

# 운송시스템의 리스크 분석방법에 관한 연구

김은지\* · † 김환성

\*한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 물류시스템학과

## A Study on the Risk Analysis Method on the Transport System

Eun-Ji Kim\* · † Hwan-seong Kim

\* Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

† Department of Logistics, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 시장의 세계화와 정보통신의 발전에 의해 물류 네트워크가 장기, 복잡화되어 지며, 네트워크 내에서 발생하는 리스크에 대응할 수 있는 시스템 능력이 감퇴했다. 이러한 리스크의 발생에 의해 물류시스템의 신뢰성이 저하되어, 리스크 관리의 필요성이 함께 증가하였다. 본 연구에서는 운송시스템 상에서 발생할 수 있는 리스크를 정의하고, 운송시스템의 신뢰성과 리스크 간의 관계를 규명하였다. 또한 운송시스템의 리스크 인자를 도출하여, 운송시스템의 리스크를 수리적으로 평가하는 분석 방법론을 제안하였다. 리스크 인자의 값을 산정하기 위해 발생 지수와 영향지수를 이용하였다. 본 연구에서 제안한 분석방법론을 대형화물자동차 운송시스템에 적용하여 사례연구를 실시하였고, 적용된 운송시스템에 대한 리스크 지수를 최종적으로 도출하였다. 본 연구결과로서 운송시스템에 대한 리스크를 수치화하여 분석 할 수 있음을 보였으며, 향후 본 연구 결과가 운송시스템의 리스크 관리와 리스크 회피전략 도출을 위한 기초연구자료로 활용될 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 물류 신뢰성, 리스크 분석, 운송시스템 리스크 인자, 중량화물운송시스템, 리스크 지수

**Abstract** : The trend of globalization and the development of the communication-Information technology have led the organization of a complex supply chains which are more vulnerable to risks. The impact of risk on the supply chain can be adverse so importance of risk management on a supply chain has increased. In order to analyze the risk factors of transport system, this study described about the definition of transport risk and investigated the relationship between likelihood index and effect index of each risk factor. We identified risk factors on transport system and measured likelihood index and effect index of each risk factor. Finally, a numerical risk index, which is a value of total transport system, has been resulted by aggregating all indices. In addition, a case study using the proposed method has done on a heavy vehicle transport context with a transport company.

**Key words** : Logistics reliability, Risk analysis, Risk factor on transport system, Heavy vehicle transport system, Risk index

### 1. 서론

세계화와 정보통신의 발전으로 세계 시장의 확장이 가속화되고 있다. 세계화가 국가의 경계를 넘어 정치, 경제, 문화 등 사회의 여러 분야에서 상호 교류를 촉진함에 따라, 다국적 기업이 세계적 범위로 영업을 확장하고 있다. 다양한 제조 거점이 개발도상국가로 이동되는 것은 글로벌 제조기업의 운영 전략의 일례로 볼 수 있겠다. 또한 정보통신 기술이 발달에 의해 전자상거래의 새로운 유형의 거래가 출현하였다. 이로써 물리적 공간의 경계가 모호한 매매시장에서 물류시스템 운영의 범위가 더불어 확장되었고, 현대사회의 물류시스템은 다양한 운송기술과 교통인프라 시설을 기반으로 전 세계에서 공 급과 수요를 충족시키고 있다.

그러나 빠른 속도로 발전하는 기술과 급변하는 시장규모에 의한 다중상승효과(Synergy effect)로 물류 네트워크가 장기화되고 복잡해졌으며, 이로써 네트워크 구조가 외부 변화에 대응할 수 있는 시스템의 능력이 감퇴되었다.(Stecke and Kumar, 2009; Trkman and McCormack, 2009; Lavastre et al., 2012; Mihalis and Thanos, 2015)

세계 시장을 기반으로 하는 공급망 운영에 있어 외부 변화로 인한 위험사건(리스크)으로서 기상이변, 정치 및 경제적 불안, 수송 인프라의 붕괴 등이 있으며, 이러한 대규모 재해는 물류 공급망에 치명적인 영향을 미친다. 대표적으로 대형 기상이변의 연 평균 발생 건수를 살펴보면 1980년대에는 12.7건이었던 것에 반하여 1990년대에는 19.2건으로 증가하였고, 2000년도에는 24.5건으로 1980년도 대비 약 92.9% 증가하는

† Corresponding author : 종신회원, kimhs@kmou.ac.kr 051)410-4334

\* 연회원, bina2329@gmail.com 051)410-4914

(주) 이 논문은 “위험사건(Risk)발생 시나리오를 고려한 운송 신뢰성 연구”란 제목으로 “2015 추계학술대회 한국항해항만학회논문집 (부산관광공사 아르피나, 2015.10.21.-23, pp. 256-257)”에 일부 내용이 발표되었음.

형태를 보이고 있다.(삼성경제연구소, 2013; Fateme et al., 2013)

이러한 대형 리스크 발생 빈도의 증가는 글로벌 기업의 공급망 위기와 신뢰성 붕괴를 초래하였다. 이로써 글로벌 기업의 생산 중단 또는 신제품 출시 지연은 기업운영에 경제적 손실을 미치고, 고객의 불만, 브랜드 이미지의 손상, 주주신뢰 하락과 같은 연쇄효과를 발생시켰다. 즉, 리스크는 공급망 전체의 붕괴를 초래하며 차후 기업의 운영에 있어 직·간접적 영향을 미칠 만큼 규모적, 시간적, 비용적으로 심각한 영향을 주었다. 그러므로 공급망 리스크에 대응하기 위한 리스크 관리에 대한 필요성이 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 기업 공급망의 리스크에 주요한 영향을 미치는 리스크 인자를 도출하고, 물류체계의 하위 요소인 운송시스템의 리스크를 평가하기 위한 리스크 분석방법론을 제시하며, 제시된 방법론의 이해를 돕기 위해 사례 분석을 행하여 리스크를 평가하였다. 이때, 리스크 인자는 운송시스템 상에 존재하는 리스크와 외부적 리스크를 기존의 리스크 관련 문헌과 전문 경영진의 자문을 통해 정의하고 평가하였다.

2절에서는 물류시스템의 리스크와 신뢰성에 대한 문헌조사를 실시하였고, 3절에서는 리스크 분석 방법론에 대해 설명하고 있다. 4절에서는 사례를 통해 운송시스템의 리스크 분석을 실시하였다.

## 2. 문헌 연구 및 고찰

### 2.1 물류관점의 리스크 정의

Heckmann et al.(2015)은 현대사회에서 공급망 내부의 복잡성과 상호연관성의 증가로 인하여 예상 결과의 불확실성(Uncertainty)이 증가하였고, 이로 인한 리스크 중요성도 더불어 높아지고 있다고 발표하였다. 이러한 공급망에 영향을 미치는 예상하기 어려운 리스크에는 허리케인, 태풍, 지진 및 쓰나미 등과 같은 자연재해가 있고, 또한 해적활동 및 세계금융위기 등과 같은 위험사건을 포함하고 있다. 본 논문에서 리스크는 투자의 손실에 대한 두려움과 손실을 발생시키는 위험사건의 발생확률로 정의되었다. 또한 위험사건의 발생확률과 공급망에 미치는 영향(결과)으로 분석될 수 있다고 서술하였다.

