어려움에 대하여 효율적으로 평가하기 어렵다. 또한 금융기관의 직접적인 재고 감독은 고비용, 고난도 이기에 경험이 풍부하고 실력 있는 제3의 에이전시가 재고에 대하여 평가하고 감독할 것을 제안하였다. 이는 물류기업이 공급사슬 재무 활동에 참여하는 이론적 근거를 제시하였다.

비즈니스 모드 면에서, Poe(1985)는 공급사슬금융의 일종인 자산기반의 자금조달 비즈니스 모드를 소개하였다. 이중 자산에는 기업의 재고와 매출채권이 포함되며, 이 두 종류의 자산은 자산기반 금융업무에서 인정하는 담보물이다. 그러므로 도매상, 소매상과 유통업체는 물류금융업무의 표적고객이 되었다. Fenmore(2004)는 새로운 공급사슬금융제품 즉 오더 자금조달(purchase-order financing)을 제안하였다. Hyun Jung Kim, Changhee Kim (2015)에 의하면 공급사슬통합과 사회자본이 중소기업의 동반성장과 성과 간의 관계에 미치는 영향을 분석 결과, 동반성장은 기업 성과에 긍정적 영향을 미치며, 사회자본의 매개효과가 유의하다고 하였다.

중국 문헌 중, Ren(1998)은 물자은행(Material Bank)의 개념을 제기하였으며, 물자경영을 대상으로 '물자은행'을 설립하여, 기업의 상호간의 재무 불이행을 해결하고, 물자의 양성 유통을 촉진함으로써 경제적 이익을 획득할 수 있다고 주장하였다. 물자은행의 핵심 우위는 물자를 자본으로 전환하는 과정에서 정교화 서비스를 제공하는 것이다. 이외 Feng(1998)는 재고 제품 자금조달 개념을 제기하였으며, Zhu(2008)등은 유통창고의 개념을 주장하였다. 모두 공급사슬금융의 범주에 속하며, 유통창고(Financing Warehouse)은 종합적 제3자 물류서비스 플랫폼이며, 은행과 기업간 협력의 고리 뿐 아니라 효율적으로 중소기업의 자금조달 어려움을 해결할 수 있으며 나아가 중소기업의 공급사슬시스템에 융합되어 중소기업에 제3자 물류서비스를 제공할 수 있다고 주장하였다.

창고증권(depot bill) 저당용자에 관한 연구에서, Wu(2004)는 상업은행의 창고저장 저당 대출업무의 특징과 문제점을 논술했으며, 창고저장 저당 대출 고객의 유형과 저당물의 선택에 대하여 분석하고 정리하였다. Li, Yu와 Feng(2007)은 단계대출(staged loaning)의 모드를 도입하여 신용 위험과 도적적 해이를 통제 할 것을 제기하였으며, 파라미터 함수를 적용하여 단계대출과 일회성 대출에 대하여 비교 연구 하였으며, 창고증권 저당 대출 업무 프로세스를 설계하였으며, 심사과정, 창단 저당률 등 측면에서 자신들의 견해를 제기하였다. Zhang(2008)은 창고증권 저당 업무 발전 현황과 잠재적 위험요인에

대하여 정리 및 분석하였다. 그는 중국 국내 창고증권 저당업무 모델과 위험 통제수단의 연구를 통하여 2가지 창고증권 저당 업무의 운영 모델을 정리하고 동시에 위험 예방의 구체적 조치를 제안하였다.

매출채권에 관한 연구: Zhang(2000)은 매출채권 용자는 주로 보험, 독촉 등 수단으로 다국적 기업이 중국 국내 매출채권을 국내 은행에 판매하거나 양도를 통하여 단기 자본 유동성 자금 조달 수단이라고 주장하였으며 매출채권 용자 방안 설계의 원칙과 주의사항들을 제시하였다. Qin(2008)는 상업은행 매출채권 용자업무의 실행에 대하여 심화 연구하였다. 그는 실무 중 유사한 용자수단과 담보수단을 비교하여 현행 법률제도에서 법적 위험에 대응하는 견해와 조치를 제기하였다. Wang(2008)는 공급사슬금융 '풀(pool)용자'의 비즈니스 모드 즉 여러 소액의 매출채권을 합산하여 자산 풀을 형성하며, 이를 은행에 양도함으로써 자금조달을 받는 업무 모델을 제기하였으며 이러한 업무의 구체적 운영과 관련된 우위를 분석하였다.

5. 금융SCM모델- 매출채권형 용자

공급사슬금융은 공급사슬의 운영 효율과 자산 이용률을 효과적으로 향상 시킬 수 있다. 또한 중소기업의 경영관리 주기 특점을 결합하여, 공급사슬금융 제품은 기업이 자금부족기간에 상응한 금융지원을 제공하여야 하며, 기업이 공급사슬 중에서 이용할 수 있는 자금은 선물금, 기적품, 재고(원자재와 완성품 포함)와 매출채권이 있다. 중소기업 운영과정 중 자금부족 특점과 차용인의 각 무역 단계에서 용자 수요 위험의 차이를 고려하여 공급사슬 자금조달을 매출채권형 용자 유형에 대하여 설명할 것이다.

5-1 매출채권형 용자업무

매출채권형 용자업무는 차용인이 자신이 소유한 핵심기업의 매출채권을 담보로 하거나 은행에 양도함으로써 은행의 용자 지원을 받는 것을 말한다. 이러한 모델은 핵심기업의 업스트림 기업에 적용되며, 중소기업은 핵심기업의 공급업체로서 핵심기업에 제품을 공급함에 있어서 핵심기업은 통상 대금정산을 미룬다. 그러므로 중소기업은 핵심기업의 매출채권을 이용하여 자금조달 활동을 진행 할 수 있다.

매출채권형 용자 업무의 각 제품의 운영 프로세스는 유사하며, 다음 <Fig. 1>과 같이 표시 할 수 있다.

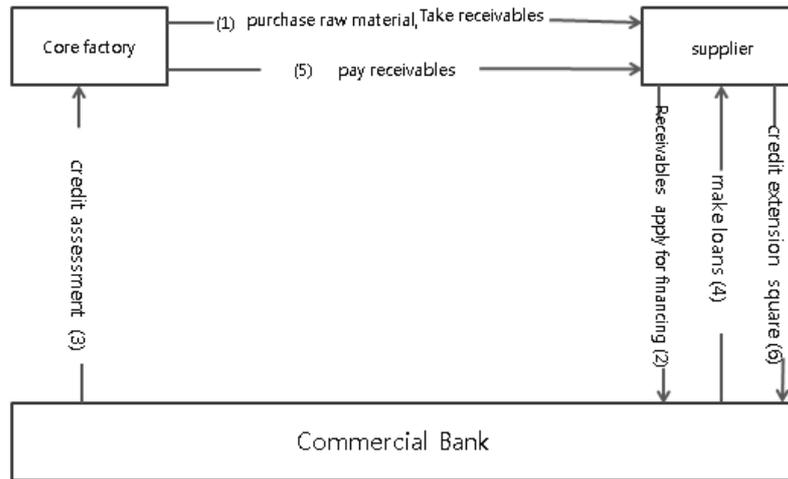


Fig. 1. 매출채권용자대출프로세스

(1) 핵심기업이 공급업체로부터 원자재를 구매하고 매출채권 형성된다.

(2) 공급업체는 매출채권을 상업은행에 저당하거나 양도하고 상업은행 용자를 신청한다.

