

# 공로 화물자동차의 통행행태 분석에 관한 연구

## - 통행사슬 분석을 중심으로 -

### An Analysis on Truck Vehicle Trip Chaining

#### 성 홍 모

(한국교통연구원 연구원)

#### 김 진 돈

(한국교통연구원 연구원)

#### 정 철

(서울산업대학교 박사과정)

#### 김 찬 성

(한국교통연구원 책임연구원)

#### 목 차

##### I. 서론

##### II. 문헌연구

1. 개요
2. 운행효율성측정 지표 고찰
3. 선행연구 고찰
4. 본 연구의 차별성

##### III. 분석자료의 특성

1. 자료의 개요
2. 통행사슬 분석

##### IV. 모형의 설정과 추정결과분석

1. 모형의 설정
2. 모형의 추정결과
3. 분석결과의 시사점

##### V. 결론 및 향후연구과제

##### 참고문헌

## I. 서론

우리나라 화물차 이용은 경제규모가 커지고 화물의 이동특성이 다양화됨에 따라 규모와 이용 면에서 빠른 속도로 변모하고 있다. 자가용 화물차 증가와 더불어 영업용 화물차 증가도 예외는 아니어서 소비자의 기호를 맞추고 영업성과를 높이기 위해 점차 변화하고 있는 추세이다. 우리나라 전체 물동량의 대부분을 수송하고 있는 화물차는 우리의 생활과도 밀접하게 관련되어 있다. 예컨대 화물연대파업 및 택배화물 수송증가 등은 실생활에 직간접적인 영향을 주는 사례라고 할 수 있다.

이러한 중요성과 변화추세에 발맞춰 정부는 화물자동차의 적정한 공급과 관리를 위해 화물차 운송시장을 주기적으로 모니터링하고 있다(교통연구원, 2005). 하지만 외국에서는 이미 10년 전부터 이러한 모니터링을 주기적으로 수행해 오고 있지만 우리나라는 최근에 시행되어 비교적 출발이 늦었다 할 수 있다. 다만 화물차

동차 운행효율성 파악을 위한 설문조사항목과 분석내용에 있어서는 외국과 비교하여 크게 차이를 드러내지는 않고 있다. 공차거리율 등이 영국과 프랑스에서 일반적으로 사용되고 있는 효율성 지표인데 우리의 경우 총통행수, 적재통행수, 공차통행수, 총통행시간, 적재통행시간, 공차통행거리, 적재통행거리, 공차통행거리, 적재효율 지표등 보다 다양한 지표가 활용되고 있다.

그러나, 화물차 통행을 단순한 기술통계를 넘어서 통행이나 아니면 복잡한 화물차의 여정(itinerary)이 고려되었는가에 따라 운행의 효율성이 논의된다면 더욱 의미 있는 분석이 될 것이다. 즉, 단순히 공장이나 창고에서 수하지까지 트럭을 이용하여 화물을 보내고 통행을 완결하는 단순한 통행사슬(Trip chain)과 공장이나 창고에서 여러 수하지를 경유하고 통행을 완결하는 통행사슬(Trip chain)은 운행효율성 면에서 현저히 달라지기 때문이다. 물류정책적 측면에서 더욱 의미 있는 것은 단순한 통행사슬보다 복잡

한 통행사슬을 형성하면서 같은 적재효율을 달성한 후자의 통행이 더욱 의미가 있을 것이다.

여객통행의 경우 토지이용정책에 따른 통행행태(통행발생률, time use, 자동차 보유율)의 변화를 이해하고 토지이용정책에 활용하고 있다. 따라서 여객통행의 경우 통행사슬에 대한 여러 사례연구들이 누적되었지만 화물통행에 대해서는 연구들이 저조한 상태이다.

이에 본 논문의 목적은 통행사슬에 미치는 영향요인을 운행효율성지표로 산정하여 논의하고, 화물차의 효율성 증대방안을 강구하는데 있다. 이러한 목적 하에 본 논문의 구성은, 제1장에서 연구의 배경과 목적을 논의하였고 제2장에서 화물자동차의 운행 효율성을 진단하는데 사용되는 지표들과 국내외 사례를 통해 우리나라 화물자동차의 운행 효율성 정도를 진단한다. 분석부문에 해당하는 제3장에서는 우리나라의 화물차 효율성 진단을 위해 사용되는 자료의 특성과 분석방법론을 살펴보고, 제4장에서 분석 결과를 논의한다. 마지막으로 결론과 본 연구의 한계점과 향후 우리나라에서 연구 가능한 주제들을 제시한다.

## II. 문헌연구

### 1. 개요

문헌연구부문은 크게 세부분으로 구성된다. 첫째, 일반적으로 사용되는 화물자동차 운행 효율성 지표들이 정리된다. 둘째, 우리나라뿐만 아니라 외국에서 분석된 운행효율성 결과와 통행사슬연구를 소개한다. 마지막은 우리에게 주는 시사점과 본 연구에서 시도하는 방법의 차별성을 언급한다.

