

# 역물류 네트워크에서의 친환경 운송 모델 개발 및 환경영향평가 비교 분석

김기홍\*·신승준\*·정병현\*

\*우송대학교 초빙교수 미국 표준기술연구소 객원연구원 우송대학교 교수

## A green transportation model in reverse logistics network and its comparative assessment for environmental impacts

Ki Hong Kim\* · Seoung-Jun Shin\* · Byung Hyun Chung\*

\*Woosong University Visiting Professor National Institute of Standards and Technology  
Woosong University Professor

### Abstract

Enforced environmental regulations call for extending the domain of manufacturers' responsibility to the entire product life cycle. To comply with the environmental regulations, manufacturers have constructed reverse logistics networks to re-collect their leftover waste for recycling consumed resources. However, the operational activities associated with storage, loading and transportation processes within the networks inevitably impose environmental burdens. Particularly, the transportation process largely influences environmental performance due to perpetual uses of transportation vehicles. Therefore, there is a need to develop an environmentally-conscious transportation model that can efficiently manage the uses of transportation vehicles. Additionally, it is vital to analyze its significances of environmental performance to compare quantitatively it with existing models. This paper proposes a transportation model for improving environmental performance in a reverse logistics network. This paper also presents a case study to perform its comparative analysis using Life Cycle Assessment that evaluates potential environmental impacts of a product system.

**Keywords:** reverse logistics, life cycle assessment, green supply chain management, transportation model

### 1. 서론

전 세계적으로 전기전자 폐기물 처리지침 (WEEE)와 유해물질 사용제한 지침 (RoHS) 등 환경 법규의 강화에 따라, 제조업체의 책임 범위는 제품의 개발 및 생산을 넘어서 운송, 재제조 및 재활용을 아우르는 전 수명주기로 확대되고 있다 [1]. 이에 따라, 녹색 공급

사슬 (green supply chain)에 대한 관심이 높아지고 있으며, 구체적 실현 전략으로써, 역물류 네트워크 (reverse logistics network)를 구축하고 있다. 생산된 제품을 고객에게 전달하는 순방향의 물류 네트워크와는 달리, 역물류 네트워크내에서는 고객으로부터 버려지는 제품의 물류 거점으로 재편입 및 소각·매립장

†Corresponding Author : Ki Hong Kim, E-mail: akk72@korea.com

혹은 재활용센터로의 운송과정이 이루어진다 [2]. 그러나, 이러한 역물류 네트워크의 순기능에도 불구하고, 역물류 네트워크의 운용 또한 환경 부담을 야기할 수 밖에 없다. 왜냐하면, 물류작업에 필요한 운송, 보관 및 적재 과정에서 자원의 소모가 불가피하기 때문이다. 특히, 운송장비의 운용에 따른 화석 연료의 사용과 적재에 사용되었던 포장재료의 소각은 필연적으로 환경유해물질을 배출한다. 하지만, 물류 집하장으로부터 재활용 센터로의 운송 방법을 결정하는 운송모델의 기존방식은 대부분 시간과 비용 측면을 고려하여 수립되었기 때문에, 환경 영향 측면의 고려는 많이 이루어지지 않은 것이 현실이다. 따라서, 역물류 네트워크 내에서 자원 소모를 줄일 수 있는 환경친화적인 운송 모델의 개발이 필요하다.