(3) 상업은행은 핵심기업 신용상황을 평가한다.

(4) 상업은행은 공급업체에 용자금을 지급한다.

(5) 매출채권 만기, 핵심기업이 공급업체에 대금을 지급한다.

(6) 공급업체는 대출을 정산한다.

매출채권형 용자의 구체적 운영 모델은 다음과 같이 3 종류로 분류 할 수 있다.

- 팩토링업무:

팩토링이란 개념의 출현은 공급사슬금융보다 훨씬 이른다. 팩토링은 은행이 판매자가 매수자에게 제품 판매하여 형성된 매출채권을 양도받고, 이를 기반으로 판매자에게 제공하는 매출채권 관리, 독촉과 악성 부채 위험을 부담 등 일련의 종합적 금융서비스이다. 만약 판매자가 매출채권 양도사실을 매수자에 통보하고 매수자의 확인을 받았다면 통지 팩토링, 만약 그렇지 아니하면 비통지 팩토링이라고 한다. 중소기업 자금 조달 수요를 만족시키는 외에, 팩토링업무는 재무제표를 미화하는 작용도 한다. 팩토링업무 중 중소기업은 외상매출채권을 상업은행에 양도함으로써 은행의 자금지원을 얻어 직관적으로 기업 재무제표중의 외상매출채권을 감소하고, 화폐자산을 증가함으로써 신용평가에서 높은 평가를 받을 수 있다 이러한 모델에서 고객은 전통유동자금 대출 요건처럼 저당과 담보를 제공하지 않아도 판매대금을 앞당겨 회수하여 유동자금 회전률을 높일 수 있다.

- 매출채권 저당 여신

매출채권 저당 여신은 판매자가 매수자에 제품판매를 통하여 형성한 매출채권을 은행에 저당을 설정하는 방법으로 은행여신을 획득하는 자금조달 수단이다. 매출채권 저당 여신과 팩토링업무의 운영 프로세스와 고객층이 유사하며, 두 유형의 차이점은 전자는 매출채권의 저당이고, 후자는 매출채권의 양도이며, 법률상 구분으로부터 두 제품은 많은 차이점이 존재한다.

첫째, 은행여신의 제1 상환의 출처가 다르다. 매출채권 저당의 상환의무자는 차용인이며, 차용인이 제때에 대출금을 상환할 때 은행은 매출채권을 처분할 권한이 없지만, 팩토링업무는 매출채권을 매입하였기에 제1 상환금의 출처는 매수자가 지불한 대금이며, 은행은 매출채권에 대한 처분권과 수익권을 보유하고 있다.

둘째, 위험의 최종 부담자가 다르다. 매출채권저당여신은 제품 매수자가 매출채권 대금 지불을 거절하더라도 차용인은 은행여신에 대한 상환의무가 있다. 하지만 팩토링업무에 있어서 은행은 통상 차용인에 대한 보상청구권을 포기한다.

셋째, 서비스 내용이 다르다. 매출채권용자는 단순히 기업이 기업에 대한 자금상 지원이지만, 팩토링업무에는 매출채권관리, 독촉과 악성 부채 위험 부담 등 내용이 포함된다.

- 매출채권 풀 용자

매출채권 풀 용자는 매출채권 저당 용자 수단 기반으로 업그레이드 한 재무혁신이며, 자금이 필요한 매도인이 하나 혹은 하나 이상 매수인, 기한과 금액이 다른 매출채권을 은행에 일과적으로 저당을 설정하고, 은행은 양도 받은 매출채권 총액을 참조하여 자금지원을 제공하며, 건 별 매출채권이 만기 되어 상환이

발생할 때마다 기업은 다른 매출채권을 보충하여 저당 총액을 일정 수준으로 유지하고, 은행의 대출을 바로 상환하지 아니해도 된다. 전통 매출채권 저당 여신업무에 있어서 상환금의 출처는 매출채권 상환이라고 명시되어 있기에, 용자 기간은 통상 매출채권 기간에 따라 결정된다. 여러 건의 매출채권이 존재할 때, 차용기업은 여러 차례를 걸쳐 용자를 받고, 여러 차례 거쳐 용자금을 상환하여야 한다. 매출채권 풀 용자는 매출채권총액에 대한 동적 감독을 통하여 전통 매출채권 저당 업무의 운영비용을 줄였으며, 매출채권은 일정 수준을 유지하고 거래 기록이 양호한 중소기업에 자금조달 수단으로 알맞다.

6. 공급사슬금융의 수익분석

본 연구는 매출채권형 용자를 범례로, 공급사슬에 위치한 각 기업의 비용수익모형을 구축하여 공급사슬금융의 수익에 대하여 분석을 할 것이다.

6-1 모형 가설 및 정의

본 연구에서는 공급사슬모형의 업스트림 공급업체, 유통업체와 상업은행으로 구성된 단일 주기 모형이며, 업스트림 공급업체와 상업은행이 공급사슬의 기본요소를 구성되었으며, 상업은행은 공급사슬중의 기업에 용자지원을 제공한다. 다음과 같이 모형의 가설을 제기하며 관련 변수를 정의한다.

[1] 업스트림 공급업체는 전체 공급사슬의 핵심기업이며, 이의 생산량은 유통업체의 구매량 보다 많으며, 핵심기업은 가격수단을 통하여 유통업체의 구매량에 영향을 주지 않는다.

[2] 딜러는 시장수요를 예측하고 핵심 공급업체로부터 제품을 구매하며, 시장에서 자율적으로 판매한다.

[3] 딜러는 중소기업이며, 보유한 자금은 상대적으로 적으며, 외부용자를 받지 않는다면 제품을 공수할 때 자금의 제약을 받는다.

[4] 핵심 공급업체는 충분한 자금을 보유하고 있으며, 자금상의 제약을 받지 아니하며 용자에 대한 수요는 없다.

[5] 딜러가 구매한 제품을 판매하지 못할 경우, 핵심 공급업체는 해당 제품을 회수하며, 회수가격은 해당 제품의 잔여가치로 산정한다.

[6] 핵심 공급업체가 회수한 제품을 처리하여 획득할 수익은 해당 제품의 잔여가치와 같다. 즉 핵심 공급업체가 제품회수를 통하여 얻은 수익은 0이다.

[7] 핵심공급업체의 제품생산 비용을 고려하지 않는다.

다음 <Table 1>과 같이 분석모형의 변수를 정의한다.

Table 1. 모형 변수 및 정의

C_o	Dealer's own money
c	Dealers replenish onr's stock price
s	The dealer sales price
v	The core manufacturer the repurchase price
D	The actual market demand
Q	Dealer order quantity
Π_d	Dealer's earnings
Π_s	The core manufacturers
Π_b	The income of commercial Banks
r_c	Credit capital interest
r_m	The core manufacturer own capital opportunity cost
r_b	Bank loans for supply chain
r_i	The cost of capital

6-2 공급사슬 중 각 기업의 비용수익

6-2-1 딜러는 자기자금으로 제품을 구매

(1) 기초, 딜러와 핵심공급업체는 구매계약을 체결한다.

(2) 딜러가 외부 자금 지원을 획득할 수 없을 때, 완전히 자기 자금으로 제품을 구매하며 구매금액 C_o 이다. 만약 자금 제약이 존재한다면, 최대 구매량은 $Q^* = \frac{C_o}{c}$ 이며 실제 구매량은 $Q \leq Q^*$ 이다.