### 2. 운행효율성 지표 고찰

화물자동차의 운행 효율성 지표는 하루 동안의 통행기록을 기준으로 통행수, 통행거리, 통행율, 거리율, 적재율, 시간율, 적재효율 등으로 구분한다(한국교통연구원, 2005). 이에 대한 정의와 산출방식은 아래의 <표 1>와 같다. 크게 네가지 관점으로 구분하여 정의될 수 있는데,

각각 통행관점, 거리관점, 시간관점 그리고 적재효율관점이다. 적재통행율은 화물자동차의 총 통행수 중에서 적재상태의 통행비율을, 공차통행율은 화물자동차의 총 통행수 중에서 공차상태의 통행비율을 말한다. 적재거리율은 화물자동차의 총 통행거리 중에서 적재상태의 통행거리비율로 정의할 수 있으며, 공차거리율은 화물자동차의 총 통행거리 중에서 공차상태의 통행거리비율로 설명되어진다. 평균적재율은 화물자동차의 적재통행시 적재능력에 대한 실제 적재한 중량의 비율로 정의되어지며, 적재효율은 화물자동차의 총 통행수 중에서 적재상태의 통행비율이라 할 수 있다.

<표 1> 화물차 통행의 운행효율성 지표

| 구분    |        | 정의 및 산출식   |
|-------|--------|--|
| 통행률   | 적재 통행율 | 총 통행수 중에서 적재상태의 통행비율<br>$\text{적재통행율} = \frac{LTP}{STP} \times 100$ LTP : 1일 적재통행수<br>STP : 1일 총통행수                          |
|       | 공차 통행율 | 총 통행수 중에서 공차상태의 통행비율<br>$\text{공차통행율} = \frac{UTP}{STP} \times 100$ UTP : 1일 공차통행수<br>STP : 1일 총통행수                          |
| 거리율   | 적재 거리율 | 총 통행거리 중에서 적재상태의 통행거리비율<br>$\text{적재거리율} = \frac{LDT}{SDT} \times 100$ LDT : 1일 적재통행거리<br>SDT : 1일 총 통행거리                    |
|       | 공차 거리율 | 총 통행거리 중에서 공차상태의 통행거리비율<br>$\text{공차거리율} = \frac{UDT}{SDT} \times 100$ UDT : 1일 공차통행거리<br>SDT : 1일 총 통행거리                    |
| 시간율   | 적재 시간율 | 총 통행시간 중에서 적재상태의 통행시간비율<br>$\text{적재시간율} = \frac{LTM}{STM} \times 100$ LTM : 1일 적재통행시간<br>STM : 1일 총 통행시간                    |
|       | 공차 시간율 | 총 통행시간 중에서 공차상태의 통행시간비율<br>$\text{공차시간율} = \frac{UTM}{STM} \times 100$ UTM : 1일 공차통행시간 STM : 1일 총 통행시간                       |
| 평균적재율 |        | 적재통행시 적재능력에 대한 실제 적재한 중량의 비율<br>$\text{평균적재율} = \frac{\sum_i LD_i / LTP}{CAPA} \times 100$ LD <sub>i</sub> : 1일 적재통행 i의 적재톤수 |

|      |   |
|------|---|
|      | $LTP = 1$ 일적재통행수<br>$CAPA =$ 화물자동차의 적재능력  |
| 적재효율 | 총 통행수 중에서 적재상태의 통행비중<br>$\frac{\sum(LD_i \times DT_i)}{CAPA \times SDT} \times 100$ |
|      | $LD_i = 1$ 일 적재통행 $i$ 의 적재톤수  |
|      | $DT_i = 1$ 일 적재통행 $i$ 의 적재통행거리  |
|      | $CAPA =$ 화물자동차의 적재능력  |
|      | $SDT = 1$ 일 총 통행거리  |

### 3. 선행연구 고찰

#### 1) 화물자동차 운행 특성 사례연구

본 연구에 앞서 기존에 화물자동차의 운행 특성에 대하여 교통안전공단(2005), 도로교통통계연보(2006), 한국교통연구원(1997, 2002, 2006)의 연구 사례를 통하여 업종별 및 적재능력별로 어떠한 특성이 나타나는지 살펴보았다.

<표 2> 화물자동차 업종별 적재능력별 1대당 1일 평균 주행거리

|        |  | 구분    |    | 자가용    | 영업용    |
|--------|--|-------|----|--------|--------|
| 화<br>물 |  | 소계    |    | 64.78  | 149.13 |
|        |  | 일반형   | 소계 | 66.29  | 155.04 |
|        |  | 1톤 이하 | 소형 | 63.77  | 107.26 |
|        |  | 5톤 미만 | 중형 | 80.93  | 160.24 |
|        |  | 5톤 이상 | 대형 | 107.37 | 259.80 |
|        |  | 덤프형   | 소계 | 39.74  | 56.73  |
|        |  | 1톤 이하 | 소형 | 36.65  | 51.86  |
|        |  | 5톤 미만 | 중형 | 44.92  | 56.12  |
|        |  | 5톤 이상 | 대형 | 48.98  | 75.18  |
|        |  | 밴형    | 소계 | 61.56  | 90.21  |
|        |  | 1톤 이하 | 소형 | 61.52  | 90.22  |
|        |  | 5톤 미만 | 중형 | 65.22  | 87.56  |
|        |  | 5톤 이상 | 대형 | 82.20  | -      |
|        |  | 특수용도형 | 계  | 71.51  | 141.50 |

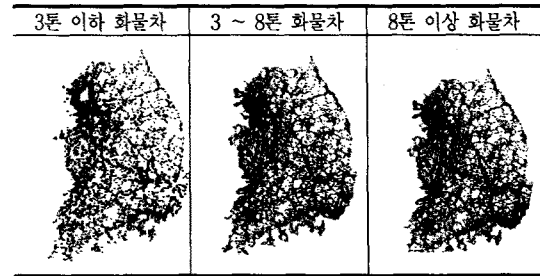
자료 : 교통안전공단(2005)

교통안전공단에서 수행한 자동차 주행거리 조사의 결과를 보면 화물자동차 업종별 적재능력별 1대당 1일 평균 주행거리는 특수용도형 화물자동차를 제외하고 일반형 화물차의 평균 주행거리가 자가용 66.29km, 영업용 155.04km로 가장 긴 것으로 나타났다.

