

물류 및 공급망관리 연구의 50년: 과거, 현재, 그리고 미래

문일경¹ · 김병수² · 정병도³ · 신영철^{4*}

¹서울대학교 산업공학과 / ²인천대학교 산업경영공학과 / ³연세대학교 산업공학과 / ⁴아주대학교 산업공학과

Research on Logistics and Supply Chain Management for 50 Years: Past, Present, and Future

Ilkyeong Moon¹ · Byung Soo Kim² · Byung Do Chung³ · Youngchul Shin⁴

¹Department of Industrial Engineering, Seoul National University

²Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University

³Department of Industrial Engineering, Yonsei University

⁴Department of Industrial Engineering, Ajou University

As technological advancements have rapidly progressed over time periods, research in logistics and supply chain management has also evolved accordingly. This paper aims to analyze the direction of research development in these research areas by extracting keywords from three major journals. Based on the keywords, a semantic network analysis was conducted to visualize and analyze the relationships between the keywords. Furthermore, the recent research trends were examined by dividing the keywords associated with each research area into different time periods. For logistics management, keyword analyses were conducted based on six categories over time periods. In supply chain management, keyword analyses were conducted based on two categories, which were further divided into two and three sub-categories respectively, for a more detailed analysis. Additionally, we review the annual reports of funded research projects between 2018 and 2024, specifically within the scope of supply chain risk management, supported by the division of ICT · Convergence Research. By comparing these trends with key concepts required in Industry 5.0, we suggest future research directions in the areas of logistics and supply chain management. Accordingly, we expect to contribute to understanding the past and present of logistics and supply chain management, while offering insights into its future directions. In addition to its academic contributions, we expect to provide practical insights that can help industries enhance their competitiveness in a rapidly changing environment.

Keywords: Logistics Management, Supply Chain Management, Industry 5.0, Logistics 5.0

1. 서론

물류 및 공급망관리란 원자재 조달부터 최종 소비자에게 완제품이 도달하는 물자의 흐름뿐만 아니라 소비자에게 판매된 물품의 회수 및 재활용과 관련된 전 과정의 흐름을 관리하는 기법으로 현대 산업의 운영에 있어 핵심 요소로 평가받고 있다.

물류관리와 공급망관리는 서로 밀접한 연관성을 보이지만, 고려하는 범위와 목적에서 차이를 보인다. 물류관리가 주로 물자의 이동, 저장, 재고관리, 관련 정보의 흐름을 관리하는 데 초점을 두는 반면, 공급망관리는 물류관리를 포함한 보다 포괄적인 개념으로, 공급망 전반에 걸친 협력과 조정을 통해 전 과정의 효율성을 최대화하고 시스템 전체의 최적화를 목표로

본 연구 주제의 집필을 제안하고 좋은 의견 주신 윤병은 편집위원장과 익명의 심사위원분들께 감사드립니다. 본 연구의 자료 수집 및 분석에 큰 도움을 주신 서울대학교 공급망관리연구실의 오세원, 박건우, 조성배, 이다빈, 최의현, 박효훈 연구원들과 연세대학교 가치사슬경영연구실의 안시후, 이재리미, 정동운 연구원들께 감사를 표합니다.

* 연락저자 : 신영철 교수, 16499, 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206, 아주대학교 산업공학과, Tel: 031-219-2424, E-mail: youngchul@ajou.ac.kr
2024년 9월 23일 접수; 2024년 10월 8일 게재 확정.

한다. 공급망을 구성하는 공급업체, 제조업체, 유통업체, 소매업체, 최종 소비자를 포함한 모든 참여자 간의 효율적인 협력과 조정을 필요로 한다.

