

On the Theoretical Solution and Application to Container Loading Problem using Normal Distribution Based Model

Seung Hwan Jung[†]

School of Business, Yonsei University

정규 분포 모델을 이용한 화물 적재 문제의 이론적 해법 도출 및 활용

정 승 환[†]

연세대학교 경영학과

This paper introduces a container loading problem and proposes a theoretical approach that efficiently solves it. The problem is to determine a proper weight of products loaded on a container that is delivered by third party logistics (3PL) providers. When the company pre-loads products into a container, typically one or two days in advance of its delivery date, various truck weights of 3PL providers and unpredictability of the randomness make it difficult for the company to meet the total weight regulation. Such a randomness is mainly due to physical difference of trucks, fuel level, and personalized equipment/belongings, etc. This paper provides a theoretical methodology that uses historical shipping data to deal with the randomness. The problem is formulated as a stochastic optimization where the truck randomness is reflected by a theoretical distribution. The data analytics solution of the problem is derived, which can be easily applied in practice. Experiments using practical data reveal that the suggested approach results in a significant cost reduction, compared to a simple average heuristic method. This study provides new aspects of the container loading problem and the efficient solving approach, which can be widely applied in diverse industries using 3PL providers.

Keywords : Container Loading, Third Party Logistics, Logistics Management

1. 서 론

본 연구는 물류 운영에서 발생하는 컨테이너 적재 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 이론적이고 정량적인 방법론을 제시한다. 컨테이너 적재 문제는 컨테이너를 운반하는 트럭의 총 중량 제한 하에서 컨테이너 안에 적재될 화물의 최적 무게를 산출하는 것을 의미한다. 국토교통부는 도로 보호 및 안전, 그리고 일산화탄소 배출 저감을 위하

여, 상용 운송 트럭의 총 중량을 제한하고 있는데, 이 규제에 따르면, 도로에 운행되는 상용 운송 트럭의 총 중량은 40톤을 넘을 수 없다(국토교통부, 차량의 운행제한 규정). 또한 미국의 경우에도 운송 트럭의 총 중량은 80,000 파운드를 초과할 없도록 규정하고 있다(USDOT Regulatory Relief Fact Sheet, 2014). 따라서 트럭 동체의 무게에 대한 정보가 없는 상태에서, 총 중량에 대한 규정을 만족시키도록 컨테이너 내의 적정 적재량을 결정하는 것은 물류 운영에 중요한 의사결정 중 하나이다.

컨테이너 적재 문제의 주요 어려움은 최근 많은 제조 기업들이 물류 운영의 효율성 향상을 위해 도입하고 있는

Received 16 November 2022; Finally Revised 21 November 2022;
Accepted 21 November 2022

[†] Corresponding Author : seunghwan.jung@yonsei.ac.kr

제3자물류 운영 방식으로부터 기인하고 있다. 많은 기업들이 물류 효율성 확보를 위해 제3자물류(3PL)를 이용하고 있다. 일반적으로 제3자물류란 상품 및 서비스의 분배와 조달을 위해 외부 전문 업체를 이용하는 것을 의미한다. 실제로 많은 제조 기업들은 전략적인 이유로 제3자물류 업체에게 물류 프로세스의 일부 또는 전부를 아웃소싱하고 있는 실정이다. 구체적으로 운영 효율 향상, 비용 감소, 신뢰성 확보 및 신속성 등이 제3자물류 활용의 주요 장점으로 알려져 있다[15]. 또한 규모의 경제 확보, 자금 절약 및 재무 위험성 감소를 위한 제3자물류 이용도 최근 확대되고 있다[16]. 제3자물류의 활용은 재무적 그리고 운영적 효율성을 향상시키고 그로 인해 비용을 감소시킴으로써 물류 공급망의 성능을 향상시키는데 도움을 준다. 많은 기업들이 실제로 아웃소싱을 통한 제3자물류 활용 전략을 사용하고 있는데, 상당수의 Fortune 500 기업(약 80%)과 Fortune 100 기업(약 96%)이 제3자물류를 이용한 물류 아웃소싱 전략을 활용하는 것으로 알려져 있다[12]. 또한 제3자물류 및 물류 아웃소싱에 대한 다양한 연구들이 진행되어 왔는데 이에 대한 산업 트렌드 및 학술 연구에 대한 결과는 Akbari[2]과 Premkumar et al.[13]에서 찾아볼 수 있다.