그리고 소형화물차에서 대형화물차로 갈수록 평균 주행거리가 길게 나타난다. 자가용 보다는 영업용 화물자동차의 평균 주행거리가 길게 나타나는 현상은 모든 차종에서 나타나고 있다. 이는 자가용 화물차보다는 영업용 화물차가 소

형화물차 보다는 대형화물차가 주로 장거리 운행에 사용된다고 볼 수 있다.

<표 3> 화물자동차의 적재능력별 통행경로



자료 : 도로교통통계연보(2006)

<표 3>은 2006년 도로교통통계연보 자료를 바탕으로 화물자동차의 톤급별 경로특성을 지도위에 형상화한 결과를 나타낸 것이다. <표 3>과 같이 3톤 이하의 소형 화물자동차는 수도권과 부산지역등 대도시 권역에 편중된 것을 볼 수 있고 3~8톤의 중형 화물자동차는 대도시 권역 뿐 아니라 일부 지역간 통행도 나타난 것을 볼 수 있다.

이와 다르게 대형 화물자동차는 일부 차량만 도시권에서 이동하고 대부분이 지역간 통행에 편중된 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 <표 2>의 결과와 유사한 것으로 소형 화물차는 통행거리가 짧게 대도시 권역에 집중되고 대형 화물차는 장거리로 지역간 통행에 집중되는 것으로 볼 수 있다.

#### 2) 운행효율성 관련 사례연구

우리나라에서 2005년 수행된 제3차 전국물류현황조사의 결과를 요약해 보면 다음과 같다. 먼저 화물자동차의 1일 통행특성을 살펴보면 1일 평균 통행수는 2.64회이며, 이 중 적재통행은 1.60회, 적재통행율은 60.63%이다. 1일 평균 적재통행시간은 107.01분, 공차통행시간은 65.82분이며, 적재시간율은 61.55%, 공차시간율은 38.45%이다. 1일 평균 적재통행거리는 79.24km, 공차통행거리는 52.16km이며 적재거리율은 61.42%, 공차거리율은 38.58%이다.10

한편, 전체 화물자동차의 평균적재율은 69.19%이며 적재율에 통행거리 개념을 추가한 적재효율(capacity utilization)은 42.62%이다. 전체 화물자동차의 통행당 평균특성을 살펴보면,

통행당 적재통행거리는 49.60km이고 통행당 공차통행거리는 50.42km, 통행당 적재통행시간은 66.02분이며 통행당 공차통행시간은 63.05분임. 또한, 통행당 적재중량은 평균 2.46톤인 것으로 나타났다(한국교통연구원, 2006).

반면, 영국과 프랑스에서도 우리나라와 같은 화물자동차 운행실태조사를 주기적으로 수행하고 있다. 표본의 크기, 응답률 등에 대한 보다 자세한 내용은 정승주(2006)가 소개하고 있다. 조사결과에서 우리나라와 비교 가능한 지표는 공차거리율이 비교대상이 될 수 있다. 영국에서 발행하는 국가통계(Transport Statistics Bulletin, 2004)에 따르면 3.5톤 이상의 화물차 전체에 대해서 26.8%를 나타냈지만 영업용과 자가용을 이용한 산업별로는 15~43%에 이르기까지 다양한 것으로 나타났다. 프랑스(Le Trafic el 2003)의 경우는 취급하는 품목과 화물차 유형별로 20~40%까지 큰 폭을 나타내고 있다.

<표 4> 영국의 차량유형별 공차율 및 적재율

|                      |         | 단위 : (%) |      |      |      |
|----------------------|---------|----------|------|------|------|
| 구분                   |         | 2001     | 2002 | 2003 | 2004 |
| 일반<br>중대형트럭<br>(공차율) | 모든 트럭   | 27.2     | 27.6 | 27.9 | 27.7 |
|                      | 트레일러트럭  |          |      |      |      |
|                      | 3.5~33톤 | 20.1     | 22.3 | 21.0 | 21.0 |
|                      | 33톤 이상  | 26.7     | 25.9 | 25.9 | 26.5 |
|                      | 모든 트레일러 | 25.5     | 25.3 | 25.2 | 25.8 |
| 중대형트럭<br>(적재율)       | 모든 트럭   | 26.4     | 26.5 | 26.5 | 26.8 |
|                      | 트레일러트럭  |          |      |      |      |
|                      | 3.5~33톤 | 4.6      | 4.5  | 4.3  | 4.1  |
|                      | 33톤 이상  | 6.4      | 6.2  | 6.0  | 6.0  |
|                      | 모든 트레일러 | 6.2      | 6.0  | 5.8  | 5.9  |
|                      | 모든 트럭   | 5.9      | 5.8  | 5.7  | 5.7  |

