

화물수단선택에 있어 집계적 현시선택모형과 비집계적 진술선택모형 구축

Freight Mode Choice Modeling with Aggregate RP Data and Disaggregate SP Data

강 웅*, 이장호*[†], 박민철**

Woong Kang*, Jang-Ho Lee*[†], Minchoul Park**

Abstract Freight modal share is biased towards road transport. These make socioeconomic problems like congestions, emissions, etc. This study is to make freight mode choice models based on freight Production/Consumption which represents freight forwarding process more realistically than Origin/Destination matrix. This study used logit model and mixed logit model structures using aggregate RP data and disaggregate SP data. We compared the results of them. As a result, in case of RP models, forwarding time takes priority over the forwarding cost on the contrastively existing studies results.

Keywords : Freight Mode Choice Model, Freight P/C, RP, SP, Logit model, Mixed Logit Model

초 록 우리나라 화물수송분담률이 공로에 편중됨에 따라 사회·경제적 문제가 꾸준히 발생하고 있다. 따라서 본 연구는 기존의 수단O/D 를 활용한 화물수단선택모형보다 실제 화물수송을 모사할 수 있는 화물P/C를 활용하고자 하여 기존연구들과 달리 RP 및 SP자료를 모두 이용하여 모형을 구축하였다. 로짓모형과 혼합로짓모형 두 가지를 구축하였으며 품목은 컨테이너를 선정하였고 RP 및 SP자료를 활용하여 모형을 구축하였다. 변수는 셔틀, 상하차, 본선에 대한 시간과 비용을 반영하였다. 결과적으로 기존의 연구들과는 달리 RP 모형에서는 컨테이너 운송에 있어 비용보다 시간이 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주요어 : 화물수단선택모형, 화물P/C, 로짓모형, 혼합로짓모형

1. 서 론

철도여객수송에 비해 철도화물수송에 관한 자료 및 연구는 부족한 실정이며, 현재 대부분의 화물수단선택모형들이 SP자료를 기반으로 만들어지므로 자료의 특성상 현실과 구축된 모형 간의 오차가 발생할 수 있다는 단점이 있다.

[†] 교신저자: 한국교통대학교 철도시설공학과 (transwho@ut.ac.kr)

* 한국교통대학교 철도시설공학과

** 한국교통대학교 경영물류학과

이는 RP자료조사가 일반적으로 자료를 조사하는 데 있어 시간과 비용이 많이 소요되기 때문에 취득이 어려운 것에 기인한다. 이에 따라 본 연구에서는 목적통행을 기반으로 한 화물 Production/Consumption 자료를 이용함과 동시에 SP자료뿐만 아니라 RP자료까지 활용하여 다각적인 접근을 시도하였다.

2. 모형구조 및 자료구축

2.1 모형구조

교통수요예측모형은 수집하는 자료의 단위에 따라 집계모형(Aggregate Model)과 비집계모형(Disaggregate Model)으로 나눌 수 있다. 집계모형은 수단선택행태를 개개인의 단위가 아닌 존 단위의 집계적 형태로 간주하여 각 대안에 대한 선택비율로 종속변수의 결과값을 구하는 접근 방식이다. 반대로 비집계모형은 수단선택행태의 주체를 개개인의 단위로 간주하기 때문에 응답자의 특성에 따라 선택대안에 대해 이산적 선택비율 (1 아니면 0)을 나타내게 된다. 본 연구에 사용된 RP자료는 존 단위의 집계적 형태로 수집되었고, SP자료는 화주단위의 비집계적 형태로 수집되었기 때문에 각각에 대해 모형을 구축한다. 또한, 모형구조는 수단선택모형 중 가장 널리 쓰이는 로짓모형과 의사결정자의 선호다양성을 반영할 수 있는 혼합로짓모형을 모두 적용하였다.