일반적으로 상업용 트럭은 두 부분으로 나누어져 있다. 첫 번째 부분은 동력을 발생시키는 트럭 동체이고 이는 제3자물류 업체가 소유하고 있다. 두 번째 부분은 물건을 적재하는 컨테이너 부분으로 보통 제조업체가 보유하며 관리한다. 물류 프로세스에서 제조업체는 물건을 제조하고 이를 컨테이너에 적재하는 역할을 담당한다. 그 후 제3자물류 업체는 제조업체로 트럭을 보내 컨테이너를 다음 목적지로 운송하는 역할을 담당한다. 컨테이너에 물건을 적재하는데 상당한 시간이 소요되기 때문에 제조업체는 보통 배송 시간 이전(예, 24-48 시간 전)에 물건을 적재한다. 이처럼 배송을 위한 트럭이 도착하기 전 컨테이너에 물건을 미리 적재하는 운영 방식은 예상치 못한 문제를 발생시키는데 이는 배송을 수행하는 트럭 동체의 다양성으로부터 기인한다. 특히 컨테이너 적재 문제에서 중요한 정보인 트럭 동체의 무게는 매우 다양하고 예측이 어려운 실정이다. 이러한 무게 변동성은 여러 가지 이유에서 기인하는데 예를 들어 트럭 모델, 부착된 장비, 연료 수준 등 여러 가지 이유에서 발생된다. 이러한 무게 변동성과 예측의 어려움으로 인해 제조업체가 전체 무게 제한(40톤)을 맞추는 것이 쉽지 않은 실정이다. 만약 컨테이너에 물건이 많이 적재가 되었다면 이는 전체 무게가 총 무게 제한인 40톤을 초과하고 이로 인한 재작업 가능성 증가시킨다. 이러한 재작업은 트럭이 다시 적재 장소(도킹 장소)로 돌아가 초과된 무게만큼의 물량을 빼내는 작업을 포함한다. 반면 컨테이너에 적재된 물량이 적을 경우, 제조업체는 운송

가능한 물류 수용량을 온전히 사용하지 못하게 되고 이는 상당한 기회 비용을 발생시키게 된다.

2. 선행 연구

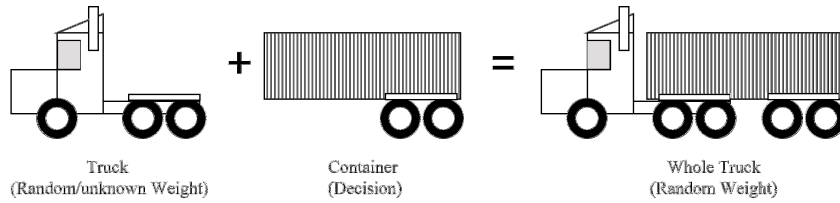
본 연구는 컨테이너 적재 문제를 다루고 있는 기존의 문헌과 연관되어 있다. 기존 논문에서 컨테이너 적재 문제는 다양한 목표(예: 비용 최소화)를 달성하기 위해 컨테이너 내부에 내용물을 배치시키는 문제로 주로 묘사되고 있다. 국내에서도 컨테이너 적재 문제에 대한 다양한 접근법이 연구되어 왔다[3, 8, 10, 14, 17]. 이러한 컨테이너 적재 문제의 주요 관심사는 적재되는 내용물의 공간적 배치를 최적화하는 것이다.

또한 컨테이너 적재 문제에서 다양한 운영 제약들이 고려가 되고 있다[5]. 그 중에서도 적재 무게에 대한 제한은 다양한 논문에서 고려가 되었다[예, 6, 7, 9]. 주목해야 할 점은 기존 논문들이 고려한 컨테이너 적재 문제에서 중량 목표는 미리 알려진 정보(매개 변수)로 여겨졌는데, 이는 트럭 동체 중량에 대한 불확실성이 존재하지 않기 때문이다. 하지만 제3자물류 업체를 이용한 물류 아웃소싱 전략으로 인한 제조업체와 제3자물류 업체사이의 정보의 불균형으로 인해 트럭 동체 중량에 대한 불확실성이 야기되었다. 이는 제조업체가 내용물 적재 시 중량 제어를 위해 필요한 트럭 동체 무게에 대한 정보를 얻는 것이 어려워졌다는 것을 의미하고 그로 인해 최적 컨테이너 적재 무게 산출을 위한 효과적인 방법이 필요한 실정이다.