March and Shapira(1987)은 공급망 리스크를 지속 가능한 공급망 결과 분포의 편차(변화)로 정의하였으며 Zsidisin(2003)은 사건(risk)의 발생과 무능력으로 인해 영향을 받는 회사의 결과에 대한 연관성으로 정의하였다. Peck(2006)은 최초의 공급자에서부터 최종 상품을 필요로 하는 최종 사용자에게 까지 이르는 정보, 상품 혹은 자재의 흐름에 방해하는 것으로 정의하였다.

Aqlan and Lam(2016)은 리스크 위험사건을 공급망과 물류관리에서의 보편화된 자극으로 정의하였다. 또한, 공급망 리스크는 미래에 발생할 수 있는 리스크 위험사건의 불확실성 때

문에 존재한다고 서술하였다.

### 2.2 물류 관점의 신뢰성 정의

물류운영에 있어 리스크의 발생빈도가 높아지고, 다양해짐에 따라 기존의 물류체계를 유지할 수 있는 대응 능력에 대한 물류관리자의 인식과 관심이 높아지고 있다 (Aqlan and Lam, 2016). 또한 리스크 위험사건에 대응하는 물류 신뢰성에 대한 연구도 증가하였으며, 기존 연구에서는 물류체계의 강건성(robustness), 회복성(resilience), 유연성(flexibility), 신속성(agility) 등의 용어가 신뢰성과 유사한 정의로 이용되었다. 표 1에서는 신뢰성에 관한 종래 문헌의 용어별 정의를 나타내고 있다.

Table 1 Description of similar terms with reliability in the literature

Term	Author	Description
Robustness	Ferdows (1997)	The ability of a network to cope with changes in the competitive environment.
	Asbjørnslett and ausand (1999)	The system's ability to resist an accidental event and return to do its intended mission and retain the same stable situation.
	Mo and Harrison (2005)	The ability of a supply chain design to find a supply chain configuration that provides robust and attractive performance while considering many sources of uncertainty.
	Bundschuh et al. (2006)	The ability of supply chain to maintain a given level of output after a failure.
	Chandra and Grabis (2007)	The supply chains ability to withstand external and internal shocks.
	Dong (2006), Dong and Chen (2007)	The ability of a supply chain network to carry out its functions despite some damage done to it, such as the removal of some of the nodes and/or links in a network.
Resilience	Hamel and Valikangas(2003)	The capacity for continuous reconstruction.
	Peck (2005)	The ability to react to an unforeseen disturbance and to return quickly to their original state or move to a new.
	Dinh et al.(2012)	Resilience helps to recover system states after incidents take place.
	Soni et al.(2014)	The ability of a system to return to a stable state after disruption.
Flexibility	Skipper and Hanna (2009)	The ability of a system to face, resolve and, if necessary, exploit unexpected emergencies.
	Juttner and Maklan (2011)	The ability to supports sensing disruptions.
Agility	Christopher and Towill (2001)	The capability that embraces organizational structures, information systems, logistics processes and in particular, mind sets
	Christopher and Peck (2004)	The ability of an SC to respond quickly to unpredictable changes.

Term	Author	Description
	Braunscheidel and Suresh (2009)	The capability of the firm, internally, and in conjunction with its key partners, to adapt or respond in a speedy manner to marketplace changes as well as to potential and actual disruptions

위의 용어 정리에서 ‘강건성’은 ‘위험사건이 발생한 상황에서 기존의 물류시스템을 유지하는 능력’, ‘회복성’은 ‘위험사건의 발생에 의해 붕괴된 물류시스템을 복구하는 능력’, ‘유연성’은 ‘위험사건 발생에 의한 혼란 상황을 통제하는 능력’, ‘신속성’은 ‘위험사건의 발생 이후에 신속하게 대처하는 운영 능력’으로 요약할 수 있다. 이에 본 연구에서는 물류시스템의 신뢰성을 ‘리스크의 발생에 의해 운송서비스가 지연되는 현상에 대응할 수 있는 능력’으로 정의한다.

### 2.3 리스크와 신뢰성의 상관관계

리스크와 신뢰성과 관련된 연구를 살펴보면 신뢰성 제고를 위한 전략 및 공급망 재설계를 통한 신뢰성 향상으로 분류할 수 있다.

Christopher and Peck(2004)은 물류 공급망의 리스크 연구를 통해 경제 산업의 신뢰도를 향상시키고자 하였으며, 산업의 공급망에 발생할 수 있는 리스크를 정의하였고 각 리스크의 회피전략을 경영자 시각으로 제시하였다. Lavastre et al.(2012)은 공급망의 연약성이 리스크 요소에 의해서 결정될 수 있다고 설명하였으며 이를 공급망 리스크에 의해 발생하는 방해요소에 노출되는 정도로 설명하였다.

Ishfaq(2012) 복합운송시 발생하는 리스크를 제시하였고 운송수단별 모델을 이용하여 리스크에 대응할 수 있는 전략을 제안하였다. 이때, ‘유연성’ 전략 기반으로 신뢰성을 평가하였다. Vljajic et al.(2012)는 식재료 공급망 상에서 예측할 수 없는 리스크가 발생할 때의 공급망을 유지할 수 있도록 신뢰도를 향상시키는 최선의 공급망 시나리오를 통하여 강인한 공급망을 설계하였다.

Fateme(2013)는 3단계(고객, 판매자, 공급업자)의 공급망 시나리오를 채택하여 운송 시 발생하는 리스크에 대응할 수 있는 최적의 운송 모델을 제시하였다. 또한 공급망 네트워크 설계, 공급망 요인 분석, 전략을 통한 신뢰성 평가를 분류하여 분석하였다. Aqlan and Lam(2016)는 리스크를 발생시키는 위험사건의 장기적 피해와 경쟁업체에 미치는 영향을 완화시키기 위해 반응하는 능력을 대응력, 효율성, 신뢰성으로 나타내었다.

앞서 연구된 문헌조사를 통해 공급망 리스크의 정의와 신뢰성을 의미하는 용어 및 상세 정의를 살펴보았다. 또한 두 가지의 상관관계를 고려하여 특정 제품의 공급망에 미치는 리스크의 영향을 최소화하기 위한 최적의 전략 제시 및 시스템 설계 관계를 검토하였다.

이를 통해, 현대사회에서 물류시스템의 신뢰성은 중요한 운

영 요소로 이해되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 공급망에 속해 있는 각 물류활동의 리스크와 그 신뢰성을 충분히 분석되지 않은 상태에서 공급망 전체(상품의 제조부터 최종 고객에게 전달되는 일련의 과정)의 신뢰성에 관한 연구는 한계에 직면하였다. 또한 물류시스템에서 리스크에 대한 명확한 정의가 이루어지지 않았으며 (Heckmann et al., 2015), 리스크 종류 및 분석이 충분하게 연구되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 물류시스템의 신뢰성에 영향을 미치는 리스크에 주목하여, 하위 체계에 속하는 운송시스템의 리스크를 분석한다. 운송 실패(지연)에 영향을 미치는 리스크를 기존 문헌을 통해 정의하고, 리스크의 구조를 설계하여, 시스템을 평가하는 방법론을 제시하고자 한다.