2.2 자료구축

본 연구는 <2015년 국가교통조사 및 DB구축사업>의 일환으로 국가교통DB센터에서 화물 P/C구축과 동시에 조사된 RP 및 SP자료를 활용하였다. 화물P/C는 기존의 수단O/D와 달리 생산지와 소비지간의 물동량을 나타낸 자료로써, 목적통행의 개념으로 물동량을 나타내기 때문에 환적 전과 후에 대해 각각의 순물동량을 확인할 수 있으며, 철도화물관련 시설의 개량효과에 대한 영향력을 검토할 수 있는 장점이 있다.

화물 P/C조사의 결과를 기반으로 하여 RP자료를 구축하였으나 운송비용은 기업 내의 영업기밀이기 때문에 응답율이 낮고 운송시간에 대한 자료를 업체이서 따로 관리하고 있지 않기 때문에, 이는 기존 연구나 Emme/3를 활용한 시뮬레이션 결과 또는 인터넷 지도서비스를 활용하여 보완하였다.

Table 1 Container RP Data Collecting

구분		도로	철도
본선	시간	Emme/3 통행배정 결과 NAVER 지도	KORAIL 화물철도 운행시간표
	비용	‘전국화물자동차 운송사업연합회’ 컨테이너 운송요율표 (항만별)	516원/TEU · km (20ft 기준)
상하차	시간	‘복합화물운송 분석을 위한 화물 P/C 조사’ 15분/TEU	

	비용	‘복합화물운송 분석을 위한 화물 P/C 조사’ 12,400원/TEU	
셔틀	시간	-	Access: 1.56분/TEU · km, Egress: 1.62분/TEU · km
	비용	-	Access: 3,221 원/TEU · km Egress: 3,128원/TEU · km

- 자료 1) 한국철도공사 홈페이지, 2015.10 (철도 본선 시간/비용)
 2) 전국화물자동차 운송사업연합회, 컨테이너 운송요금표, 2012 (도로 본선비용)
 3) 한국철도공사, 2013년도 철도물류 통행실태 조사 분석, 2013 (철도 셔틀 시간/비용)
 4) 한국교통연구원, 「복합화물운송 분석을 위한 화물 P/C 조사」, 2015

RP 자료에 대한 조사와 함께 SP조사에 관한 시간과 비용 관련 자료조사도 동시에 수행되었다. SP조사는 크게 단거리, 중거리, 장거리로 나뉘어 조사가 이루어져서 운송거리에 따른 차등화를 고려하였다. 수단선택대안으로는 공로운송과 철도운송의 두 가지로 선정하였다. 조사의 속성변수로는 운송시간(본선시간, 상하차시간, 셔틀시간으로 구성), 운송비용(본선비용, 상하차비용, 셔틀비용으로 구성)으로 선정하였다. 국가교통DB센터의 SP조사는 각 분사 및 사업장 담당자 249명에 대해 실시되었으며, 속성변수 수준은 -30%, -15%, 5%, 10%,로 구성되었다. 업체별 중복응답을 가능하게 하여 거리별 운송에 대해 단거리(150km) 219개, 중거리(250km) 147개, 장거리(350km) 144개의 자료를 구득하였다.

Table 2 Container SP Data Collecting

구분	단거리	중거리	장거리	총합계	응답자 수
컨테이너	38	36	46	120	61

3. RP기반 집계모형 구축

3.1 로짓모형 구축

조사된 RP자료를 분석한 결과를 바탕으로 주요생산·소비지 더미변수로 적용하여 모형을 구축하였으나 여러지역 중 부산항만이 적합한 부호를 나타냈다. 철도의 대안특정상수가 음(-)의 부호를 나타내고 있으므로 이는 다른 조건들이 모두 동일한 가정 하에서는 공로수송을 더 선호하게 된다는 것을 의미한다.

