

극한 기후의 화물 운송 행태에 대한 영향 연구를 위한 정보배열비교법 적용 방안

조창현¹ · 이승호² · 박동주³

¹경희대학교 지리학과, ²건국대학교 지리학과, ³서울시립대학교 교통공학과
(2014년 6월 2일 접수, 2014년 6월 16일 수정, 2014년 6월 18일 게재 확정)

A Study on Sequence Alignment Application to Analysis of the Extreme Weather's Impact on Freight Transportation Behavior

Chang-Hyeon Joh¹ · Seungho Lee² · Dong-Joo Park³

¹Department of Geography, Kyung Hee University

²Department of Geography, Konkuk University

³Department of Transportation Engineering, University of Seoul

(Received 2 June 2014, Revised 16 June 2014, Accepted 18 June 2014)

Abstract : Climate change and global warming force countries to lower their CO₂ emission level. Emission is mostly from three sectors, namely industrial, household and transportation sectors. The effort to reduce emission from transportation sector leads to the change in freight transportation. Extreme weather would induce high level of change in freight transportation and supply chain of goods. Freight transportation behavior should show substantial change in a variety of aspects. The paper aims to provide a methodological foundation to capture typical patterns of change in freight travel behavior in response to extreme weather. The paper introduces sequence alignment methods and illustrates how the methods identify clusters of homogeneous patterns of freight transportation behavior. The paper found the potential to apply the suggested methods to analyze freight transportation behavior that changes due to extreme weather.

Key Words : extreme weather, freight transportation behavior, sequence alignment methods

주요어 : 극한기후, 화물 통행 행태, 정보배열비교법

1. 서론

2011년 7월 26일에서 28일 사이에 서울 지역에 집중한 588mm의 폭우로 인해 서초구 우면동 일

대에 발생한 산사태로 인해 주택이 무너지고 주변 일대의 도로가 크게 유실되는 재난이 발생하였다. 이 기록적인 폭우는 1907년 현재 방식의 강수량 측정이 시행된 이래 최고치를 나타낸 것이

었다. 이로 인해 16명이 사망하고 많은 부상자와 재산 피해가 발생하였다. 남부순환도로를 포함한 주변 도로는 평시에도 매우 많은 교통량을 소화하는 도로들이라 이 극한 기후의 기상 재해로 인해 극심한 혼잡과 엄청난 사회적 비용을 2차적으로 발생시켰다.

약 50%에 이르는 세계 도시화율에 비해 훨씬 더 높은 90% 이상의 도시화율을 갖고 있는 인구 조밀 정주체계의 우리나라의 경우(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013), 온난화에 더해 도시화 효과가 크게 얹혀져 기후변화의 영향은 더욱 크게 나타나는 경향이다. IPCC 5차 평가보고서 준비를 위한 기상청의 한반도 기후 전망 보고서에 따르면, 탄소 저감 노력을 안하는 시나리오의 RCP 8.5(100년 후 이산화탄소 940ppm)와 저감 노력을 실제 하는 시나리오의 RCP 4.5(100년 후 이산화탄소 530ppm) 각각의 경우에 있어 2000년 대비 2100년은 전 지구적으로 평균 기온 4.8℃, 강수량 6% 증가 및 2.8℃, 강수량 4.5% 증가를 각각 예상하며, 우리나라는 이러한 평균보다도 각 1℃ 이상의 기온이 더 상승하고, 강수량은 20% 이상 증가할 수 있다고 한다(Korea Meteorological Administration, 2012). 특히 주목할 것은 기후 변화에 따른 강수 패턴의 변화로, 지난 100년 간 강수량은 크게 늘었으나 강수 일수는 오히려 줄어들어 강우 강도가 강해졌다. 따라서 호우 일수가 증가하는 경향을 보이는데, 특히 봄 가뭄의 증가에 반한 여름철 강수의 증가로 인해, 여름철 호우 발생 빈도가 크게 늘었다(Cho, 2011).

우리의 일상은 기후 변화와 기상 재해 등의 현상에 대해, 장기적인 트렌드 보다는 단기적으로 급작스럽게 일어나는 기상 재해 등에 주된 관심을 갖게 된다. 기후 변화는 장기적인 시간 프레임으로 벌어지는 기후 상황의 변동을 뜻하는 것이므

로, 일상에서의 기후 변화 효과를 확인하는 일은 우리의 경우 폭우·폭설로 인해 생활의 불편을 겪는 것이 가장 직접적이다. 즉 일상을 사는 개인들은 100년간의 기온 변화로 인한 해수면 변동이나 평균 기온 상승 등 기후 변화의 큰 틀 보다는 최근 해마다 반복되는 여름이나 겨울 강수량의 급격스런 상승에 따른 폭우·폭설로 인해 기후 변화에 대한 즉각적인 경각심을 얻는다. 극한 기후에 대한 연구는 학문적 엄밀성에 더해 일반인의 일상과 관련된 관심에도 주의를 기울일 필요가 있다(Joh *et al.*, 2012).

폭우·폭설 등 극한 기후에 의한 기상 재해가 일상에 미치는 가장 직접적인 일은 사람과 물자의 이동과 소비에 대한 장애를 들 수 있다. 당장 큰 폭우·폭설이 있어 도로와 철도 등을 통한 물류 수송에 장애가 오면 우리의 일상은 큰 불편을 겪게 되며, 기후 변화에 대한 경각심이 크게 오른다. 이동의 제약은, 그렇지 않으면 이동을 통해 수행할 여러 가지 경제활동들을 온라인으로 해결하려는 성향을 갖는다. 기업의 관점에서 물류는 그 비용을 최소화해야 하는 매우 중요한 경영 활동인데, 이러한 기상 상황에 따른 추가 비용의 발생은 큰 부담이 되기 마련이다. 산업에서는 기후 변화에 따른 물류 비용의 증대를 어찌다 생기는 손실이 아니라 늘 존재할 수 있는 비용의 일부로 인정하고 이를 포함한 물류 네트워크 최적화를 꾀한다.