(3) 딜러가 자금 제약이 존재함으로 시장수요량을 $D \gg Q^*$ 로 가정한다. 시장에서 제품 공급이 딸리며, 딜러가 제품을 시장에서 판매하여 얻은 수익은 다음과 같다.

딜러수익 = 상품 판매 수익 - 자기자금 비용, 즉

$$\Pi_{d(1)} = sQ - cQ = (s - c)Q \tag{6-1}$$

$$\text{핵심제조기업 수익} = \text{딜러 구매 비용, 즉 } \Pi_{s(1)} = cQ \tag{6-2}$$

이 경우 은행의 수익과 관련되지 않는다. 즉 총 수익은 식(4-3)과 같다.

$$\Pi_1 = \Pi_{d(1)} + \Pi_{s(1)} = sQ \tag{6-3}$$

6-2-2 신용판매형식 제품 구매

신용판매는 신용을 기반으로 이루어지는 판매이며, 무역 실무에서 많이 사용되는 거래 방법이다. 다운스트림 공급업체가 자금제약이 존재할 때 업스트림 핵심공급업체와 협상하여, 먼저 제품을 가져가고, 결제일에 대금을 결제하며, 결제방법에는 일시 지불과 할부 지불 방법이 있다. 신용판매가 진행 될 때 통상

핵심공급업체는 딜러에 제시하는 단가를 인상한다. 이는 딜러가 신용을 획득한 대가이며 신용판매는 본질적으로 딜러가 핵심기업으로부터 대출을 받은 것과 같다. 계산의 편의를 위하여, 우리는 외상자금의 이자를 r_c 로 정의한다.

(1) 기초, 딜러는 핵심제조기업과 구매계약을 체결한다.

(2) 딜러 구매량은 Q 이며, 구매금액은 cQ 이다. 딜러는 자금 제약을 받는다. 즉 $C_0 < cQ$,. 이러한 상황에서 딜러는 핵심기업에 신용판매를 신청하며, 외상판매 신청금액을 $cQ - C_0$ 으로 정한다.

(3) 딜러가 제품을 시장에서 판매하며 수익을 획득하며 2가지 경우로 나누어 분석할 수 있다.

경우 1: $Q \leq D$ 일 때, 제품을 시장에서 전부 판매 하였을 경우
 딜러수익 = 상품 판매 수입 - 자기자금 - 외상 자금 이자, 즉
 $\Pi d = sQ - C_0 - (cQ - C_0)r_c$ 이다.

업스트림 핵심기업의 수익 = 딜러 구매 비용 + 외상 자금 이자 - 외상 자금의 기회비용. 즉

$$\Pi s = cQ + (cQ - C_0)r_c - (cQ - C_0)r_m = cQ + (cQ - C_0)(r_c - r_m)$$

이 경우에는 은행수익과 관련이 없다. 즉 총수익은

$$\Pi 2 = \Pi d + \Pi s = (s + c - cr_m)Q - (1 - r_m)C_0$$

경우 2: $Q > D$ 일 때 딜러는 시장에서 일부 상품만 판매할 수 있으며, 핵심제조기업은 남은 상품 회수한다. 판매한 제품 수량이 D 이라고 정의한다면, 회수 제품의 수량은 $Q - D$ 이며, 딜러수익 = 제품판매수입 - 자기자금 - 외상자본이자 - 회수로 발생한 손실, 즉

$$\Pi d = sD - C_0 - (cQ - C_0)r_c(c - v)(Q - D)$$

업스트림 핵심기업의 수익 = 딜러 구매 비용 + 상품 회수 수익 + 외상판매이자 - 외상 자본의 기회비용. 즉

$$\Pi s = cQ + 0 + (cQ - C_0)r_c - (cQ - C_0)r_m = cQ + (cQ - C_0)(r_c - r_m)$$

이러한 경우에는 은행수익과 관련이 없다. 즉 총수익은 다음과 같다.

$$\Pi 2 = \Pi d + \Pi s = (s + c - v)D - (1 - r_m)C_0 + (v - cr_m)Q$$

두 경우를 종합하여 정리하여 다음과 같은 수식을 도출 할 수 있다:

$$\Pi_{d(2)} = \begin{cases} (s - cr_c)Q - (1 - r_c)C_0, & Q \leq D \\ (s + c - v)D - (1 - r_c)C_0 - (cr_c + c - v)Q, & Q > D \end{cases} \quad (6-4)$$

$$\Pi_{s(2)} = c(1 + r_c - r_m)Q - (r_c - r_m)C_0 \quad (6-5)$$

$$\Pi_2 = \begin{cases} (s + c - cr_m)Q - (1 - r_m)C_0, & Q \leq D \\ (s + c - v)D - (1 - r_m)C_0 + (v - cr_m)Q, & Q > D \end{cases} \quad (6-6)$$

6-2-3공급사슬금융

상업은행이 공급사슬금융에 개입하여 딜러에 선불형 공급사슬금융자를 제공할 때, 딜러는 핵심기업으로부터 외상구매 혹은 신용구매가 불 필요하다. 이 경우 각 기업의 수익 분석은 다음과 같다.

(1) 기초, 딜러는 핵심제조기업과 구매계약을 체결한다.

(2) 딜러 구매량은 Q 이고, 구매금액은 cQ 이라고 정의하며, 딜러는 자금 제약이 받는다. 즉 $C_0 < cQ$,. 이 경우 딜러는 상업은행에 공급사슬 신용한도를 신청한다, 신청한 용자금액은 $cQ - C_0$ 이다.

(3) 딜러는 상품을 시장에서 판매하고 수익을 획득하며, 2가지 경우로 나누어 분석할 수 있다.

경우 1, $Q \leq D$ 일 때, 시장에서 제품을 모두 판매할 수 있다.
 딜러수익 = 상품판매수입 - 자기자금 - 대출자금 이자, 즉

$$\Pi d = sQ - C_0 - (cQ - C_0)r_b$$

업스트림 핵심제조기업 수익 = 딜러 구매 비용, 즉

$$\Pi s = cQ$$

상업은행 수익 = 대출자금 이자 - 대출 이자 비용, 즉

$$\Pi d = (cQ - C_0)r_b - (cQ - C_0)r_i = (cQ - C_0)(r_b - r_i)$$

이 경우 총수입은

$$\Pi 2 = \Pi d + \Pi s + \Pi b = (s + c - cr_i)Q - (1 - r_i)C_0$$

경우 2: $Q > D$ 일 때, 딜러는 시장에서 상품의 일부만 판매 할 수 있으며, 이러한 경우 핵심제조기업은 남은 제품 회수하여야 한다. 판매한 제품 수량을 D 라고 하면, 회수한 상품의 수량은 $Q - D$ 이며, 딜러수익 = 제품판매수입 - 자기자금 - 대출금이자 - 상품 회수로 인한 손실, 즉 $\Pi d = sD - C_0 - (cQ - C_0)r_b - (c - v)(Q - D)$ 이다.

업스트림 핵심제조기업 수익 = 딜러 구매 비용 + 제품 회수 수익, 즉 $\Pi s = cQ + 0 = cQ$ 이다.

상업은행 수익 = 대출금 이자 - 대출 이자 비용, 즉 $\Pi d = (cQ - C_0)r_b - (cQ - C_0)r_i = (cQ - C_0)(r_b - r_i)$ 이다.