Table 3 Estimated Results of Container RP Aggregated Logit Model

변수		모수	표준오차	t-통계량
대안특정상수-철도		-0.15435	0.36069	-0.43
총 수송시간 (분)		-0.00250	0.00119	-2.10
총 수송비용 (천원)		-0.00030	0.00041	-0.73
지역더미	부산항	5.49226	1.02374	5.36
요약통계량				
관측수		714		
$L(0)$		-494,907		
$L(\beta)$		-344,044		
σ^2		0.3048		
$\bar{\sigma}^2$		0.2967		

모수추정결과 수송비용보다 수송시간에 대해 더 민감한 것으로 나타났으나 수송비용의 모수가 너무 작게 추정되었으며 통계적 유의성 또한 확보되지 않았다. 이는 본 연구에 활용된 RP자료가 영업기밀인 비용에 대해 개별적인 보완을 통해 구축되었기 때문에 발생하는 불안정성에 기인한 것으로 보인다. 또한 부산항에 대한 더미변수의 모수추정결과를 토대로 철도를 이용하여 컨테이너를 운송할 때 부산항을 기중점으로 하는 수송에서 특히 효용이 높아진다는 것으로 나타났으며, 이는 컨테이너 화물이 대부분 부산항을 통해 수·출입되는 현상에 기인한 것으로 해석된다.

3.2 혼합로지모형 구축

혼합로지모형의 경우 확률밀도함수에 어떤 분포를 사용하느냐에 따라 가중치가 달라지게 된다. 컨테이너를 대상으로 한 집계적 혼합로지모형의 경우에는 절단된 정규분포(Truncated Normal Distribution)를 적용하였다. 절단된 정규분포는 0이하의 분포를 제외시키고 그 이외의 나머지 값들로 모수를 추정하여 현실적인 값을 도출하는 것이 가능하다. 하지만 총 수송시간 표준편차 변수의 통계적 유의성이 확보되지 않아, 로지모형보다 혼합로지모형의 자료적합도가 개선되지 못하였다. 따라서 이 경우에는 굳이 혼합로지모형을 적용할 필요는 없다고 판단된다.

Table 4 Estimated Results of Container RP Aggregated Mixed Logit Model

변수		모수	표준오차	t-통계량
대안특정상수-철도		-0.15528	0.36442	-0.43
총 수송시간 (분)	평균	-0.00251	0.00117	-2.14
	표준편차	0.09594	0.00080	0.12
총 수송비용 (천원)		-0.00030	0.00041	-0.72
지역더미	부산항	5.49221	10.51152	0.52
요약통계량				
관측수		714		
$L(0)$		-494.907		
$L(\beta)$		-344.038		
σ^2		0.3048		
$\overline{\sigma^2}$		0.2968		

4. SP기반 집계모형 구축

4.1 로짓모형 구축

상하차시간과 셔틀시간 모수의 부호가 양(+)을 나타내어 부적절하므로 본선시간과 통합하여 모수를 추정하였다. 수송비용 변수는 상하차비용과 셔틀비용이 통계적으로 유의한 차이가 확보되지 않아 통합하여 변수를 설정하고 본선비용은 차이가 있기 때문에 분리하여 모형을 구축하였다. 또한, 장거리 더미변수는 부호가 적절치 않아 제외하였다.

본 모형은 수송시간보다 수송비용의 모수가 훨씬 크게 추정되어 컨테이너 수송에 있어 화주들이 시간보다는 비용에 더 민감하다는 것을 보여주고 있다. 그리고 본선비용보다 상하차+셔틀비용에 더 민감한 것으로 나타났다. 대부분의 운송이 장거리로 이루어지는 컨테이너 화물의 특성상 화주는 상하차 및 셔틀비용을 포함한 철도운송비용을 도로운송비용보다 적게 소비하려면 철도운송과정 중 발생하는 상하차 및 셔틀비용 절감이 중요하다고 여기기 때문이다. 철도운송의 운임체계는 거리비례제로 탄력성이 있지만, 상하차비용과 셔틀비용은 고정비용이기 때문에 화주들이 상하차 및 셔틀비용에 민감한 것으로 보인다.