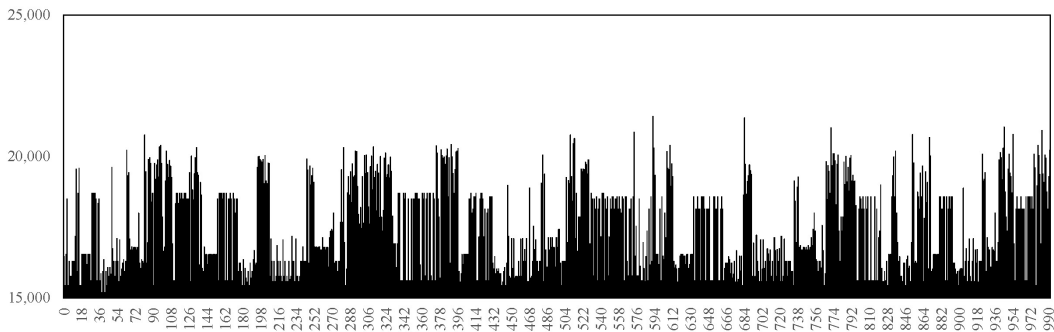
앞서 얘기하였듯 많은 기업들이 다양한 전략적 이유로 제3자물류를 통한 물류 아웃소싱을 이용하고 있다. 이에 대한 자세한 문헌 조사는 Marasco[11], Aguezoul[1], Akbari[2]에서 찾아볼 수 있다. 특히 최근 축적된 데이터를 활용하여 물류 운영의 효율성을 향상시키기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다[4, 18]. 본 연구는 이러한 물류 정보의 불확실성 속에서 데이터를 활용하여 최적의 적재 무게 목표치를 산출하는 방안을 제안하고 있다.

3. 분석 모델

제3자물류 업체를 활용하는 제조업체의 컨테이너 적재 문제는 다음과 같이 설명될 수 있다. 일반적으로 제조업체는 배송이 필요한 상품을 컨테이너에 적재시키고, 이후 제3자물류 업체에서 트럭을 제조업체의 사업장에 보내 컨테이너에 실린 내용물을 그 다음 배송지로 배송하는 역할을 한다. 이러한 물류 운영 프로세스에서 트럭이란 수송 동력을 발생시키는 트럭의 동체를 의미한다. 반면 컨테이너는



<Figure 1> Structure of Commercial Truck



<Figure 2> Weights of Arriving Trucks

배송물을 넣는 박스 형태의 구조물을 지칭한다. <Figure 1>은 수송을 위한 전형적인 트럭의 물리적인 구조를 나타내고 있다.

배송물을 컨테이너에 적재 시, 제조업체는 상용 배송 트럭의 적재 최대 중량인 40톤 규정을 준수하여야 한다. 운영 관점에서 최대 중량인 40톤에 정확하게 일치시켜 적재하는 것이 최적이지만 이는 매우 어려운 실정이다. 이는 배송을 하게 될 트럭의 무게가 변동적이고 무게에 대한 정보가 제조업체에 미리 전달되지 않기 때문이다. 이러한 무게의 변동성은 주로 배송 트럭의 물리적 다양성, 트럭에 부착된 장비의 차이, 연료량 차이 등으로 발생한다. <Figure 2>는 본 연구에서 사용된 기업의 운송 데이터에서 트럭의 무게를 도착 시간순서대로 나타낸 그래프이다. 해당 그래프에서 트럭의 무게가 약 15,000 ~ 20,000파운드에 분포하고 이는 트럭의 무게가 매우 큰 변동성을 가지고 있다는 것을 보여주고 있다. 이러한 물류 운영의 특성으로 인해 제조업체는 컨테이너 배송 전 트럭의 총 중량을 확인하여야 한다. 일반적으로 트럭은 출고 전 총 중량을 확인하는데, 만약 중량이 최대 제한 중량을 초과하였을 경우 이를 조정하기 위해 해당 트럭은 적재 장소로 돌아와 초과되는 물량을 빼내어야 한다. 이러한 재작업은 초과 비용을 발생시키는데 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$s(q+w-\bar{w})$$