도시 방재 분야에서는 이러한 극한 기후가 도시 관리에 미치는 영향의 주요 현상으로 다음과 같은 내용을 들고 있다(Seol, 2011). 즉 이상 고온의 증가, 북극의 기온 상승과 해빙, 해수면의 상승, 강수량 증가에 따른 폭우·폭설의 발생 빈도 증가, 태풍의 강도 증가 등이 그것이다. 이러한 기후 변화에 따른 일반 현상에 의해 특히 도시 교통 부문이 받는 영향으로는, 대도시 상습 침수지역 발생 및 확대, 산사태 피해 확대, 침수도로 포장 파

손과 유실 증가, 침수 피해 차량의 증가, 도로 및 철도의 변형과 수명 단축, 해안 도로 및 철도 붕괴 등을 들 수 있다. 교통에 대한 극한 기후의 영향은 이러한 직접적인 시설물 유실 등의 피해 이외에, 더욱 중요하게는 체증으로 인한 교통혼잡 비용을 발생시킨다. Park and Jang(2004), Baek *et al.*(2008), Prevedouros and Chang(2005) 등은 강수와 교통 간의 기술적 관계를 보고하였다.

극한 기후 현상에 따른 폭우·폭설 등의 기상 재해는 지구 전체의 온난화가 진행되는 장기적인 경향 하에 나타나는 현상임은 분명하나, 개별 폭우·폭설의 사건이 반드시 체계적인 원인 메커니즘에 의해 모두 설명되는 것은 아니다. 즉 전반적인 추세 하에 개별 사건 발생의 특수성 또한 개입하게 되는데, 이러한 것을 대수학적인 모델링에 의해 체계적인 함수 관계로 모두 잡아내기는 어렵다. 또한 그렇다고 이러한 특수성들을 비체계적인 요소인 노이즈로 간주하기에는 설명되지 않는 부분이 너무 큰 문제도 있기 때문에, 이들 모두를 극복할 수 있는 대안적인 설명 방법이 필요하다. 이에 에이전트 기반 시뮬레이션 기법을 활용한 기상 재해 시의 교통 통행 행태를 연구한 사례를 볼 수 있다(Na *et al.*, 2012, 2013). 에이전트 기반 시뮬레이션 연구의 실행 이유는 이것이 환경 변화에 대한 비 선형적이고 비 최적인 인간 반응과 의사결정을 적절히 재생산해 낸다는 이론적 기초 하에 행태적 리얼리즘을 제고한다는 장점에 있다. 장기적인 기후 변화의 경향 하에서 발생하는 다양한 원인의 단기적인 극한 기후 및 기상 재해에 대해 개인이 어떠한 반응을 보이고 그에 따른 의사결정과 활동 수행이 어떻게 재생산될 수 있을지에 대한 연구들로서 매우 바람직한 연구 설계와 결과를 제공하고 있다고 볼 수 있다.

위에서 언급한 두 개의 관련 선행 연구는 그러나 개인 통행 관련 의사결정과 활동의 변화를 고

찰한 연구 결과로서, 사람과 물자의 이동과 소비의 장애라는 보다 광범위하고 중요한 사회적 이슈를 다루기에는 추가적인 연구 노력이 필요하다. 즉 기후 변화에 따른 일상의 영향에서 물류 네트워크의 변화를 고려하는 새로운 분야의 연구가 필요한 시점인 것이다. 그러나 기후 변화와 도시에서의 통행 활동 변화라는 연구가 물류 네트워크의 변화로 심화되기 위해서는, 우선 이 연구 주제와 직결되는 범위 안에서의 물류 자체에 대한 연구와, 에이전트 기반 연구의 핵심인 에이전트의 속성 리스트를 위해 물류에서의 개인 활동, 즉 화물 수송의 개별 활동들을 어떻게 측정하고 분석하는가에 대한 연구가 선행되어야 한다.

본 연구는 이러한 논의에 따라, 기후 변화에 따른 극한 기후의 기상 재해 현상에 대응하는 물류 네트워크에서의 물류 활동을 분석할 수 있는 방법론으로서 정보배열비교법(Sequence alignment methods)의 적용 가능성을 고찰하고자 한다. 이를 위해 본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. 2장은 물류 연구 중 본 연구의 분석 대상인 화물자동차 운행 특성에 대한 간단한 소개를 한다. 3장은 기후 변화에 대응한 화물자동차 운행 행태의 변화를 분석하기 위해 선행되어야 할 운행 행태 측정과 분석의 방법인 정보배열비교법을 소개한다. 4장은 정보배열비교법을 활용한 다양한 연구 사례를 소개하고, 이로부터 이 기법이 극한 기후에서의 물류 네트워크 변화를 분석할 수 있는 가능한 방향을 제시하고자 한다.