운송시스템의 리스크 분석 방법론에서는 3단계로서 리스크 분석; 시스템 리스크 설계; 시스템 리스크 평가;로 진행하고자 한다. 리스크 분석은 3절에서 시스템 상의 리스크 인자를 인식하고, 그 발생지수와 영향지수를 산정하여, 각 리스크 인자별 개별 리스크 지수를 산출한다. 시스템 리스크 설계는 4절에서 서술되며, 리스크 인자의 계층구조를 고려하여 리스크 나무(Risk tree)구조로 표현한다. 마지막으로 시스템 리스크 평가에서는 시스템 상의 모든 리스크 지수를 합산한 하나의 시스템 리스크 지수를 산출하여 운송시스템을 평가하도록 한다.

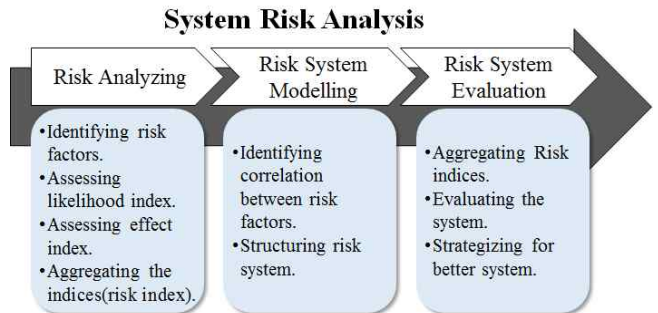


Fig. 1 Process of system risk analysis

## 3. 운송시스템의 리스크

물류는 운송, 보관, 포장 및 하역을 포함한 통합 활동이나, 운송체계 상에서는 발생하는 차량의 고장이나 운전자의 잠재적 리스크로 인해 물류체계가 붕괴되는 결과가 발생할 수 있다.

본 절에서는 운송시스템에 대한 리스크를 서술하고, 리스크 인자를 정의한다. 각 리스크 인자별 리스크 발생지수와 리스크 영향지수의 산출방법을 제시하고, 전체 시스템을 하나의 리스크 지수로 산정하는 방법을 서술한다.

### 3.1 운송시스템의 리스크 인자 정의

2008년 이전 연구에서는 주로 물류시스템의 하위 운송시스템에 발생하는 차량, 운전자, 도로, 터미널 요인을 인지하고,

시스템을 평가하는 연구가 주로 행해졌으며, 2008년 이후에는 외부적 요인을 포함하여 운송시스템의 리스크를 분석하는 연구가 실시되었다. 상기 연구내용을 중심으로 운송시스템의 리스크를 요인별로 분류하여 표 2로 나타내었다.

Table 2 Classifications of transport risk factor on researches

Factor	Vehicle factor	Driver factor	Road factor	External factor	User (Terminal) factor	Network factor
Hakkanen and Summala(2001)	✓	✓	✓	✓	✓	
Rodrigue et al.(2007)	✓	✓	✓			✓
Logistics research centre(2008)					✓	
Stecke and Kumar(2009)		✓		✓		
Wang and Wang(2011)	✓	✓	✓	✓		
Bradley(2014)		✓		✓	✓	✓
Aqlan and Lam(2015)	✓	✓		✓		✓
Chen et al.(2015)	✓	✓	✓	✓		

운송시스템의 리스크를 독립적으로 분석하기 위해 Wang and Wang(2011)과 Chen et al.(2015)은 직접 영향을 미치는 리스크 인자인 차량 리스크; 운전자 리스크; 도로환경 리스크; 외부변화 리스크;로 분류하였으며, 각 분류에 대해 3~4가지의 하위 리스크를 정의하였다. 차량 운전자는 운전자의 행동과 직업적인 요인에 따라 물류 체계에 영향을 미치는 것으로 정의하였으며, 도로는 운송의 기본 인프라로서, 도로의 환경은 운송시스템의 실패에 직접적인 영향을 미치는 인자로, 외부변화는 다양한 요소에 의해 영향을 받는 간접적 인자로서, 실제 운송흐름 및 접근성, 연결성 등에 영향을 미치는 인자이다.(Wang and Wang, 2011) 본 연구에서는 상기 연구결과를 바탕으로 상위 리스크 인자 4가지를 분류하였고, 각 분류별 13가지의 하위 리스크 인자를 표 3과 같이 정의하였다.

Table 3 Risk factors on transport system

Classification	Risk factors
a. Vehicle Factors	1. Defective vehicles
	2. Vehicle without functional equipment
	3. Excess load
b. Driver Factors	4. Drivers shortage
	5. Lack of experienced drivers
	6. Driver's health problem
	7. Driver's carelessness
c. Road Factors	8. Traffic congestions
	9. Low quality of roads
	10. Reconstruction on roads
d. Environmental Factors	11. Drivers strike
	12. Natural disasters
	13. Terror activities

### 3.2 리스크 인자와 리스크 지수의 관계

본 절에서는 앞서 정의한 13개의 운송시스템 리스크 인자에 대하여 정량화하는 방법에 대해 서술한다. 대규모시스템에서는 리스크 인자가 발생할 확률과 리스크 인자가 시스템에 얼마만큼 영향을 미칠 것인지를 동시에 고려할 필요가 있으며, 각 리스크인자의 발생확률과 발생된 리스크가 시스템에 미치는 영향(심각성)을 고려하여 리스크 인자로 정의(Yacoub and Ammar, 2002; Canadian center for occupational health and safety, 2009; Lavastre, et al., 2012; Ordouer, et al., 2014)한다. 그림 2에서 리스크 인자의 지수간의 관계를 발생확률과 시스템에 미치는 영향에 대해 도식화하였다.

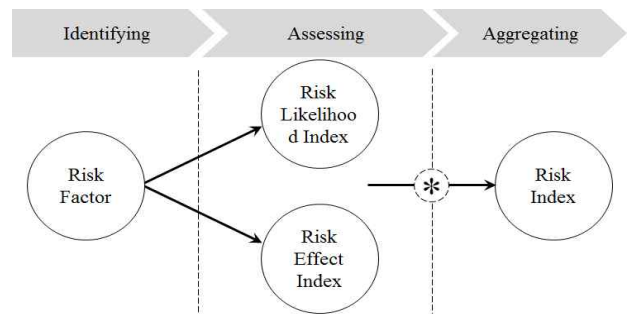


Fig. 2 Relationship between risk index and risk factor

즉, 리스크의 발생지수가 낮더라도 리스크의 영향지수가 클 수 있으며, 반면에 리스크의 발생지수가 높더라도 리스크의 영향지수가 낮아 시스템의 리스크에 미치는 영향이 낮을 수 있다. 따라서 리스크 인자의 발생지수와 영향지수를 합산함으로써 리스크 지수를 수치화 할 수 있다.