한편, 역물류 네트워크의 운송 모델에 대한 환경영향의 정량적 평가가 필요하다. 왜냐하면, 환경적 측면에서 운송 모델의 비교 평가를 위해서는 정량적 이해가 요구되며, 그 평가결과는 환경영향을 줄이기 위한 예측, 시뮬레이션 및 최적화 모형 개발에 필수적으로 활용되기 때문이다 [3]. 이러한 환경영향의 정량적 평가를 위하여 널리 활용되고 있는 전과정평가 (Life Cycle Assessment) 기법을 적용할 수 있다. 전과정평가는 제품의 수명주기 동안 발생하는 잠재적 환경영향을 환경범주별로 계량 평가하는 방법이다. 이를 위하여: 1) 목적 및 범위 정의, 2) 전과정 목록 분석, 3) 전과정 영향 평가, 4) 해석 단계를 수행한다 [4]. 그러나, 전과정평가는 제품 시스템을 대상으로 개발된 것이기 때문에, 복잡성 및 가변성이 존재하는 운송 모델로의 적용은 쉽지 않다. 구체적으로, 분석기본단위인 기능 단위 (function unit)의 경우, 제품 시스템은 일관성을 유지하나, 운송 모델내에서는 운송, 포장, 선적 및 하역 과정에 따라 기능 단위가 제품, 팔렛 혹은 운송장비 등으로 변경될 수 있다. 또는, 계절적 및 지역적 요인에 의해 전과정평가의 대상 범위 및 가정이 변경될 수 있다. 이러한 이유로, 상세 시나리오 수립 및 의사결정 지원도구를 활용해 효과적인 운송모델별 전과정평가의 적용이 필요하다.

본 논문에서는, 역물류 네트워크에서 포장 및 운송의 환경영향을 줄이기 위한 환경친화적인 운송 모델을 제안하고, 제안 모델과 기존 모델들간의 특성을 비교 및 분석한다. 또한, 전과정평가 기법을 활용하여 기존 모델들과 제안 모델의 환경영향도를 정량적으로 평가 및 비교한다.

## 2. 역물류 네트워크 및 기존 운송모델 고찰

일반적으로, 역물류 네트워크는 순방향 물류워크보다 복잡하다. 이 복잡성은 제품들의 양과 질에서의 높은 불확실성에 기인한다 [5]. 본 장에서는 가전제품을 중심으로 역물류 네트워크의 소개 및 본 논문에서 취하는 시스템 범위를 정의한다. 더불어, 현재 사용중인 운송 모델들에 대한 고찰이 필요하다. 두 가지 운송 모델이 보편적으로 사용중이지만, 편의상 과거에 널리 사용되었던 모델을 As-Was 모델, 현재 널리 사용중인 모델을 As-Is 모델로 구분하여 설명한다.

### 2.1. 역물류 네트워크의 범위 및 과정

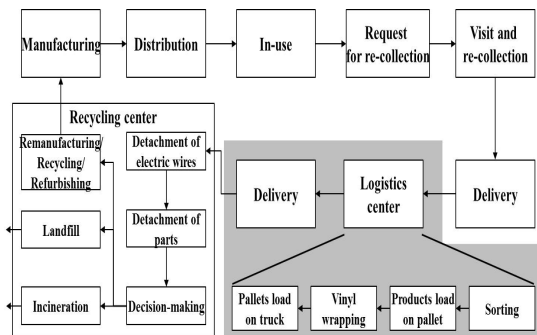
역물류 네트워크로 편입되는 제품들은 생산중 발생하는 불량품, 폐기품, 품질품, 그리고 사용중 수명연한 초과 혹은 신제품 구매로 인한 교체폐기품으로 구분될 수 있다. 광의의 역물류 네트워크라 함은 이러한 모든 제품들을 처리하기 위한 물류 흐름을 의미한다. 협의는 교체폐기품의 처리를 위한 과정으로써, 다음과 같이 진행된다: (1)고객의 소매점 또는 서비스센터로의 처리 요청, (2)고객 방문 및 교체폐기품 수거, (3)물류집하장으로 운송, (4)제품 분류, (5)제품군별 포장, (6)운송 트럭으로 선적, (7)재활용 센터로 운송, (8)소각, 매립, 재제조, 재활용, 재정비 여부 결정, (9)결정별 행동 수행. 본 논문에서 관찰하는 시스템 범위는 (5)에서 (7)까지의 과정으로 정의한다 <Figure 1 (b)>의 회색 상자).

