

폐가전제품 재활용을 위한 공동회수모형

허태영*, 원중연**, 김현수**, 한대희***, 한우철****

Consolidated transportation model for recycling of end-of-life electronic household appliances in South Korea

Tae-Young Hur *, Joong-Yeon Won **, HyunSoo Kim **, Dae-Hee Han ***, Woo-Chul Han ****

요약

본 논문은 폐가전제품의 재활용을 위한 공동회수모형을 연구한 것이다. 이 모형은 지자체 및 생산자의 폐가전제품 수집소에 회수되어 있는 폐가전제품을 R/C(재활용 센터) 운송하는 거리를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 현재 재활용을 위한 폐가전제품 회수물류 활동은 수집소 개별적으로 이루어지고 있어, 과도한 운송거리 및 운송비용의 초래 및 낮은 차량 적재율 등의 비효율적인 면이 존재하고 있다. 본 논문에서는 이러한 비효율적인 점을 개선하기 위해 공동회수모형을 제안하고 이를 정수계획모형과 실제 R/C의 입고자료를 이용하여 그 효과를 분석했다.

Abstract

In this paper, we studied about an consolidated transportation model to transport EOL (end-of-life) electronic household appliances for recycling in South Korea. The objective is to minimize the total traveling distance of the vehicles transporting EOL electronic household appliances collected by local authorities and major manufacturers' distribution centers to assigned R/C(recycling center) in South Korea. Current reverse logistics for recycling EOL electronic household appliances is operated by local authorities and major manufacturers individually, and it is inefficient for the following reasons: excessive traveling distance, transportation cost, low truck capacity utilization, and so on. The presented model is developed to solve this problem. We apply a integer programming to solve this problem and present computational results using actual field data.

▶ Keyword : 공동수송(Consolidated transportation); 역물류(Reverse logistics); 폐가전제품 재활용(EOL Recovery)

• 제1저자 : 허태영

• 투고일 : 2009. 07. 18, 심사일 : 2009. 07. 20, 게재확정일 : 2009. 07. 27.

* 경기대학교 대학원 산업공학과 박사과정 ** 경기대학교 산업경영공학과 교수

*** 경기대학교 산업경영공학과 선임연구원 **** 대림대학 산업경영과 교수

I. 서론

지속적인 경제와 기술의 발전으로 인한 가전제품 보급률의 증가와 제품 교체주기의 단축은 폐가전제품의 발생량을 기하급수적으로 증가시키고 있다. 2006년 가구당 TV, 냉장고, 세탁기의 보급률이 각각 1.5, 1.1, 1.0로 가구당 약 1대 이상 보급되어 있고, 에어컨, 김치냉장고 등의 보급도 지속적으로 증가하고 있다[14]. 또한 폐가전제품의 배출량도 2006년을 기준으로 2008년에 20% 정도, 2010년에는 40%정도 증가된다는 연구결과도 존재한다[7].

폐가전제품의 처리가 발생시키는 환경 문제를 해결하기 위해서 국내에서는 2000년부터 국내에서 발생하는 폐전기전자제품의 회수 및 재활용의 의무를 부담하는 대신, 폐기물예치금의 납부를 면제받을 수 있는 자발적 협약(voluntary agreement)을 체결하였고, 이를 토대로 '자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률(재활용촉진법)'에 의해 2003년부터 냉장고, 세탁기를 포함한 5개 품목을 대상으로 생산자책임재활용제도(EPR: Extended Producer Responsibility)를 실행하고 있다. 2005년부터는 오디오와 이동전화단말기, 2006년부터는 프린터, 복사기, 팩시밀리를 포함시켜 10개 품목으로 대상품목이 확대되었다. 또한 2008년부터 '전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률(자원순환법)'을 통해 사용규제, 정보제공 및 회수 의무 등을 규정하여 시행하고 있다.

이러한 제도적 움직임에 따라 국내 가전회사들은 공동투자를 통해 한국전자산업환경협회(이하 협회) 산하 재활용센터(이하 R/C)를 설립하여 재활용의무대상 품목을 처리하고 있다.

재활용의무대상 품목에 대한 R/C에서의 처리는 비교적 효과적으로 이루어지고 있으나, 폐가전제품의 회수 및 재활용을 위한 물류활동은 아직도 효율적으로 수행되고 있지 않고 이에 대한 개선이 요구되고 있다. 특히, 녹색물류가 이슈가 되고 있는 현재 운송거리 절감을 통한 탄소배출량 감소노력 등 물류부문에서 환경부하를 줄이기 위한 방안도 고려되어야 한다.