### 3.3 리스크 인자별 발생지수 산정법

Table 3에서 정의한 13개의 리스크 인자에 대하여  $i$  번째 리스크 인자의 발생지수를  $LI_i$ 로 칭하며, 각 발생지수는 양적 분석에 의한 확률적 계산식으로 도출한다. 본 연구에서는 통계자료를 기준으로 하여 각 리스크 인자별 발생지수의 산정방식은 다음과 같이 나타낸다.

- 차량 결함( $LI_1$ ): 차량연식이 길수록, 차량 내의 결함 발생률이 높아져, 각종 안전사고의 발생가능성이 높아진다. 국토교통부는 2012년에 화물, 특수자동차의 사용연한을 10년으로 연장하였고, 전체 화물자동차 중에서 10년을 초과한 차량은 노후화로 인해 차량 결함이 발생할 수 있다. 그러므로 해당년도에서 전체 화물자동차 수에서 10년 이상 연식의 화물 자동차가 차지하는 비율로 도출한다.
- 특수차량부족( $LI_2$ ): 일정기간동안 특수화물차량 1대당 연간 평균수송톤수 대비, 당해년도 특수화물차량 1대당 수송톤수의 비율로 도출한다. 이로서 당해연도에는 특수화물증가에 따른 특수화물차량의 부족비율을 산출할 수 있다(예,

한국교통연구원 화물운송시장정보 시장수급개황 자료)

- 기준중량 초과운행( $LI_3$ ): 화물자동차 운행 기록을 바탕으로 과적비율로 도출한다. (예, 한국교통연구원 화물운송일반 자료 활용)
- 운전자 부족( $LI_4$ ): 일정기간동안 화물운송업 종사자 1인당 평균 화물수송량 대비, 당해년도 화물운송업자 종사자 1인당 처리한 화물수송량 비율로 도출한다.(예, 국토교통통계누리, 통계청 자료 활용)
- 숙련운전자 부족( $LI_5$ ): 운전 중에 필요한 신속한 판단과 행동은 운전 경험에 의해 터득할 수 있으며, 숙련된 운전자는 안전하게 운전하기 위한 순간적 판단력이 높아, 운송활동을 효과적으로 행할 수 있다. 반면에, 운전경력이 높은 운전자들의 경우 과도한 자신감과 안일함으로 사고에 연루될 가능성이 높았다<sup>1)</sup>. 그러므로, 화물운송에 적합한 숙련운전자는 운전경력 5년 이상에서 10년 미만의 화물자동차 운전자로 정의할 수 있다. 전체 대형화물자동차 운전자 중, 5년 이상 10년 미만의 운송경력자가 차지하는 비율로 산정한다.
- 운전자 건강( $LI_6$ ): 운전자의 건강은 기사의 피로도에 직접적인 영향 받는다. 승용차운전자 대비 화물차운전자의 피로도 증감률로 운전자 건강비율을 산정한다. Lee et al.(2008)의 연구에서는 화물자동차 운전자의 피로율을 측정하기 위한 도구로서 VAS(Visual analog scale)를 사용하였으며, 그 결과를 활용하여 운전자 건강의 발생지수 값으로 이용한다.
- 운전자 부주의( $LI_7$ ): 고속도로 사고는 중앙선침범, 과속, 안전운전의무위반으로 발생되며, 이는 운전자의 부주의에 의한 운전법규위반으로서 교통사고로 이어지게 된다. 그러므로, 운전자 부주의 발생지수는 고속도로 교통사고에서 화물자동차가 차지하는 비율로 산정한다.
- 교통정체(혼잡)( $LI_8$ ): 일정기간동안 도로사용 증가율과 차량 수의 증가율을 합산한 값으로 도출한다(Jo, 2014).
- 도로노면 부실( $LI_9$ ): 화물자동차가 업무상 이용되는 고속도로 총 거리 중에서 유지보수가 필요한 거리의 비율로 산정한다.

예) 대한민국 고속도로 총 거리: 4136.9km  
유지보수를 필요로 하는 고속도로 거리: 2294.2km

$$\text{도로노면부실비율} = \frac{2294.2}{4136.9} = 0.5437$$

- 도로보수공사( $LI_{10}$ ): 2013년도 도로투자금액에서 도로보수에 투자된 비용의 비율로 도출<sup>2)</sup>한다.

예) 2013년도 전체 도로투자예산: 90,688(억원)  
2013년도 도로보수에 투자된 예산: 5,859(억원)

$$\text{도로보수공사비율} = \frac{5,859}{90,688} = 0.065$$

- 화물연대파업( $LI_{11}$ ): 화물연대본부가 창립된 이후, 당해년도까지, 총 파업이 진행된 날의 비율로 산정한다.

예) 화물연대 창립이후 운영기간: 4,583일  
화물연대 총 파업기간: 37일

$$\text{화물연대 파업의 비율} = \frac{37}{4,592} = 0.000152$$

- 자연재해( $LI_{12}$ ): 운송활동에 영향을 미치는 자연재해로 해당연도에 발생한 호우, 대설, 강풍 및 풍랑, 태풍을 말한다. 1년 중 재해를 발생시킨 재난사건 발생일수의 비율로 도출한다.
- 공공시설에 테러( $LI_{13}$ ): 국내에서는 테러사건이 발생하지 않았으나, 테러발생 가능성을 고려하여 국가안전보장회에서 테러에 의한 경보를 최상위로 지정한 일수의 비율로 산정한다.

### 3.4 리스크인자 영향지수 정의 및 산정법

리스크의 영향지수는 리스크분석의 질적분석방법론으로 사용되는 FMEA를 적용하였다(Tixier et al., 2002). 본 연구에서는 리스크가 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해 3가지 요소, 비용적 영향; 시간적 영향; 기업의 명성적 영향을 기준으로 평가하였다. 이는 앞서 정의한 운송시스템의 리스크가 독립적으로 발생함에 따라, 기업의 영업이익에 미치는 손실의 정도를 평가하고, 예상 운송시간에서 변동되는 정도를 추정하며, 고객(화주)에게 미치는 리스크의 악영향이 기업의 명성에 미치는 영향을 각각 평가하고자 함이다. 상기 세 가지 값을 합산하여 리스크 인자별 영향지수( $EI_i$ )로 정의하며, 식 (1)를 이용하여 리스크 영향지수를 계산한다.

$$EI_i = \sqrt[3]{C_i \times T_i \times R_i} \quad (1)$$

여기서 리스크  $i$ 인자에 대해 각각  $C_i$  는 비용적 영향평점,  $T_i$  는 시간적 영향평점,  $R_i$  는 기업의 명성적 영향평점을 말한다.