이 경우 총수입은 $\Pi 3 = \Pi d + \Pi s + \Pi b = (s + c - v)D - (1 - r_i)C_0 + (v - cr_i)Q$ 이다.

2가지 경우를 종합하여 정리한다면 다음과 같다.

$$\Pi_{d(3)} = \begin{cases} (s - cr_b)Q - (1 - r_b)C_0, Q \leq D \\ (s + c - v)D - (1 - r_b)C_0 - (cr_b + c - v)Q, Q > D \end{cases} \quad (6-7)$$

$$\Pi_{s(3)} = cQ \quad (6-8)$$

$$\Pi_{d(3)} = c(r_b - r_i)Q - (r_b - r_i)C_0 \quad (6-9)$$

$$\Pi_3 = \begin{cases} (s + c - cr_i)Q - (1 - r_i)C_0, Q \leq D \\ (s + c - v)D - (1 - r_i)C_0 + (v - cr_i)Q, Q > D \end{cases} \quad (6-10)$$

6-3 일부 변수 간의 관계의 분석 설명

1. $v < c < s$

달러는 상품을 c 가격에 매입하여, s 가격으로 판매하여 차익을 얻는다. 즉 $s > c$ 이다.

핵심기업은 상품 잔여가치를 단가로 제품을 회수하며, 회수한 가격은 달러가 구매한 가격보다 낮다. 즉 $v < c$ 이다.

2. $r_i < r_b < r_m < r_c < 1$

상업은행은 대출업무에 종사하는 전문 금융기관이며, 주된 수입은 저축과 대출의 이자의 차익이다. 그러므로 $r_i < r_b$ 다. 같은 맥락에서 핵심기업이 달러에게 외상판매 혹은 신용판매의 전제는 신용판매의 수익은 자기자금 기회비용보다 높기 때문이다. 즉 $r_m < r_c$ 이다.

핵심기업의 자유자금기회비용을 참조하여야 하기에 r_m 과 r_b 간의 관계는 확정하기 어렵다. 만약 핵심기업의 자기자금을 생산성 투자에 사용할 수 없다면 이 부분 자금은 정기예금 혹은 협의 예금 형식으로 은행에 예치 하거나 고정수익 채권제품, 투자 상품에 투자할 것이다. 이러한 경우 자기자금의 기회비용은 은행 저축예금과 대출이자 사이이다. 즉 $r_i < r_m < r_b$ 이다. 만약 핵심기업이 자기자금을 생산성 투자를 할 경우, r_m 는 생산제품의

순이익율이며 통상 $r_b < r_m$ 이다.

위 두 경우를 종합하여 본다면 본 모형은 하나의 핵심기업과 하나의 달러로 구성되었으며, 만약 모형을 핵심제조기업과 여러 달러로 확장한다면 '핵심기업생산량은 달러 구매량 보다 많다'는 전제조건은 존재하지 않으며, 핵심기업도 자금상 제약이 나타날 수 있다. 그러므로 실제 경제상황에 있어서 핵심기업이 지속적인 유휴자금이 존재할 확률이 낮다. 순이익으로 핵심기업의 자기자본 기회비용을 평가하는 것이 합리적이므로 본문에서는 $r_b < r_m$ 을 채택하고 분석에 적용한다.

6-4 3가지 경우의 비용수익분석

(1) 달러 수익 분석

위 계산을 토대로, 자기자금모델, 외상구매모델, 공급사슬금융 모델에서의 달러 수익은 각각 수식(6-1) · (6-4) · (4-7)이다. 즉

$$\Pi_{d(1)} = (s - c)Q, Q \leq \frac{C_0}{c}$$

$$\Pi_{d(2)} = \begin{cases} (s - cr_c)Q - (1 - r_c)C_0, Q \leq D \\ (s + c - v)D - (1 - r_c)C_0 - (cr_c + c - v)Q, Q > D \end{cases}$$

$$\Pi_{d(3)} = \begin{cases} (s - cr_b)Q - (1 - r_b)C_0, Q \leq D \\ (s + c - v)D - (1 - r_b)C_0 - (cr_b + c - v)Q, Q > D \end{cases}$$

$Q - \Pi$ 을 XY축으로하는 좌표계를 설정하였으며, $\Pi d(1) \cdot \Pi d(2) \cdot \Pi d(3)$ 함수 그래프 다음과 같다.

$\Pi d(1)$ 의 그래프는 OB선이다.

$\Pi d(2)$ 의 그래프는 BEF선이며, BE의 연장성은 Π 축과 $-(1 - r_c)C_0$ 점에서 만난다.

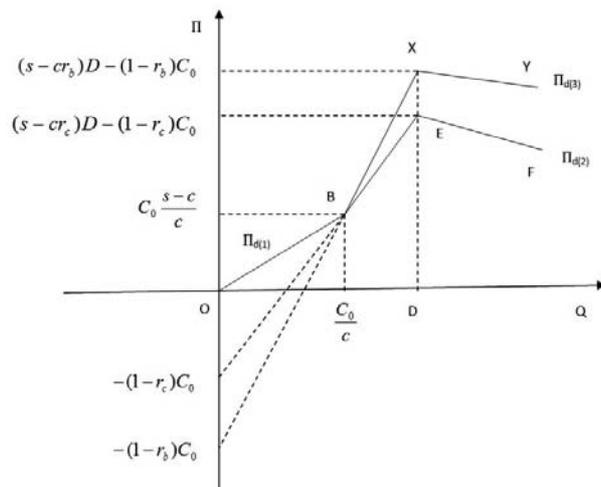


Fig. 2. 3가지 모델에서 달러의 수익

$\Pi d(3)$ 의 그래프는 BXY선이며, BX의 연장선은 Π 축과 $(1-r_b)C_0$ 점에서 만난다.

함수의 그래프로부터 다음과 같이 분석할 수 있다.

$Q \leq C_0/c$ 일 때, 딜러는 자기자금으로 제품을 구매하며, 이 모델에서 자금제약이 존재하기 때문에 딜러 수익 $\Pi d(1)$ 제일 적다. 신용판매와 공급사슬재무모델은 딜러의 수익을 증가시킬수 있다.

$Q \leq C_0/c$ 일때, $\Pi d(2)$ 와 $\Pi d(3)$ 는 유효한 함수 값을 가진다. 즉 $\Pi d(3) > \Pi d(2)$ 이다. 즉 공급사슬금융모델에서의 딜러수익은 신용판매모델에서의 딜러수익보다 크다. 주요원인 $r_b < r_c$ 즉 은행대출이자율은 신용판매 자금 이자율 보다 낮기 때문이다.

(3) $-(crc+c-v) < -(crb+c-v) < 0$ 이기에 EF, XY구간에서 감소하며 XY의 기울기는 EF보다 완만하며 $\Pi d(2) \cdot \Pi d(3)$ 는 모두 최적 값을 가진다. 경제적 의미는 신용판매와 공급사슬금융 모델에서 딜러의 구매량 Q 와 시장수요량 D 가 같을 때, 딜러는 최대 수익을 얻을 수 있으며, 2모델의 수익은 각각, $(s-cr_c)D - (1-r_c)C_0$, $(s-cr_b)D - (1-r_b)C_0$ 이다.