글로벌 시장 확장 및 소비자 요구의 다양화로 인해 기업 간 경쟁이 심화되면서, 물류 및 공급망관리의 역할은 더욱 중요해졌다. 지난 수십 년 동안 물류관리 및 공급망관리는 관련 기술의 발전과 함께 급격한 변화를 겪었으며, 관련 연구들도 지속적으로 진화해왔다. 1980년대와 1990년대 초반에는 주로 생산 및 재고관리와 물류최적화에 중점을 두었으며, 비용 절감과 효율성 향상을 목표로 하였다. 이후 자동화 기술이 급격히 발전하면서, AS/RS(Automatic Storage & Retrieval System)와 같은 자동화 시스템 및 로봇 기반의 물류관리 연구가 활발해졌다. 정보통신 기술의 발전 또한 물류 및 공급망관리에 혁신적인 변화를 가져왔다. 인터넷과 클라우드 컴퓨팅 기술의 발전은 실시간 데이터 공유 및 협업을 가능하게 하였으며, 공급망 내 정보의 흐름과 의사결정의 신속성을 높이는 데 크게 기여했다. 2000년대 이후에는 빅데이터 및 인공지능의 발전과 함께, 물류 및 공급망관리의 분석에 대한 연구가 활발하게 이루어졌다. 대량의 수요 관련 데이터를 분석하여 패턴을 도출하고 예측 모델을 구축함으로써, 물류 및 공급망관리의 효율성을 크게 향상시켰다. 또한, 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 기술의 발전도 물류 및 공급망관리에 큰 영향을 미쳤다. IoT 기술을 통해 물자의 실시간 위치 추적과 상태 모니터링이 가능해졌으며, 이는 물류 프로세스의 투명성을 높이고 효율성을 극대화하는데 기여하였다. 최근에는 공급망 유연성과 회복탄력성에 대한 연구가 두드러지게 나타나고 있다.

이처럼 물류 및 공급망관리 분야의 연구는 기술의 발전에 따라 끊임없이 진화해왔으며, 기업들이 변화하는 환경에서 경쟁력을 향상시키는 데 중요한 역할을 해왔다. 기업들은 변화하는 환경에 대응하기 위해 최신 연구 결과를 적용함으로써 경쟁우위를 확보할 수 있었다. 따라서, 물류 및 공급망관리 분야 연구의 발전 방향을 파악하는 것은 학문적 가치뿐만 아니라 실무적 적용에서도 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 물류 및 공급망관리 연구 분야의 발전 방향을 체계적으로 분석함으로써, 과거와 현재를 이해하고 미래의 방향을 제시하는 데 기여할 것이다. 또한, 학문적 기여와 더불어 실무적 인사이트를 제공함으로써, 기업들이 변화하는 환경에서 경쟁력을 유지하고 향상시키는 데 도움을 줄 것이라 기대한다.

본 논문은 물류 및 공급망관리 분야의 주요 연구 저널인 (i) 대한산업공학회지(KIIE), (ii) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review(TRE), (iii) International Journal of Production Research(IJPR)에 게재된 논문들을 대상으로 시대 및 분야별 키워드를 분석함으로써, 해당 분야의 발전 방향을 살펴보고자 한다. 해당 분석은 특정 시대의 연구 트렌드를 파악할 수 있게 하며, 향후 연구 방향을 제시하는 데 기여할 수 있다. 특히, 대한산업공학회지는 국내 산업공학 관련 연구자들이 발표하는 논문을 많이 포함하고 있어, 대한민국

내 물류 및 공급망관리 연구 동향을 이해하는 데 중요한 자료를 제공한다. TRE는 물류 및 공급망관리 분야의 연구를 중점적으로 다루며, 물류 및 공급망관리 문제를 풀기 위한 최적화와 관련된 다양한 연구를 포함하고 있다. IJPR은 생산 및 운영관리와 관련된 광범위한 연구를 다루며, 물류 및 공급망관리의 다양한 측면을 다루고 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 세 가지 저널들을 대상으로 주요 키워드의 출현 빈도와 트렌드를 분석할 것이다. 이를 통해, 각 시대별 연구 주제의 변천사를 체계적으로 파악하고, 물류 및 공급망관리 분야의 발전 방향을 제시할 것이다. 본 연구의 목적을 정리하자면 다음과 같다:

- 물류 및 공급망관리 분야의 주요 저널을 대상으로 키워드를 추출하고, 시대별 및 분야별 분석을 통해 주요 연구 트렌드를 파악한다.
- 추출된 키워드 분석을 바탕으로, 물류 및 공급망관리 분야의 의미망 분석을 수행하여, 주요 키워드 간의 관계를 시각화함으로써 관계성을 파악한다.
- 시대별 및 분야별 물류 및 공급망관리 연구 동향을 분석하고, 이를 Industry 5.0에서 요구되는 주요 키워드와 비교하여, 향후 물류 및 공급망관리 연구가 나아가야 할 방향을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 물류 및 공급망관리의 역사를 살펴본다. 제3장에서는 앞서 언급한 주요 저널의 물류 및 공급망관리에 관한 논문의 키워드를 통해 워드 클라우드 분석, 의미망 분석, 빈도 분석 등을 진행한다. 제4장에서는 물류 및 공급망관리 논문에 대한 보다 세부적인 분석 결과를 제시한다. 제5장에서는 물류 및 공급망관리 연구의 발전 방향에 대해 제시한다. 제6장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 물류 및 공급망관리의 역사

물류관리의 기원은 군대의 효율적인 이동과 군수 물자 보급을 관리하기 위한 병참에서 비롯되었다고 알려져 있다. 병참은 단순히 물자와 인원을 이동시키는 것뿐만 아니라, 이를 효율적으로 관리하고 분배하는 것을 목표로 하였다. 물류관리가 현대적 개념으로 발전하기 시작한 것은 20세기 중반, 특히 제2차 세계대전 시기이다. 전쟁 중 대규모 자원을 전 세계로 이동시키고 관리해야 했으며, 이 과정에서 효율적인 물류관리의 중요성이 부각되었다. 물류관리와 관련된 중요한 발전 중 하나는 1940년대에 George Dantzig에 의해 개발된 심플렉스 해법(Simplex Method)이다. 이 방법론은 물류관리에서 제한된 자원의 흐름을 최적화하고 비용을 절감하는 데 중요한 역할을 하였으며, 현대 물류관리 발전의 기초가 되었다. 또한, 제2차 세계대전 동안 미국과 연합군은 효율적인 군사 물류 체계를 구축하기 위해 다양한 물류전략과 도구를 개발하였고, 전쟁 후 이러한 기술들이 민간 산업에 도입되면서 물류관리의 발전

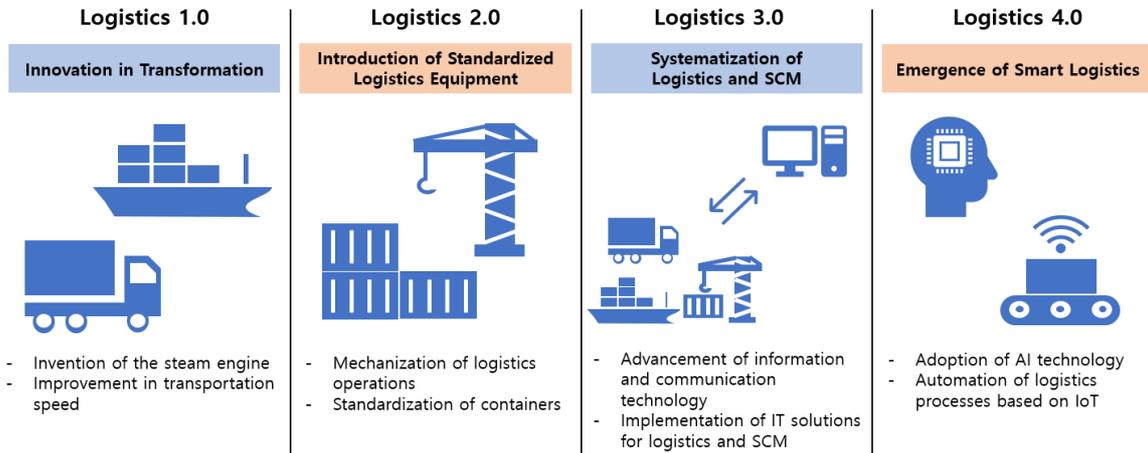


Figure 1. Logistics 1.0 - 4.0 (Roland Berger, 2015)