Table 4 Evaluation criteria for effect index

Degree	Cost effect evaluation criteria	Score
	Time effect evaluation criteria	
	Notoriety effect evaluation criteria	
None	Loss on business profits $\leq 0.001\%$	0.1
	A deviation of transport time approximate 0.1% No discernible effect.	
Very Minor	0.001% < Loss on business profits $\leq 0.1\%$	0.2
	A deviation of transport time approximate 0.5% Defect noticed by discriminating customers	
Minor	0.1% < Loss on business profits $\leq 1\%$	0.3
	A deviation of transport time approximate 10% Defect noticed by 25% of customers.	
Very	1% < Loss on business profits $\leq 10\%$	0.4

1) 사업용자동차 대형교통사고 원인분석시스템 구축 2012, 교통안전공단 녹색교통IT본부 안전연구처  
2) 2014 국토교통 통계연보, 국토교통부

Low	A deviation of transport time approximate 20%	0.5
	Defect noticed by 50% of customers.	
Low	10% < Loss on business profits ≤ 15%	0.5
	A deviation of transport time approximate 35%	
Moderate	Defect noticed by 75% of customers.	0.6
	15% < Loss on business profits ≤ 30%	
High	A deviation of transport time approximate 55%	0.7
	Customer somewhat dissatisfied.	
High	30% < Loss on business profits ≤ 50%	0.7
	A deviation of transport time approximate 80%	
Very high	Customer dissatisfied.	0.8
	50% < Loss on business profits ≤ 70%	
Hazardous	A deviation of transport time approximate 100%	0.9
	Customer very dissatisfied.	
Very Hazardous	70% < Loss on business profits ≤ 90%	1
	The shipment will not arrive	
Very Hazardous	Imposing penalty by Regulation	1
	Loss on business profits > 90%	
Very Hazardous	No information about the station of transport either arriving or not	1
	Suspension of business by Regulation	

리스크의 3가지 영향지수를 객관적으로 추정 및 평가하기 위해, 평점도를 표 4와 같이 작성하였다. 평점표는 리스크의 영향과 영향의 정도, 정도에 따른 점수(0.1에서 1까지, 10단계)로 구성되어있으며, 이 기준에 따라 13가지의 운송시스템의 리스크 영향지수를 현 운송업체의 자문을 통해 평가한다.

### 3.5 리스크인자별 리스크 지수 산출

3.3절에서 산정한 리스크 인자별 발생지수( $LI_i$ )와 3.4절에서 도출한 리스크 인자별 영향지수( $EI_i$ )를 이용하여 각 리스크인자별 리스크 지수를 도출하기 위하여 다음의 식을 이용하도록 한다. (Yacoub and Ammar, 2002; Canadian center for occupational health and safety, 2009; Lavastre, et al., 2012; Ordouer, et al., 2014)

$$rf_i = LI_i \times EI_i \quad (2)$$

여기서,  $LI_i$ 는  $i$ 번째 리스크 발생지수이고,  $EI_i$ 는  $i$ 번째 리스크 영향지수이며,  $rf_i$ 는  $i$ 번째 리스크 인자의 리스크 지수를 나타낸다.

다음 절에서는 본 연구에서 제시한 리스크 인자를 이용하여 실제 운송시스템의 리스크 지수를 산출하고, 운송시스템의 종합적 리스크 지수를 도출하여 시스템을 평가한다.

## 4. 운송시스템의 리스크 분석

### 4.1. 운송시스템의 리스크 구조 설계

리스크 분석을 실시하기 앞서, 운송시스템의 리스크 구조를 설계할 필요가 있다. 리스크 구조설계에서는 리스크 인자를

도식화하여 전체 시스템의 리스크 분석하기 위해 이용된다.

종래 연구에서는 리스크의 질적 분석방법론인 고장나무분석법(Fault Tree Analysis: FTA)을 이용하였으며(Tixier et al., 2002), 이는 예상치 못한 결과나 시스템을 붕괴시키는 사건의 발생확률을 결정하기 위해 이용되는 기술로 활용된다.(Choi, 2012).

본 연구에서는 상기 FTA를 응용하여 시스템의 고장을 발생시키는 리스크의 발생지수와 영향지수를 합산한 리스크인자를 고려하여 최상위 리스크를 평가하는 방법으로 RTA(Risk Tree Analysis)를 제안한다. 제안된 RTA는 FTA와 동일하게 최상위 리스크를 정의하고, 이를 발생시키는 하위 사건을 하향식 구조로 정의한다.

RTA 상에서 기본 리스크 인자는 시스템 상에서 최소 단위의 리스크를 의미하며, ○로 표현된다. 중간 리스크인자는 시스템의 붕괴를 발생시키는 리스크와 기본 리스크인자의 중간 리스크로서, □를 이용하여 표현한다. 리스크인자간의 상호관계를 고려하여 논리기호로 표현한다. 논리기호에는 ‘And’와 ‘OR’이 있으며, ‘AND’기호는 논리기호 이하에 존재하는 리스크인자가 복합적으로 작용하여 상위 리스크로 연결되는 경우이며, □의 기호를 이용한다. ‘OR’기호는 논리기호 이하에 존재하는 리스크인자가 독립적으로 작용하여 상위리스크를 발생시키는 경우로써, ∪의 기호로 표현한다(Pallavi and Alok, 2015).

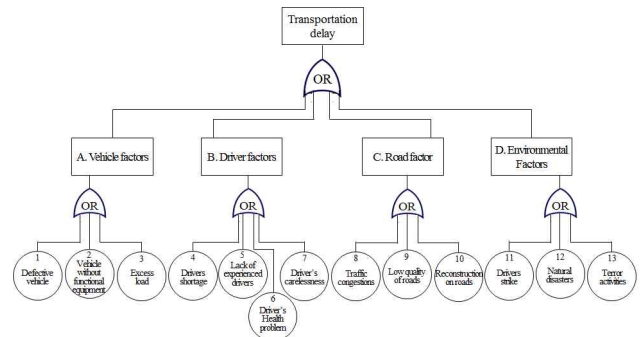


Fig. 3 Risk tree of transport system

본 연구에서 3.1절에서 정의한 운송시스템의 리스크 인자를 고려하여 Fig. 3과 같이 운송시스템의 리스크 구조를 설계하였다. 리스크 구조 설계에서 운송시간의 지연을 상위 리스크 인자로 선정하였으며(Vorst & Beulens, 2002; Fowkes et al., 2004; Jung, 2006), 4가지의 중간 리스크 인자인 차량 리스크; 운전자 리스크; 도로환경 리스크; 외부변화 리스크;는 발생확률적으로 서로 독립적으로 발생하므로, ‘OR’기호로 연결된다. 기본 리스크 인자로 정의된 13개의 리스크인자들도 동일한 중간리스크인자 내부에서 독립적으로 발생하므로, ‘OR’기호로 연결된다.

### 4.2 운송시스템의 리스크 산출



RTA를 통해 리스크 인자로 구성된 운송시스템의 리스크 지수를 합산하기 위해, 리스크나무의 논리기호의 성질에 따라 직렬·병렬법칙을 적용한다.

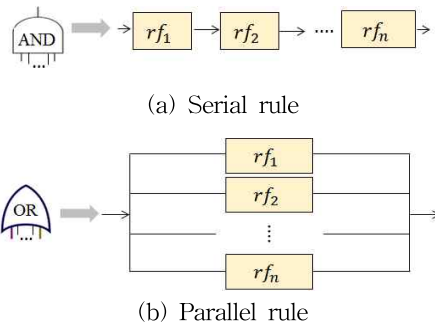


Fig. 4 Serial and parallel Rules

직렬 법칙은 연속적으로 상호작용하는 리스크 인자를 합산하는 방법이다. 리스크 나무 그래프 상에서 ‘AND’ 논리기호 아래에 존재하는 리스크 지수를 합산할 때, 직렬 법칙 식 (3)을 이용하여 산정한다.