본 연구에서는 폐가전제품의 재활용을 위한 주요 회수경로인 폐가전제품 수집소와 R/C를 대상으로 현재 회수물류 방법을 조사, 분석하고 기존의 폐가전제품 수집소를 대상으로 폐가전제품 공동회수모형을 제시하고 실제의 폐가전제품 입고 자료를 이용하여 공동회수모형에 대한 효과를 분석하고자 한다.

폐가전제품 재활용과 관련된 기존의 연구는 폐가전제품의 발생 방지와 재활용 촉진을 위한 정책 연구[4, 13], 폐가전제

품에 포함되어 있는 유해물질과 유가금속의 회수 등을 다룬 물질 및 처리기술을 다룬 연구[2, 11, 12], 그리고 폐가전제품의 발생 및 처리현황을 조사한 연구[8] 등의 방향으로 꾸준한 연구가 진행되어 왔다.

그러나 폐가전제품의 회수물류에 대한 연구는 최근에 들어와서 시작되었다. 폐가전제품의 회수물류와 관련하여 회수물류 관리 및 운영 현황에 대한 분석과 회수물류활동 체계별 개선방안을 제시한 연구[9], 총 운송거리가 최소화되도록 폐가전수집소의 폐가전을 처리할 최적 R/C 결정과 신규 R/C의 입지문제를 다룬 연구[5, 6], 그리고 R/C에서 운송차량을 보유한다는 가정 하에 폐가전제품 회수문제를 차량경로문제로 다룬 연구[16]가 존재한다.

공급자에서 소비자로의 전통적인 물류활동의 개선을 위해 전체 물류시스템의 설계와 물류공동화를 다룬 연구[1, 3, 10]는 많이 이루어져 있으나 폐가전제품 회수물류체계의 개선 및 공동화에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 국내의 폐가전제품 회수물류활동의 현황을 검토하고, 3장과 4장에서 폐가전제품 공동회수모형을 제시하고 분석한 후, 5장에서 결론 및 추후 연구 방향에 대해 서술한다.

II. 재활용을 위한 폐가전제품 회수물류 현황

국내에서의 폐가전제품 회수경로는 세 가지로 나누어진다. 첫 번째는 지방자치단체(이하 지자체)를 통해 회수되는 경로, 두 번째로 신제품 구입 시 판매대리점 등을 통해 생산자에 의해 회수되는 경로, 세 번째는 민간 재사용업자들이 수거하여 수리/재판매하기 위해 회수하는 경로이다.

표 1. 권역별 R/C의 처리규모
Table 1. The Capacity of regional R/C's

구분	수도권 MRC	충청권 ARC	영남권 CRC	호남권 HRC	제주권 JRC
처리 규모	253천대 /년	267천대 /년	250천대 /년	240천대 /년	29천대/ 년
설비 기동	2003년 6월	1998년 5월	2001년 7월	2008년 2월	2006년 4월

(출처 : 한국전자산업환경협회)

이 중 지자체 및 생산자로부터 회수되는 폐가전제품은 지자체의 경우 일부 물량을 자체처리 하기도 하지만 대부분의 경우 협회 산하 권역별 R/C와 협회의 민간협력업체로 운송되

어 처리된다. 현재 협회 산하 R/C는 수도권, 중부권, 영남권, 호남권, 제주권의 권역에 5개의 자동화된 R/C가 운영되고 있으며 각 R/C의 처리규모와 설비의 가동 시기는 위의 표 1과 같다.

제주권 JRC를 제외한 협회 산하 R/C의 2005년부터 2008년까지의 폐가전제품 입고자료를 이용하여 파악한 폐가전제품 수집소의 수와 팔렛 단위로 환산한 폐가전제품 입고량을 각각 표 2와 표 3에 나타내었다. 표 2와 3에서 2008년 이전의 HRC는 호남권역의 협력업체 기록이다. 표 2를 보면 2005년 이후 2007년까지 R/C로 폐가전제품을 입고시킨 폐가전제품 수집소의 수가 증가해 왔고 2008년 들어 소폭 감소하였다는 것을 볼 수 있다. 또한 각 R/C별로 폐가전제품을 입고시킨 폐가전제품 수집소의 수도 2007년까지 꾸준히 증가하다 2008년 소폭 감소하였으나 HRC의 경우에는 크게 증가했다는 것을 볼 수 있다. 이것은 2008년 협회 산하의 호남권 HRC의 설비가동의 영향이라는 것을 추측해 볼 수 있다. 폐가전제품 수집소의 수와는 달리 표 3의 R/C별 폐가전제품 입고량을 보면 2005년부터 2008년까지 폐가전제품의 입고량이 지속적으로 증가되어 왔음을 볼 수 있다.