(2) 공급사슬 수익분석

공급사슬은 딜러와 핵심공급업체로 구성되었으며, 공급사슬의 수익은 상기 2 기업의 수익의 합이다. 그러므로 자유자금 모델, 신용판매모델, 공급사슬금융모델의 공급사슬수익은 각각 $(6-1) + (6-2) \cdot (6-4) + (6-5) \cdot (6-7) + (6-8)$ 이다. 즉

$$\begin{aligned} \Pi_{d(1)+s(1)} &= sQ, Q \leq \frac{C_0}{c} \\ \Pi_{d(2)+s(2)} &= \begin{cases} (s+c-cr_m)Q - (1-r_m)C_0, Q \leq D \\ (s+c-v)D - (1-r_m)C_0 + (v-cr_m)Q, Q > D \end{cases} \\ \Pi_{d(3)+s(3)} &= \begin{cases} (s+c-cr_b)Q - (1-r_b)C_0, Q \leq D \\ (s+c-v)D - (1-r_b)C_0 + (v-cr_b)Q, Q > D \end{cases} \end{aligned}$$

$Q-\Pi$ 을 x-y축으로 하는 좌표계를 설정하였으며 $\Pi d(1) \cdot \Pi d(2) \cdot \Pi d(3)$ 의 함수 그래프를 다음과 같다.

$\Pi d(1)+s(1)$ 의 그래프는 선 OB이다.

$\Pi d(2)+s(2)$ 의 그래프는 선 BXY이며, BX의 연장선은 Π 축과 $-(1-r_m)C_0$ 에서 만난다.

$\Pi d(3)+s(3)$ 의 그래프는 선 BEF이며, BE의 연장선은 Π 축과 $-(1-r_b)C_0$ 에서 만난다.

$Q \leq C_0/c$ 일 때, 딜러의 자기자금모델에서 자금 제약이 존재하기에 딜러의 수익 $\Pi d(1)+s(1)$ 은 최소값을 가진다. 신용판매 모델과 공급사슬모델에서 모두 공급사슬수익을 증가 시킬수 있다.

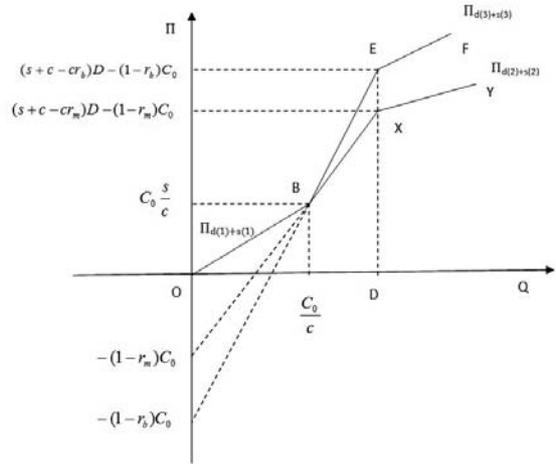


Fig. 3. 3가지 모델의 공급사슬 수익

$Q \leq C_0/c$ 일 때 $\Pi d(2)+s(2)$ 와 $\Pi d(3)+s(3)$ 는 유효한 함수 값을 가지며 $\Pi d(3)+s(3) > \Pi d(2)+s(2)$ 이다. 즉 공급사슬의 주체 분석을 하면 공급사슬모델의 수익은 신용판매모델의 수익보다 크다.

(3) XY의 기울기는 $v-cr_m$ 의 값에 의하여 결정된다.

$v-cr_m > 0$ 일 때 $\Pi d(2)+s(2)$ 는 단조증가함수이다. 경제학적 의미는 본 모형에서 공급업체의 제품생산 비용을 고려하지 않기에 딜러의 구매량이 많을수록 신용판매모델에서의 공급사슬수익이 더 높다.

$v-cr_m > 0$ 일 때 XY는 감소구간이며, $\Pi d(2)+s(2)$ 최적 값이 존재한다. 경제학적 의미는 신용판매모델에서 딜러 제품 구매량 Q 와 시장수요량 D 가 같을 때 공급사슬 수익이 최대값 $(s+c-cr_m)D - (1-r_m)C_0$ 을 가진다.

(4) EF의 기울기는 $v-cr_b$ 의 값에 의하여 결정된다.

$v-cr_b > 0$ 일 때 $\Pi d(3)+s(3)$ 는 단조증가함수이다. 경제학적 의미는 본 모형에서 공급업체의 제품생산 비용을 고려하지 않기에 딜러의 구매량이 많을수록 공급사슬금융모델에서의 공급사슬수익은 더 높다.

$v-cr_b < 0$ 일 때 EF는 감소구간이며, $\Pi d(3)+s(3)$ 최적 값이 존재한다. 경제학적 의미는 공급사슬재무모델에서 딜러 제품 구매량 Q 와 시장수요량 D 가 같을 때 공급사슬 수익이 최대값 $(s+c-cr_b)D - (1-r_b)C_0$ 을 가진다.

(3) 3자 총 수익분석

위 계산에 따라 자기자금모델, 신용판매모델, 공급사슬금융 모델에서 딜러, 핵심공급업체와 상업은행의 총 수익의 수식은 각각 $(6-3) \cdot (6-6) \cdot (6-10)$ 이다. 즉

$$\Pi_1 = sQ, Q \leq \frac{C_0}{c}$$

$$\Pi_2 = \begin{cases} (s+c-cr_m)Q - (1-r_m)C_0, Q \leq D \\ (s+c-v)D - (1-r_m)C_0 + (v-cr_m)Q, Q > D \end{cases}$$

$$\Pi_3 = \begin{cases} (s+c-cr_i)Q - (1-r_i)C_0, Q \leq D \\ (s+c-v)D - (1-r_i)C_0 + (v-cr_i)Q, Q > D \end{cases}$$

$Q-\Pi$ 을 $x-y$ 축으로 하는 좌표계로 설정하였으며, $\Pi_1 \cdot \Pi_2 \cdot \Pi_3$ 의 함수 그래프를 다음과 같다.

Π_1 의 그래프는 선 OB이다.

Π_2 의 그래프는 선BEF이며, BE의 연장선은 Π 축과 점 $-(1-r_m)C_0$ 에서 만난다.

Π_3 의 그래프는 선BXY이며, BX의 연장선은 Π 축과 점 $-(1-r_i)C_0$ 에서 만난다.

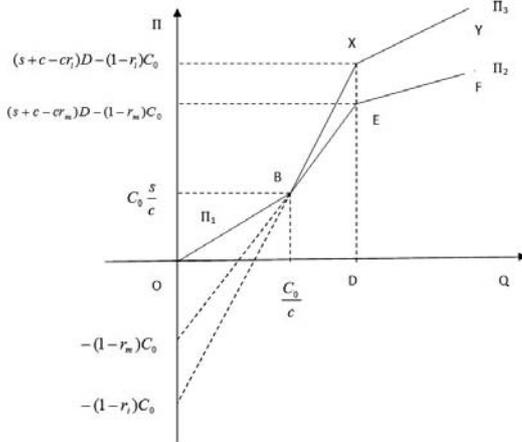


Fig. 4. 3가지 경우에서 중소기업, 핵심제조업체와 은행 3자의 총수입

$Q \leq C_0/c$ 일 때, 기업은 자기자금으로 제품을 구매한다, 이러한 모델에서 자금 제약을 받으며, 3자 총 수익 중 Π_1 의 값이 제일 작으며, 신용판매모델과 공급사슬모델에서 3자의 총수입을 증가시킬 수 있다.