2. 물류와 화물차 운행 특성

폭우·폭설 등 극한 기후에 의한 기상 재해를 시나리오로 하여, 그에 대응하는 화물 운송 시스템인 물류의 행태를 살펴보는 것이 기후 변화와 교

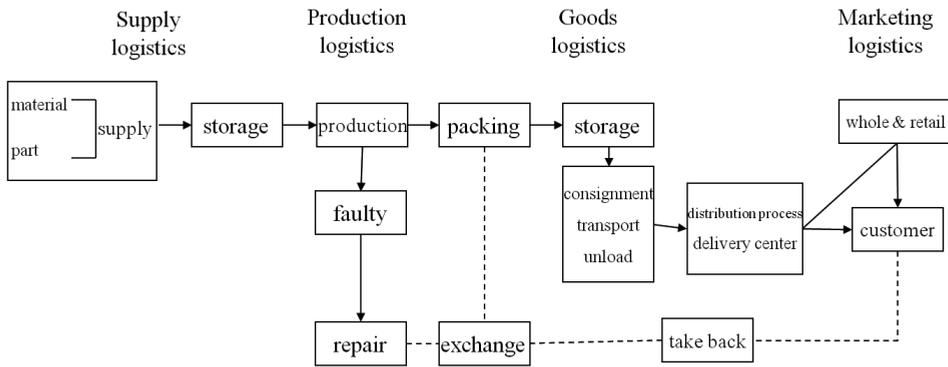


Figure 1. Types of distribution activity (Shin et al., 2012).

통 간의 관계를 연구하는 궁극적인 목표이다. 여기서 물류는 상품의 생산자와 소비자가 다르고 생산지와 소비지가 다른 이유로 발생하는 모든 유통 과정 중 물적 유통과 관련된 모든 과정을 가리키는 용어이다. 물류 행동을 공식적인 언어로 요약하면, 최소 수준 혹은 그 이상의 물류 서비스를 보장하는 제약 하에 수송, 하역, 포장, 보관, 정보 등을 포함하는 총 물류비용을 최소화하는 활동이라 정의할 수 있다.

Figure 1은 이상의 물류 구성을 모식적으로 정리한 것이다. 수송은 물론 하역, 보관, 포장, 정보 등의 각 과정은 물류의 전체 과정을 구성하며 부가가치를 생산한다. 수송이 산지와 소비지 사이의 공간적 격리를 극복하는 것이라면, 보관은 생산과 소비 사이의 시간적 차이를 메워 주는 역할을 한다. 이 과정에서 보관된 물건 자체는 또한 신용과 금융 자산의 가치를 부가해 내기도 한다. 창고 기능이 그 대표적인 것인데, 상품 생산과 소비의 시공간적 차이 극복과 그를 통한 신용 창출의 기능 외에도, 그 자체의 입지 및 규모 역시 물류 전체의 최적화된 흐름을 유도함으로써, 물류 행동의 효율성을 결정짓는 매우 중요한 기능을 한다. 하역은 생산, 분배, 소비 각각의 분리된 단계를 극복하는가 하면 수송 중 서로 다른 수송 수단

간의 차이를 환적의 형태로 극복하는 기능을 한다.

집계적(aggregate) 수준의 총체적 수송 최적화를 생각하기 이전에, 정상시의 최적화된 수송 환경에서의 비용 최소화를 위한 일괄적인 시스템적 체계 만에 관심이 있는 것이 아닌, 불규칙한 빈도와 공간적 범위의 기상 재해 상황까지 포함하여 수송 주체 개개인에 대해 달리 주어지는 수송 상황에 대하여 이들이 어떻게 반응하고 과업을 수행하는가에 대한 보다 일반적이고 체계적인 연구가 필요하다. 이는 기존의 최적화된 화물 수송 공식이 아니라 수송 주체 개인마다 다르게 나타날 수 있는 화물 수송 개별 행태에 대한 연구 필요성을 의미한다.

전통의 화물 수송 개념화 방식은 화물의 기종점 연결에 근거하여 화물 수송을 구체적으로 모델화하고 실무에 적용하려는 노력이었다. 이러한 이론적 노력은 최적화의 원리에 따라 화물 수송을 전일적으로 실행하는 기업 차원의 물류 활동에 적합한 내용이었다. 그러나 현대 화물 수송은 택배나 개인 사업자 화물 수송 등으로 매우 다양해지고 특히 개별 화물차 운송업자의 증가로 화물 수송 전체를 OD(Origin-Destination) 방식의 일괄적인 이론으로 설명하고 계획하는 일이 매우

어렵게 되었다. 그 단적인 예가 OD 대신 대두된 PC(Production-Consumption) 방식의 화물 수송 자료 구성 틀이라 할 수 있다. Seong *et al.*(2008), Kim *et al.*(2013), Shin *et al.*(2012) 등에 따르면 기존 OD 방식의 화물 수송 자료 구조와 그에 따른 모델은 개별 화물 운행 주체의 의사 결정 여지가 증대한 현대의 화물 수송 현상을 설명하고 예측하기에 부적합함을 알 수 있다.

본 연구는 총량적 화물 흐름을 잘 요약하고 이론헌화할 수 있는 OD 방식의 기존 화물 네트워크 표현 방식 대신 개별 화물 통행 패턴을 추적하고 분석할 수 있는 PC 방식의 표현을 주목한다. 그 이유는 극한 기후의 기상 재해 상황에서 화물차 운행 주체 개개인이 이에 반응하는 방식을 관찰하고 분석하고 이론화하기 위함이다. 즉 기후 변화에 따른 물류 네트워크의 장기적, 일반적, 평균적 변화에 대한 연구보다는 그 발생 시공간의 단기적, 국지적 특수성이 강조되는 극한 기후의 기상 재해에 따른 상품 수송 및 물류 네트워크의 변화의 이해가 탐구의 목표이다. 이러한 탐구는 비선형의 창발적 행위 유형(emergent behavioral pattern)을 포착할 수 있는 에이전트 기반 시뮬레이션 프레임워크를 갖추어야 하나, 이를 위해서는 구체적으로 이론화하기 어려웠던 개별 화물차 운행자의 물류 행동 특성을 분석 확인하는 작업이 우선적으로 필요하다.