### 2.2. 비닐 포장 운송 모델 (As-Was)

비닐 포장 운송 모델은, <Figure 1 (a)>와 같이, 재활용센터로 제품들을 운송하기 위하여 물류집하장에서 팔렛상의 제품들을 비닐로 포장하는 방식이다. <Figure 1 (b)>는 비닐 포장 운송 모델의 과정 흐름을 도식화 한 것이다. 물류집하장에서 냉장고, 세탁기 및 텔레비전 등 제품 카테고리 분류하고, 제품들을 팔렛상에 쌓는다. 지게차가 팔렛을 상차하기 전에 운송중 제품의 추락을 방지하기 위해 비닐포장을 실시한다. 일반적으로 비닐 포장재를 제품 스택을 두 번 이상 감는다.



(a) Vinyl wrapping



(b) A flow diagram

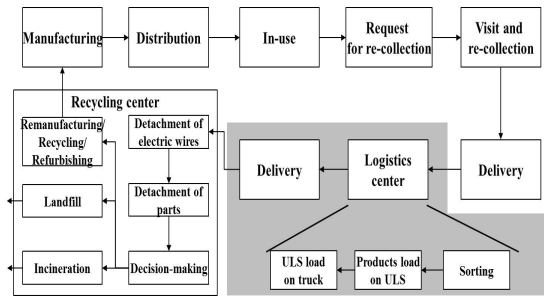
[Figure 1] Vinyl wrapping model (As-Was)

### 2.3.단위 적재 운송 모델 (As-Is)

As-Was 모델은 포장 작업 시간이 오래 걸리고, 다양한 제품 크기로 인해 팔렛의 적재 및 하역이 비효율적인 단점이 있다. 또한, 비닐의 사용 후 소각으로 인한 환경 문제를 야기하기도 한다. 이를 해결하기 위해, <Figure 2 (a)>와 같이, 철재 컨테이너나 박스를 활용한 단위 적재 시스템 (Unit Load System: ULS)을 활용하고 있다. <Figure 2 (b)>는 단위 적재 운송 모델의 과정흐름을 도식화 한 것이다. 이 모델은 비닐 포장 작업을 제거하고, 크기가 일정한 수송 단위를 사용함으로써 적재 및 하역의 효율화가 가능하다.



(a) Unit-load system



(b) A flow diagram

[Figure 2] Unit-load system model (As-Is)

## 3.규격화 단위 적재 운송 모델 제안 및 모델별 SWOT 분석

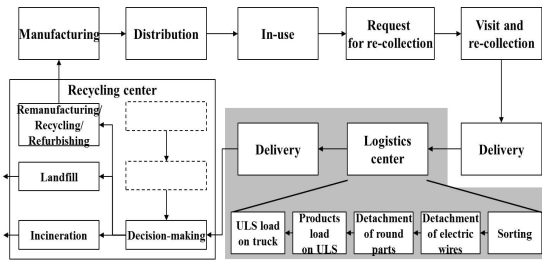
최근, 가전제품의 빈번한 출시로 인하여 가전제품의 폐기량을 증가하고 있다 [6]. 이러한 추세에 적절하게 대응하기 위해서는 물류집하장에서 더 많은 양의 폐기품을 적은 시간내에 처리할 수 있는 능력의 구비가 필요하다. 이러한 요구에 대처하기 위하여, 3.1절에서는 As-Is 모델의 개선 모델인 규격화 단위 적재 운송 모델 (Standardized Unit Load System: S-ULS)을 제안한다. 한편, 모델의 점진적 개선에 따라 작업 효율성 및 자원 효율성이 향상될 것이라 기대되지만, As-Was, As-Is 모델 또한 여전히 유효한 방식이다. 3.2절에서는 이러한 모델들의 적용을 지원하기 위하여 모델별 장단점을 분석한다.

### 3.1.규격화 단위 적재 운송 모델 (To-Be)

As-Is 모델의 경우, 작업자가 제품들을 ULS상에 정돈되지 않은 형태로 적재하는 경우가 많다. 또한, 최근 트렌드인 원형/곡면형 제품들의 적재 증가로 인하여, ULS 공간의 활용성 부족, 즉 적재율이 낮을 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 제안되는 운송 모델은 트럭 수송시 더 많은 제품을 상차시킴으로써 효과적인 운송을 달성하고자 설계되었다.