여기서 s 는 재작업에 소요되는 무게당 단위 비용, q 는 컨테이너에 적재된 배송물의 무게, w 는 트럭의 무게, 그리고

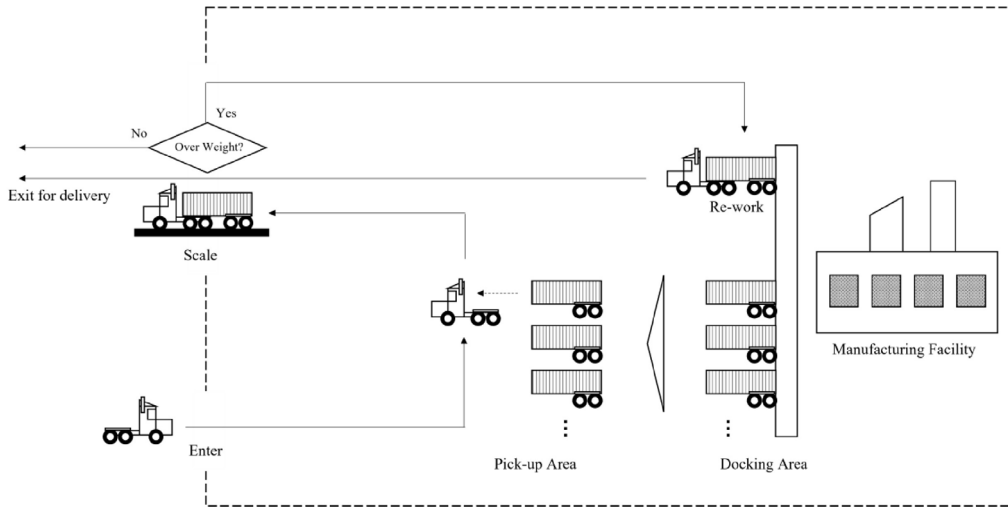
\bar{w} 는 트럭의 총 무게 제한을 나타낸다. 반면에 출고 시 무게가 최대 제한 중량보다 작을 경우 트럭은 무게에 대한 특별한 조치 없이 출고를 하여 목적지로 출발을 하게 된다. 하지만 이러한 경우 숨겨진 비용이 발생하게 되는데 이는 컨테이너의 용량을 온전히 사용하지 못하는데 발생하는 기회비용으로 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$dl(\bar{w}-q-w),$$

여기서 d 는 목적지까지의 거리 그리고 l 는 무게당 단위 운송 비용을 나타낸다.

<Figure 3>은 전형적인 트럭 적재/출고 프로세스를 나타내고 있다. 그림에서 보여지는 것처럼, 우선 적재 장소에서 선제적으로 배송물을 적재시킨다. 그 다음 적재된 컨테이너들은 픽업 장소에서 배송 트럭이 도착할 때까지 대기하게 된다. 트럭이 도착하면 컨테이너를 연결하여 출구에 있는 중량계에서 최종적으로 무게를 측정을 한다. 무게 측정을 통과한 트럭은 배송을 위해 출고를 하고, 만약 무게가 초과한 경우 적재 장소로 돌아가 무게 조정을 위한 재작업을 실시한다.

해당 문제를 해결하기 위해 선제적 부분 적재(최소의 물량만 미리 적재시키고 나머지 물량에 대해서는 실제 트럭이 도착한 후 적재하는 방식)가 제안될 수 있으나, 이러한 방식은 다음의 이유로 적용이 어려운 실정이다. 우선, 컨테이너에 물량을 적재하는데 상당한 시간이 소요된다. 이러한 시간동안 이미 도착한 트럭이 제조 공장에서 기다릴 수 있는 시간적 여유가 허용되지 않는다. 또한 상당한



<Figure 3> Container Pick Up Process

수의 컨테이너 물량이 이동되고 있는 공장 내부 사이트에서 이러한 지연은 상당한 수의 트럭을 지연시키고, 공장 내 사이트의 제한된 공간적 여건으로 인해 큰 혼란을 초래할 수 있기 때문이다.