$Q \leq C_0/c$ 일 때, Π_2 와 Π_3 는 유효한 함수 값을 가지며, $\Pi_3 > \Pi_2$ 이다. 즉 공급사슬재무모델에서의 3자 총 수익은 신용판매모델에서의 3자 총 수익보다 많다.

EF의 기울기는 $v-cr_m$ 의 값에 의하여 결정된다.

$v-cr_m > 0$ 일 때 Π_2 는 단조증가함수이다. 경제학적 의미는 본 모형은 공급업체의 제품생산 비용을 고려하지 않기에 딜러 구매량이 많을수록 신용판매모델에서의 3자 총 수익 더 높다.

$v-cr_m < 0$ 일 때 EY는 감소구간이며, Π_2 최적 값이 존재한다.

다. 경제학적 의미는 신용판매모델에서 딜러 제품 구매량 Q 와 시장수요량 D 가 같을 때 3자 총 수익이 최대값을 가지며 그 값은 $(s+c-cr_m)D - (1-r_m)C_0$ 이다.

XY의 기울기는 $v-cr_i$ 의 값에 의하여 결정된다.

$v-cr_i > 0$ 일 때 Π_3 은 단조증가함수이다. 경제학적 의미는 본 모형에서 핵심공급업체의 제품생산 비용을 고려하지 않기에 딜러 제품 구매량이 많을수록 공급사슬재무모델의 3자 총 수익은 더 많다.

$v-cr_i < 0$ 일 때 XY는 감소구간이며, Π_3 최적값이 존재한다. 경제학적 의미는 공급사슬재무모델에서 딜러 제품 구매량 Q 와 시장수요량 D 가 같을 때 3자의 수익은 제일 높으며 가지며 그 값은 $(s+c-cr_i)D - (1-r_i)C_0$ 이다.

위 3 모델은 경제적 효과 관점에서 중소기업, 전체공급사슬 그리고 사회에 대하여 공급사슬금융 방안이 딜러자기자금 구매 모델과 신용판매모델보다 확연히 뛰어나다. 공급사슬금융제품을 활용함으로써 총 수익을 증가 시키고 실적 최적화를 실현할 수 있다.

공급사슬금융은 상업은행이 전통 여신업무에서 정적 재무데이터 기반 위험 평가수단을 버리고, 중소기업의 동적 경영상황을 평가함으로써 중소기업의 핵심가치를 발굴함으로써 중소기업이 은행으로부터 자금 지원을 받아 고속성장을 실현 할 수 있다.

이외, 공급사슬금융은 핵심기업과 상업은행에 많은 수익을 가져다 준다. 공급사슬금융은 핵심기업의 업스트림과 다운스트림 용자를 통하여 업스트림과 다운스트림의 원자재 공급능력과 제품 판매능력을 향상시킴으로서 핵심기업의 생산과 판매를 확대하는데 유리한다. 공급사슬금융 제품은 핵심제조기업과 물류기업을 인입함으로써 중소기업의 경영정보를 보다 쉽게 획득하고 효율적으로 중소기업과 상업은행 간 정보비대칭문제를 해결하여 상업은행은 대량의 정보를 조사하는 비용을 절감하고, 각종 용자 방안을 설계하여 은행대출금의 상환을 보장하고 은행 여신업무의 신용위험을 낮추었다.

7. 결론

본 연구는 공급사슬경제를 발전시키는데 큰 의의가 있다. 즉 중소기업 전통 '취약계층'의 고속성장을 빌어 핵심기업의 업스트림과 다운스트림 기업의 판매를 확대하고, 비용을 절감하고, 브랜드 구축 경영 수요를 만족시키며 상업은행의 핵심경쟁력 양성을 촉진시킬 수 있으며 상업은행의 미래발전의 추세에 부합된다. 구체적으로 다음과 같이 여러 측면에서 구현된다.

- 공급사슬재무는 중소기업의 재무서비스 환경을 개선하는데 유리하다.

공급사슬금융은 사슬거래 관계의 자기보상성을 활용하여 효과적으로 핵심기업 업스트림과 다운스트림 기업의 '신용이 낮고, 자금회전이 부족하고, 매출채권 회수가 느리며, 대출 담보 어려움' 등 용자문제를 해결할 수 있다. 공급사슬의 전체 실력과 물류, 정보흐름과 자금흐름 등 3가지 흐름의 종합배경을 근거로 삼아, 핵심기업신용지원, 기업재고통제, 매출채권 회수 고정 등 일련의 수단 활용하여 중소기업 자금조달 과정에서 발생한 정보비대칭 위험을 감소하고, 전면적으로 핵심기업 상하계열의 금융서비스 환경을 개선하는데 탄실한 기반을 마련하여 주었다.

- 공급사슬금융은 핵심기업의 생태권을 개선할 수 있다.

모상업은행 정량조사에 따르면, 고객들이 공급사슬서비스에 대한 수요가 많으며, 70%이상의 핵심기업은 공급사슬을 통합할 의사가 있으며 상업은행의 담보업무, ERP개발, 명단제 개발 등 업무에 협조할 것이라고 한다. 핵심기업은 공급사슬에 위치한 여러 기업의 통합을 통하여 산업발전특징과 기업특징을 결합하고, 은행의 해당 산업에 대한 전문 거시통제능력 빌어, 정보우위와 위험통제수단 등 경험을 바탕으로 차별화 자금조달 방안을 설계하여 자금관리효율을 제고하고 경영개선함과 함께 공급사슬의 업그레이드 및 성장을 추진할 수 있다.

- 공급사슬금융은 은행의 핵심경쟁력 육성에 유리하다.

공급사슬금융은 은행의 제품개발, 시스템지원 등 전문 금융서비스 능력에 도전장을 내밀었으며, 고객중심을 이념에 따라 선택한 산업의 금융수요를 발굴하여, 제품조합, 시스템지원, 자원지원 등 면에서 업무의 전문화, 심화, 세밀화할 것을 요구하며, 방안설계는 핵심기업 중심으로 공급사슬에 훌륭한 서비스를 제공하고 공급사슬 각 유형 기업의 수요를 최대 만족시켜야 한다. 이러한 수요를 만족시키기 위하여 은행은 금융서비스 전문가 일뿐만 아니라 실물산업의 전문가가 되어야 한다. 또한 은행은 산업의 ERP등 수단으로 '삼류' 회전을 감독하고, 중소기업 용자 중 '정보수집, 위험통제와 비용통제 어려움' 등 3가지 문제점을 효과적으로 해결하여야 한다. 만약 어느 은행이 산업과 밀접히 결합한 시스템 서비스 체계를 구축한다면, 해당산업의 많은 고객들은 해당은행에 높은 충성도를 보일 것이며 동종업계에서 복제할 수 없는 경쟁우위를 형성할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Christina Atanasova. How Do Firms Choose Between Intermediary and Supplier Finance[J]. *Financial Management*, 2012(3):207-228.
- [2] Cao Bin. (2008), Commercial Banks of the warehouse receipt pledge loan process analysis, [J].*economist*, (7):202-203.
- [3] Chen Juan. (2011), System under the perspective of supply chain finance and commercial Banks development Suggestions, [J]. *The financial aspect*, (8) : 24-27.
- [4] Fenmore E. Making purchase-order financing work for you[J]. *The Secured Lender*, 2004, 60(2):20-24.
- [5] FanGang. (1999), Who is going to loans to small and medium-sized private enterprises ? [J]. *China industrial and commercial* (8):26-27.
- [6] Helmut Bester. Screening vs. Rationing in Credit Markets with Imperfect Information[J]. *The American Economic Review*, 1985(9): 850-855.
- [7] Hodgman D.. Credit risk and credit rationing[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1960(74)(2): 258-278.
- [8] Jaffee D., Modigliani F.. A Theory and Test of Credit Rationing[J]. *The American Economic Review*, 1969(12): 850-872.
- [9] Jaffee,D., Russell T.. Imperfect Information, Uncertainty, and Credit Rationing[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1976(4): 651-666.
- [10] Jason Busch. LIVE Dispatch: Ariba and Orbian Partner to Take on the Banks. 2007: <http://www.spendmatters.com/index.cfm/2007/5/23/LIVE-Dispatch-Ariba-and-Orbian-Partner-to-Take-on-the-Banks>.
- [11] Guo Bin. Liu Man Lu. (2002), The folk finance and development of small and medium-sized enterprises, [J]. *economic research*, (10) : 35-39.
- [12] Guo Sheng Min. (2011), Supply chain finance confirmed storehouse decision-making research, [D]. *Tsinghua University*.
- [13] Han Zhao. (2010), Application and research of supply chain finance in our country, [D]. *master*, UIBE
- [14] Hu Xiao Fei. Huang Shao Liu. (2009). supply chain finance: Innovation and definition, [J].*finance research* (8) : 194-206.
- [15] Hu Yue Fei, Huang Shao Liu. (2009). Supply chain finance : the background of innovation and definition, *finance research*, (7).23-34