도시 내 화물 통행의 주체인 화물 차량은 영업

용과 자가용 차량으로 나뉜다. 영업용 차량은 주로 회사에 속해 시스템 중심의 총량적 물류 관리의 대상이 된다. 그러나 자가용 차량은 운행 실태가 매우 다양하고 복잡한 유통경로와 관계를 갖고 있어 그 운행이 시스템에 기반을 둔 일괄적인 최적화로 파악하기에는 어려운 점이 많다. 이에 물류정책기본법 및 교통체계효율화법에 근거한 정기적인 물류현황조사를 통해 화물 통행의 현황과 문제점을 파악하고 개선을 위한 정책 대안을 발굴하려는 노력이 행해지고 있다.

한국교통연구원이 시행하는 화물통행실태 조사 항목에는 화물차와 개인에 대한 특성인 차량 특성 항목과, 통행 자체의 특성을 확인하는 항목이 포함되어 있다(KTDB, 2013). 특히 화물차량실태조사는 화물 차량이 실제 출발 후 도착까지 이동하는 경로 상의 모든 상세 사항을 화물차 운행 주체에게 질의한다. Table 1은 전국의 적재능력별 화물자동차 등록 현황이다(KTDB, 2011). 우리가 통칭하여 언급하는 화물자동차 중 사업용 이외 비사업용 및 개인 운영 화물차주들이 다수 존재한다. 톤급에서 볼 때 소형 화물차의 비중이 비사업용에서 압도적으로 높은 이유는, 이 부문이 영세한 화물 차주의 참여에 의해 이루어지고 있음을 잘 볼 수 있는 내용이다. 본 연구에서 주목하는 개인별 물류 수송 행태가 기상 재해에 따라 어떻게 영향을 받을 것인가를 알아보는 근거는 여기에 있다. 즉 회사 차원의 체계적인 물류 수송 활동이 이

Table 1. Number of registered freight vehicles by loading capacity (sample of 1.3%).

Loading capacity	Non-business purpose	(%)	Business purpose	(%)	Total	(%)
Small (<2.5t)	16876	74.1	5912	25.9	22788	54.2
Medium (<8.5t)	5117	45	6263	55	11380	27.1
Large (>8.5t)	1725	21.9	6138	78.1	7863	18.7
Total	23718	56.4	18313	43.6	42031	100.0

Table 2. Index of efficiency of freight vehicle tours.

		Total travel duration	Travel duration of loaded vehicle	Travel duration of empty vehicle
Total average (hours)		4.4	2.7	1.7
Loading capacity	Small	3.1	1.7	1.4
	Medium	5.0	3.2	1.9
	Large	7.2	5.0	2.2
Business/non-business	Non-business	3.2	1.8	1.4
	Business	6.0	3.9	2.1

루어진다기보다는 많은 수의 화물 차량이 영세 개인 운영 화물 차주들에 의해 실행되다 보니, 물류에서 일반적으로 가정하는 최적화된 화물 수송이 실현되지 않는 경우가 빈번하다. 이러한 경향은 특히 기상 재해 등 외적 악조건이 발생하였을 때 더욱 크게 부각될 것임을 예상할 수 있다.

화물 수송의 특성을 단적으로 잘 보여주는 또 하나의 지표는 공차통행률이다. 용어가 뜻하는 바 그대로 화물 수송 비효율의 상징적 단어이다. Table 2는 전체 평균 38.6%의 화물 차량 운행 시간이 공차 운행임을 나타낸다(KTDB, 2011). 즉 도로 위에서 달리는 화물차의 약 40%는 화물 없이 빈 차로 달리고 있다는 자료이다. 물론 이것이 업종별, 적재 능력별 차이가 있으나, 전반적으로 큰 비효율 요소를 갖고 있음은 확인하다.

일반적으로 예상할 수 있는 대로 소형 화물차의 운행 효율이 매우 떨어지는 것을 알 수 있다. 비영업용 개인 화물 차주들이 다수 포함되어 있는 소형 화물차의 경우 총통행시간에서 공차통행시간이 차지하는 비율이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 화물차 수송의 개인 행태적 측면에서 매우 중요한 시사점을 제공하는 내용이다. 즉 개인 화물 차량의 화물 수송 행태가 최적화와 가장 거리가 멀 것이며, 그렇게 되고 있는 수송 행태의 실제 수송 패턴과 그 원인을, 그렇지 않은 행태와 비교할

수 있다면, 극한 기후의 기상 재해 상황에서 서로 다른 원리에 의해 행동하는 화물 수송 주체의 행태에 대한 속성을 확인하는 데 중요한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

3. 정보배열비교법의 원리

본 연구는 극한 기후의 기상 재해 상황에서 개별 화물 운행 주체들의 화물차 운행 행태를 측정하고 분석할 수 있는 방법으로서 정보배열비교법을 활용하는데, 본 장은 이에 대한 간단한 설명을 제공한다. 이 기법에 의해 확인된 운행 행태의 특성은 기상 재해 시나리오 하에서 물류 주체들의 의사결정 규칙이 에이전트 기반 모델 시스템에 어떻게 투입되어야 하는지에 대한 기초 정보를 제공한다. 화물 수송의 통행 연쇄를 적절히 분석하기 위해서는 그러한 연쇄의 일련의 패턴을 전체적, 구조적으로 분석하는 방법이 필요하며, 특히 두 일상 연쇄 패턴을 비교 분석할 때, 그 비교의 방법이 구조적 정보를 고려하는 것이 바람직하다. 원래의 정보배열비교법은 유전학에서 A, T, G, C 등 DNA의 염기 배열 순서에 의해 생물의 유사 종과 상이 종을 구분해 내는 방법으로 개발되었다(Kruskal, 1983).

