

# 탄소배출을 고려한 직배송 물류전략의 운영비용 절감효과 분석

김미례<sup>1</sup>, 조인호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>과학기술연합대학원대학교 교통물류시스템 및 ITS공학, <sup>2</sup>한국철도기술연구원 추진시스템연구팀

## Analysis of Operation Cost Savings Effects of Direct Delivery Logistics Strategy Considering Carbon Emission

Mi-Rye Kim<sup>1</sup>, In-Ho Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Transportation and Logistics System & ITS Engineering, University of Science and Technology

<sup>2</sup>Propulsion System Research Team, Korea Railroad Research Institute

**요약** 본 논문은 탄소배출 규제와 같이 새롭게 변화하는 물류 환경에서 유통업체들이 올바른 물류전략을 선정하기 위하여 탄소배출을 고려한 두 물류전략의 총 운영비용의 비교·분석 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 물류전략간 운영비용 비교를 위하여 기존 EOQ(Economic Order Quantity) 모형을 활용하여 국내의 물류환경 및 탄소배출을 고려한 모형으로 확장하였고, 이 모형을 바탕으로 실증연구 분석을 수행하였다. 실증 연구로는 대형 유통업체의 농산물 유통을 대상으로 하여 기존의 물류 전략과 직배송 물류 전략의 운영비용 및 경제적 주문량을 산정하고 분석하였다. 실증연구 결과 농산물을 운송함에 있어 직배송 물류전략이 기존 물류전략 대비 50% 이상의 운영비용 절감효과가 있는 것으로 분석되었고, 이는 직배송 물류전략이 기업의 운영비용 절감에 더 효과적인 것으로 판단할 수 있다. 결론적으로, 탄소배출을 고려하였을 때 직배송 물류전략이 기존 물류전략보다 경제적·환경적인 효과가 있다고 분석될 수 있으며, 농산물의 신선도도 함께 높이는 전략이라고 판단된다.

**Abstract** This study compares and analyzes the operation costs of traditional and direct delivery strategies considering carbon emissions. For the determination of minimum operation costs and order quantity, we use the Economic Order Quantity (EOQ) model, which is the proper method for calculate the operation costs by logistics strategy. Using the classical EOQ model, we expand the EOQ model considering carbon emissions and domestic logistics environment. We conduct an empirical study on two agri-food logistics strategies under limitation of the carbon emissions using the expanded EOQ model. From the results of the empirical study, we find that the operation costs of direct delivery strategy are about 50% lower than those of the traditional strategy. Economic order quantity is also smaller than that of the traditional strategy. These results indicate that agri-food products can be transported quickly and freshly under direct delivery strategy. Consequently, considering carbon emissions, direct delivery logistics strategy are analyzed to have more positive effect on economic and environmental issues than existing logistics strategy. It is judged that direct strategy will also increase the freshness of agricultural products.

**Keywords** : Agri-food logistics, Carbon Emission, Direct Delivery Logistics Strategy, EOQ, Operation Costs

### 1. 서론

일반적으로 물류전략은 수송비용과 재고비용을 고려하여 결정되며, 제품을 유통함에 있어 물류 전략의 결정은 기업의 직접적인 이익에 영향을 끼치는 중요한 요소

가 된다.

전 세계적으로 화석연료의 부족으로 인한 에너지 관리 문제, 탄소배출량의 증가로 인한 이상기후 발생문제 등 환경문제가 계속적으로 증가하고 있는 실정이다. 이러한 환경문제에 대한 대응책으로 유럽에서는 Energy

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : In-Ho Cho (Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5469, email : inhocho@krri.re.kr

Received March 17, 2017

Revised (1st May 2, 2017, 2nd May 12, 2017)

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

2020 계획을 세워 제도 시행 중에 있고, 그 밖의 여러 국가에서도 탄소배출 관리를 위한 탄소세 및 탄소배출거래제 등을 도입하여 운영하고 있다.

탄소 배출권 거래제란 해당 기업별로 탄소 배출 한도를 미리 정하여 한도 미달 시에는 거래소에 팔 수 있게 하고, 초과 시에는 탄소배출권을 구매하여 사용할 수 있게 하는 제도이다. 우리나라도 국내업체들의 탄소 배출 관리를 위하여 2015년부터 탄소 배출권 거래제를 도입하여 운영하고 있고, 이러한 탄소 배출 관리 대상 업체 중에는 대형 유통업체들도 다수 포함되어 있다. 이러한 제도 시행으로 국가적인 측면에서는 환경문제를 완화하는 효과를 얻을 수 있지만, 유통업체들에게는 운영비용 증가를 가져올 수 있다.

유통업체들의 운영비용은 주로 수송비용과 재고비용이 큰 비중을 차지하고 있고, 이 두 비용을 고려하여 물류전략을 결정한다. 물류전략의 결정은 기업의 직접적인 이익에 영향을 끼치는 중요한 요소가 되며, 시대의 흐름에 따라 물류전략도 함께 변화하고 있다.