- [16] Hyun Jung Kim, Changhee Kim. (2015). The Impact of Supply Chain Integration and Social Capital on the Relationship between Win-Win Growth of Small and Medium Firms and Performance, *한국SCM학회지* 15(2), 139-147
- [17] Mathias Dewatripont, Eric S. Maskin. Credit and efficiency in centralized and decentralized economies[J]. *The Review of Economic Studies*, 1995(62): 541-555.
- [18] Mike Burkart, Tore Ellingsen. In-Kind Finance: A Theory of Trade Credit[J]. *The American Economic Review*, 2004(6):569-590.
- [19] Xi Ye Guang. (2010), Reverse factoring mode of supply chain under the financial research, [J]. *Shanghai management science*, (2) : 47-50.
- [20] Lin YiFu. (2000). Development of small and medium-sized Banks to solve small and medium-sized enterprise financing difficult problem, [J]. *new economy*, (6) : 44-48.
- [21] Li YiXue, Xu Yu, Feng Jing Zhong.(2007). Logistics finance development review, 2007 to 2008, China's logistics development report, *Supplies of China publishing house*, 136-145.
- [22] Lu Feng. (2004). intra-production specialization, [J]. *Economic development*, (4)(1):55-82
- [23] Luo Qi, Zhu Dao Li. (2002). The third party logistics service innovation: Finance-transportation and its operation mode [J]. *China's circulation economy*, 16(2) : 11-14.
- [24] Lei Lei, Shi Jin Zhao. (2014). Supply chain finance theory review and research prospects, *East China economic management*, (6).12-33
- [25] Poe T R. Subjective judgments and the asset-based lender[J]. *Commercial Lending Review*, 1998, 13(2):67-70.
- [26] Tai Hong Chang. (2008). Commercial Banks to carry out the pledge of accounts receivable financing problem research, [J]. *The financial theory and practice*, (7):19-23.
- [27] Qiu Zhi Hua. (1996). Modern Chinese entrepreneurs survival wisdom, [M]. *Lixin accounting press*.
- [28] Ren Wen Chao. (1998). Materials for Banks and their practices, [J]. *scientific decision-making*, (2) : 18-20.
- [29] Stiglitz J.E., A.Weiss. Credit Rationing in Markets with Imperfect Information[J]. *The American Economic Review*, 1981(6): 393-410.
- [30] VINCENT CHANDLER. Determinants of Trade Credit Use By Small And Medium-Sized Enterprises In Canada. *Working paper*, 2009(12).
- [31] Wright J F. Accounting: Inventory-based lending[J]. *Commercial Lending Review*, 1988, 4(3): 97-99.
- [32] Xiaodong Xu, John R. Birge. Joint Production and Financing Decision: Modeling and Analysis. 2004: <http://ssrn.com/abstract=652562>.
- [33] Xiaodong Xu, John R. Birge. Operational Decisions, Capital Structure, and Managerial Compensation: A News Vendor Perspective. *The Engineering Economist* 2008(8):173-196
- [34] Xie Shi Qing. (2013). International supply chain finance three typical pattern analysis, [J]. *Economic theory and economic management*, (4). 115-125
- [35] Yan Guang Le. (2011). The game analysis of supply chain finance financing mode, *business economic*, (7).123-134
- [36] Yeonggil Kim, Ning ye, Soowook Kim. (2015). Introduction of a new Supply Chain Finance model, based on China's Wholesale business, *한국SCM학회지* 15(2), 53-62



김영길

인하대학교 석사
 서울대학교 박사
 현재: 성균관대학교 성균중국연구소 책임
 연구원
 관심분야: 중국경영, 생산전략, 기술혁신
 SCM



김수욱

서울대학교 경영학과 학사
 서울대학교 경영학과 석사
 Michigan State University 경영학박사
 현재: 서울대학교 경영학과 교수
 관심분야: Service Operations, SCM,
 Buyer-Supplier Relationship

한국SCM학회 연구 윤리 규정

제1조 (목적)

본 규정은 '한국SCM학회 연구 윤리 규정'이라 부르며 한국SCM학회(이하 "학회"라 한다)와 관련된 연구 행위가 연구 목적을 달성하기 위해 수행되는 과정에서 인간의 기본적, 사회 공동 윤리를 손상하지 않도록 윤리 규정과 기준을 정함을 목표로 한다. 여기서 연구 행위라는 것은 한국SCM학회가 주관 또는 공동 주관하는 학술대회와 한국SCM학회 학술지와 관련된 연구 수행, 결과, 발표 및 게재 등을 포함한다.

제2조 (적용 대상)

한국SCM학회가 주관 또는 공동 주관하는 학술대회 발표와 한국SCM학회 학술지 투고에 참여하는 학회의 회원들 외에 비회원들(이하 "저자"라 한다)에게도 준용된다.

제3조 (저자의 연구윤리)

1. 저자는 아이디어의 도출, 실험 방법의 설계, 결과의 분석, 연구 결과의 발표, 연구 심사 등의 연구 행위에 정직하여야 한다.
2. 저자는 타인의 연구나 주장의 전체 또는 일부분을 인용할 수 있다. 그러나 자신의 연구처럼 기술해서는 안 되며 반드시 정확하게 출처표시와 참고문헌 목록을 작성하여야 한다.
3. 저자는 연구 수행과 결과에서 획득한 정보를 이용하여 부당한 이익을 추구하지 않는다.

제4조 (연구 내용의 기록, 보존 및 공개)

1. 저자의 연구 내용은 타 연구자가 해석 및 확인이 용이하도록 정확하게 기록하여야 하며, 연구 수행 시 활용된 주요 사실 및 증거는 보존해야 한다.
2. 연구 결과가 출판된 후 타 연구자의 요청이 있을 경우 보안이 보장되는 범위 내에서 연구 결과물이 타 연구자의 연구 수행에 도움이 되도록 최대한 노력한다.