Table 5 Estimated Results of Container SP Disaggregated Logit Model

변수		모수	표준오차	t-통계량
대안특정상수-철도		-0.44520	0.41175	-1.08
총 수송시간 (분)	본선+상하차+셔틀	-0.00079	0.00098	-0.81
수송비용 (천원)	본선	-0.02769	0.00141	-19.60
	상하차+셔틀	-0.03208	0.00213	-15.07
요약통계량				
관측수		1872		
$L(0)$		-1297.572		
$L(\beta)$		-760.202		
σ^2		0.4141		
$\bar{\sigma}^2$		0.4111		

4.2 혼합로짓모형 구축

혼합로짓모형의 경우도 마찬가지로 대안특정상수가 음(-)의 부호는 나타내어 공로수송을 더 선호함을 알 수 있다. 또한 장거리 더미변수를 적용한 수송비용의 모수와 적용하지 않은 수송비용 모수를 따로 추정하였다. 확률밀도함수는 절단된 정규분포를 적용하였다.

Table 6 Estimated Results of Container SP Disaggregated Mixed Logit Model

변수		모수	표준오차	t-통계량
대안특정상수-철도		-0.15775	0.19882	-0.79
총 수송시간 (분)	본선+상하차+셔틀	-0.00601	0.00125	-4.80
총 수송비용 (천원)	평균	-0.02139	0.00287	-7.46
	평균(장거리 더미적용)	-0.07043	0.00771	0.95
	표준편차	0.02805	0.00240	11.70
요약통계량				
관측수		1872		
$L(0)$		-1297.572		
$L(\beta)$		-667.703		
σ^2		0.4854		
$\bar{\sigma}^2$		0.4823		

모수추정결과 적합도 측면에서 0.48수준으로 적절하게 나타났으며, 역시 수송시간에 비해 수송비용에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 또한 장거리 수송에 대해 더미변수를 적용하여 수송비용을 추정하는 경우, 훨씬 영향이 커지는 것으로 나타났다. 특히 컨테이너 화물

은 장거리 운송이 많기 때문에 장거리를 고려한 모수와 고려하지 않은 모수의 차이가 더 크게 난 것으로 판단된다. 총 수송비용 표준편차 변수의 통계적 유의성이 확보되고, 자료적합도도 로짓모형에 비해 혼합로짓모형이 훨씬 더 크므로 컨테이너 SP모형의 경우 혼합로짓모형을 적용하는 것이 더 적절하다고 하겠다.

5. 결론

본 연구는 공로로의 화물수송 편중에 따른 사회·경제적 문제를 해결하는 데 앞서 정확한 화물수요예측의 필요성에 따라 기존의 수단O/D가 아닌 환적과 셔틀운송을 고려하여 각각의 물동량을 확인할 수 있고 실제 운송과정을 모사할 수 있는 화물P/C를 활용하여 화물수단선택모형을 구축하였다. 또한 기존 연구들이 주로 SP자료를 활용한 것에 비해 집계적 형태의 RP자료와 비집계적 형태의 SP자료를 모두 활용하여 화물수단선택에 있어 다각적인 접근과 함께 실질적으로 영향을 미치는 부분에 관해 시사점을 도출하고자 하였다.

컨테이너는 기존의 SP기반 모형과는 달리 본 연구의 RP기반 집계모형에서는 타 품목에 비해 수송비용보다 수송시간에 대해 민감한 것으로 나타났다. 이는 경우에 따라 컨테이너에 시간가치가 높은 품목이 적재될 수 있기 때문에 기존의 SP기반 수단선택모형들과 달리 수송시간이 수송비용보다 더 민감한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 또한 추정된 모수의 크기, 자료적합도, 통계적 유의성 등을 따져보았을 때, RP기반 모형에서는 로짓모형이 실제 활용에 더 적절하며 SP기반 모형은 혼합로짓모형의 사용이 더 적절하다고 판단된다.