4. 화물 적재 문제 분석

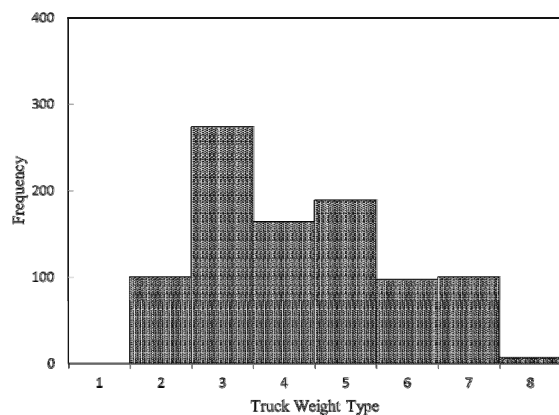
본 장에서 컨테이너 적재 문제를 수리적으로 해결할 수 있는 방법론을 제시하고 현장에서 사용되고 있는 간략한 운용 기법과 비교하여 성능을 검증한다. 편의를 위해 해당 기법을 Simple Average Heuristics(SAH)로 명명한다. 이 기법은 산업 현장에서 손쉽게 사용될 수 있는 기술 통계 방법을 이용하는 것이다. 구체적으로 우리의 의사결정 변수인 컨테이너 적재 무게를 결정하기 위해 트럭 무게에 대한 정보가 필요하다. 여기에서 트럭의 무게를 확정하기 위해 관측된 트럭의 평균 무게를 사용한다. 즉, 컨테이너 적재 무게(q)는 다음의 식으로 결정된다.

$$q = \bar{w} - \mu$$

여기에서 μ 는 관측된 표본 데이터 셋에서의 트럭의 평균 무게를 나타낸다. 이 방법은 매우 직관적이기 때문에 활용이 용이한 장점이 있다. 하지만 정확도 측면에서 오차가 발생할 수 있는데 이는 실제로 트럭의 변동성이 반영되지 않았기 때문이다.

해당 문제점을 보완하기 위해 트럭의 변동성을 반영한 이론적인 분포를 가정할 수 있다. 실제로 본 연구에서 트럭의 분포를 모델링 하기 위해 정규분포를 이용할 것이다. 해당 기법은 Normal Distribution Model(NDM)로 명명한다.

실제로 본 연구에 사용된 데이터를 분석해 본 결과 트럭의 분포가 정규분포와 유사하다는 것을 발견할 수 있었다. <Figure 4>는 본 연구에서 사용된 트럭 무게 데이터의 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 해당 그래프에서 보이듯이 트럭 무게의 분포가 정규분포와 비슷한 종(bell)모양을 따르는 것을 볼 수가 있다. 정규분포를 사용함으로써 컨테이너 적재 문제를 수리적으로 해결할 수 있다. 표본 데이터로부터 얻은 평균(μ)과 표준편차(σ)를 정규분포의 매개변수로 사용하여 트럭 무게의 변동성을 반영한 분포를 생성한다. 추가적으로 적재 문제에서 발생하는 비용은 다음의 식으로 표현될 수 있다.



<Figure 4> Distribution of Truck Weights

$$c(q) = dl(\bar{w} - q - w)^+ + s(q + w - \bar{w})^+$$

여기서 다음의 정의를 사용하였다.

$$(x)^+ \stackrel{\text{def}}{=} \max\{0, x\}.$$

위의 식에서 적재 시 발생할 수 있는 총 낭비 비용 $c(q)$ 은 기회비용과 재작업 비용의 합으로 나타난다. 위의 접근법에서 트럭의 무게 w 는 정규분포를 따르는 확률 변수로 가정하였다. 따라서, 컨테이너 적재 문제의 해법인 총 낭비 비용의 평균을 최소화하는 적재 무게 산출은 다음의 최적화 문제로 나타낼 수 있다.

$$q^* = \operatorname{argmin}_{q \geq 0} E[c(q)] \quad (1)$$

위의 문제에 대한 최적해는 다음의 결과로 나타난다.

Theorem. 문제 (1)에 대한 최적해는 $q^* = \bar{w} - \mu - z\sigma$ 로 주어진다. 여기서 z 는 다음의 식으로부터 얻어진다:

$$\Phi_s(z) \frac{s}{dl+s}$$

위의 식에서 $\Phi_s(z)$ 는 표준 정규분포의 누적 확률 분포이다. 위의 결과에 대한 증명은 다음과 같다.