표 2. 폐가전제품 수집소의 수
Table 2. The number of EOL goods collection centers that are assigned to regional R/C's

R/C	2005년	2006년	2007년	2008년
MRC	52	56	71	60
ARC	31	28	30	22
CRC	71	78	82	65
HRC	-	23	29	43
합계	154	185	212	190

표 3. R/C별 폐가전제품 입고량(단위 : 팔렛)
Table 3. The amount of EOL goods shipped from each EOL goods collection center to regional R/C's(Unit : pallet)

R/C	2005년	2006년	2007년	2008년
MRC	22,908	26,241	26,615	24,872
ARC	16,225	21,170	25,431	15,499
CRC	34,650	29,538	21,519	29,694
HRC	-	7,700	9,857	15,389
합계	73,783	84,649	83,421	85,453

또한 2005년부터 2008년까지 R/C별 폐가전제품 입고량을 8톤 차량을 통하여 운송했다고 가정했을 때 운송회수를 그림 1에 나타내었다. 이를 보면 월별 입고량의 편차가 존재하지만 전체적으로 운송회수가 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 8톤 차량의 월별 운송회수를 단순선형회귀모형으로 가정할 경우 월 9대 정도의 운송회수가 증가되는 추세에 있다는 것을 알 수 있다.

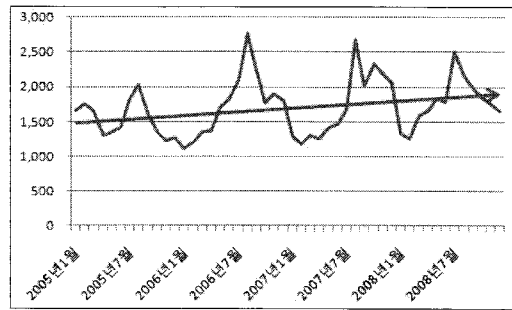


그림 1. RC로의 월별 운송회수 변화
Fig 1. The change of number of deliveries between regional R/C's and EOL goods collection center

회수 주체별 폐가전제품 입고량 비율을 그림 2에 나타내었다. 이를 보면 수도권 MRC의 경우 지자체 수집소의 폐가전제품 회수 물량이 약 30% 이고 나머지 R/C의 경우 지자체 수집소의 폐가전제품 회수 물량이 약 10% 내외인 것을 볼 수 있다. 이를 통해 R/C로 회수되는 대부분의 폐가전제품이 판매대리점 등의 생산자 회수경로를 통하여 회수된다는 것을 확인할 수 있다.

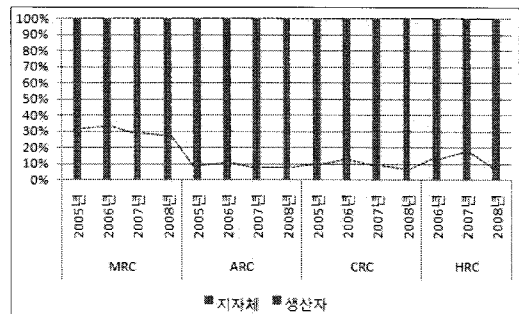


그림 2. 지자체와 생산자 폐가전제품 수집소의 R/C 입고량 비율
Fig 2. The ratio of EOL goods shipped from local authority's collection centers and manufacturer's collection centers

현재 각 R/C로 입고되는 폐가전제품의 운송은 수집소 자체 보유 차량 또는 외주 계약에 의해 이루어지고 있다. 폐가전제품의 운송에 사용되는 차량은 2.5톤에서 11톤까지의 다양한 적재용량의 차량이 이용되고 있다. 류재환(6)의 연구에 따르면 2005년 한 협력업체로 입고된 폐가전제품 운송에 사용된 차량의 종류는 2.5톤이 33%, 5톤이 51%, 8톤이 16% 그리고 11톤이 1%로 조사되어 대표적인 폐가전제품 운송차량은 2.5톤, 5톤 그리고 8톤 차량이라는 것을 알 수 있다.

그리고 폐가전제품 수집소에서 R/C로의 폐가전제품 운송은 각 수집소의 자체적인 의사결정에 의해 독자적으로 이루어지고 있다. 즉, R/C로의 운송결정은 각 수집소에 수거되어 있는 폐가전제품의 재고수준에 의해 이루어진다. 각 폐가전제품 수집소에서는 폐가전제품의 회수량이 적정수준을 넘어서게 되면 운송차량을 이용하여 그림 3에서와 같이 R/C로 직송하게 된다.