오늘날 정보통신 기술의 발달로 시중에 유통 및 재고 제품의 수량을 실시간으로 확인·예측할 수 있는 시대가 되면서 대형 유통업체들은 도매시장 등 중간단계를 거치는 물류전략에서 정확한 수요 예측 결과를 바탕으로 생산자와 업체가 직접 거래하는 직거래 형태로 물류전략이 변화하고 있다.

하지만 이러한 물류 전략을 수립할 시에 현재까지 다수의 대형유통업체들은 탄소배출권거래제에 따른 탄소배출비용을 운영비용에 포함시키지 않은 채 운영비용을 산출하고, 이를 바탕으로 물류전략을 수립하여 운영하고 있다.

탄소배출 규제와 같이 새롭게 변화하는 물류 환경에서 유통업체들이 올바른 물류전략을 선정하기 위해서는 탄소배출을 고려한 총 운영비용의 비교·분석이 필요하다. 이와 관련하여 본 논문에서는 기존 물류전략과 새로 도입된 직배송 물류전략의 탄소배출비용 고려 시 총 운영비용을 비교·분석해보고자 한다. 이를 위하여 물류전략 운영비용 산정에 적합한 수리모형을 제시하고, 제시된 수리모형을 본 연구에 맞도록 수정하여 실증사례분석에 활용하였다.

실증사례분석을 위해 직배송 물류전략에 적합한 ‘농산물 운송’을 대상으로, 대형유통업체 A사의 실제 총 운영비용 및 경제적 주문량을 산출하고 분석하였

다. 이러한 분석을 통해 탄소배출을 고려했을 시 어떠한 물류전략이 경제적·환경적으로 더 효과적인지를 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 관련된 문헌고찰을 통하여 본 논문의 연구와 기존 연구의 차이를 설명하였다. 3장에서는 물류센터의 운영비용 산출을 위한 기존의 수리모형을 소개하고, 이를 바탕으로 탄소배출을 고려한 수정된 수리모형을 도출하였다. 4장에서는 도출된 수리모형을 실증사례에 적용하여 물류전략 결정의 기본요소인 수송비용, 재고비용을 분석하였고, 이를 통해 탄소배출 고려 시의 물류전략별 총 운영비용을 비교·분석하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론을 제시하고, 연구의 한계점 및 향후 연구주제에 관해 논의하였다.

## 2. 이론적 고찰

물류전략의 운영비용 및 경제적 주문량을 산정하는 대표적인 모델로는 경제적 주문량(Economic Order Quantity) 모형이 있다. EOQ 모형은 재고를 효율적으로 관리하기 위하여 적절한 주문량을 결정하고, 재고 최소화를 위한 최소 운영비용 산출을 목적으로 한다. 1990년대까지의 연구들은 운영 조건에 따라 EOQ 모형을 구성하는 제약조건에 차이를 두어 연구를 진행하였으나, 최근에는 ‘환경’이 세계적인 이슈로 떠오르면서 기존의 EOQ 모형에 환경적인 요소를 결합한 연구들이 다수 진행되고 있다.

민대기(2015)는 탄소배출권거래제 도입 시 순회 배송 전략 하에서의 물류비용 및 탄소배출량 저감 효과를 분석하기 위한 수리적 모형을 구축하였다.

Battini, D. et al.(2014)의 경우 기존 EOQ 모델을 확장하여 가공-보관-운송 혹은 폐기 절차인 물류 전략 하에서의 운송수단별 비용과 제품의 폐기비용을 포함한 탄소배출 저감 연구를 수행하였다.

민대기(2013)의 연구에서는 탄소배출비용을 고려하여 직배송 물류전략의 성능을 비교하기 위한 모형을 제시하였다. 또한, 제시한 모형을 바탕으로 탄소배출 고려 전·후의 직배송 물류전략의 운영비용 비교 연구를 수행하였다.

Arslan(2013)은 물류전략에 환경제도가 도입되었을

시의 제약조건 및 목표 등을 EOQ 모형에 반영한 연구를 수행하였다.

Hua(2011)의 연구에서는 탄소배출권거래제 하에서 적용할 수 있는 EOQ모형을 개발하여 기존 EOQ모델과의 비교·분석 연구를 수행하였다. Hua는 도로, 철도, 해상 운송수단의 탄소배출량에 따른 주문량의 변화를 분석하였고, 탄소배출권 거래제 도입시 총 운영비용의 증가량에 관한 연구를 수행하였다.