(a) Standardized unit-load system



(b) A flow diagram

[Figure 3] Standardized unit-load system (To-Be)

본 제안모델은, [Figure 3 (a)]와 같이, 기존에 재활용 센터에서 작업하던 전기선 분리 및 원형/곡면형 부품 탈착 과정을 물류집하장에서 수행하는 것이다. 그 후, 입방형의 부품 및 제품들을 ULS에 적층형으로 적재하고, 잔여 공간을 활용하여 원형/곡면형 부품을 추가적으로 적재하는 것이다. [Figure 3 (b)]는 To-Be 모델의 과정 흐름을 도식화 한 것이다. [Figure 2 (b)]의 As-Is 모델 과정 흐름에서 재활용 센터의 '전기선 분리'와 '부품 탈착' 과정이 물류집하장으로 이동된 것이 주요 변화이다. 다만, To-Be 모델에서는 물류집하장내에서 제품의 완전 분해를 추천하지 않는다. 이는 물류집하장의비전문성으로 인한 분해시간의 증가를 가져올 수 있기 때문이다. 비교적 분해가 용이한 부품들만을 대상으로 분해하는 것을 추천한다.

<Table 1> SWOT analysis of the three transportation models

요인 \ 모델	As-Was	As-Is	To-Be
<b>Strength</b>	-Easy to use -Low cost -High thermal adhesive -Waterproof	-Prevent damages -High operational efficiency -High mechanized productivity -Simple packaging -Automation & Systemization -Easy to inspect	-Not-required large vehicles -Low transportation cost -High volume capacity -High mechanized productivity -Automation & Systemization -Easy to inspect
<b>Weakness</b>	-Cost increase due to increase in the amount -Non-reusable property -Low safety and stability -Low thermal resistance	-High cost for ULS -Recollection for empty ULS -Investment in fixed equipment	-Increase of lead time -Production for customized ULS -High investment cost
<b>Opportunity</b>	-Easy purchase -Portable property	-High production efficiency -Easy to load/unload -Planned works -Increase of protection	-High transportation efficiency -Available to use common trucks -Planned works -Standardization of ULS
<b>Thread</b>	-Cause endocrine disrupter -Disposal after use	-Decreased utilization -Reduced job opportunities	-Decreased productivity -Require work safety

<Table 2> The number of waste units and delivery units

Category	Product	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
		As-Was		As-Is		To-Be	
		Off-season	Hot season	Off-season	Hot season	Off-season	Hot season
The number of waste units	Washer	332	432	332	432	332	432
	Refrigerator	408	628	408	628	408	628
	Television	308	452	308	452	308	452
	Sub-total	1048	1512	1048	1512	1048	1512
The number of delivery units	Washer	28	36	28	36	24	31
	Refrigerator	102	157	102	157	102	157
	Television	26	38	26	38	20	29
	Rounded parts	-	-	-	-	2	2
	Sub-total	156	231	156	231	148	219

### 3.2. 운송모델 비교분석

SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 분석은 모델의 강점, 약점, 기회 및 위협 요인을 분석하여 전략 계획을 수립하는데 사용하는 도구이다. <Table 1>은 As-Was, As-Is 및 To-Be 모델에 대한 SWOT 분석 결과이다. 세 모델 고유의 특징 및 장단점이 존재하므로, 적용 대상, 기술적 가용성 및 전략적 의사결정에 따라 선택이 필요하다.

<Table 1>은 모델별 정량적 환경영향 평가를 포함하고 있지 않다. 이를 위해서는 시나리오를 정의하고, 통용되는 기법 및 도구 사용이 필요하기 때문이다. 다음 장에서는 전과정평가 기법을 적용하여 세 모델의 환경영향도를 평가 및 비교한다.

### 4. 사례 연구: 전과정평가

본 장에서는 시나리오를 정의하고, 세가지 운송 모델들에 대한 전과정평가를 실시하고, 이에 따른 환경영향도를 비교 분석한다. 이를 위하여, 본 장은: 1) 시나리오 정의, 2) 목적 및 범위 정의, 3) 전과정 목록 분석, 4) 전과정 영향 평가, 5) 해석으로 구성된다. 2)에서 5)의 과정은 전과정평가 절차에 준하는 것이다. 전과정평가의 실행을 위해 TOTAL 소프트웨어를 사용한다 [7].