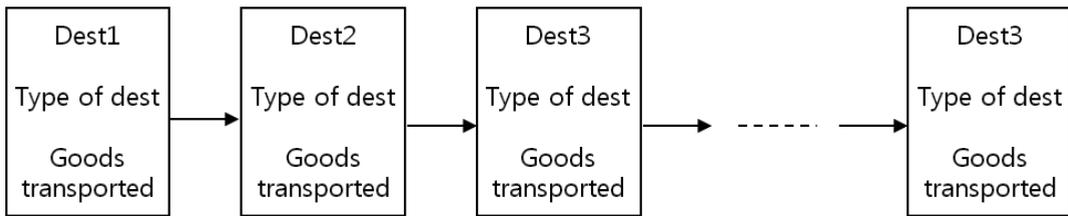


Figure 2. Example of measuring freight vehicle travel behavior.

그런데 원래의 정보배열비교법은 통행 목적지 등 단차원의 연쇄만을 비교할 수 있다(Joh, 2011). 그러나 화물 자동차의 통행 행태에서 의사결정의 대상은 통행 목적지만이 아니라 무엇을 운송하는지, 도착지의 유형은 무엇인지 등등 여러 고려 요소를 포함한다. 즉 개별 화물 통행 주체에 의해 여러 의사결정 요소를 동시에 고려한 통행 의사결정이 수행되는 것이다(Figure 2).

이러한 다차원의 의사결정을 포함하는 화물 자동차 운행 행태의 비교를 위해서는 다차원의 비교 기법인 다차원정보배열비교법(Multi-dimensional sequence alignment methods)이 활용된다(Joh *et al.*, 2002). 다차원정보배열비교법의 원리는, 단차원 비교의 합을 최소화할 수 있도록 차원 별 비교 결과를 최대한 겹치게 하는 것인데, 이에 대한 대수적 알고리즘이 존재하지 않기에 발견적(heuristic) 해찾기를 사용한다(Joh *et al.*, 2001). 다차원정보배열비교법에 의해 통행 연쇄 간 유사성과 상이성의 척도가 확인되면, 그 척도에 의해 pairwise dissimilarity matrix를 작성할 수 있다. 이 매트릭스에 따라 군집분석을 행하면 유사성이 높은 통행 연쇄끼리 하나의 통행 연쇄 패턴 집합을 구성할 수 있다. 이들 특정의 통행 연쇄 패턴 집합 하나 하나는 차량 특성 별로 특정한 통행 특성을 나타내는데, 이것이 바로 에이전트 기반 시물레이션에서의 에이전트 속성 리스트를 구성하게 된다. 이로부터, 극한 기후의 기상 재해 상황에서

개별 화물 수송 주체들이 어떠한 반응을 보이며 통행 연쇄를 하게 되는가를 분석할 수 있는 시물레이션 시스템의 에이전트 별 기본 정보를 구축하게 되는 것이다.

4. 정보배열비교법의 활용 사례

이 장에서는 3장에서 상술한 정보배열비교법이 실제 연쇄적인 의사결정의 분석과 패턴화에 어떻게 쓰였는지 사례를 살펴봄으로써, 극한 기후의 기상 재해 상황에서 개별 화물 수송 주체들의 화물차 운행 행태를 제안된 기법으로 활용하는 방안을 모색해 보고자 한다. 원래 생물 중간 DNA나 RNA의 염기 배열의 차이의 정도으로써 유사성과 상이성의 척도로 분자생물학 등에서 개발, 활용되고 있는 정보배열비교법은 Abbott(1995)에 의해 처음으로 사회과학에 도입된 후 Wilson(1998)이 시간 사용(time use) 연구에 본격적으로 활용하기 시작하였다.

인간 활동을 특정한 시간과 공간의 조합과의 contingency로 위치시켜, 개인이 그가 속한 사회와 갖는 특정한 관계를 설명하는 도시지리학의 시간지리학파가 제안한 개인 일상 활동의 Diorama는 이 정보배열비교법에 의해 측정되고 분석될 수 있다. Thrift(1983)가 일찍이 제안한 시간지리학에 따른 개인 biography의 사회 공간적 분석은 특

정 활동 집합의 수행이 어떠한 활동 순서에 의해 어떤 교통수단을 이용하여 어느 장소에서 언제 누구와 어떻게 이루어지는가를 분석하는 방법이 필요한데, 제안된 기법은 이를 대규모 자료를 통해서 분석하는 것을 가능케 하여 보다 일반적인 개인 행동 원리를 도출해 낼 수 있는 가능성을 가졌다. 이러한 특성에 의해 이 기법은 최초 도입된 시간 사용 연구에 국한하지 않고, 활동 수행의 순서가 중요시되는 많은 행태 분석 연구에서 활용되기 시작하였다. 여기에는 관광, 교통, 경영 등등 여러 학문 분야에서의 응용이 있었다.