기존의 연구들은 EOQ모형에 다양한 환경요소들을 추가한 수리적 모델 개발 연구를 수행하였다. 하지만, 단일 물류전략을 기준으로 탄소배출권 거래제도 도입 전·후의 차이를 분석한 연구는 존재하지만, 현재 유통업체들이 병행해서 사용하는 두 가지 물류전략(도매시장을 거치는 기존 물류전략, 직배송 물류전략)을 탄소배출비용 측면에서 비교한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 EOQ 모형에 탄소 배출 비용 항목을 추가하여, 앞서 언급한 두 가지 물류전략의 운송량 변화에 따른 운영비용 비교·분석 연구를 수행하였다.

### 3. 물류전략별 총 운영비용 산출 모형

#### 3.1 EOQ 모형

EOQ(Economic Order Quantity) 모형은 ‘경제적 주문량’을 산출하는 방식으로 재고를 효율적으로 관리하기 위하여 적절한 주문량을 결정하고, 재고 최소화를 위한 최소 운영비용을 산출함을 목적으로 한다. 기존 EOQ 모형에서는 주문비, 보관비, 구매비 등의 재고관련 총 비용을 극소화 시킬 수 있는 적절한 재고수준을 결정한다.

EOQ 모형의 최소 운영비용은 Formula.1과 같이 연간수요에 단위당 구입비를 곱한 값에 연간주문횟수(D/Q)에 준비비(주문비)를 곱한 값, 평균 재고량(Q/2)에 단위당 재고유지비용을 곱한 값들을 더하여 산정한다. 최소 운영비용 수식을 Q로 미분하면 Formula.2와 같은 최적의 경제적 주문량 값을 갖게 된다. Formula. 1,2에 대한 변수는 Table.1과 같다.

$$TC^* = DC + \frac{DS}{Q^*} + \frac{Q^*H}{2} \quad (1)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (2)$$

Table 1. Traditional EOQ Model Notation

Notation	
TC	Total cost (TC*:minimum total cost)
D	Demand
Q	Quantity (Q*:optimal order quantity)
C	Purchasing cost
S	Setup cost or Ordering cost
H	Holding cost
R	Reorder point
L	Lead time

#### 3.2 탄소배출을 고려한 EOQ 모형

본 연구에서는 기존 EOQ 모형에 환경적 요소를 함께 고려하여 국내 물류 전략에 맞는 수리적 모형을 구축하였다. 연구에서 고려한 가정 사항은 다음과 같다.

- (1) 단일 제품을 가정으로 한다.
- (2) 제품의 수요가 일정하고 균일하다.
- (3) 수량할인이나 재고부족은 고려하지 않는다.
- (4) 단위당 재고유지비용과 1회 주문비는 주문량에 관계없이 일정하다.
- (5) 유통업체의 소매점 수요는 같다고 가정한다.
- (6) 실제 배송 주기를 적용하여 기존 물류 전략은 7일, 직배송 전략은 3일의 배송주기를 갖는다.
- (7) 실제 배송되는 농산물의 톤수를 고려하여 트럭의 종류는 14.5ton, 1ton트럭으로 한다.
- (8) 탄소배출비용은 탄소배출권 거래제의 거래가격 기준가인 10,000원을 적용한다.
- (9) 유통업체가 지불하는 비용만 고려하며, 생산자가 지불하는 비용은 고려하지 않는다.

본 연구에서 제안하는 탄소배출을 고려한 EOQ 모형은 기존 모형에 ‘주문 시 탄소 배출비(C<sub>o</sub>)’, ‘재고 유지 시 탄소 배출비(C<sub>h</sub>)’ 및 ‘재고유지시간(t<sub>h</sub>)’을 함께 고려하였다.

주문비용은 기존 EOQ 모형과 같이 소매업자가 주문 시 발생하는 고정 비용으로 구성된다. 또한, 이 주문비용은 Formula.3과 같이 도매시장(W)에서 물류센터(L)로 운송 시의 주문비(O<sub>WL</sub>), 물류센터(L)에서 소매점(R)로 운송 시 주문비(O<sub>LR</sub>)의 합으로 산정된다.

$$O(Q) = O_{WL} + O_{LR} \quad (3)$$

Table 2. Revised EOQ Model Notation

Notation		
D	Demand	unit/year
P	Purchasing cost	#/unit
O	Ordering cost	#/order*1truck
dj	Distance	km/order
Co	Carbon emission cost of ordering	#/order*1truck
nj	number of truck j	truck/order
ej	fuel efficiency of truck j	l/km
h	Holding cost	#/unit
b	space occupied by a product unit	m3/unit
th	Holding time	hour
eh	energy efficiency of warehouse	/m3
Ch	Carbon emission cost of holding	#/unit*hour

O<sub>WL</sub>, O<sub>LR</sub> 산정 시 사용되는 트럭으로는, 실제 운영 사례에 근거하여 O<sub>WL</sub>를 운송하는 14.5톤 트럭, O<sub>LR</sub>를 운송하는 1톤 트럭으로 구분하여 연구를 진행하였다. 필요한 트럭의 대수는 전체 수요를 주문횟수로 나눈 값을 트럭의 톤수에 따라 산정한다.