<표 5> 영국의 산업업종별 공차율

|             |                      | 단위:%        |            |          |
|-------------|----------------------|-------------|------------|----------|
| 사업유형        |                      | 차종          |            |          |
|             |                      | 일반<br>중대형트럭 | 트레일러트<br>럭 | 모든<br>트럭 |
| 영업용         |                      | 30.2        | 25.2       | 27.0     |
| 자<br>가<br>용 | 농림수산업                | 28.8        | 37.8       | 31.7     |
|             | 전력가스 및 수도            | 42.8        | 38.0       | 41.7     |
|             | 제조업, 광업              | 26.8        | 30.7       | 28.1     |
|             | 건설업                  | 43.6        | 35.5       | 43.3     |
|             | 도소매업, 음식점 및 숙박       | 24.0        | 23.8       | 23.9     |
|             | 운수 및 보관              | 13.1        | 20.2       | 15.8     |
|             | 금융 및 보험              | 28.5        | 33.7       | 29.3     |
|             | 공공행정, 국방,<br>교육 및 보건 | 46.2        | 52.8       | 46.6     |
|             | 사회 및 기타 서비스          | 16.9        | 47.0       | 19.6     |
|             | 모든 사업유형              | 27.7        | 25.8       | 26.8     |

### 3) Trip Chain관련 사례연구

여객의 경우 Trip Chain에 관한 연구가 상당히 누적된 상태이다. Strathman, Pendyala 등이 대표적인 사례연구들이다. 반면 화물의 경우 사례연구를 거의 찾아보기 힘들다. 최근에 연구가 조금씩 이루어지고 있는데, 사례연구로서 Holguin-Veras (2005)는 사업용 화물차에 대한 Trip Chain연구를 수행한바 있다. 그는 차량 형태와 통행 목적에 따른 통행행태를 trip chain 관점에서 계량경제 모형과 통계적 해석을 통하여 분석하였다. 분석 결과에 의하면 chain 수가 증가할수록 목적 통행의 횟수가 감소하며, 특히 다른 차종에 비하여 화물차에서 이러한 특성이 두드러졌다. 또한 화물차량은 다른 차량에 비하여 귀가하는 통행의 비율이 낮았으며, 출퇴근의 용도등 여객통행의 기능도 병행되어지는 것으로 나타났다. Holguin-Veras (2003)는 trip chain 모형을 통하여 공차통행을 모형화하는 연구를 수행하였다. 기본적으로 trip chain의 순서에 따fms 공차통행 조사자료를 가지고 확률적으로 도출하는 연구를 수행하였다. Figliozzi(2006)은 영업용 차량의 통행 행태를 유형화하여 VKT(vehecle kilometer traveled)자료를 가지고 모형을 해석 및 분석하였다. 그에 따르면 서비스 지역 및 통행 유형에 따라 평균 통행거리와 통행분포의 형태가 결정되어질수 있다는 결론을 도출하였다.

### 4. 본 연구의 차별성

앞서 살펴본 기존 사례 연구들과 비교하여 본 연구가 갖는 차별성은 다음과 같다. 첫째, 화물자동차의 trip chain을 여러 단계의 유형으로 구분하여 분석의 정밀성을 높였는데, 단순형 chain에서 복잡한 chain까지 유형을 구분하여 분석을 수행하였다. 둘째, 여러 운행특성 지표들이 통행사슬에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 업종(자가용/영업용)과 화물차 톤급 등을 변수로 놓고 통행사슬과의 상관성을 분석하였다. 이를 위한 분석의 모형으로는 ordered response 모형이 사용되었다.

### III. 분석자료의 특성

## 1. 자료의 개요

세계 각국이 물류조사를 주기적으로 수행함으로써 국가물류와 기업물류의 흐름이 원활하게 이루어지도록 유도하고 있다. 우리나라의 물류조사의 경우도 교통체계효율화법에 제시되어 있는 국가교통조사로서 전국 화물기종점 통행량 조사를 위한 조사방법을 설계하고 조사 작업을 수행하며, 교통수요분석 작업을 수행하기 위한 기초자료를 구축하는 것을 목적으로 하고 있다. 보다 구체적으로는 물류조사를 통하여 제시되는 전국 지역간 화물기종점통행량(O/D)은 국가교통DB의 가장 핵심적인 분야로서 국가간교통망계획, 중기교통시설투자계획, 고속도로 및 기타 교통관련 사회간접자본시설의 배치계획과 복합화물터미널 등 물류시설의 입지계획과 같은 각종 교통계획수립 및 정책분석의 기초자료로 활용하고 있다. 1996년 제1차 전국물류조사가 수행된 이래로 2001년 제2차 물류조사가 이루어졌고, 2005년에는 제3차 물류조사가 이루어진 바 있다. 사업체 조사중 화물차 운전자를 대상으로 화물자동차 운행실태조사가 이루어지는데, 여객의 통행일지를 조사하는 실태 조사와 유사하다.

아래의 표와 같이 조사된 화물자동차는 총 13,000대로서 적재능력별 차량대수는 1톤 이하의 소형화물차가 6,708대로 전체의 51.6%를 차지하여 가장 많다.