우선 $\phi(\cdot)$ 와 $\Phi(\cdot)$ 를 각각 정규분포의 확률 밀도 함수와 누적 확률 함수로 가정하자. 그러면 우리가 위에서 정의한 평균 낭비 비용은 다음과 같이 나타내질 수 있다.

$$\begin{aligned} E[c(q)] &= E[dl(\bar{w}-q-w)^+ + s(q+w-\bar{w})^+] \\ &= dl \int_0^{\bar{w}-q} (\bar{w}-\xi)\phi(\xi)d\xi \\ &\quad + s \int_{\bar{w}-q}^{\infty} (q+\xi-\bar{w})\phi(\xi)d\xi \end{aligned}$$

해당 식의 일차 도함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{dE[c(q)]}{dq} = -dl \int_0^{\bar{w}-q} \phi(\xi)d\xi + s \int_{\bar{w}-q}^{\infty} \phi(\xi)d\xi$$

또한 최적해의 존재를 알아보기 위해 이차 도함수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d^2 E[c(q)]}{d^2 q} &= dl(\bar{w}-q) + s\phi(\bar{w}-q) \\ &= (dl+s)\phi(\bar{w}-q) > 0 \end{aligned}$$

이 결과는 $E[c(q)]$ 가 볼록(convex) 함수임을 나타내고 따라서 해당 문제에 유일한 해는 1계조건(first-order condition)으로 구해짐을 증명한다. 따라서 최적해는 다음의 방식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \frac{dE[c(q)]}{dq} = 0 &\leftrightarrow -dl \int_0^{\bar{w}-q} \phi(\xi)d\xi \\ &\quad + s \int_{\bar{w}-q}^{\infty} \phi(\xi)d\xi = 0 \\ &\leftrightarrow -dl\Phi(\bar{w}-q^*) \\ &\quad + s(1-\Phi(\bar{w}-q^*)) = 0 \\ &\leftrightarrow \Phi(\bar{w}-q^*) = \frac{s}{dl+s} \end{aligned}$$

수리적 편의를 위해 x 를 식 $\Phi(x) - \frac{s}{dl+s}$ 을 만족시키는 변수로 정의하자. 그러면 최적해는 $q^* = \bar{w} - x$ 로 나타낼 수 있다. 또한 z 를 식 $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$ 로 정의하면 최적해는 $q^* = \bar{w} - \mu - z\sigma$ 로 주어진다.

해당 최적해에서 식 $\Phi_s(z) = \frac{s}{dl+s}$ 내의 목적지까지의 거리 d 가 각각의 컨테이너에 따라 달라진다는 사실에 주목하자. 즉 전체 배송된 트럭의 실적 데이터를 통해 트럭의 분포를 추정하지만 각각의 컨테이너에 대한 최적 적재 무게는 해당 컨테이너가 배송되는 거리에 따라 달라진다는 것을 관측할 수 있다.

5. 분석 결과

이 장에서는 음료 제조 기업으로부터 제공된 물류 운영 데이터를 이용하여 이전 장에서 제안된 컨테이너 적재 최적화 해법을 적용하고 그것의 성능을 평가한다.

5.1 테스트 데이터

본 연구 분석 결과에 사용된 데이터는 미국 음료 제조 업체의 물류 데이터이다. 해당 기업은 미국 전역에 걸쳐 10개의 제조 공장을 운영하고 있고 연간 50만개 이상의 컨테이너에 해당하는 물량을 운송하고 있다. 분석에는 해당 기업의 중소 규모의 제조 시설에서 확보된 운영 데이터가 사용되었다. 총 6개월동안(2014년 1월부터 6월까지)의 데이터가 사용되었으며 이는 월간 약 700에서 1,000개의 컨테이너에 해당하는 데이터 양이다. 각각의 컨테이너 데이터는 상세한 운영 정보를 포함하는데 이는 날짜, 시간, 운송 고유번호, 공장 번호, 고객 번호, 거리, 배송 트럭 무게, 운송 비용, 재작업 여부 등의 정보를 포함하고 있다. 그중 분석에 핵심적으로 이용된 정보는 트럭 무게이다. 해당 정보를 이용하여 분석에 필요한 트럭의 평균(μ)과 표준편차(σ)를 산출하였다. 또한 획득된 최적 적재 무게를 운영하였을 시 발생하는 낭비 비용을 시뮬레이션 하는데 해

당 트럭 무게의 실제 실적 데이터를 비교하여 평균 비용을 산출하였다.

본 연구에서 제안된 기법을 적용하기 위한 테스트 시나리오를 다음과 같이 설정하였다. 우선 최적해를 구하는데 사용될 훈련 데이터와 성능 평가에 사용될 테스트 데이터를 나누어 정하였다. 데이터 분류 기준은 월을 기준으로 하였다. 구체적으로 전월 데이터를 훈련 데이터로 활용하여 최적해를 산출한 후 해당월 데이터를 이용하여 성능을 측정하였다. 예를 들어 1월 데이터를 이용하여 최적해를 구하고 해당 결과를 2월 데이터에 적용하여 성능을 평가하는 방식이다. 이러한 방식에 따라 2월부터 6월까지의 성능 평가가 가능하였다.