병렬 법칙은 상호연계 없이 독립적으로 발생하는 리스크 인자를 합산하는 방법이다. 리스크 나무 그래프 상에서 ‘OR’ 논리기호 아래에 존재하는 리스크 지수를 합산할 때, 병렬 법칙 식 (4)를 이용하여 산정한다.

식에서  $rf_i$ 는 리스크 인자  $i$ 의 지수이며,  $RF$ 는 논리기호에 의해 직렬·병렬 법칙을 이용하여 얻은 합산된 시스템의 리스크 지수를 일컫는다.

$$RF = rf_1 \times rf_2 \times \dots \times rf_{(n)} = \prod_{i=1}^n rf_i \quad (3)$$

$$RF = 1 - \{1 - rf_1\} \{1 - rf_2\} \dots \{1 - rf_n\} \\ = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - rf_i\} \quad (4)$$

본 연구에서 제시하고 있는 운송시스템의 리스크 구조는 모두 ‘OR’ 논리기호로 연결되어있기 때문에, 병렬 법칙만을 이용하여 도출한다.

#### 4.3 운송시스템 리스크 분석 사례연구

리스크 인자의 발생지수와 영향지수를 고려하여 각 리스크 인자별 지수를 도출하고, 리스크트리 구조에 따라 전체 시스템의 리스크 지수를 하나의 값으로 도출하여 분석한다. 표 5에서는 대형화물자동차 운송시스템에서 도출된 리스크인자별 발생지수와 영향지수를 보여준다.

리스크 인자의 발생지수 결과에서 도로노면의 부실이 가장 높은 발생지수인 0.544를 나타냈으며, 다음으로 차량의 결함문제가 0.376으로 높은 값을 보였다. 뒤이어 운전자의 건강문제, 기상이변, 도로보수공사가 각각 0.164, 0.077, 0.065의 발생지수를 보였다. 화물연대파업과 특수차량의 부족은 0에 가까운 값

을 보이고 있으며, 발생가능성이 적거나 거의 없는 경우이다. 특히 특수차량 부족의 경우, 10년간 특수차량이 처리한 화물의 평균량에 비해 당해년도 특수화물자동차의 처리량이 적어 특수화물자동차 수가 특수 처리를 필요로 하는 화물량에 비해 과잉상태임을 확인할 수 있다.

Table 5 Risk indices and aggregated risk factor

Basic Risk Factors	Risk Likelihood Index	Risk Effect Index
1. Defective vehicles	0.376	0.34
2. Vehicle without functional equipment	0	0.23
3. Excess load	0.040	0.34
4. Drivers shortage	0.054	0.46
5. Lack of experienced drivers	0.015	0.58
6. Driver's health problem	0.164	0.58
7. Driver's carelessness	0.002	0.39
8. Traffic congestions	0.043	0.46
9. Low quality roads	0.544	0.31
10. Reconstruction on roads	0.065	0.26
11. Drivers strike	0.0002	0.50
12. Natural disasters	0.077	0.45
13. Terror activities	0.007	0.61

리스크 인자의 영향지수 결과를 살펴보면, 테러에 의한 영향이 0.61로 가장 높은 값으로 나타났다. 이는 비용적 영향평점 0.8, 시간적 영향평점 0.7, 기업의 명성적 영향평점 0.4을 고려한 값으로서 식(1)을 이용하여 도출하였다.

$$\text{예) } EI_{13} = \sqrt[3]{C_{13} \times T_{13} \times R_{13}} \\ = \sqrt[3]{0.8 \times 0.7 \times 0.4} = 0.61 \quad (5)$$

이와 같은 방식으로 운전자의 건강문제와 숙련운전자의 부족문제가 시스템에 미치는 영향이 두 번째로 큰 0.58로 도출되었다. 다음으로는 화물연대파업, 기상이변이 각각 0.50, 0.45로 뒤를 이었다. 발생지수와 반대로 특수차량부족이 가장 낮은 영향지수를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

대형화물자동차 운송시스템의 리스크 인자에 대한 발생지수와 영향지수 값은 식(2)를 이용하여 합산하며, 첫 번째 리스크 인자인 ‘차량결함’의 리스크 인자를 도출하는 사례를 보여준다.

$$\text{예) } rf_1 = LI_1 \times EI_1 \\ = 0.376 \times 0.34 = 0.128 \quad (6)$$

식에서는 도출된  $LI_1$  와  $EI_1$ 를 0.376, 0.34로 대입하여,  $rf_1$ 이 0.128로 산출되었다. 이와 같은 방식으로 두 가지 지수를 합산한 리스크 지수 결과는 그림 3과 같다. 높은 리스크 지수 결과 순으로 나열하여 보여주고 있다.

도로노면의 부실이 가장 높은 리스크 지수 값인 0.169로 도출되었고, 차량결함이 0.128, 운전자의 건강문제가 0.095로 뒤를 이었다. 높은 리스크 지수로 도출된 3가지 리스크 인자의

경우, 높은 발생지수로 인한 영향을 크게 받은 것으로 판단되며, 기상이변과 운전자 부족 리스크 인자는 발생지수와 영향지수의 합산으로 인해 리스크인수 값이 커진 것으로 보인다. 기상이변과 운전자 부족 및 교통혼잡 리스크는 높은 영향지수로 인해 리스크 지수가 증가하였음을 확인할 수 있다.

Basic Risk Factors	Risk Index	
9. Low quality roads	0.16864	
1. Defective vehicles	0.12784	
6. Driver's health problem	0.09512	
12. Natural disasters	0.03465	
4. Drivers shortage	0.02484	
8. Traffic congestions	0.01978	
10. Reconstruction on roads	0.0169	
3. Excess load	0.0136	
5. Lack of experienced drivers	0.0087	
13. Terror activities	0.00427	
7. Driver's carelessness	0.00078	
11. Drivers strike	0.0001	
2. Vehicle without functional equipment	0	

Fig. 5 Aggregated risk index

반면에 0에 가까운 리스크 지수 값으로 산출된 운전자 부주의, 화물연대파업 및 특수차량 부족 리스크 인자는 낮은 발생지수의 영향을 많이 받아 0에 가까운 값으로 산정되었다. 다음 3가지 리스크 인자의 경우, 시스템에 미치는 영향이 미미한 것을 확인할 수 있다.

그림 6와 같이 대형화물자동차 운송시스템의 리스크 지수를 리스크 트리의 구조에 맞게 합산할 때, 리스크 트리의 논리기호를 고려하여 식 (3)과 (4)를 적용하며, 아래 식(7)에서는 운전자 리스크 인자의 리스크 지수를 합산하는 사례를 보여준다.