$$n_j = (D / \text{order cycle}) / j \text{ of truck} \quad (4)$$

이 때 발생하는 탄소배출비용은 Formula.5와 같이 거리에 따른 탄소배출비용으로 계산한다.

$$C_o(Q) = \sum d_j e_j \quad (5)$$

또한, 본 연구에서는 실제 운영사례를 반영한 두 가지 요소를 수식에 추가하였는데, 운송비용을 결정하는 운송 거리(d<sub>j</sub>)의 경우, Formula.6과 같이 소매점을 근거리, 중거리, 장거리로 구분하여 실증사례 분석에 활용하였다. 재고비용을 결정하는 재고유지시간(h)의 경우에는 Formula.7과 같이 일반 물류전략은 최소 15시간부터 최대 72시간, 직배송 물류전략은 15시간의 재고보관시간을 적용하여 총 운영비용의 비교·분석시 활용하였다. 재고유지시 발생하는 탄소배출비용은(C<sub>h</sub>)은 공간 점유율에 탄소배출비용을 곱하여, 재고보관시간 별로 산정한다.

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{short} = O_{san}, \\ d_{middle} = I_{san}, \\ d_{long} = Y_{oungdeungpo} \end{array} \right\} \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_h = 15, \\ t_h = 24, \\ t_h = 48, \\ t_h = 72 \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$C_h(Q) = t_h * b * e_h \quad (8)$$

결론적으로, 물류전략별 비용 산출을 위한 연평균 총 운영비용(TC<sub>revised</sub>) 및 경제적 주문량(Q<sub>revised</sub>)는 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$Q_{revised} = \sqrt{\frac{2 * D * [n_j * (O + C_o)]}{h + (t_h * C_h)}} \quad (9)$$

$$TC_{revised} = P * D + \frac{D}{Q} * [n_j * (O + C_o)] + \frac{Q}{2} * [h + (t_h * C_h)] \quad (10)$$

#### 4. 실증사례 분석

본 장에서는 3장에서 제시한 모델을 실증사례에 적용하여 물류전략별 운영비용을 경제적·환경적 관점에서 비교해 보고자 한다.

농산물의 물류전략은 크게 생산지에서 도매상인 및 시장을 거쳐 대형유통업체의 물류센터, 소매점으로 유통되는 방식, 생산지에서 대형유통업체의 물류센터, 소매점으로 직접 유통되는 방식으로 구분할 수 있다. 기존의 물류전략은 Fig.1(a)과 같이 도매시장과 물류센터를 거쳐 각 소매점으로 배송되는 구조로 제품에 대한 수요가 불확실할 때 활용되는 물류 전략이다. 직배송 물류전략은 제품의 수요를 예측할 수 있는 시스템이 발달하면서

Fig.1(b)과 같이 생산지의 농산물을 업체가 직접 구매하여 업체물류센터에서 소매점으로 바로 배송되는 직거래 방식이다. 이러한 물류전략은 현재 여러 대형유통업체들 뿐만 아니라 소셜 커머스 업체에서도 점차 확대되어 적용되고 있는 실정이다.

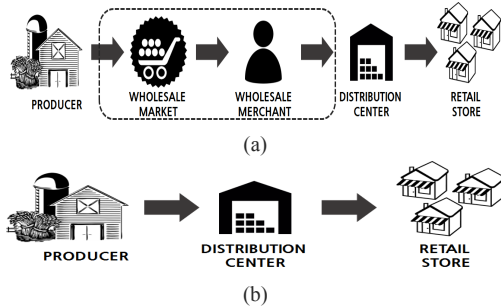


Fig. 1. Distribution Procedure of Logistics Strategies: (a) Traditional (b) Direct Delivery

따라서 본 장에서는 실증연구의 분석 대상으로, 두 가지 물류전략을 모두 활용하여 농산물 제품을 유통하고 있는 대형유통업체 A사를 실증 사례 분석 업체로 선정하였다.

본 연구에서 비교·분석할 A업체는 물류전략에 따라 각각 다른 경로, 다른 물류센터를 거치는 운영구조이고, 각 지점별 위치는 실제 운영되고 있는 물류센터 및 소매점 위치를 반영하였다.

일반 물류전략에서 거치는 도매시장은 서울에 위치한

Fig.2(a)의 Wholesale market 지점이고, 업체의 물류센터는 목전에 위치한 Logistics Center를 분석지점으로 설정하였다. 직배송 물류전략의 경우에는 안성에 위치한 Fig.2(b)의 Logistics Center를 분석지점으로 설정하였다. 또한, 물류센터에서 소매점으로 운송하는 과정에서 거리구분에 따른 총 운영비용을 비교하기 위하여 Fig.2(a),(b)의 두 물류전략 모두 오산( $d_{short}$ ), 영등포( $d_{middle}$ ), 일산( $d_{long}$ )에 위치한 세 곳의 소매점을 분석지점으로 설정하였다.