제5조 (저자의 책임과 보상)

1. 연구 결과에 기재된 모든 저자들은 발표된 사실에 책임을 다하도록 한다.
2. 저자는 공식적인 공동 연구자 또는 연구에 직간접적으로 기여한 사람들로만 구성되며 상대적 지위와 무관하게 학술적 기여도에 따라 저자 표기 순서가 결정된다.
3. 학회지 및 학술대회 발표논문집에 게재된 논문은 저자가 저작권을 가지나 공공의 목적으로 사용될 때는 한국SCM학회가 사용권을 가진다.

제6조 (연구 부정 행위) 연구 수행 중에 발생하는 부정 행위는 다음과 같다.

1. 위조: 존재하지 않는 데이터나 연구 결과를 허위로 만들어 내는 행위를 말한다.
2. 변조: 데이터의 변형이나 연구과정을 조작하여 연구결과를 왜곡하는 행위를 말한다.
3. 표절: 정당한 인용 없이 타 연구자의 연구 결과를 저자의 연구 결과에 사용하는 행위를 말한다.
4. 중복게재: 타 학술지에 게재 또는 투고 중인 원고를 본 학회지에 투고하는 행위를 말한다.

5. 부당한 논문 저자 표시: 연구 수행 중에 학술적 기여도가 없는 자에게 연구 결과의 저자 자격을 부여하는 행위를 말한다.

제7조 (윤리위원회 구성)

1. 학회는 연구 윤리와 관련된 사항을 검토 심의 의결하기 위해 학회 내에 윤리위원회를 운영한다.
2. 윤리위원회 구성은 위원장 1인과 부위원장 1인을 포함하여 5인으로 구성한다.
3. 윤리위원장은 학회 공동회장 중 한 분이 담당하며, 윤리위원회 부위원장은 학회지 공동 편집위원장 중 한 분을 윤리위원장이 임명하며, 나머지 3인의 위원회 회원은 윤리위원장과 부위원장의 합의로 임명한다.

제8조 (연구 부정 행위 제재)

연구 부정 행위가 적발된 연구 및 저자에 대해서는 윤리위원회의 검토를 거쳐 정도에 따라 다음과 같은 제재를 가할 수 있다.

1. 학회 징계 서한 발송
2. 학회의 해당 학회지에서 해당 연구 결과 삭제 또는 수정 요구
3. 연구 관련자의 적정 기간 동안 논문 투고 금지
4. 연구 관련자의 적정 기간 동안 회원자격 상실 및 연구 관련자 소속기관 세부사항 통보
5. 학회에서 제명

제9조 (윤리위원회 운영)

1. 필요한 연구 윤리 제정 및 개정을 담당한다.
2. 제소된 회원 및 연구에 대해 윤리 규정 위반 여부 심의 및 위반에 대한 제재를 의결한다.
3. 제소된 사안에 대해 접수된 날로부터 60일 이내에 심의 의결한다.
4. 위원회는 위원회의 조사 기간 동안 조사 내용 및 과정에 대해 일체의 보안을 유지하고, 관련자들의 신상 정보를 보호한다.
5. 윤리위원회는 조사 결과 제소된 내용이 무혐의 이거나 충분한 소명으로 혐의 사실이 해소될 경우 피고발자 혹은 혐의자의 명예를 회복하기 위해 적절한 후속 조치를 취할 수 있다.

제10조 (윤리위원회 제소 및 혐의자 의무)

1. 윤리위원회 제소는 회원 5인 이상의 서명을 받아야 한다.
2. 윤리위원회에 제소된 회원은 윤리위원회의 조사에 협조해야 한다.

제11조 (윤리위원회 의무)

1. 윤리위원회는 제소된 자에 대해 심의 결과가 확정되기 전까지는 회원으로 권리를 보장한다.
2. 윤리위원회에 제소된 자는 위원회에 충분한 소명할 권리를 갖으며, 위원회는 소명 및 반론 기회를 부여해야 한다.

제12조 기타 본 규정에 포함되지 않은 사항은 관계 법령과 사회적 규범에 의거 판단한다.

부 칙

제1조 (시행일)

본 규정은 이사회에서 의결된 날부터 시행한다.

2013. 1. 16 이사회 제정

Journal of the Korean Society of Supply Chain Management Copyright Transfer Agreement

To: Editor of Journal of the Korean Society of Supply Chain Management

Title of submitted manuscript: _____

Author(s)(Full Names): _____

I hereby certify that I agreed to submit the manuscript entitled as above to Journal of the Korean Society of Supply Chain Management with the following statements:

- This manuscript is author's original work and has not been published before. It will not be submitted again to other journals without permission from Editor of Journal of the Korean Society of Supply Chain Management if it is accepted for publication.
- This manuscript should not contain any libelous statements, defamation and privacy intrusion. Any legal or ethical damage should not be directed to the Korean Society of Supply Chain Management due to this manuscript.
- All authors contributed to this manuscript have equal responsibility with respect to the copyright problem.
- Copyright of the manuscript to be published in the Journal of Korea Society of Supply Chain Management is transferred to the Korean Society of Supply Chain Management.

I agreed Declaration of Ethical Conduct in Research & Statement of Copyright Transfer.

Date:

Author(s) Name and Signature:

한국SCM학회지 16권 2호 심사자 명단(가나다 순)

강민식(남서울대 산업경영공학과), 고시근(부경대 시스템경영공학과), 고창성(경성대 산업경영공학과), 고현정(군산대 물류학과), 구평희(부경대 시스템경영공학과), 권순동(충북대 경영정보학과), 김동수(숭실대 산업정보시스템공학과), 김민수(부경대 시스템경영공학부), 김성수(한국산업기술대 경영학부), 김영길(서울대 경영연구소), 김영민(서울사이버대 국제무역물류학과), 김종수(한양대 산업경영공학과), 김창욱(연세대 컴퓨터산업공학부), 김창희(서울대 경영대학), 김현정(상지영서대 경영과), 문덕희(창원대 산업시스템공학과), 민대기(이화여자대 경영학부), 박정수(인하대 경영대학), 박지영(송의여대 경영과), 배혜림(부산대 산업공학과), 서용원(중앙대 경영학부), 신광섭(인천대 동북아물류대학원), 양재환(서울시립대 경영학부), 오수정(서강대 기술경영정책대학원), 유인선(수원대 경영학과), 이철웅(고려대 산업경영공학부), 임준묵(한밭대 산업경영공학과), 장태우(경기대 산업경영공학과), 정석재(광운대 경영대학), 정성태(인천대 동북아물류대학원), 정태수(고려대 산업경영공학부), 정호상(인하대 아태물류학부), 조규성(동명대 항만물류시스템학과), 조정은(경성대 경영학부), 최강화(한성대 경영학부), 최성용(연세대 경영학부), 최성훈(상명대 경영공학과), 한용호(부산외국어대 e-비즈니스학과)

학회지 심사를 위해 노고를 아껴주시지 않은 심사자 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

한국 SCM 학회지 제16권, 제2호

인 쇄 / 2016년 10월 31일

발 행 / 2016년 10월 31일

발행인 / 임석철

편집인 / 고창성 · 김수옥

발행처 / 사단 **한국SCM학회**

경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
5공학관 532호

전화 031-438-5269 전송 031-406-1089

http: //www.kscm.org

등록번호 ISSN 1598-382X