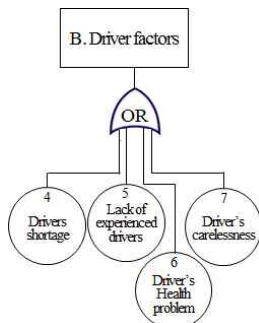


Fig. 6 Risk tree of transport system

$$\begin{aligned}
 \text{예) } RF_B &= 1 - \{1 - rf_4\} \{1 - rf_5\} \{1 - rf_6\} \{1 - rf_7\} \quad (7) \\
 &= 1 - \{1 - 0.025\} \{1 - 0.009\} \{1 - 0.095\} \{1 - 0.001\} \\
 &= 0.126
 \end{aligned}$$

식에서는 앞서 도출된  $rf_4, rf_5, rf_6, rf_7$  값으로 0.025, 0.009, 0.095, 0.001을 대입하여,  $RF_B$ 인 0.126을 산출하였다. 이와 같은 방식으로 시스템의 중간 리스크 지수를 합산한다.

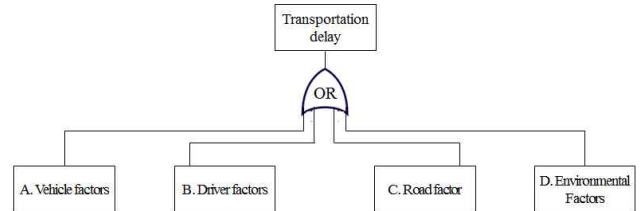


Fig. 7 Risk tree of transport system

중간 리스크 지수 결과를 기반으로, 그림 7의 운송시스템 종합적 리스크 지수를 도출할 수 있으며, 아래 식 (8)과 같이 도출한다.

$$\begin{aligned}
 \text{예) } RF &= 1 - \{1 - RF_A\} \{1 - RF_B\} \{1 - RF_C\} \{1 - RF_D\} \quad (8) \\
 &= 1 - \{1 - 0.140\} \{1 - 0.126\} \{1 - 0.199\} \{1 - 0.039\} \\
 &= 0.421
 \end{aligned}$$

식에서 중간 리스크 인자인 컨테이너 차량 리스크, 운전자 리스크, 도로환경 리스크, 외부변화 리스크의 리스크 지수는 각각 0.140, 0.126, 0.199, 0.039로 산출되어 대입했고, 이 값을 통해 전체 대형화물자동차 운송시스템의 리스크 지수는 0.421으로 산출되었다.

모든 운송시스템의 리스크인수는 0보다 크거나 같고, 1보다 작거나 같다. 리스크인수는 1에 가까울수록 앞서 리스크 인자에 의한 전체 시스템의 안전도가 떨어지는 것으로 해석된다. 운송시스템의 운영과 목표를 달성하는 것에 문제가 생겨 위태롭거나 위험한 상태로, 본 연구에서 도출한 사례에서는 0.421의 리스크 지수가 도출되었으며, 리스크 인자에 의한 위험지수가 0.5를 넘지 않는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 시스템 종합적 리스크 지수를 감소시키기 위해, 중간 리스크 지수의 값을 줄이는 전략을 택하거나, 기본 리스크 지수의 값을 줄이는 전략을 택하여, 리스크 인자의 영향 및 발생가능성을 감소시킬 수 있다. 사례에서는 가장 높은 중간 리스크 지수를 보이는 도로노면의 부실 리스크 인자의 발생비율을 감소시키기 위해 지자체와 한국도로공사의 지원을 요청하는 방안도 필요할 것이며, 이밖에도, 차량 결함의 문제를 줄이기 위해, 차량 안전검사시스템 및 차령제한 시스템을 도입할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

세계화와 정보통신 발달로 네트워크의 대형화, 복잡화가 진행됨에 따라 다양한 리스크에 의해 물류체계의 신뢰성에 영향을 미치게 이르렀다. 이로서 물류체계상 리스크에 대응할 수



있는 능력인 신뢰성에 대한 관심이 높아졌으며, 관련 연구의 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 기존 물류분야 신뢰성 연구에서 간과하고 있는 시스템의 신뢰성과 리스크 간의 상관관계에 주목하여, 운송시스템의 리스크 분석 방법론을 제시하였다. 이를 위해 시스템 공학적 방법론을 이용하여 전체 시스템의 리스크 인자에 대해 수리적으로 평가하여 리스크 지수를 도출하는 방법을 제안하였다. 이로서 특정 시스템의 붕괴를 가져오는 리스크를 정리하고 조직화(설계)하여 전체 시스템의 리스크 지수를 도출할 수 있다.

또한 본 논문에서는 실제 운송업체를 대상으로 리스크 분석을 행하였다. 그러나, 본 연구에서 도출된 리스크 지수는 특정 운송업체를 대상으로 도출한 값이므로 운송시스템의 리스크 지수로 일반화하기에는 한계를 가진다. 이를 위해서는 기업 규모별, 경영방법 및 기업비전 등을 고려한 추가연구가 필요하며, 향후의 연구과제로 삼고자 한다.

본 연구는 물류시스템 환경에서 리스크 인자를 인식, 평가 및 분석하는 최초의 연구라는 점이 높이 평가될 수 있으며, 실제 물류시스템의 서비스 개선과 위험회피 전략에 활용할 수 있다는 점에서 연구적 가치가 있다고 판단된다.

## References

- [1] American Trucking Association(2012), <http://selectusa.commerce.gov/industry-snapshots/logistics-and-transportation-industry-united-states.html> "
- [2] Aqlan, F., & Lam, S. S. (2016), "Supply chain optimization under risk and uncertainty: A case study for high-end server manufacturing", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 93, pp. 78-87.
- [3] Aqlan, F., & Lam, S. S.(2015), "A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment", *International Journal of Production Economics*, Vol. 161, pp. 54-63.
- [4] Asbjournslett, B. E. and Rausand, M.(1999), "Assess the vulnerability of your production system", *Production planning & Control*, Vol. 10, No. 3, pp. 219-229.
- [5] Azadeh, A. et al.(2014), "A novel algorithm for layout optimization of injection process with random demands and sequence dependent setup times.", *Journal of manufacturing system*, Vol.33, No. 2, pp. 287-302.
- [6] Bradley, J. R.(2014), "An improved method for managing catastrophic supply chain disruptions", *Business Horizons*, Vol. 54, No. 4, pp. 483-495.
- [7] Braunscheidel, M. J. and Suresh, N. C.(2009), "The Organizational Antecedents of a Firm's Supply Chain Agility for Risk Mitigation and Response.", *Journal of Operations Management*, Vol. 27, No. 2, pp. 119 - 140.
- [8] Bundschuh, M. et al.(2006), "Modeling Robust and Reliable Supply Chains", Working Paper, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [9] Canadian Centre for Occupational Health and Safety(2009), Hazard Risk, [http://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard\\_risk.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_risk.html)
- [10] Chandra, C. and Grabis, J.(2007), *Supply Chain Configuration : Concepts, Solutions, and Applications*, edition Springer book.
- [11] Chen, F., Wang, J., & Deng, Y.(2015), "Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS - RSR", *Safety science*, Vol. 79, pp. 39-54.
- [12] Choi, K. H.(2012), "A Study on the Probability of failure and Safety Analysis of Railway Crossing System using Petri Net", Seoul national universiti of science & technology, PhD Dissertation.
- [13] Christopher, M. and Peck, H.(2004), "Building the Resilient Supply Chain.", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 15, No. 2, pp. 1-13.
- [14] Christopher, M. and Towill, D.(2001), "An Integrated Model for the Design of Agile Supply Chains.", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 31, No. 4, pp. 234-246.
- [15] Cullinane, K. and Toy, N.(2000), "Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis.", *Transportation Research Part E*, Vol. 36, No. 2000, pp. 41-53.
- [16] Dinh, L. T. T. et al.(2012), "Resilience Engineering of Industrial Process: Principle and Contributing Factors.", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 25, No. 2, pp. 233-241.
- [17] Dong, M. and Chen, F. F.(2007), "Quantitative robustness index design for supply chain networks.", *Trends in Supply Chain Design and Management, Technologies and Methodologies*, Springer Series in Advanced Manufacturing, pp. 369 - 391."
- [18] Dong, M.(2006), "Development of supply chain network robustness index". *International Journal of Services Operations and Informatics*, Vol. 1, Num. 1/2, pp. 54 - 66.
- [19] Eurostat in 2012, [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight\\_transport\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight_transport_statistics)
- [20] Fateme, B. A. et al.(2013), "Designing reliable supply chain network with disruption risks", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 4,