두 가지의 물류전략에 적용할 운송제품으로는 계절에 상관없이 일정한 수요형태를 지니는 버섯을 단일제품으로 선정하여 실증사례 연구를 수행하였다. 물류전략별로 적용된 수치는 한국농수산식품유통공사의 버섯 유통 실태 자료(2012)에 근거하였으며 그 값들은 Table.3과 같다. 연간수요(D)의 경우 두 물류 전략 모두 5,475unit/year를 가지며, 구입비(P)는 기존의 물류 전략 경우 도매시장에서 발생하는 상장수수료, 하차비 등의 간접비용이 추가되어 소매점에서 16,084원에 판매된다. 직배송 물류전략의 경우, 농산물이 생산지에서 물류센터로 바로 운송되어 11,348원에 판매된다. 제품 운송 시의 탄소배출비용( $C_o$ )은 Table.3과 같이 거리별로 상이하다. 재고유지비용(h) 및 탄소배출비용( $C_h$ )의 경우 두 물류 전략 모두 1.06원/unit, 1.11 원/unit으로 동일하지만, 재고 유지 시간에 따라 차이가 날 수 있다.

본 연구에서는 업체가 부담하는 비용만을 고려하였으며, 물류전략 결정의 기본요소인 수송비용, 재고 비용의

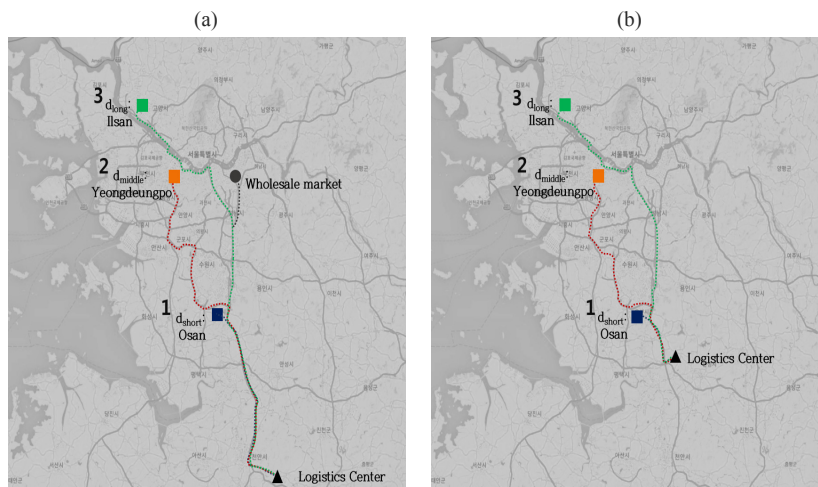


Fig. 2. Distribution Route of Logistics Strategies: (a) Traditional (b) Direct delivery

**Table 3.** General information of logistics strategies

Notation	(a) Traditional logistics strategy	(b) Direct delivery logistics strategy
D [unit/year]	5,475	5,475
P [₩/unit]	16,084	11,348
h [₩/unit]	1.06	1.06
th [hour]	15,24,48,72	15
Ch [₩/unit]	1.11	1.11
O [₩/order-truck]		
- Wholesale market to logistics center	289,846	-
- Logistics center to retail store	90,009 ~ 120,553	60,374 ~ 123,919
dj [km]		97.64~142.85
Co [₩/order]		
- Wholesale market to logistics center	1265	-
- Logistics center to retail store	195~462	75~342
nj [truck/order]	nj=14.5ton = 4 , nj=1ton=1	nj=1ton=1

값에 변화를 주어 총 운영비용의 차이를 확인하고자 하였다.

#### 4.1. 운송거리가 다른 경우

본 장에서는 제품이 물류센터에서 각 소매점으로 배송될 때, 소매점의 운송거리가 다른 경우의 두 물류전략의 운영비용 차이를 비교해 보고자 한다. 생산지에서 물류센터까지의 거리, 소매점까지의 거리는 Table.4와 같이 각각 다른 값을 적용하였고, 따라서 이에 따른 주문비 및 탄소배출비용도 거리별로 비용 차이가 발생한다.

본 장에서는 운송거리가 다른 경우만을 고려하기 위하여 재고보관시간을 평균 40시간으로 설정하였다. 직배송 물류전략의 경우 대형유통업체 A의 실제 농산물 재고보관방침에 따라 15시간을 보관시간의 고정 값으로 설정하였다.

#### 4.2 재고보관시간이 다른 경우

제품의 재고보관시간이 다른 경우는 재고보관시간이 일정치 않은 기존 물류전략에 해당되는 경우이다. 따라서 본 장에서는 기존 물류전략의 재고보관시간 및 재고유지비용의 변화에 초점을 맞추어 다루어 보고자 한다.