<표 6> 전체 화물자동차의 적재능력별 분석대수

| 구분        | 차량대수   | 비율(%)  |
|-----------|--------|--------|
| 1톤이하      | 6,708  | 51.6%  |
| 1톤초과~3톤이하 | 2,774  | 21.3%  |
| 3톤초과~8톤미만 | 2,053  | 15.8%  |
| 8톤이상      | 1,465  | 11.3%  |
| 합계        | 13,000 | 100.0% |

## 2. 통행사슬(trip chain) 분석

### 1) Trip Chain

Trip chain은 여러 가지 유형으로 분류할 수 있다. 단순히 (i)지역에서 (j)지역으로 화물을 적재하고, (j)지역에서 (i)로 되돌아오는 통행의 경우는 매우 단순한 통행이다. (i)지역에서 (j,.....)

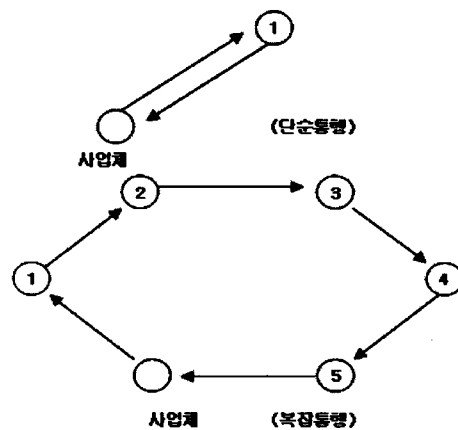
지역으로 화물을 적재와 공차통행을 반복하여 수행하는 통행도 가능하다. 본 연구는 다음과 같은 가정하에 통행의 복잡성 정도에 따라 순위를 부여하였다. 0으로 코드화한 단순형 chain에서 4로 코딩한 복잡한 chain은 표본수는 아래와 같이 정리된다. 평균통행수, 통행거리, 통행시간, 적재효율 등이 chain의 유형에 따라 다르게 나타나고 있다.

0' 매우 단순통행으로서 통행횟수가 2이하인 경우  
 '1' 단순통행보다 다소 복잡해진 통행으로서 통행횟수가 3~5인 경우

'2' 조금 복잡통행으로서 통행횟수가 6~8인 경우

'3' 여행 스케줄을 신중하게 짜야하는 복잡한 통행으로서 통행횟수가 9~11인 경우

'4' 여행 스케줄을 신중하게 짜야하는 매우 복잡한 통행으로서 통행횟수가 12회 이상인 경우



<그림 1> 단순 및 복잡통행 사슬

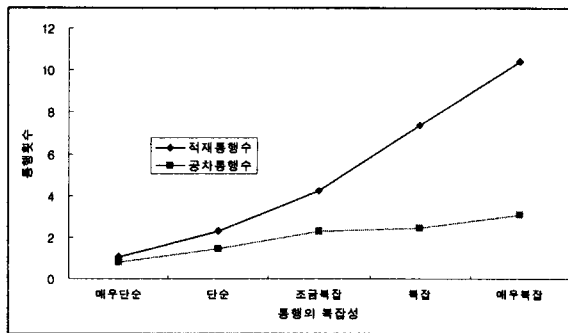
통행사슬에 대한 분석결과를 살펴보면, 적재능력이 작을수록 복잡통행의 비중이 높은 것으로 나타났다. 또한, 통행이 복잡해질수록 공차통행수는 변화가 작은 반면, 적재통행수의 변화가 커짐을 알 수 있었다. 또한 공차통행시간, 적재통행거리, 공차통행거리는 변화가 크지 않는 반면, 적재통행시간은 타 지표에 비하여 상대적으로 변화가 있음을 알 수 있다. 통행사슬이 복잡해질수록 평균적재율, 적재효율은 큰 변화가 없는 반면, 적재능력과 적재통행거리율과 공차통행거리율은 각각 증가 및 감소하는 경향을 보였다.

<표 7> 화물차 적재능력별 통행사슬

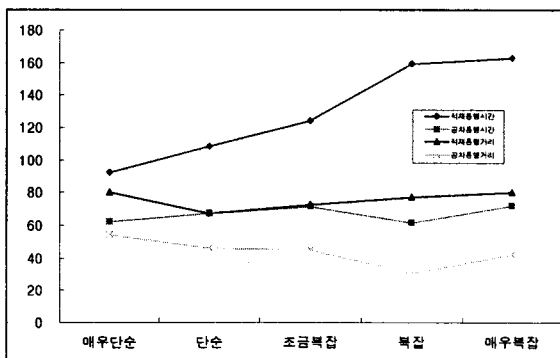
| 구분   | 1톤이하 |        | 1톤~3톤 |        | 3톤~8톤 |        | 8톤 이상 |        |
|------|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|      | 표본수  | 비율 (%) | 표본수   | 비율 (%) | 표본수   | 비율 (%) | 표본수   | 비율 (%) |
| 매우단순 | 4410 | 65.74  | 1792  | 64.60  | 1402  | 68.29  | 1076  | 73.45  |
| 단순   | 1969 | 29.35  | 842   | 30.35  | 545   | 26.55  | 323   | 22.05  |
| 조금복잡 | 265  | 3.95   | 103   | 3.71   | 80    | 3.90   | 36    | 2.46   |
| 복잡   | 42   | 0.63   | 31    | 1.12   | 14    | 0.68   | 13    | 0.89   |
| 매우복잡 | 22   | 0.33   | 6     | 0.22   | 12    | 0.58   | 17    | 1.16   |
| 합계   | 6708 | 100.0  | 2774  | 100.0  | 2053  | 100.0  | 1465  | 100.0  |