#### 4.1 시나리오 정의

본 시나리오는 폐가전제품이 물류집하장에 입고되어 지방 자치단체에서 운영하는 재활용센터들로 운송되는 과정에 대한 내용이다. 물류집하장의 성수기는 이사철과 맞물린 7월부터 9월까지이며, 이 때 그외 기간인 비수기 대비 평균 1.5배

의 폐가전제품이 입고된다. 운송 적재 단위는 As-Was 모델의 경우 팔렛이며, As-Is 및 To-Be 모델의 경우는 ULS이다. 각 팔렛과 ULS는 동일 제품을 선적하며, 4개 냉장고, 12개 세탁기 혹은 12개 텔레비전을 담을 수 있다. To-Be 모델에서 ULS의 용량은 용적을 고려했을 때, As-Is 모델에 대비하여 가정적으로 2개 세탁기 혹은 4개 텔레비전을 추가 적재한다. 그러나, 잔여 원형/곡면형 부품 적재에 필요한 2개의 ULS가 추가 소요된다고 가정한다. 이러한 가정치는 제품 및 ULS의 부피를 고려하여 산출한 값들이다. <Table 2>는 세 개의 운송 모델을 성수기와 비수기로 구분한 6가지 사례에 대한 월별 폐가전제품 개수 및 운송단위 개수를 나타낸다.

경상북도에 위치한 물류집하장에서 생성된 팔렛과 ULS 형태의 운송단위들은 경상북도에서 운영하는 재활용센터 A로 운송된다. 이 때, 주로 5톤 트럭이 사용되며, 추가 적재 단위가 있을 시에는 2.5톤 트럭을 사용한다. 둘 다 고속도로와 국도를 병행 이용하여 하루에 한번 왕복 운행한다. 그러나, 재활용센터 A의 월별 수용량은 180 운송단위이기 때문에, 잔여 운송단위들은 불가피하게 근접한 경상남도 재활용센터 B로 운송된다. 이 때, 또 다른 5톤 트럭이 운행된다. <Table 3>은 물류집하장에서 각 재활용센터간 거리, 소요시간 및 평균 차량속도를 나타낸다. 재활용센터 B 노선은 주로 고속도로를 이용하므로, 평균 시속이 재활용센터 A 노선에 비해 높다. 한편, 2.5톤 트럭은 2개의 적재단위를 수용하며, 평균 7km/liter 연비가 소요된다. 5톤 트럭은 4개의 적재단위를 수용하며, 평균 5km/liter 연비가 소요된다. <Table 4>는 주어진 시나리오에 의하여 계산된 사례별 월별 운행횟수, 적재단위 개수, 총 질량\*거리를 나타낸다.

<Table 3> Transportation routes

Recycle Center	One-way (km)	Round (km)	One-way time (min)	Average speed (km/h)
A	35.5	71	40	53.3
B	161.7	323.4	140	69.3

<Table 4> The number of delivery units and mass\*distance shipped to the destination

Case	Destination	Truck type	Frequency	Delivery units	Mass*Distance	Total mass*distance
1	A	2.5	18	36	3195	13845
	A	5	30	120	10650	
2	A	2.5	30	60	5325	36996
	A	5	30	120	10650	
3	B	5	13	52	21021	13845
	A	2.5	18	36	3195	
4	A	5	30	120	10650	36996
	A	2.5	30	60	5325	
5	B	5	13	52	21021	13135
	A	2.5	14	28	2485	
6	A	5	30	120	10650	32145
	A	2.5	30	60	5325	
6	B	5	10	40	16170	32145
	A	2.5	30	60	5325	

### 4.2 목적 및 범위 정의

전과정평가의 목적은 설명된 3개의 운송 모델 중 환경친화적인 운송모델을 찾아내고, 관련된 평가 결과를 토대로 인과관계 분석을 실시하는 것이다. 전과정평가의 기능 (function)은 폐가전제품의 물류집하장에서부터 재활용센터로의 운송으로 정의하며, 기능 단위 (function unit)은 팔렛이나 ULS와 같은 운송단위로 정의한다.