재고보관시간의 변화에 따른 운영비용만을 보기 위하여 운송거리( $d_j$ )가 다른 경우는 고려하지 않으며, 따라서 운송거리( $d_j$ )는 중거리에 위치한 소매점 ( $d_{middle}$ )를 임의로 지정하여 분석에 활용하였다.

기존 물류전략은 Table.5(a)와 같이 재고 보관시간이 고정되어 있지 않고, 제품의 수요에 따라 변동 되기 때문에 보관시간을 최소 15시간부터 최대 72시간까지로 설정하였다. 직배송 물류전략의 경우에는 실제 운영사태에 근거하여 보관시간을 15시간으로 설정하였다.

**Table 4.** Case of the Different Transport Distance by Logistics Strategy

(a) Traditional logistics strategy				
	Wholesale market to logistics center	Logistics center to retail store		
		dshort	dmiddle	dlong
dj [km]	97.94	60.23	117.77	142.85
O [₩/order]	289,846	90,009	114,993	120,553
Co [₩/order]	1,265	195	380	461
nj [truck/order]	nj=14.5ton = 4	nj=1ton=1		
h [₩/unit]	-	40		
(b) Direct delivery logistics strategy				
	Wholesale market to logistics center	Logistics center to retail store		
		dshort	dmiddle	dlong
dj [km]	-	23.27	76.73	105.9
O [₩/order]	-	60,374	112,228	123,919
Co [₩/order]	-	75	248	342
nj [truck/order]	-	nj=1ton=1		
h [₩/unit]	-	15		

Table 5. Case of the Different Holding Time by Logistics Strategy

		(a) Traditional logistics strategy	(b) Direct delivery logistics strategy
h [#/unit]	15h	17.71	17.71
	24h	27.7	-
	48h	54.34	-
	72h	80.98	-
dj [km]		215.71	76.73
O [#/order]		404,839	112,228
Co [#/order]		1645	248

### 4.3 분석결과

위와 같은 과정을 통해 얻어진 두 물류전략에 대한 실증사례 분석 결과는 Table.6에 정리되어 있다.

먼저 운송거리가 다른 경우(4.1)의 탄소배출비용이 포함된 총 운영비용을 보면, 운송거리에 상관없이 도매시장을 거치는 기존 물류전략에서의 운영비용이 직배송 물류전략보다 2배 이상 많이 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 두 물류전략의 운영비용은 물류센터에서 소매점의 거리가 멀어질수록 증가하지만, 두 물류전략간 운영비용의 차이는 거리가 가까울수록 큰 것으로 분석되었다. 이러한 결과 값은 운송거리가 짧을 시 기존 물류전략 대비 직배송 물류전략의 운영비용이 더 큰 경제적·환경적 효과를 가진다는 것으로 풀이될 수 있다.

운송거리가 다른 경우의 경제적 주문량(EOQ)을 보면 직배송 물류전략의 경제적 주문량이 기존 물류전략의 경제적 주문량 보다 작다는 것을 알 수 있다. 이러한 경제적 주문량은 재고와 관련된 사항으로, 경제적 주문량이 많다는 것은 재고량이 많다는 것을 의미한다. 농산물의 경우 재고량이 증가하면, 시간의 경과에 따라 부패율 및 폐기율도 함께 증가하게 된다. 이러한 이유로 물류전략별 경제적 주문량의 결과 값은 직배송 물류전략의 제품이

기존 물류전략의 제품보다 더 신선하게 유통될 수 있는 것으로 해석할 수 있다.

다음으로 재고보관시간이 다른 경우(4.2)의 운영비용을 보면 기존 물류전략의 운영비용이 직배송 물류전략에 비해 약 50.9%가 높은 것으로 분석되었다. 이는 업체의 기존 물류전략 주문주기가 7일, 직배송 물류전략 주문주기가 3일이기 때문에 기존물류전략의 재고보관량이 더 많아 물류전략간 운영비용의 차이가 큰 것으로 판단할 수 있다.

재고보관시간이 다른 경우의 EOQ는 재고보관시간이 15시간으로 동일할 경우, 두 물류전략간 주문량이 7,016units이 차이 나는 것으로 분석되었다. 하지만 기존 물류전략의 재고 보관시간이 증가할수록 두 물류전략의 주문량 차이는 감소하는데, 이는 기존 물류전략의 물류센터 내 제품 보관시간이 15시간에서 72시간으로 증가하면서 제품 보관량은 늘고, 주문량은 감소하여 발생한 것으로 판단된다. 따라서, 기존 물류전략의 경제적 주문량 감소는 재고보관시간이 증가하면서 발생하는 현상으로, 보관시간이 길어질수록 부패될 수 있는 농산물 유통에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