먼저 관광 분야에의 적용으로, Kemperman *et al.*(2004)은 네덜란드 남부의 특정한 놀이공원에 반복적으로 가는 사람과 처음 가는 사람 간에는 놀이공원 내 시설 이용의 동선에 차이가 존재하며, 이에 근거하면 놀이공원 내 시설물 배치가 이용객 동선 상의 놀이시설 이용 순서로부터의 정보를 활용할 가치가 있음을 제안하였다. Shoval and Isaacson(2007)은 이스라엘의 오래된 관광 도시 Akko에 방문하는 관광객들의 이동 동선을 GPS로 추적하여 이들의 도시 내 관광 활동이 시공간의 조합에 의해 설명이 되며 그 관계는 방문자 개인의 사회경제적 특성을 반영한다는 사실을 확인하였다. Lee and Joh(2010)은 서울 방문 외국인 관광객의 관광 동선이 일본인과 영어 사용 외국인 간에 큰 차이를 보이며, 개별 관광객의 동선은 활동 내용, 방문 장소, 교통수단 간에 상호 관련성이 매우 크다는 것을 확인하였다.

경영학 분야는 주로 소비자 마케팅 분야에 관한 연구로서, Joh *et al.*(2003)은 캐나다 특정 도시 거주 시민들의 슈퍼마켓 이용 행태의 시계열 자료를 정보배열비교법에 의해 분석한 결과, 슈퍼마켓 선택의 순서 패턴과 variety-seeking/royalty 경향이 개인의 생애주기와 사회경제적 특성과 깊은 관련이 있음을 확인하였다. Hay *et al.*(2004)

는 웹 유저의 인터넷 탐색 행동의 전형적인 유형을 확인하기 위해 패턴인식의 한 방법으로 정보배열비교법을 응용하였다. 연구는 consensus라는 웹 탐색 공통 행위 부분을 분산 개념에 근거한 통계적 유의성을 확인하는 절차를 거쳐 몇 가지 중요한 웹 탐색 패턴을 확인해 내었다. Steinmann and Silberer(2010)은 독일 전자제품 구매자들의 쇼핑 정보 매체 활용(매장 방문, 인터넷 홈페이지, 신문 광고 등)의 일련의 순서 패턴을 분석한 결과, 개인의 일련의 정보 매체 활용 활동 순서들이 몇 개의 대표적인 패턴으로 분류가 가능하며, 이것이 실제 구매와 독특한 방식으로 연관되는 것을 확인하고, 구매자를 사회경제적 특성이나 심리적으로 구분하는 일반적인 마케팅 전략에 문제가 있음을 지적하였다.

교통학 분야로, Schlich and Axhausen(2003)은 6주 간의 통행 행동을 분석한 결과 개인의 일상 활동 통행은 개인의 사회경제적 특성에 의해 고정적으로 설명되는 것이 아니라, 요일별로, 주별로 가변적이라는 것을 보였다. Joh and Timmermans(2011)은 활동 통행 패턴 간의 차이를 초래하는 활동이나 통행의 추가, 취소, 대체 등의 의사결정 단위의 실행은 일정 정도의 심리적 노력이 들어가므로 지나친 최적화 이전에 만족을 찾는 경향을 갖는 원인을 제공하며 그것은 개인 간에 차이를 보인다는 것을 확인하였다. Noh and Joh(2012)는 노인 활동 통행 패턴을 정보배열비교법을 활용하여 분석한 결과 노인 통행의 시공간 궤적은 청장년의 그것과 매우 다르며, 대체로 여러 가지 제약 상황을 반영하여, 노인의 교통 서비스 접근성과 사회적 제약에 많은 시사점을 제공한다.

본 연구와 직접적인 관련을 갖는 화물통행 연구에서의 정보배열비교법의 활용은 Joh(2011)에서 확인할 수 있다. 우리나라 화물 자동차의 통행 연쇄 패턴을 확인하고 각 목적지 방문의 패턴이 적

재 품목별, 톤급별로 유의하게 구분됨을 확인하였다. 이들의 분석에 따르면, 목적지 연쇄의 특성으로, 일반적으로 대도시 중심의 소형 화물차에 비해 대형 화물차는 전국 각 지방의 중소 생산기반 도시로 도착지 분포가 넓게 퍼져 있었다. 목적지 유형의 특성으로는, 톤급별 화물차량 특성상 소형과 준중형에서 도소매업체와 가정 등의 도착지 유형이 상대적으로 많은 것에 비해 중형은 항만이, 대형은 건설현장 및 그와 관련된 도착지 유형 연쇄가 빈번함을 확인하였다. 적재 품목과 화물차량 톤급 간의 관계를 보면, 조립금속이 공통으로 많은 비중을 차지하는데 비해, 음식료는 소형과 준중형에, 폐기물은 준중형과 중형에 더 빈번한 적재 품목 연쇄를 확인하였다.

이상에서 언급한 바, 정보배열비교법을 활용한 관광, 교통, 경영 분야 등에서의 다양한 연구들을 고찰한 결과는 극한 기후의 기상 재해에 대한 물류 행동의 반응을 분석하고 예측하기 위한 앞으로의 연구에 다음과 같은 시사점을 제공하고 있다고 보인다. 첫째, 앞서 언급한 바 그대로 기후 변화에 따른 극한 기후의 기상 재해 현상은 장기적인 경향과는 다소 독립적으로 일상의 복잡한 contingency를 반영하며, 따라서 특정 시공간에서의 특정 재해 시나리오 하에서의 에이전트 기반 시뮬레이션으로 접근하는 것이 바람직하며, 따라서 시뮬레이션 실행에 가장 적합한 에이전트 속성을 찾는 것에는 제안된 기법이 매우 실질적인 방법을 제공하고 있음이 분명해졌다. 이는 개인 차원의 물류 행동의 창발적 출현을 측정하고 분석하기 위해서는 행동들 간의 순서 관계가 중요하기에 개인 행동의 표현을 수치가 아닌 명목적인 의미의 텍스트에 근거해야 하는데(cross-sectional 정보만이 아닌 contextual 정보까지), 정보배열비교법은 이를 수용하는 확인된 분석 방법이기 때문이다. 둘째, 제안된 기법은 단순한 기술적(technical) 도