### 4.3 전 과정 목록 분석

전과정목록분석은 에너지, 자원과 환경배출물과 관련된 상세 데이터를 수집하는 과정이다 [4]. 일반적으로, 상세 데이터를 수집하는 과정이 어렵기 때문에, 상용 지원도구들은 목록데이터를 제공해준다. 본 논문에서는 한국환경산업기술원의 전과정목록 데이터베이스를 사용한다 [7].

<Table 5>는 각 사례별 수집된 목록데이터이다. Low Density Polyethylene (LDPE) 항목은 As-Was 모델의 사례 1과 2에서 사용한 비닐포장재 사용량을 나타낸다. 도출 근거는 1.8m\*1.8m\*1.8m의 체적을 갖는 팔렛에 LDPE를 두번 감으며, LDPE는 0.5m 길이, 200m 두께, 920kg/m3밀도를 갖기 때문에, 1회 사용질량은 0.53kg으로 정의된다. 이 단위질량에 <Table 2>의 운송단위 개수를 곱한 결과이다. 한편, Diesel 항목은 <Table 4>의 총 질량\*거리로써, 디젤 사용량을 나타낸다.

<Table 5>에서 정의된 LDPE 및 디젤 사용량에 따라 목록데이터에 저장된 환경물질 배출질량을 도출할 수 있다. 예를 들어, 사례 1과 2의 경우, 259가지 물질이 소비되거나 배출되며, 사례 3, 4, 5 및 6은 LDPE 사용이 없기 때문에 이보다 적은 190가지 물질이 소비되거나 배출된다. 상세 물질 목록은 지면상 생략한다 (참고문헌 [7] 참고).

<Table 5> Aggregated LCI data

Case	LDPE (kg)	Diesel (ton*km)
1	82.68	13845
2	122.43	36996
3	-	13845
4	-	36996
5	-	13135
6	-	32145

### 4.4 전과정 영향 평가

전과정영향평가는 전과정 목록데이터를 이용하여 잠

재적 환경영향도를 평가하는 과정이다 [4]. 일반적으로, 지역적 및 지정학적 특색에 따라 여러 기관에서 정의한 환경영향범주를 선택 및 사용한다. 정의된 환경영향범주별 수치를 계산한 후 단일 지수로 (총 환경영향지수)의 계산을 위해, 분류화, 특성화, 정규화 및 가중화 작업을 실시한다[8].

이 작업 또한 전문 지식을 요구하기 때문에, 상용 지원도구에서는 여러 기관의 환경영향범주를 선택하는 기능을 제공한다. 본 사례는 산업자원부 지정 환경영향범주 및 관련 팩터들을 사용한다. 식(1)~(3)은 특성화, 정규화 및 가중화를 위한 식이다 [8]: (1) 4.3절에서 도출된 상세물질의 환경부하량(Load<sub>j</sub>)을 등가팩터 (eqv<sub>i,j</sub>)로 특성화(C<sub>i</sub>), (2) 영향범주별 등가환경부하량을 일정기준(N<sub>i</sub>)으로 정규화(C<sub>k</sub>), (3) 영향범주별 가중치(w<sub>k</sub>)에 의거하여 총환경지수 산출(TEI).

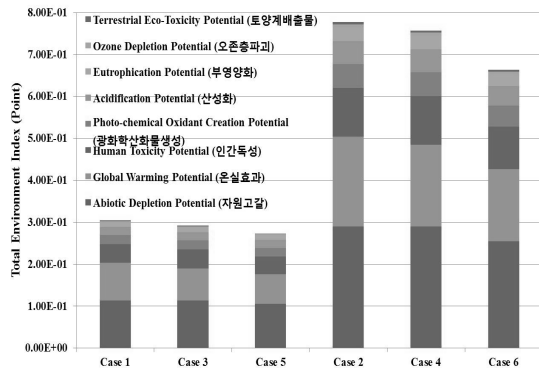
$$C_i = \sum_j (Load_j \cdot eqv_{i,j}) \tag{1}$$