5.2 비용 분석 및 성능 평가

각각의 컨테이너에 대해 산출된 최적해를 적용하고 해당 컨테이너에 할당되었던 실제 트럭의 무게를 이용하여 낭비 비용을 산출하였다. 또한 모든 컨테이너의 낭비 비용을 종합하여 평균 낭비 비용을 산출하여 해당 기법의 성능 지표로 사용하였다. 해당 기업의 비용 정보는 공개가 불가하여 다음과 같은 표준화된 낭비 비용을 산출하여 표시하였다.

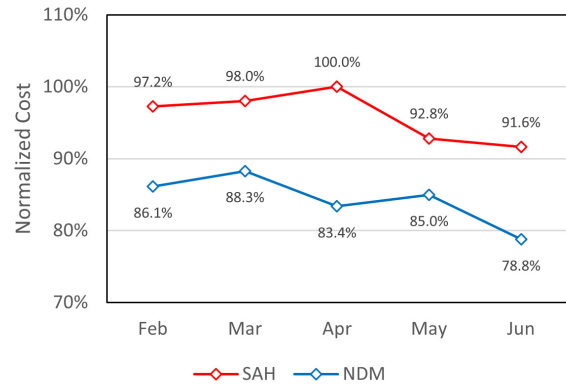
$$\text{표준화된 낭비 비용}(NWC_{i,j}) = \frac{\text{평균 낭비 비용}(AWC_{i,j})}{\max_{i,j} \{ \text{평균 낭비 비용}(AWC_{i,j}) \}}$$

여기서 i 는 적용된 기법에 대한 인덱스(즉 SAH 또는 NDM), 그리고 j 는 기간(월)에 대한 인덱스(즉, 2월부터 6월까지)이다. 즉 표준화된 낭비 비용은 가장 높은 비용이 발생한 월의 평균 낭비 비용에 대한 해당월의 평균 낭비 비용의 백분율로 표시된다.

본 연구에서 제안된 SAH와 NDM에 대한 성능 비교 결과는 <Figure 5>에 나타나 있다. 결과에서 보여지는 바와 같이 간단한 기술 통계 기법인 SAH에 비해 NDM가 평균 11.6% 이상의 낭비 비용을 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 구체적으로 모든 비교 기간에 대해 7.9%~12.8%의 비용 절감 효과를 나타냈다. 비록 SAH가 실제 운영의 편리함이 있는 반면 트럭 무게의 변동성을 반영하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 NDM기법에서 이론적인 정규 분포를 이용하여 트럭 무게의 변동성을 반영하고 이를 최종적으로 적재 무게를 산출하는데 사용한다. 실제로 컨테이너 적재 문제의 가장 큰 어려움은 트럭 무게의 변동성을 최적해에 올바르게 반영하기 어렵다는 것이다. 이러한 변동성을 데이터로부터 계량화하여 이론

적인 분포에 반영함으로써 적재 문제에서 변동성이 주는 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 무게 산출을 가능하게 하는 것이 NDM기법의 최대 장점이라고 할 수 있을 것이다.

	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Avg.
SAH	97.2%	98.0%	100.0%	92.8%	91.6%	95.9%
NDM	86.1%	88.3%	83.4%	85.0%	78.8%	84.3%
Diff.	11.1%	9.7%	16.6%	7.9%	12.8%	11.6%



<Figure 5> Performance Evaluation

6. 결론

본 연구는 제3자물류 운용 하에서 발생할 수 있는 컨테이너 적재 문제를 소개하고 이를 효과적으로 해결할 수 있는 이론적 해법을 제시하였다. 또한 실제 기업에서 획득한 데이터를 이용하여 기존의 기술 통계 기반의 간단한 휴리스틱 방법과 비교하였고 그 성능의 우수함을 입증하였다.

본 연구에서 제안된 정규 분포를 이용한 NDM기법의 주요 특징은 컨테이너 적재 문제의 가장 큰 걸림돌인 트럭 무게의 변동성을 이론적인 분포를 이용하여 최적 적재 무게 산출에 효과적으로 반영한다는 것이다. 또한 실제 운영에 있어서 축적된 데이터를 이용하여 분포에 필요한 매개변수를 산출하고 제안된 모형을 훈련 및 테스트하는 방법을 제시하였다. 또한 다소 복잡할 수 있는 이론적 최적해 산출법에 대해 간결한 풀이와 해법을 제시함으로써 실제 제안된 기법의 활용에 있어서 이론적 복잡성을 감소시킬 수 있었다.