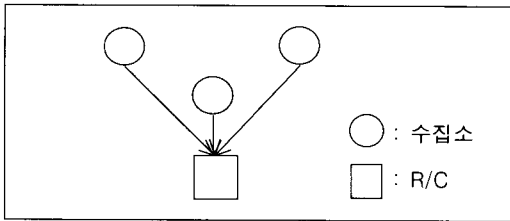


그림 3. 현재의 폐가전제품 운송방법
Fig 3. The current transportation method from collection centers to R/C's

III. 폐가전제품 공동회수모형

앞에서 언급한 것처럼 현재 각 R/C로 입고되는 폐가전제품의 운송결정은 각 폐가전제품 수집소의 독자적인 의사결정으로 이루어지며 운송방법도 차량을 통해 직송하는 방법으로 이루어진다. 이는 각 수집소에서 폐가전제품의 보관공간이 충분하다고 가정한다면, 폐가전제품의 양이 차량 1대분이 될 때 R/C로 직송하는 것이 가능해져 각 수집소 입장에서는 운송비용을 최소화 할 수 있다(6).

그러나 이러한 폐가전제품 수집소의 개별적인 운송결정으로 직송하는 방법은 전체 폐가전제품 회수체계 측면에서는 비효율적인 면이 존재한다. 즉, 각 운송차량의 적재율이 낮아질 수 있으며 따라서 전체 회수체계 측면에서 총 운송거리를 최소화 시킬 수 없다. 또한 R/C로 입고되는 폐가전제품의 양은 폐가전제품 수집소에서 운송하는 폐가전제품의 양에 따라 달라지므로 R/C에서는 처리용량이 초과되거나 유휴용량이 발

생하기도 하여 설비의 가동률의 편차를 초래하게 된다(17).

그러므로 폐가전제품의 운송체계를 향상시킬 수 있다면 폐가전제품 수집소에서 R/C로의 총 운송거리를 감소시킬 수 있으며, R/C로 입고되는 폐가전제품의 양을 분산시킴으로써 R/C에서의 설비 가동률을 일정한 수준으로 유지시킬 수 있을 것이다.

3.1 문제정의

본 연구에서는 그림 4에서와 같이 각 폐가전제품 수집소에 수집된 소량의 폐가전제품을 근처의 폐가전제품 수집소에서 모아 대량화하여 R/C로 운송하는 공동회수문제를 다룬다. 이 문제에서 수거된 폐가전제품의 양을 대량화하기 위한 새로운 공동회수설비의 입지는 고려하지 않으며 현재의 폐가전제품 수집소만을 대상으로 공동회수방안을 분석하고자 한다.

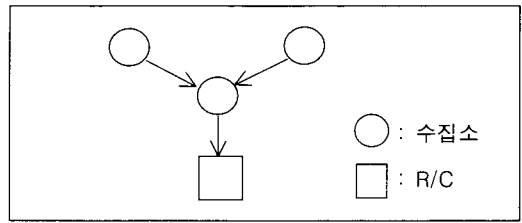


그림 4. 공동회수를 통한 폐가전제품 운송방법
Fig 4. The consolidated transportation method from collection centers to R/C's

그리고 분석의 편의성을 위해 모든 폐가전제품의 운송이 팔렛 단위로 이루어진다고 가정하며 따라서 각 폐가전제품 수집소에서 팔렛의 상하차가 원활히 수행될 수 있다고 가정한다.

3.2 수리모형

본 연구에서 고려하는 폐가전제품 공동회수문제를 정수계획으로 모형화하였다. 이 모형에 필요한 입력자료와 의사결정변수 그리고 수리모형은 다음과 같다.

입력자료:

w_i = 폐가전제품 수집소 i 에 수집되어 있는 폐가전제품의 양,

d_{ij} = 폐가전제품 수집소 i 와 j 사이의 왕복거리,

d_{0j} = R/C와 폐가전제품 수집소 j 사이의 왕복거리,

Q_j = 폐가전제품 공동회수를 위해 선택된 수집소 j 에서 사용하는 운송차량의 적재용량.

의사결정변수:

x_{ij} = 폐가전제품 수집소 i 에 수집되는 폐가전제품을 수집소 j 에서 공동회수 한다면 1, 그렇지 않으면 0,
 y_j = 폐가전제품 수집소 j 가 공동회수를 위한 수집소로 선택되면 1, 그렇지 않으면 0.