$$C_k = C_i / N_i \tag{2}$$

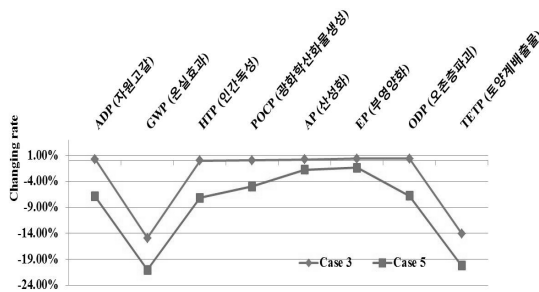
$$TEI = \sum_k (C_k \cdot w_k) \tag{3}$$

[Figure 4]는 6개 사례별 전과정영향평가의 결과를 나타내는 중첩 막대 그래프이다. 막대의 합산 값은 총 환경지수를 나타낸다. 이는 환경영향범주의 정규화팩터 및 가중치팩터의 합산에 의해 나타나는 단일지수 값이다. <Figure 4>에서 보는 바와 같이, 자원고갈 (ADP), 온실효과 (GWP) 및 인간독성 (HTP) 범주가 주요 영향 범주로 나타난다. 성수기와 비수기를 비교해보면, 운송단위 개수는 평균 148% 증가한 반면, 환경영향도는 평균 254% 증가한다. 비수기의 경우, As-Was 모델 (사례 1) 대비 각각 As-Is 모델 (사례 3) 4.35%, To-Be 모델 (사례 5) 10.54%의 환경영향도 감소가 나타난다. 성수기의 경우, As-Was 모델 (사례 2) 대비 각각 As-Is 모델 (사례 4) 2.54%, To-Be 모델 (사례 6) 14.67%의 감소가 나타난다.

<Figure 5>는 LDPE의 사용여부에 따라 각 환경영향범주에 어떠한 변화를 가져오는지를 설명하는 그래프이다. 즉, As-Was 비수기 모델 (사례 1)을 0으로 봤을 때, As-Is (사례 3) 및 To-Be 모델 (사례 5)의 각 환경영향범주 변화율을 나타낸다. 온실효과 (GWP) 및 토양계배출물 (TETP)에서 큰 감소를 보인다.



[Figure 4] A stack bar chart for representing LCIA results



[Figure 5] Changing rates of impact categories in terms of LDPE

#### 4.5 해석

해석은 전과정목록분석 및 전과정영향평가 실행에 의한 결과를 분석하며, 환경영향에 미치는 이유들을 도출한다 [4]. 다음 항목들은 해석의 결과를 나타낸다:

(1).친환경 운송모델의 결정: <Figure 4>는 To-Be 모델이 가장 친환경적인 운송 모델임을 나타낸다. 주요 원인은 원형/곡면형 부품의 탈착 및 분리로 인하여 운송수단의 운행회수를 감소시켜, 결국 디젤 연료의 사용을 저감시켰기 때문이다.

(2).주요 환경영향범주 및 원인: <Figure 4>에서, 자원고갈 (ADP), 온실효과 (GWP) 및 인간독성 (HTP)가 크게 영향을 미치는 환경영향범주로 나타났다. 주요 원인은 디젤 연료 소비로 나타났다. 한편, LDPE 소각은 온실효과 및 토양계배출물 (TETP) 환경영향범주에 영향을 미치는 것으로 나타났다 (Figure 5 참고). 이 결과는 플라스틱 소재의 소각에 따라 어떤 환경영향범주에 영향을 미치는 것인지를 반영한다. 다만, LDPE에 의한 환경영향 부분은 전체의 약 5% 정도로 큰 비율을 차지하지는 않는 것으로 나타났다.