<표 8> 화물차 운행효율성지표별 통행사슬

| 구분       | 매우단순   | 단순     | 조금복잡   | 복잡     | 매우복잡   |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 총통행시간    | 154.78 | 175.89 | 195.70 | 221.42 | 234.39 |
| 적재 통행시간율 | 60.99  | 61.57  | 63.85  | 73.35  | 75.29  |
| 공차 통행시간율 | 39.01  | 38.43  | 36.15  | 26.65  | 24.71  |
| 총통행거리    | 134.42 | 113.70 | 117.56 | 107.89 | 122.16 |
| 적재 통행거리율 | 61.05  | 61.19  | 64.12  | 72.67  | 74.01  |
| 공차 통행거리율 | 38.95  | 38.81  | 35.88  | 27.33  | 25.99  |
| 적재능력     | 3.69   | 3.23   | 2.82   | 3.53   | 7.78   |
| 적재톤수     | 3.02   | 4.64   | 7.35   | 12.74  | 44.89  |
| 평균적재율    | 72.40  | 61.94  | 63.05  | 49.46  | 57.95  |
| 적재효율     | 44.40  | 37.19  | 39.32  | 35.53  | 38.23  |



<그림 2> 통행의 복잡성에 따른 적재통행수 및 공차통행수의 변화



<그림 3> 통행의 복잡성에 따른 통행시간 및 통행거리변화

## IV. 모형의 설정과 추정결과

### 1. 모형의 설정

앞에서 정의한 것처럼 통행의 복잡성에 따라 순위가 부여됨에 따라 종속변수가 순위가 있는 이산형변수(ordered discrete response) 수용할 수 있는 모형이 필요하다.

분석가능한 방법론은 순위반응모형(ordered probit 모형) 등이 잘 알려진 모형이다. 다항 선택 모형의 특별한 경우인 순위반응모형은  $j$ 개의 순위 대안이 있는 경우 대안들에 대해 가장 낮은 1부터  $j$ 까지의 순위를 매길 수 있다. 이는 각 순위의 확률을 결정하는 요소를 연구하고 예측하는데 사용된다.

분석자에게는 관찰되지 않는 변수(latent variable)  $y^*$ 를 임의의 대안을 선택했을 때, 기대하는 효용으로 보자.

$$y^* = x'\beta + \epsilon$$

이모형에 따르면  $y$ 의 값은 다음 식에 의한 선택의 결과이다.

$$y = j \quad (\text{단, } c_j < y^* \leq c_{j+1}, \quad y = 0, 1, \dots, j)$$

여기에서  $c_0 = -\infty, c_1 = 0^0, c_j = \infty$ 이며 이를 제외한  $c_j$ 값은 모수  $\beta$ 와 마찬가지로 추정대상이다. 이 경우  $j$ 가 관찰될 확률을 표현하면 다음과 같다. 단, 오류항  $\epsilon$ 은  $x$ 와 독립을 가정한다.

$$\begin{aligned} P\{J = j | x \text{ RIGHT}\} &= \\ P\{c_j \leq Y^* < c_{j+1} \text{ RIGHT}\} &= \\ = F(c_{j+1} - x'\beta) - F(c_j - x'\beta) \end{aligned}$$

오류항  $\epsilon$ 이 정규분포와 로지스틱 분포를 따를 경우를 살펴보자

① 오류항이 정규분포, 즉  $\epsilon \sim N(0,1)$  을 따를 경우

$$P\{y = j | x\} = \Phi(c_{j+1} - x'\beta) - \Phi(c_j - x'\beta)$$

② 오류항이 로지스틱분포, 즉  $\epsilon \sim \Lambda\left(\frac{1}{1+e^{-e}}\right)$

을 따를 경우

$$P\{y = j | x\} = \Lambda(c_{j+1} - x'\beta) - \Lambda(c_j - x'\beta)$$

여기에서  $\beta$ 와  $c_j$ 의 값은 이원선택모델에서와 같이 아래의 로그우도함수를 극대화시킴으로써 구할 수 있다.

$$\log L(x, \beta) = \sum_{J=0} \log P\{J=0|x\} + \sum_{J=1} \log P\{J=1|x\} \dots + \sum_{J=j} \log P\{J=j|x\}$$

통행자의 하루 통행건수, 교통사고의 심각도, 가구의 차량 보유대수, 소비자 만족도 등에 미치는 영향을 분석할 때 이러한 방법론이 유용하다 (Greene, 2002).

분석에 사용되는 변수들은 차량의 톤급, 업종 등과 더불어 업체의 특성변수 그리고 운행효율성 지표 등이 고려될 수 있다.

## 2. 모형의 추정결과

본 연구의 분석결과는 자가용과 영업용 자료를 모두 포함하여 분석하는 것과 자가용과 영업용을 분리하여 모형을 추정한 후 분석결과를 논의한다. 또한 화물차 톤급에의 영향을 보기 위하여 톤급별 모형 추정결과를 논한다. 여러 유형의 모형 설정시 화물자동차의 운행특성 지표 중에서 중요한 변수로서 공차통행거리율과 적재효율 지표의 영향을 논의해 본다.