수리모형:

$$\min \sum_j d_{0j}y_j + \sum_i \sum_j d_{ij}x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j, \quad (3)$$

$$\sum_i w_i x_{ij} \leq Q_j y_j \quad \forall j, \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j, \quad (5)$$

$$y_j = 0, 1 \quad \forall j. \quad (6)$$

목적함수 (1)은 폐가전제품 수집소와 공동회수를 위한 수집소간 운송거리와 공동회수를 위한 수집소와 R/C간의 거리의 합을 최소화 한다. 제약식 (2)는 각 폐가전제품 수집소의 폐가전은 R/C로 운송되어 처리되어야 함을 나타낸다. 제약식 (3)은 폐가전제품 수집소가 먼저 공동회수 수집소로 선정이 되어야 다른 폐가전제품 수집소의 폐가전을 공동회수 처리할 수 있음을 나타낸다. 제약식 (4)는 공동회수를 위해 선택된 폐가전제품 수집소에서 처리하는 폐가전은 R/C로 폐가전제품을 운송하는 차량의 용량을 초과할 수 없음을 나타낸다. 그리고 제약식 (5)와 (6)은 의사결정변수에 대한 이진수제약이다.

IV. 결과분석

본 연구에서 고려하는 공동회수모형을 분석하기 위하여 최적화 소프트웨어인 LINDO system사의 Hyper LINDO P/C를 사용하였다.

LINDO 소프트웨어가 다룰 수 있는 최적화 모형의 크기와 최적해를 구하는데 걸리는 시간상의 문제로 제주권 JRC를 제외한 4개의 권역별 R/C 중 폐가전제품 수집소의 수가 적절한 충청권 ARC의 2005년부터 2008년까지의 폐가전제품 입고자료를 이용하여 공동회수모형의 분석을 실시하였다.

각 폐가전제품 수집소간의 거리 및 R/C와 각 폐가전제품 수집소간의 거리는 수집소와 R/C의 위도와 경도 정보를 이용하여 구한 직각거리를 사용하였다. 두 지점 간의 직각거리는

다음의 (7)번 식을 이용하여 계산하였다(15).

$$\text{직각거리} = (|\text{출발지의 위도} - \text{도착지의 위도}| \times 110996.8 + |\text{출발지의 경도} - \text{도착지의 경도}| \times 87754.2) / 1000 \quad (7)$$

충청권 ARC의 입고자료를 이용 2005년~2008년간 매년의 폐가전제품 입고량을 파악한 후 각 폐가전제품 수집소 별로 일 년 동안의 하루 평균 폐가전제품 수집량을 구하여 분석을 실시하였다.

앞에서 살펴본 것처럼 류재환(6)의 연구를 통해 대표적인 폐가전제품 운송차량이 2.5톤, 5톤, 8톤 차량이라는 것을 알 수 있으나 폐가전제품 입고자료에는 운송에 사용된 운송차량에 대한 기록은 포함되어 있지 않다. 그리고 본 논문에서 폐가전제품의 운송이 팔렛 단위로 이루어진다고 가정하고 있으므로 폐가전제품의 운송은 팔렛 단위의 운송이 용이한 5톤과 8톤 차량이 사용된다고 가정하였다.

따라서 현재의 폐가전제품 운송방법의 운송회수와 운송거리는 폐가전제품 입고기록을 토대로 5톤과 8톤 차량 중 가장 적합한 운송차량이 사용되었다고 가정하고 계산하였다.

그리고 공동회수모형에서는 폐가전제품 수집소에서 공동회수 수집소 사이 그리고 공동회수 수집소에서 R/C 사이에 각각 5톤-8톤, 8톤-8톤 차량이 사용되는 경우를 분석하였다. 또한 공동회수의 이점을 보다 더 확실하게 확인하기 위하여 공동회수 수집소에서 R/C간의 운송에 11톤 차량이 이용되는 경우에 대해서도 분석을 실시하였다. 즉, 5톤-11톤과 8톤-11톤 차량이 사용되는 경우에도 분석을 실시하였다.

2005년에서 2008년에 걸친 분석결과를 각각 운송회수와 운송거리 그리고 운송비용으로 나누어 표 4와 표 5 그리고 표 6에 제시하였다. 표 4, 표5, 표6의 두 번째 열에서 5-8은 폐가전제품 수집소에서 공동회수 수집소사이에는 5톤 차량이 사용되고 공동회수 수집소에서 R/C사이에는 8톤 차량이 사용되는 것을 나타낸다. 또한 5-11, 8-8, 8-11도 이와 마찬가지로 이다.

표 4를 보면 공동회수모형에서 5톤 또는 8톤 차량을 사용하는 경우 현행 방법에 비해 2005년에는 14.7%와 17.7%로 운송회수가 크게 증가하지만 2006년과 2007년의 경우 소폭 증가하거나 감소한 것으로 나타났다. 그리고 2008년에는 크게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 공동회수 수집소에서 R/C 사이에 11톤 차량을 사용하는 경우 2005년에는 현행 방법과 운송회수가 비슷하지만 2006년에서 2008년에는 최대 31% 감소하는 것으로 나타났다.