본 연구는 RP자료와 SP자료를 모두 활용하여 다각적으로 화물수단선택모형을 구축하고 비교하여 실제 정책 반영에 있어 기초자료로 활용될 수 있는 연구를 진행하였다. 여객에 비해 화물관련 자료와 연구가 부족하고 품목별, 지역별로 철도의 화물관련시설 등의 조건이 상이하야 본 모형을 보편적으로 적용하는 데에는 분명 한계가 있을 것으로 판단된다. 무엇보다 P/C 매트릭스를 정확하게 구축하는 것이 선행되어야 후에 화물수요추정에 있어서 드러나는 한계점을 해결할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 운송시간과 운송비용에 대한 자료의 부족으로 인해 인터넷 지도서비스와 시뮬레이션 결과를 활용하여 보완하였지만 앞으로 심층적인 조사를 통해 기존의 구축된 자료보다 더욱 정확하고 보편적으로 쓰일 수 있도록 화물관련 자료의 DB화가 추후 진행되어야 할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Y.S.Ko, D.J.Park, C.S.Kim, H.S.Kim et al. (2010) Supply Chain-based Freight Distribution Channel Choice Model using Distribution Channel Analysis , *Journal of Korean Society of Transportation*, 28(6), pp.133-146.
- [2] C.S.Kim, J.Y.Lee, K.H.Jung (2008) A Study on Intercity Freight Mode Choice Modelling, *Korea Transportation Institute, 2008 Research Report Abstract*, 9
- [3] H.S.Kim, D.J.Park, C.S.Kim, C.H.Choi et al. (2013) An Empirical Study on Comparative Analysis of Freight Demand Estimation Methods - Unimodal O/D Based Method and P/C Based Method : Focus on

Korean Import/Export Container Freight, *Journal of Korean Society of Transportation*, 31(2), pp.45-59.

[4] Y.J.Min, M.C.Park, H.J.Jang (2013) A Study on Plans for Promoting the Improvement of Rail Freight Transport Services by Analyzing the Competitiveness of Freight Transport Service by Road and Rail, *Korea Transportation Institute 2013 Research Report Abstract*, pp. 171.

[5] S.J.Shin (2014) Estimation of a Commodity Production/Consumption Using Multi-Regional Computable General Equilibrium Model : Focused on Steel Industry, Ph.D, University of Seoul.

[6] J.H.Lee (2003) Mixed Logit Model Accommodating Traveler's Taste Variations and Error Structure Between Alternatives, Ph.D, Seoul National University.

[7] J.W.Ju, H.K.Ha (2009) Estimating Value of Time for Freight Transportation in Freight Items using Logit Model, *Journal of Korean Society of Transportation*, 27(5), pp. 163-168.

[8] C.H.Choi (2002) Value of Travel-Time Savings in Metropolitan Road Freight Transportation with Freight Classification Code, *Journal of Korean Society of Transportation*, 20(7), pp. 167-175.

[9] C.H.Choi, S.J.Shin, D.J.Park, H.S.Kim, et al. (2008) Mode Choice Characteristics of Rail Freight Transportation, *Journal of the Korean Society for Railway*, 11(6), pp.588-595.

[10] D.H.Hong, M.C.Park, J.Y.Lee, J.S.Han, et al. (2012) Freight Demand Analysis for Multimodal Shipments, *Journal of Korean Society of Transportation*, 30(4), pp. 85-94.

[11] Ana Isabel Arencibia (2015) Modelling Mode Choice for Freight Transport Using Advanced Choice Experiments, *Transportation Research Part A*, 75, pp. 252-267.

[12] Angela S. Berganito (2013) Taste Heterogeneity and Latent Preferences in the Choice Behaviour of Freight Transport Operators, *Transportation Policy*, 30, pp. 77-91.

[13] Guy Picard, Marc Gaudry (1998) Exploration of a Box Cox Logit Model of Intercity Freight Mode Choice, *Transportation Research Part E*, 34(1), pp. 1-12.

[14] J.Rich (2009) A Weighted Logit Freight Mode-Choice Model, *Transportation Research Part E*, 45, pp. 1006-1019.

[15] Kriangkrai Arunotayanun, John W. Polak (2011) Taste Heterogeneity and Market Segmentation in Freight Shippers' Mode Choice Behaviour, *Transportation Research Part E*, 47, pp. 138-148.

[16] Vasco Reis (2014) Analysis of Mode Choice Variables in Short-Distance Intermodal Freight Transport Using an Agent-Based Model, *Transportation Research Part A*, 61, pp. 100-120.

[17] Yaowu Wang (2013) An Analysis of Interstate Freight Mode Choice between Truck and Rail : A Case Study of Maryland, United States, *Social and Behavioral Science*, 96, pp. 1239-1249.