위 실증사례 분석에서 얻은 결과는 종합해보면, 탄소배출 고려시 직배송 물류전략은 기존 물류전략대비 약

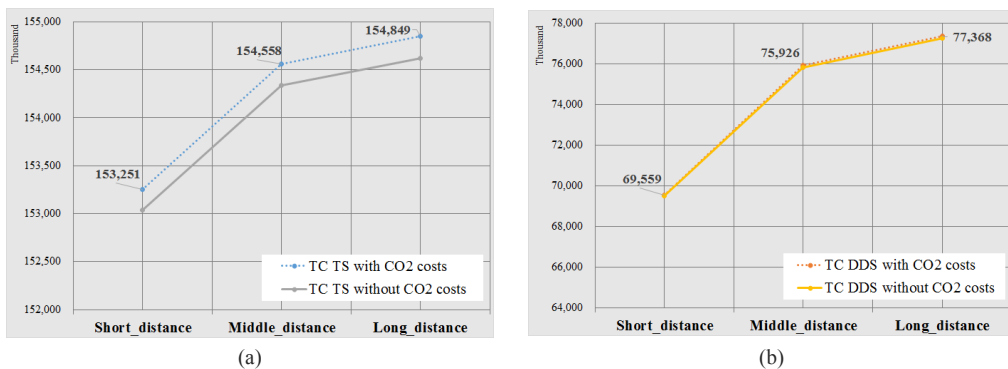


Fig. 3. Total Costs of Logistics Strategies: (a) Traditional (b) Direct delivery

**Table 6.** Total Operation Costs and EOQ by Logistics Strategy

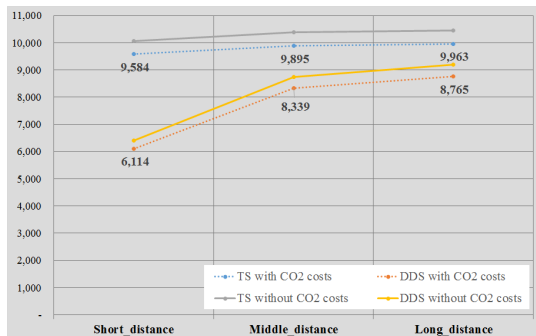
		Type of the different transport distance		
		(a) Traditional logistics strategy	(b) Direct delivery logistics strategy	(a)-(b)
TC [₩/year]	dshort	153,251,429	69,559,234	83,692,195
	dmiddle	154,557,856	75,926,198	78,631,658
	dlong	154,848,613	77,367,767	77,480,846
EOQ	dshort	9,584	6,114	3,470
	dmiddle	9,895	8,339	1,556
	dlong	9,963	8,765	1,198

		Type of the different holding time		
		(a) Traditional logistics strategy	(b) Direct delivery logistics strategy	(a)-(b)
TC [₩/year]	15h	154,468,909	75,906,489	78,562,420
	24h	154,502,987		78,596,498
	48h	154,571,109		78,664,620
	72h	154,623,686		78,717,197
EOQ	15h	15,355	8,339	7,016
	24h	12,277		3,938
	48h	8,766		427
	72h	7,181		-1,158

50%이상 운영비용을 절감할 수 있고, 경제적 주문량도 또한 직배송 물류전략이 기존의 물류전략보다 더 적은 양을 주문하여 농산물의 부패나 폐기비용 등 추가적인 운영비용도 절감할 수 있을 것으로 보여진다.

따라서, 농산물제품 운송의 경우, 경제적·환경적인 측면을 함께 고려했을 때 생산자와 업체가 제품을 직접 거래하여 운송하는 직배송 물류전략이 기존 물류전략보다 유리한 물류전략이라고 볼 수 있다.



**Fig. 4.** EOQ of Logistics Strategies

### 5. 결론

본 논문에서는 탄소배출을 고려하여 농산물의 물류전략별 총 운영비용 및 경제적 주문량을 비교할 수 있는 모형을 제시하고, 탄소배출비용이 포함된 두 가지의 물

류전략의 총 운영비용 및 경제적 주문량을 비교·분석하는 연구를 수행하였다.

이를 위해 주문비, 보관비, 구매비 등의 재고수준을 고려하여 총 비용을 극소화 시킬 수 있는 EOQ 모형을 활용하여, 탄소배출 및 국내 농산물 물류전략 구조를 고려하여 수정된 EOQ 모형을 제시하였다. 제시된 모형을 바탕으로, 실제 대형물류업체의 운영환경을 고려하여 실증사례분석을 수행하였다. 실증사례분석은 업체의 실제 농산물 운송경로 및 운송량, 이에 따른 발생비용을 고려하여 연구를 수행하였다. 또한, 탄소배출의 주 원인이 되는 운송거리, 재고보관시간의 변화에 따른 운영비용의 차이를 알아보기 위해 운송거리가 다른 경우, 재고보관시간이 다른 경우로 구분하여 실증사례분석을 수행하였다.