구로서의 활동 측정과 분석 수단만이 아닌, 시간 지리학이라는, 개인과 사회 간의 관계를 도시계획에 반영한 매우 심오한 패러다임을 충실히 수용하는 이론적 틀 역시 갖고 있다. 개인의 하루 일상이 그 개인이 속한 사회와의 관계 하에 시공간 contingency에 의해 수행되는 것을 정확히 재현하는 이 기법은 물류 활동에서 역시 제약하의 최적 행동을 하려는 일반적인 행동 원리를 잘 표현하고 있다. 셋째, 제안된 기법은 그 자체 수월한 기능적 특성뿐 아니라, 극한 기후의 기상 재해에 관련된 어떤 형식의 개인 의사결정 관련 행태 자료도 분석이 가능하여 물류 행동 변화뿐 아니라 관련된 인접 연구와의 연계가 매우 용이한 장점이 있다.

5. 결론

이 연구는 기후 변화에 따른 극한 기후의 기상 재해 현상에 대응하는 물류 활동을 분석할 수 있는 방법론으로서 정보배열비교법의 적용 가능성을 고찰하였다. 이를 위해 본 논문은 우선 물류 연구 중 본 연구의 분석 대상인 화물자동차 운행 특성을 살펴본 후 물류 행동을 측정하고 분석할 수 있는 하나의 수학적 방법인 정보배열비교법을 소개하였다. 마지막으로 이 기법을 활용한 다양한 연구 사례를 소개하고, 이로부터 이 기법이 극한 기후에서의 물류 네트워크 변화를 분석할 수 있는 가능한 방향을 알아보았다.

연구 결과 다음을 확인할 수 있었다. 첫째, 제안된 기법은 극한 기후의 기상 재해에 대응한 개인 화물 수송 행동을 측정하고 분석할 수 있는 적절한 방법론을 제시하고 있음을 확인하였다. 이는 두 가지 측면에서 그 적절성을 확인할 수 있는 것인데, 첫째는 기후 변화가 실제 폭우·폭설 등 일상의 재해로 현실화할 때에는 그를 경험하

는 개인은 재해 발생 당시 상황에 따라 다양한 의사결정의 contingency를 접하게 되며, 따라서 개인별 시나리오 실행을 위한 에이전트 속성을 확인하는 것이 필요한데 제안된 기법이 그에 매우 적절하다는 것이다. 또 하나의 근거는 개인 물류 활동들에 대한 의사결정 간에는 상호 관련성이 존재하여 행동들 간의 순서 정보를 포함하는 정보배열(sequence)의 분석이 필요한데, 이를 제공하는 방법으로서 제안된 기법은 매우 적절하다. 연구 결과 확인할 수 있었던 두 번째 결과로는, 제안된 기법이 단순한 기술적 기법을 넘어 개인의 시공간 활동에 대한 지리학적 해석을 가능케 하는 특성을 갖고 있음을 확인하였다. 이는 시간지리학이라는 도시지리학 패러다임으로부터 확인할 수 있는 성과로서, 도시 내 일상 활동의 분석은 물론 기상 재해 시 개인의 반응과 그것의 도시 환경과의 관계를 해석할 수 있는 방법론을 제공할 수 있을 것이다. 셋째로는 제안된 기법의 확장 가능성인데, 활동 정보배열의 특성을 분석하는 기본적인 도구로서, 그 결과를 어떠한 시뮬레이션 프레임 하에서도 활용이 용이하다는 장점을 갖는다.

본 연구에서의 이상과 같은 결과들에 기초하여, 기상 재해에 반응하는 물류 활동 변화를 연구하는데 앞으로의 연구 과제를 다음과 같이 논의하고자 한다. 현재 기후 변화 특히 극한 기후의 기상 재해에 따른 물류 수송의 변화에 대한 연구는 이제 시작 단계로서 앞으로 많은 연구 작업을 앞두고 있다. 우선 물류 수송에 대한 차별적 영향을 제시할 수 있는 구체적인 기상 재해 시나리오를 준비하여야 한다. 생각할 수 있는 기상 재해의 종류는 여러 가지가 있을 수 있으나, 이 중 연구 목적에 가장 적절한, 기상 재해의 유무에 따른 수송 행태의 변화를 가시적으로 확인할 수 있는 시나리오가 연구의 시작에 필요하다.

다음으로는 이상의 정보배열 비교법에 의한 물

류 수송 통행 연쇄 방법론을 실제 네트워크 상에서 적용시켜 모의 실험을 할 수 있는 추가적인 이론적 연구가 필요하다. 현재로서는 NetLogo를 이용한 시뮬레이션 연구를 준비하고 있으나, 화물차 통행의 특성을 구분할 수 있는 이상의 정보배열 비교법을 시뮬레이션 시스템에 내재시켜 에이전트의 특성으로 투입하거나 시뮬레이션 결과와 실제 자료 간의 차이에 대한 피드백 정보로 활용할 수 있도록 고려하는 것이 필요하다.

또 하나의 향후 의사결정은 정보배열 비교법의 다차원 적용 필요성에 대한 검토와 관련이 있다. 화물차 통행은 앞서 살펴보았듯이 차주의 특성, 화물차 운행일지에 나타난 여러 가지 운행 정보들 각각이 하나의 속성으로서 통행 연쇄의 특성을 구분하고 집단을 확인시켜 줄 수 있다. 그러나 다차원 비교법은 연산에 많은 시간을 필요로 하여 에이전트 기반 시뮬레이션 연구에 큰 부담을 줄 수 있다. 이에 대한 해법이 필요하다.