표 4. 현재 방법과 공동회수방법의 운송회수 비교
Table 4. Comparison of number of deliveries between the current method and the new consolidated method

년	방법	5톤	8톤	11톤	합계	증감율
2005	현행	1,491	3,415	-	4,906	-
	5-8	1,614	4,014	-	5,628	14.7%
	5-11	1,614	-	3,211	4,825	-1.6%
	8-8	-	5,725	-	5,725	16.7%
	8-11	-	1,710	3,211	4,922	0.3%
2006	현행	1,994	4,442	-	6,436	-
	5-8	1,148	5,230	-	6,378	-0.9%
	5-11	1,148	-	4,184	5,332	-17.2%
	8-8	-	6,570	-	6,570	2.1%
	8-11	-	1,340	4,184	5,524	-14.2%
2007	현행	2,261	5,413	-	7,674	-
	5-8	1,082	6,358	-	7,440	-3.1%
	5-11	1,082	-	5,086	6,168	-19.6%
	8-8	-	7,676	-	7,676	0.0%
	8-11	-	1,318	5,086	6,404	-16.5%
2008	현행	2,020	3,069	-	5,089	-
	5-8	409	3,875	-	4,284	-15.8%
	5-11	409	-	3,100	3,509	-31.0%
	8-8	-	4,832	-	4,832	-5.0%
	8-11	-	957	3,100	4,057	-20.3%

총 운송거리를 비교한 결과는 표 5에 제시하고 있다. 운송회수와는 달리 총 운송거리에서는 2005년에서 2008년까지 공동회수모형의 모든 방법에서 현재의 방법보다 운행거리가 감소하는 것으로 나타났다. 즉 5톤 및 8톤 차량을 사용하는 경우 9.6%에서 34%까지 운송거리가 감소하며 11톤 차량을 사용하는 경우 23.4%에서 45.7%까지 운송거리가 감소한다.

폐가전제품 운송에 사용된 차량과 마찬가지로 R/C의 입고 기록에는 비용에 대한 정보는 포함되어 있지 않다. 따라서 차량운행에 대한 비용은 기존의 연구[5]에서 사용한 비용을 동일하게 적용하여 운송비용을 계산하였다. 적용한 차량운행에 대한 변동비와 고정비는 5톤 차량이 800(원/km)와 44,000(원/회수), 8톤 차량이 1,105(원/km)와 49,045(원/회수) 그리고 11톤 차량이 1,260(원/km)와 58,360(원/회수)이다. 총 운송비용을 비교한 결과는 표 6에 제시하였다. 총 운송비용의 경우 공동회수모형에서 5톤 및 8톤 사용 시 현행 대비 2005년 4.2%, 1.5% 감소, 2006년과 2007년 약 6~7% 감소 2008년 10% 이상 감소되는 것으로 나타났다. 그리고 11톤 차량을 사용하는 경우 최소 16.8%에서 최대

28.8% 총 운송비용이 감소하는 것으로 나타났다.

표 5. 현재 방법과 공동회수방법의 총 운송거리 비교(단위 :km)
Table 5. Comparison of total traveling distance between the current method and the new consolidated method(unit : km)

년	방법	5톤	8톤	11톤	합계	증감율
2005	현행	267,244	727,411	-	994,655	-
	5-8	208,793	690,843	-	899,636	-9.6%
	5-11	208,793	-	552,674	761,467	-23.4%
	8-8	-	860,692	-	860,692	-13.5%
	8-11	-	173,401	549,832	723,234	-27.3%
2006	현행	335,303	919,021	-	1,254,323	-
	5-8	93,461	982,712	-	1,076,174	-14.2%
	5-11	93,461	-	786,170	879,631	-29.9%
	8-8	-	1,057,958	-	1,057,958	-15.7%
	8-11	-	99,056	767,122	866,178	-30.9%
2007	현행	347,504	1,044,734	-	1,392,238	-
	5-8	81,836	1,140,681	-	1,222,517	-12.2%
	5-11	81,836	-	912,544	994,381	-28.6%
	8-8	-	1,191,864	-	1,191,864	-14.4%
	8-11	-	82,396	887,575	969,970	-30.3%
2008	현행	292,125	466,479	-	-	-
	5-8	61,586	549,076	-	-	-19.5%
	5-11	61,586	-	439,261	439,261	-42.2%
	8-8	-	585,234	-	-	-34.6%
	8-11	-	111,258	376,780	376,780	-45.7%