분석 결과 기술 통계 기반의 SAH과 비교하여 전체 분석 기간에서 7.9%~12.8%의 비용 절감 효과가 나타났다. 이는 평균적으로 11.6%의 비용 절감이라는 주목할 만한 개선 효과를 나타낸다. 본 연구 사용된 데이터를 제공한 기업이 연간 50만개 이상의 컨테이너 운송을 배송하는 것을 고려할 때 제안된 기법의 경제적인 효과 역시 상당할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This research was supported by the Yonsei University Research Fund of 2022 (2022-22-0292) and 2022 (2022-22-0076).

References

- [1] Aguezoul, A., Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods, *Omega*, 2014, Vol. 49, pp. 69-78.
- [2] Akbari, M., Logistics outsourcing: A structured literature review, *Benchmarking: An International Journal*, 2018.
- [3] Bae, M. J., Choi, S. K., and Kim, H. S., Three-Dimensional Container Packing Problem with Freight Priority, *Journal of Navigation and Port Research*, 2004, Vol. 28, No. 6, pp. 531-539.
- [4] Borgi, T., Nesrine, Z., and Mourad, A., Big data for transport and logistics: A review, *2017 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC_ASET)*, IEEE, 2017.
- [5] Bortfeldt, A. and Gerhard, W. Constraints in container loading—a state-of-the-art review, *European Journal of Operational Research*, 2013, Vol. 229, No. 1, pp. 1-20.
- [6] Chan, F.T.S., Bhagwat, R., Kumar, N., Tiwari, M.K., and Lam, P., Development of a decision support system for air-cargo pallets loading problem: A case study, *Expert Systems with Applications*, 2006, Vol. 31, No. 3, pp. 472-485.
- [7] Egeblad, J. Egeblad, J., Garavelli, C., Lisi, S., and Pisinger, D., Heuristics for container loading of furniture, *European Journal of Operational Research*, 2010 Vol. 200, No. 3, pp. 881-892.
- [8] Hong, D., The method of container loading scheduling through hierarchical clustering, *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 2005, Vol. 10, No. 1, pp. 201-208.
- [9] Iori, M. and Silvano, M., Routing problems with loading constraints, *Top*, 2010, Vol. 18, No. 1, pp. 4-27.
- [10] Kim, Y.M. and Lee, J.H., A study of the layout of boxes to the cargo loading problems, *Journal of Korea Safety Management & Science*, 2006, Vol. 8, No. 3, pp. 143-157.
- [11] Marasco, A., Third-party logistics: A literature review, *International Journal of Production Economics*, Vol. 113, No. 1, pp. 127-147.
- [12] Menner, M., Want a Better Supply Chain, Here Are 4, 2015.
- [13] Premkumar, P., Saji, G., and Arqum, M., Trends in third party logistics—the past, the present & the future, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2008, Vol. 24, No. 6, 2021, pp. 551-580.
- [14] Ryu, K. and Park, J., Quantification of loading efficiency of various type loads in a 20 FT container with post selecting process after applying conventional loading algorithms, *Journal of Korea Multimedia Society*, 2018, Vol. 21, No. 4, pp. 513-526.
- [15] Ton, Z. and Wheelwright, S. C., Exel Plc: Supply Chain Management at Haus Mart. Harvard Business School, 2005.
- [16] Vasiliaskas, A. V. and Jakubauskas, G., Principle and benefits of third party logistics approach when managing logistics supply chain, *Transport*, 2007, Vol. 22, No. 2, pp. 68-72.
- [17] Yeo, G.T., Soak, S., and Lee, S., A study on the quadratic multiple container packing problem, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 2009, Vol. 34, No. 3, pp. 125-136.
- [18] Yudhistyra, W. I., Risal Evri Marta, Raungratanaamporn I-soon, and Ratanavaraha Vatanavongs, Exploring big data research: A review of published articles from 2010 to 2018 related to logistics and supply chains, *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 2020, Vol. 13, No. 2, pp. 134-149.

ORCID

Seung Hwan Jung | <https://orcid.org/0000-0002-3044-3879>