사사

이 논문은 2013년 정부(교육부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A3A2052995).

References

- Abbott, A., 1995, Sequence analysis: New methods for old ideas, *Annual Review of Sociology*, 21, 93-113.
- Baek, S. G., Kim, B. J., and Lim, Y. T., 2008, A study on the relationships between rainfall and highway characteristics, *Journal of the Korean Society of Transportation*, 26, 119-128 (in Korean).

- Cho, C. H., 2011, Prospect of climate change, *Monthly Transportation*, 163, 6-10 (in Korean).
- Hay, B., Wets, G., and Van Hoof, K., 2004, Mining navigation patterns using a sequence alignment method, *Knowledge and Information Systems*, 6, 150-163.
- Joh, C. H., Lee, S. H., and Jang, D. H., 2012, A study on the definition of extreme climate index, *Journal of Climate Research*, 7, 136-145 (in Korean).
- Joh, C. H. and Timmermans, H. J. P., 2011, Applying sequence alignment methods to large activity-travel data sets: Exploration of heuristic approach, *Transportation Research Record*, 2231, 10-17.
- Joh, C. H., 2011, Freight trip chain analysis using sequence alignment methods, *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 14, 540-552 (in Korean).
- Joh, C. H., Arentze, T. A., and Timmermans, H. J. P., 2001, Multidimensional sequence alignment methods for activity-travel pattern analysis: A comparison of dynamic programming and genetic algorithms, *Geographical Analysis*, 33, 247-270.
- Joh, C. H., Arentze, T. A., and Timmermans, H. J. P., 2002, Activity-travel pattern similarity: A multidimensional alignment method, *Transportation Research B*, 36, 385-403.
- Joh, C. H., Popkowski, P., and Timmermans, H. J. P., 2003, Identifying purchase-history sensitive shopper segments using scanner panel data and sequence alignment methods, *Journal of Retailing and Consumer Services*, 10, 135-144.
- Kemperman, A. D. A. M., Joh, C. H., and Timmermans, H. J. P., 2004, Comparing first-time and repeat visitors activity patterns, *Tourism Analysis*, 8, 159-164.
- Kim, H. S., Park, D. J., Kim, C. S., Choi, C. H., and Cho, H. S., 2013, An empirical comparison of O/D and P/C based freight demand estimation methods: Focused on container cargo, *Journal of the Korean Society of Transportation*, 31, 45-59 (in Korean).
- Korea Meteorological Administration, 2012, *Report on Climate Forecasting of Korea*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- Kruskal, J. B., 1983, An overview of sequence comparison, in Sankoff, D. and Kruskal, J. B. (eds.), *Time Warps, String Edits, and Macromolecules: The Theory and Practice of Sequence Comparison*, Addison-Wesley, Reading, 1-44.
- KTDB, 2011, *A Study on Strategy for Improving Freight Transport Demand Estimation*, Korea Transportation Institute (in Korean).
- KTDB, 2013, *A Study on Strategy for Improving Freight Transport Demand Estimation*, Korea Transportation Institute (in Korean).
- Lee, H. J. and Joh, C. H., 2010, Tourism behaviour in Seoul: An analysis of tourism activity sequence using multidimensional sequence alignment, *Tourism Geographies*, 12, 487-504.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013, *Annual Report on Planning and Use of Land*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- Na, Y. G., Lee, S. H., and Joh, C. H., 2012, A study on ABM considering change in decision making under extreme weather, *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 15, 304-313 (in Korean).
- Na, Y. G., Lee, S. H., and Joh, C. H., 2013, A study on the relationships between flood information delivery and travel time under heavy rain and snow, *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 16, 262-274 (in Korean).
- Noh, S. H. and Joh, C. H., 2012, An analysis of elderly trip chain in Seoul Metropolitan Area using sequence alignment and motif search, *Transportation Research Record*, 2311, 10-17.

- tation Research Record*, 2323, 25-34.
- Park, C. S. and Jang, J. H., 2004, A study on development of weather information index by snowfall to forecast AADT, *Local Seoul*, 5, 19-26 (in Korean).
- Prevedouros, P. D. and Chang, K., 2005, Potential effects of wet conditions on signalized Intersection LOS, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 131, 898-903.
- Schlich, R. and Axhausen, K. W., 2003, Habitual travel behaviour: Evidence from a six-week travel diary, *Transportation*, 30, 13-36.
- Seol, J. H., 2011, paradigm shift for disaster prevention of urban transportation, *Monthly Transportation*, 163, 11-18 (in Korean).
- Seong, H. M., Kim, C. S., and Shin, S.J., 2008, An analysis of travel behavior of freight transport vehicle, *Journal of the Korean Society of Transportation*, 26, 7-16 (in Korean).
- Shin, S. J., Park, D. J., Oh, J. T., and Kim, S. J., 2012, A study on research trend for improving the method to estimate freight transport demand, *Journal of the Korean Society of Transportation*, 30(1), 45-58 (in Korean).
- Shoval, N. and Isaacson, M., 2007, Sequence alignment as a method for human activity analysis in space and time, *Annals of the Association of American Geographers*, 97, 282-297.
- Steinmann, S. and Silberer, G., 2010, Clustering customer contact sequences: Results of a customer survey in retailing, *European Retail Research*, 24, 97-120.
- Thrift, N.J., 1983, On the determination of social action in space and time, *Environment and Planning D*, 1, 23-57.
- Wilson, W. C., 1998, Activity pattern analysis by means of sequence-alignment methods, *Environment and Planning A*, 30, 1017-1038.

책임 편집: 이승호
 영문 교열: 편집위원회