표 4에서 표 6의 운송회수, 운송거리, 운송비용을 비교한 결과를 보면 2005년 보다는 2006년~2008년의 공동회수모형의 효과가 더 좋으며, 특히 2008년의 결과가 가장 좋게 나타났다. 이는 폐가전제품 수집소의 수와 폐가전제품 입고량으로 설명할 수 있다(표 2와 표 3 참고). 아래의 표 7은 폐가전제품 수집소 당 폐가전제품 입고량을 나타내고 있다. 이를 보면 2005년의 폐가전제품 수집소 당 폐가전입고량이 가장 적다는 것을 볼 수 있으며, 폐가전제품 수집소 당 폐가전입고량이 많아질수록 공동회수모형의 효과가 더 크다는 것을 볼 수 있다. 그러나 2008년의 경우 2006년과 2007년 보다 폐가전제품 수집소 당 폐가전입고량이 적지만 효과는 가장 좋게 나타났다. 이것은 2008년 설비가동을 시작한 협회 산하 호남권 HRC의 영향으로 볼 수 있다. 즉, 2008년 이전에는 충청권 ARC에서 처리했던 호남권역의 폐가전제품이 2008년 호남권 HRC에서 처리하게 되면서 나타난 영향으로 생각할 수 있다.

표 6. 현재 방법과 공동회수방법의 총 운송비용 비교(단위 : 백만원)
Table 6. Comparison of total transportation cost between the current method and the new consolidated method(unit : one million Korean won)

년	방법	고정비	변동비	총비용	증감율
2005	현행	233	1,018	1,251	-
	5-8	268	930	1,198	-4.2%
	5-11	229	778	1,006	-19.5%
	8-8	281	951	1,232	-1.5%
	8-11	241	799	1,041	-16.8%
2006	현행	306	1,284	1,589	-
	5-8	307	1,161	1,468	-7.7%
	5-11	256	943	1,199	-24.5%
	8-8	322	1,169	1,491	-6.2%
	8-11	271	957	1,228	-22.7%
2007	현행	365	1,432	1,797	-
	5-8	359	1,326	1,685	-6.2%
	5-11	297	1,074	1,371	-23.7%
	8-8	376	1,317	1,693	-5.8%
	8-11	314	1,072	1,386	-22.9%
2008	현행	239	749	989	-
	5-8	208	656	864	-12.6%
	5-11	170	535	705	-28.7
	8-8	237	647	884	-10.6
	8-11	199	543	742	-25.0%

표 7. 폐가전제품 수집소 당 폐가전제품 입고량
Table 7. The amount of EOL goods shipped from EOL goods collection centers per EOL goods collection center

2005년	2006년	2007년	2008년
518	747	847	705

분석결과를 종합해보면 폐가전제품 회수물류에 공동회수 모형을 적용하는 것이 현재의 개별적인 직송방법에 비해 운행 거리와 비용을 절감시킬 수 있다. 구체적으로 5톤 및 8톤 차량 사용 시에 폐가전제품 수집소와 공동회수 수집소간 그리고 공동회수 수집소와 R/C간에 각각 5톤 차량과 8톤 차량을 사용하는 것이 효과적이며, 11톤 차량을 사용 시 폐가전제품 수집소와 공동회수 수집소간 그리고 공동회수 수집소와 R/C간에 각각 5톤 차량과 11톤 차량을 사용하는 것이 가장 효과적이다. 그리고 수집소 당 폐가전제품 회수량이 많을수록 공동회수모형의 이점이 더 크다는 것을 알 수 있다.

V. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 폐가전제품 수집소와 R/C간의 폐가전제품 운송을 위해서 총 운행거리를 최소화할 목적으로 현 수집소들 중 일부를 공동회수 수집소로 이용하는 모형을 수립하고 충청권 ARC의 2005년~2008년 입고자료를 바탕으로 분석을 수행하였다. 분석결과 공동회수모형으로 총 운행거리의 약 10%~45%, 그리고 총 운송비용의 약 1.5%~25%를 감소시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 충청권 ARC만의 입고자료를 이용하여 공동회수모형을 분석하였다. 따라서 앞으로 더 많은 폐가전제품 수집소를 포함하는 다른 R/C에 대한 분석의 수행이 필요하며, 이를 위해서는 더 많은 폐가전제품 수집소를 다룰 수 있는 해법의 개발이 필수적이라고 하겠다.

또한 효율적인 폐가전제품 회수물류체계를 갖추기 위해 공동회수모형을 포함한 여러 가지 시나리오 분석이 필요하며, 최근에 이슈가 되고 있는 녹색물류를 배려하기 위한 연구도 이루어져야 하겠다.