- pp. 111-126.
- [21] Ferdows, K.(1997), "Making the most of foreign factories. Harvard Business Review March/April, pp. 73-88.
- [22] Fowkes, A. S. et al.(2004), "How Highly Does the Freight Transport Industry Value Journey Time Reliability and for What Reasons?", International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 7, No. 1, pp. 33-43.
- [23] Giannakis, M. and Papadopoulos, T.(2015), "Supply chain sustainability : A risk management approach.", International Journal of Production Economics, Vol. 4.
- [24] H. Ha'kka'nen, & H. Summala, (2001), "Fatal traffic accidents among trailer truck drivers and accident causes as viewed by other truck drivers", Accident Analysis and Prevention, Vol.33, pp. 187 - 196.
- [25] Hamel, G. and Valikangas, L.(2003), "The quest for resilience", Harvard Business Review, Vol. 81, No. 9, pp. 52 - 65.
- [26] Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015), "A critical review on supply chain risk - Definition, measure and modeling", Omega, Vol. 52, pp. 119-132.
- [27] Hesse, M., & Rodrigue, J. P. (2004), "The transport geography of logistics and freight distribution", Journal of Transport Geography, Vol. 12, pp. 171 - 184.
- [28] Ishfaq, Rafay.(2012), "Resilience through flexibility in transportation operation. International journal of logistics : research and application", Vol. 15, No. 4, pp. 215-229.
- [29] Jo, G. H. and Lee, M. S.(2014), "The Relation of Commercial Motor Vehicle Driver's Fatigue and Traffic Accident", Crisisonomy, Vol. 10, No. 8, pp.1-14.
- [30] Jung, J. W.(2006), "Synchronization of Production and Transportation Planning in Supply Chains.", Graduate school of Hanyang University, PhD Dissertation.
- [31] Juttner, U., Maklan, S.(2011), "Supply Chain Resilience in the Global Financial Crisis: An Empirical Study.", Supply Chain Management : An International Journal, Vol. 16, No. 4, pp. 246-259.
- [32] Korea Transport institute (KOTI), Freight transport market trends
- [33] Lavastre, O. et al.(2012), "Supply chain risk management in French companies", Decision Support Systems, Vol. 52, No. 4, pp. 828-838.
- [34] Lee, S. C. et al.(2008), "The effect of the workload on the truck drivers' fatigue.", The Korean journal of industrial and organizational psychology, Vol. 21, No. 2, pp.367-381.
- [35] Logistics Research Centre(2008), "Reliability of Road Transport from the Perspective of Logistics Managers and Freight Operators"
- [36] March, J. G., Shapira, Z. (1987), "Managerial perspectives on risk and risk taking", Management Science, Vol. 33, No. 11, pp. 1404 - 18. In: Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015), "A critical review on supply chain risk - Definition, measure and modeling", Omega, Vol. 52, pp. 119-132.
- [37] Mihalīs, G. and Thanos, P.(2015), "Supply chain sustainability : A risk management approach", International Journal of Production Economics, Vol. 4.
- [38] Mo, J. and Harrison, T. P.(2005), "A conceptual framework for robust supply chain design under demand uncertainty, Supply Chain Optimization, Vol. 98, Springer Science Business Media Inc, pp. 243-264.
- [39] Ordouer, M.H. et al.(2014), "New simple indices for risk assessment and hazards reduction at the conceptual design stage of a chemical process.", Chemical Engineering Science, Vol. 119, No. 2014, pp. 218 - 229.
- [40] Pallavi, S. and Alok, S.(2015), "Overview of Fault Tree Analysis", International Journal of Engineering Research & Technology, Vol. 4, No. 3, pp.338-340.
- [41] Peck, H.(2005), "Drivers of Supply Chain Vulnerability: An Integrated Framework.", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, Vol. 35, No. 4, pp. 210-232.
- [42] Peck, H.(2005), "Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 35, No. 4, pp. 210 - 232. In: Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015), "A critical review on supply chain risk - Definition, measure and modeling", Omega, Vol. 52, pp. 119-132.
- [43] Samsung Economics Research Institute(2013), "Global SCM risk management strategies based on failure", CEO information, Vol. 890.
- [44] Skipper, J. and Hanna, J.(2009), "Minimizing Supply Chain Disruption Risk Through Enhanced Flexibility.", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 39, No. 5, pp. 404-427.
- [45] Stecke, K. E. and Kumar, S.(2009), "Sources of supply chain disruptions, factor that breed vulnerability, and mitigation strategies", Journal of marketing channels, Vol. 16, pp. 193-226.

- [46] Stecke, K. E., & Kumar, S.(2009), “Sources of supply chain disruptions, factor that breed vulnerability, and mitigation strategies”, *Journal of marketing channels*, Vol. 16, pp. 193-226.
- [47] Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D.(2002), “Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants”, *Journal of Loss Prevention in the process industries*, Vol. 15, No. 4, pp. 291-303.
- [48] Trkman, P., & McCormack, K.(2009), “Supply chain risk in turbulent environments : a conceptual model.”, *International Journal of Production Economic*, Vol. 119, pp. 247-258.
- [49] U. Soni, et al.(2014), “Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach.”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 74, No. 2014, pp. 11 - 25.
- [50] Van der Vorst, J. and Beulens, A.(2002), “Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 32, No. 6, pp. 409-430.
- [51] Vljajic, J. V. et al.(2012), “A framework for designing robust food supply chains”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 137, pp. 176-189.
- [52] Wang, L., & Wang, Q. (2011), “Regional Logistics Network Reliability Evaluation and Optimization”, *Intelligent Systems and Applications*, pp. 1-4.
- [53] Yacoub, S. M., & Ammar, H. H. (2002), “A Methodology for architecture-level reliability risk analysis”, *IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING*, Vol. 28, No. 6, pp. 529-547.
- [54] Zsidisin, G. A.(2003), “A grounded definition of supply risk”, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 9, No. 5, pp. 217 - 224. In: Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015), “A critical review on supply chain risk - Definition, measure and modeling”, *Omega*, Vol. 52, pp. 119-132.

---

Received 7 January 2016

Revised 19 May 2016

Accepted 26 May 2016