자가용과 영업용을 모두 포함한 자료를 이용한 통합모형의 결과를 보면 복잡한 통행사슬을 만들면서 적재효율(평균적재율)이 높아지지 않는다는 점이고, 또한 복잡한 통행사슬을 형성하면서 공차거리율이 감소한다는 것이다. 이와 같은 사실을 정책적 의미로 판단해 보면 적재효율을 높이기 위해서는 통행사슬이 단순하게 이루어지는 쪽으로 유도하여야 한다는 사실이며, 반대로 공차거리율 감소는 통행사슬을 복잡하게 유도함으로써 달성할 수 있는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 서로 상반되는 해석이라고 할 수 있을 것이다. 보다 정확한 판단을 위해서 다음에서 계속되는 자가용과 영업용 모형, 톤급별 모형으로부터 정책적 의미를 더욱 견고히 해야 할 것이다.

업종별 및 톤급별 모형의 해석에 앞서 통합모형에서 영업용 여부의 변수는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났는데, 이와 같은 사실은 영업용 화물차가 자가용 화물차보다 복잡한 통행사슬을 만든다는 근거를 발견할 수 없었다. 대형화물차는 중형이나 소형화물차 보다 복잡한 통행사슬을 만들지 않은 것으로 나타났다.

<표 9> 자가용과 영업용의 통합모형

|                           | Coeff.    | Std.Err. | t-ratio | P-value |
|---------------------------|-----------|----------|---------|---------|
| 상수                        | -0.0677   | 0.0376   | -1.800  | 0.0719  |
| 적재효율                      | -0.0067   | 0.0005   | -13.401 | 0.000   |
| 대형화물차여부                   | -0.0949   | 0.0436   | -2.178  | 0.0294  |
| 소형화물차여부                   | -0.0387   | 0.0312   | -1.240  | 0.2149  |
| 영업용여부                     | -0.0019   | 0.0259   | -0.075  | 0.9402  |
| 공차거리율                     | -0.0010   | 0.00016  | -6.449  | 0.000   |
| Mu( 1)                    | 1.2334    | 0.0185   | 66.499  | 0.000   |
| Mu( 2)                    | 1.8398    | 0.0315   | 58.453  | 0.000   |
| Mu( 3)                    | 2.2076    | 0.04616  | 47.821  | 0.000   |
| Log likelihood function   | -10405.48 |          |         |         |
| Restricted log likelihood | -10539.03 |          |         |         |

자가용 화물차 자료만으로 분석한 결과를 논의해 보면 적재효율과 공차거리율이 앞서 추정된 통합모형과 같이 값이 높아질수록 복잡한 trip chain을 형성하지 않을 가능성이 높다는 것을 발견하였다. 자가용 중형화물차(3톤이상 8톤미만)는 복잡한 통행사슬을 만들지만 소형화물차와 대형화물차는 복잡한 trip chain을 만들지 않은 것으로 나타났다.

<표 10> 자가용 모형

|                           | Coeff.    | Std.Err. | t-ratio | P-value |
|---------------------------|-----------|----------|---------|---------|
| 상수                        | -0.0636   | 0.0456   | -1.396  | 0.1628  |
| 적재효율                      | -0.0035   | 0.0006   | -5.846  | 0.000   |
| 대형화물차여부                   | -0.1822   | 0.0659   | -2.766  | 0.0057  |
| 소형화물차여부                   | -0.1341   | 0.0391   | -3.433  | 0.0006  |
| 공차거리율                     | -0.0019   | 0.0002   | -8.177  | 0.000   |
| Mu( 1)                    | 1.2316    | 0.0218   | 56.388  | 0.000   |
| Mu( 2)                    | 1.9166    | 0.0399   | 48.065  | 0.000   |
| Mu( 3)                    | 2.3280    | 0.0619   | 37.631  | 0.000   |
| Log likelihood function   | -7374.098 |          |         |         |
| Restricted log likelihood | -7341.323 |          |         |         |

영업용 화물차 자료만으로 분석한 결과를 논의해 보면 적재효율과 공차거리율 모두 같은 패턴을 나타냈다. 반면, 소형영업용 화물차는 복잡한 통행사슬을 만드는 경향이 있음을 발견할 수 있었다.

<표 11> 영업용 모형

|                           | Coeff.    | Std.Err. | t-ratio | P-value |
|---------------------------|-----------|----------|---------|---------|
| 상수                        | 0.0539    | 0.0690   | 0.782   | 0.4343  |
| 적재효율                      | -0.1230   | 0.0010   | -12.944 | 0.000   |
| 대형화물차 여부                  | 0.0288    | 0.0617   | 0.466   | 0.6411  |
| 소형화물차 여부                  | 0.1116    | 0.0543   | 2.053   | 0.0401  |
| 공차거리율                     | -0.00056  | 0.0002   | -2.387  | 0.0170  |
| Mu( 1)                    | 1.2628    | 0.3576   | 35.312  | 0.000   |
| Mu( 2)                    | 1.7039    | 0.0516   | 33.001  | 0.000   |
| Mu( 3)                    | 2.0161    | 0.0707   | 28.531  | 0.000   |
| Log likelihood function   | -2958.645 |          |         |         |
| Restricted log likelihood | -3084.964 |          |         |         |

마지막으로 화물차의 톤급별 영향을 아래와 같이 정리해 본다. 아래의 표는 파라미터 값과 통계적 유의성 값 대신에 변수들이 통계적으로 유의한지와 부호만을 간략히 정리한 것이다. 모든 톤급에서 적재효율은 통행사슬이 복잡해짐에 따라 감소하는 경향이 있는 것으로 나타났지만, 공차거리율의 경우 자가용 및 영업용 대형화물차, 그리고 영업용 중형화물차는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 영업용 화물차 이용여부의 변수는 1톤 이하와 8톤 이상의 영업용 차종이 자가용보다 더욱 복잡한 통행사슬을 만들고 있음을 발견할 수 있었다.