참고문헌

- [1] 권방현, "전자상거래상의 다단계 분배체계의 물류공동화를 위한 비용구조에 관한 연구," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제12권, 제3호, 203-212쪽, 2007년 12월.
- [2] 김기현, 김성훈, 김규연, 이원영, 권오상, "국내 폐전기 · 전자제품 조성비율과 폐기량 변화의 예측," 한국폐기물학회 춘계학술연구회발표논문집, 317-319쪽, 2008년 5월.
- [3] 김병찬, 양대용, "재고통제 운용전략이 물적분배시스템 운용비용에 미치는 영향에 관한 연구," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제11권, 제2호, 295-301쪽, 2006년 5월.
- [4] 김태용, 이만형, "자원순환체계를 위한 폐전기 · 전자제품 관리방안과 정책과제," 환경정책, 제13권, 제1호, 71-90쪽, 2005년 6월.
- [5] 김현수, 류재환, 홍민선, 임석철, "폐가전제품 회수물류 네트워크 최적화," IE Interfaces, 제20권, 제2호, 154-161쪽, 2007년 6월.
- [6] 류재환, "폐가전 제품 회수 물류체계 효율화 연구," 석사학위논문, 아주대학교, 2007년 2월.
- [7] 민달기, "국내 3대 가전제품의 자원순환에 관한 연구," 환

- 경관리학회지, 제13권, 제1호, 9-15쪽, 2007년 3월.
- [8] 민달기, "국내 3대 가전제품의 유통구조에 관한 연구," 한경관리학회지, 제13권 제1호, 1-8쪽, 2007년 3월.
- [9] 장태우, 김현수, "가전산업 회수물류 현황 분석 및 선진화 방안 연구," 한국SCM학회지, 제9권, 제1호, 117-126쪽, 2009년 5월.
- [10] 정기호, 정원재, "택배산업의 효율적 공동수배송을 위한 수리적 모형 개발에 관한 연구," 물류학회지, 제18권, 제2호, 131-147쪽, 2008년 6월.
- [11] 정다위, 황중연, 이동진, 최훈근, 최현진, "폐전기 · 전자제품종 증금속 함유 실태조사," 한국폐기물학회 춘계 학술연구회발표논문집, 112-114쪽, 2008년 5월.
- [12] 정진기, 김민석, 김병수, 유재민, 이재천, "폐가전제품 재활용 기술의 국내 현황," 응용화학, 제11권, 제2호, 590-593쪽, 2007년 11월.
- [13] 채경아, "한국의 폐가전제품 처리제도 개선에 관한 연구," 석사학위논문, 연세대학교, 2008년 8월.
- [14] 한국전력거래소, "가전기기 보급률 및 가정용 전력소비 행태조사," 2006년 12월.
- [15] Moritz, H., "Geodetic Reference System", Journal of Geodesy 54, 1980.
- [16] Kim, H.S, Yang, J.H. and Lee, K.D., "Vehicle routing in reverse logistics for recycling end-of-life consumer electronic goods in South Korea," Transportation Research Part D, Vol. 14, No. 5, pp. 291-299, July 2009.
- [17] Kim, H.S. , Han, D.H., Choi, Y.J., Jeong, H.J., and Choi, J.W., "Simulation Analysis of Recycling Process of End-of-Life Consumer Electronic Appliances Adopting RFEI Technology in Korea," Proceeding of the 4th International Congress on Logistics and SCM Systems, 2008.

Acknowledgement

본 논문은 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원 (과제번호 R&D/07교통체계-물류04)에 의해 수행되었습니다. 이에 관계자 제위께 감사드립니다.

저자 소개



허태영

경기대학교 산업공학 공학사
경기대학교 산업공학 공학석사
현재: 경기대학교 대학원 산업공학과
박사과정
관심분야: 최적화, 물류관리



원중연

서울대학교 산업공학 학사
서울대학교 산업공학 석사
서울대학교 산업공학 박사
현재: 경기대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 최적화, 물류관리



김현수

성균관대학교 공학사
The Ohio State Univ. 공학석사
The Ohio State Univ. 공학박사
현재: 경기대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: e-SCM, Reverse
Logistics, 생산시스템



한대희

경기대학교 산업공학 공학사
경기대학교 산업공학 공학석사
경기대학교 산업공학 공학박사
현재: 경기대학교 산업경영공학과 선
임연구원
관심분야: 품질경영, 환경경영, 물류
시스템, RFID 응용



한우철

건국대학교 산업공학 공학박사
현재: 대림대학 산업경영과 교수
관심분야: 품질경영시스템, 경영정보
시스템