종합분석 결과, 탄소배출을 고려했을 때 기존의 물류전략의 운영비용이 직배송 물류전략보다 더 많이 발생하는 것으로 분석되었다. EOQ 또한, 기존 물류전략이 직배송 물류전략 보다 주문량이 많이 발생하여 실제 농산물 보관시 재고량이 쌓여 부패나 폐기비용이 증가될 수 있을 것으로 보여진다.

결론적으로, 탄소배출을 고려하였을 때 직배송 물류전략이 기존 물류전략보다 경제적·환경적인 효과가 있다고 분석될 수 있으며, 농산물의 신선도도 함께 높이는 전략이라고 판단된다.

본 연구의 한계로는 제품의 부패 및 폐기 등이 고려되어야 하는 농산물 등 신선식품의 경우, Battini, D. et



al.(2014)의 연구와 같이 폐기비용 및 폐기시 탄소배출 비용에 대한 부분을 고려한 수리적 모형 연구가 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 향후 연구 주제로 제품의 폐기비용 및 폐기시 탄소배출비용을 추가로 고려할 수 있는 수리적 모형을 구축하여 분석해 보는 것도 의미 있는 연구가 될 수 있을 것이다. 또한, 향후 연구에는 실제 물류 운영환경과 같이 일회 다품종 배송전략을 반영하기 위하여 기존 EOQ모델의 한계인 단일 제품 운송에 국한되지 않고, 여러 제품을 동시에 고려하여 운영 및 시설비용을 함께 고려할 수 있는 수리적 모형을 개발하고 분석하는 연구를 진행할 계획에 있다.

## References

- [1] Battini, D., Persona, A., & Sgarbossa, F. A sustainable EOQ model: theoretical formulation and applications. *International Journal of Production Economics*, vol. 149, pp. 145-153, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.06.026>
- [2] Chu, Bong-Sung, Determination of the Optimal Production Lot-sizing Considering Disequilibrium Risks of between Supply and Demand in a Supply Chain. *Journal of Distribution and Management Research*, vol. 19, no. 6, pp. 71-77, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.17961/jdmr.19.6.201612.71>
- [3] Min, Daiki., Supply chain Coordination Under the Cap-and-trade Emissions Regulations. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, vol. 41, no. 3, pp. 243-252, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIIIE.2015.41.3.243>
- [4] Min, Daiki, The Analysis of Carbon Emission Costs under Milk Run Logistics Strategy. *International Journal of Management Science*, vol. 40, no. 1, pp. 21-33, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.7737/jkorms.2015.40.1.021>
- [5] Min, Daiki. The Performance Evaluation of Direct Shipment Strategy under Carbon Trading System. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, vol. 24, no. 3, pp. 339-352, 2013.
- [6] Jayaraman, V., Guide Jr, V. D. R., & Srivastava, R. A closed-loop logistics model for remanufacturing. *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, vol. 50, no. 5, pp. 497-508, 1999.  
DOI: <https://doi.org/10.2307/3009998>
- [7] Park, Soo Hong, & Sun, Il Seok., Time-Series Analysis on Sales Index by Clothing Distribution Path, *Journal of Distribution and Management Research*, vol. 19, no. 3, pp. 5-16, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.17961/jdmr.19.3.201606.5>
- [8] Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., & Van Wassenhove, L. N., Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management science*, vol. 50, no. 2, pp. 239-252, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0186>
- [9] Sheu, J. B., Chou, Y. H., & Hu, C. C., An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 41, no. 4, pp. 287-313, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2004.07.001>
- [10] Singh, S. R., & Saxena, N., A Closed Loop Supply Chain Inventory Model for the Deteriorating Items with JIT Implementation. In *Proceedings of the Third International Conference on Soft Computing for Problem Solving* pp. 17-30, 2014.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-1768-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-81-322-1768-8_2)
- [11] Wang, Q., Zhao, D., & He, L., Contracting emission reduction for supply chains considering market low-carbon preference. *Journal of Cleaner Production*, vol. 120, pp. 72-84, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.049>

## 김 미 례(Mi-Rye Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : UST (교통물류시스템 석사)
- 2015년 8월 ~ 2016년 2월 : 한국철도기술연구원 석사후연수연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : UST (교통물류시스템 및 ITS 공학 박사과정)

<관심분야>

철도물류, 교통공학, 철도토목

## 조 인 호(In-Ho Cho)

[정회원]



- 2009년 2월 : 카이스트 (전기 및 전자공학 석사)
- 2013년 2월 : 카이스트 (전기 및 전자공학 박사)
- 2013년 1월 ~ 2014년 9월 : LG 전자 선임연구원
- 2014년 10월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도추진시스템, 전기자동차 충전기술, 철도물류