<표 12> 톤급별 특성의 영향

|        |     | 1톤이하    | 1-3톤     | 3-8톤     | 8톤이상     |
|--------|-----|---------|----------|----------|----------|
| 적재 효율  | 통합  | (-),(S) | (-),(S)  | (-),(S)  | (-),(S)  |
|        | 자가용 | (-),(S) | (-),(S)  | (-),(S)  | (-),(S)  |
|        | 영업용 | (-),(S) | (-),(S)  | (-),(S)  | (-),(S)  |
| 영업용여부  | 통합  | (+),(S) | (-),(NS) | (-),(S)  | (+),(NS) |
| 공차 거리율 | 통합  | (-),(S) | (-),(S)  | (-),(S)  | (-),(NS) |
|        | 자가용 | (-),(S) | (-),(S)  | (-),(S)  | (-),(NS) |
|        | 영업용 | (-),(S) | (-),(S)  | (+),(NS) | (-),(NS) |

주: 괄호의 (-)는 추정된 변수의 파라미터 값이 음이고, (S)는 통계적으로 유의함을 의미하며, (NS)는 통계적으로 유의하지 않음을 의미함.

### 3. 분석결과의 시사점

화물자동차 운행정책 방향이 적재효율증가인과 공차거리율 감소인가에 따라 그 의미가 달라질 수 있음을 발견하였다. 모형의 추정결과 복잡한 통행사슬을 만들면서 적재효율(평균적재율)이 높아지지 않는다는 점이고, 또한 복잡한 통행사슬을 형성하면서 공차거리율이 감소한다

는 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 사실만을 고려하여 정책이 추진된다면 바람직하지 못한 방향으로 도달될 수 있다는 것을 발견한다. 예를 들면, 대형영업용화물차는 통행사슬을 복잡하게 하면서 적재효율과 공차거리 모두를 줄이기는 어렵기 때문에 통행패턴을 단순화해야 하며, 반대로 소형영업용화물차는 통행사슬을 복잡하게 하면서 공차거리율을 감소하는 경향이 있기에 복잡한 통행으로 유도해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서 발견한 시사점을 정리해보면 화물차의 톤급별로 용도가 다르므로 이를 감안했을 때 정책적 의미가 중요해진다는 사실이다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 그동안 기술통계에 한정하여 화물자동차의 운행효율성을 분석한 단점을 극복하고, 통행사슬의 관점에서 운행효율성을 논의하였다. 본 연구에서 가정한 통행사슬은 매우 단순한 가정에 의하여 설정하였는데, 통행의 복잡성을 5단계로 나누어서 분석하였다.

모형추정결과 적재효율을 높이는 동시에 공차거리율을 저감하는 정책은 달성하기 어렵다는 것을 발견하였고, 화물차 업종별 및 차량톤급별 차별화한 정책이 바람직하다는 것을 발견하였다.

본 연구의 분석은 화물자동차의 통행사슬연구의 시발점이라 할 수 있다. 앞으로 많은 연구가 필요할 것으로 판단되는데, 통행사슬의 체계적 분류방법 개선, 화물차통행의 time use 연구, 차량크기와 운행효율성, 화물차 운전자의 activity 등의 연구를 제시해 본다. 그리고 현재 조사표는 하루 동안의 통행일지를 기반으로 분석한 것인데 대형화물차의 경우 장거리 통행 후 장시간 체류후 통행사슬을 만드는 통행특성을 감안해 볼 때 하루보다 훨씬 긴 3일간의 통행일지 작성결과를 토대로 분석하는 것 검토해 볼 대상일 것이다.

### 참고문헌

#### ◆ 국내문헌

1. 건설교통부(2006) 2005 도로교통량 통계연보



2. 교통안전공단(2005) 자동차 주행거리조사
3. 신동선 (2006) 우리나라 화물자동차 적재효  
율 증대방안, 한국교통연구원
4. 신재은(2005) 이산선택모형을 이용한 휴대인  
터넷의 수요분석, 동국대대학원
5. 정승주·임동민 (2006) 화물자동차운송부문의 통  
계 및 조사체계 개선방안, 한국교통연구원
6. 한국교통연구원 (2006) 2005년도 국가교통DB  
구축사업-전국물류현황조사, 한국교통연구원

◆ 외국문헌

1. Holguin-Veras, J. G. Patil (2005) Observed  
Trip Chain Behavior of Commercial Vehicles,  
Transportation Research Board, No. 1906, pp.  
74-80.
2. Strathman, J., K. Dueker, & J. Davis  
(1994). Effects of household structure and  
selected travel characteristics on trip chaining.  
*Transportation*, 21, 23-45.
3. UK, Transport Statistics Bulletin, 2004
4. S. Y. Taylor, K. W. Ogden (1998) The  
Utilization of Commercial Vehicles in Urban  
Areas, Transport Logistic Vol. 1, no. 4, pp.  
265-277.
5. Jose Holguin-Veras, Ellen Thorson (2003)  
Modeling Commercial Vehicle empty trips with a  
First order trip chain model, Transportation  
Research Part B 37, pp 129-148.
6. Philip McCann (2001) A Proof of the  
relationship between optimal vehicle size,  
haulage length and the structure of  
distance-transport costs, Transportation  
Research Part A 35, pp 671-693.