(3).환경영향의 가변성: <Figure 4>에서 보는 바와 같이, 성수기의 운송단위 개수는 비수기 대비 약 1.5배

증가함에 비해, 환경영향지수는 약 2.5배 증가함을 알 수 있다. 이는 재활용센터 A의 월별수용량이 제약요소로 작용되어, 결국 더 먼 곳에 위치한 재활용센터 B로의 운송을 위한 환경부담이 가중되었기 때문이다. 이러한 물류 시스템에서의 환경영향 가변성은 정적인 성질을 갖고 있는 제품 시스템의 그것과 차별화되는 요소이다. 물류 시스템의 경우는 시나리오에 의해 제약요소들이 주어지고 이에 따라 환경지수가 가변한다. 따라서, 환경영향의 예측이 어렵고 따라서, 이와 같은 전과정평가의 수행이 필요한 이유이다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 자원소모를 개선할 수 있는 운송 모델을 제안하였고, 전과정평가를 통해 제안 모델 및 현재 운송 모델들의 환경영향에 대한 정량적 비교를 실시하였다. 이를 통해 제안 모델이 친환경적인 모델임을 보여주었다. 제안 모델의 사용은 제품 폐기 단계에서 수행되던 부품의 탈착 및 분리 작업 일부를 물류집하장에서 실시함으로써, 운송수단 운용에 효율성을 증가하고, 환경부담을 경감시킬 것으로 기대한다.

본 논문의 한계는: 1) 데이터 부족으로 인하여, 관심 영역중에서 물류집하장으로부터 재활용센터의 운송에 국한하여 시스템의 경계로 잡은 것, 2) To-Be 모델의 실제 적용사례 부재로 인한, 전과정평가지 가정치를 설정한 것이다. 향후 연구는: 1) 역물류 네트워크 전체를 아우르는 시스템 경계의 확대, 2) To-Be 모델의 실제 적용을 통한 실제치에 근간한 전과정평가의 적용이다.

#### 6. References

[1] Suk-Hwan Suh, Seung-Jun Shin, Joo-Sung Yoon, Ju-Myung Um (2008), "UbiDM: a new paradigm for product design and manufacturing via ubiquitous computing technology.", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 21(5): 540-549.

[2] J. R. Kinobe, G. Gebresenbet, B. Vinneras (2012), "Reverse logistics related to waste management with emphasis on developing countries - A review paper.", Journal of Environmental Science and Engineering B, 1: 1104-1118.

[3] J. Quariguasi, G. Walther, J. Bloemhof,

- J.A.E.E van Nunen, T. Spengler (2010), "From closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case.", International Journal of Production Research, 48(15): 4463-4481.
- [4] International Standards Organization (2006), "ISO14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.", ISO: Switzerland.
- [5] S. Kara, F. Rugrungruang, H. Kaebnick (2007), "Simulation modelling of reverse logistics networks", International Journal of Production Economics, 106: 61-69.
- [6] Bastiaan Janse, Peter Schuur, Marisa P. de Brito (2010), "A reverse logistics diagnostic tool: the case of the consumer electronics industry.", International Journal of Advanced Manufacturing Technology 47: 495-513.
- [7] Korea Environmental Industry & Technology Institute (2015). National LCI Database Information Network, <http://www.edp.or.kr/>
- [8] Lee, Kun-Mo, and Atsushi Inaba (2004), "Life cycle assessment - Best practices of ISO 14040 series.", Ajou University.

## 저자 소개

김기홍



고려대학교 경영학과 학사, 미국 SNHU 경영학(MBA) 석사, 명지대학교 산업경영공학 박사, 현재 우송대학교 운송물류학과 초빙교수 관심분야는 물류, 시뮬레이션

정병현



한양대학교 도시공학 학사 및 교통계획 석사, 일본 關西大學 철도정책 및 물류 박사 현우송대학교 운송물류학과 교수 관심분야 : 철도물류, 철도안전

신승준



고려대학교 기계공학과 학사, 포항공과대학교 산업공학과 석사 및 박사, 현재 미국 표준기술연구소 객원연구원으로 재직중, 관심분야는 스마트 제조, 빅데이터 애널리틱스, 친환경 제조 및 STEP-Manufacturing이다.