이 가속화되었다. 물류관리는 주로 대규모 창고 관리, 표준화된 컨테이너의 사용, 물류 네트워크 설계 등 민간 부문에서 적극 활용되었다. 이후 정보통신기술의 발전에 따라 물류 및 공급망관리가 더욱 정교해졌다. 1960년대와 1970년대에 전산화된 재고관리 시스템이 도입되었고, 이는 물류관리의 효율성을 크게 높였다. 1980년대와 1990년대에는 시장의 글로벌화가 진행됨에 따라 물류는 더 복잡한 시스템으로 진화하였다. 이 시기에 등장한 공급망관리는 물류를 포함한 더 포괄적인 개념으로, 원자재 조달부터 최종 소비자에 이르는 모든 과정을 최적화하는 데 중점을 두었다.

즉, 물류 및 공급망관리는 병참에서 시작되었으나, 선형계획법(Linear Programming)과 같은 수학적 기법의 도입과 정보기술의 발전을 통해 현대 산업 운영의 핵심 요소로 자리잡게 되었다. 즉, 단순한 자원의 이동과 관리가 아닌, 기업의 경쟁력을 좌우하는 중요한 전략적 기능으로 발전하였으며 여러 역사적 단계와 기술적 혁신을 거쳐 오늘날의 복잡하고 정교한 시스템으로 발전하였다. 각 시대마다의 기술 혁신은 물류 및 공급망관리의 발전을 주도하였으며, 그 효율성과 범위가 확장되었다. 이러한 기술의 발전은 산업혁명 시기와도 연관이 되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 물류 및 공급망관리의 발전을 산업혁명 맥락에서 살펴보고자 한다. (우리는 용어의 편의를 위해 물류 1.0 - 4.0으로 명명하겠다.)

물류 1.0에서 4.0까지의 개요는 <Figure 1>과 같다. 물류 1.0 시대는 수송 수단의 혁신으로부터 시작되었다. 증기기관의 발명으로 철도가 주요 운송 수단으로 자리 잡았으며, 이후 선박도 증기선으로 발전하면서 운송 속도가 크게 향상되었다. 또한, 트럭의 도입으로 효율적인 화물 수송이 가능해졌다. 따라서 상차 및 하차 작업에 많은 노동력이 필요하게 되었고, 이러한 문제를 해결하기 위해 물류 2.0 시대에는 지게차나 파렛트와 같은 물류 장비가 도입되었다. 이러한 장비는 군수 물자 운송 지원에서 비롯되어, 물류 산업 현장에서의 상차 및 하차 작업의 기계화를 이끌었고 효율성을 크게 향상시켰다. 표준화된 컨테이너의 사용도 해상 운송에서 적재 효율성을 크게 높였

다. 1980년대에 도래한 물류 3.0 시대에서는 정보통신기술의 발달을 기반으로 물류 및 공급망관리가 시스템화되었다. 대량 생산 및 운송의 효율성을 극대화하기 위해 WMS(Warehouse Management System) 및 TMS(Transportation Management System)와 같은 IT솔루션이 도입되어 물류센터 및 수·배송의 효율성이 크게 개선되었다. 또한, 공급망관리의 개념이 본격적으로 도입되어, 물류관리의 범위를 확장하고 전체 공급망의 효율성을 극대화하는 시스템이 구축되었다. 물류 4.0 시대에는 스마트물류라는 개념이 등장하면서, 물류 산업은 더욱 고도화된 기술을 활용하여 운영 효율성이 극대화되었다. IoT 기반의 데이터 수집과 인공지능 기술이 물류 로봇, 드론, 자율주행 운송수단 등의 자동화 기술과 결합되어 물류 프로세스의 자동화 수준이 크게 향상되었으며, 물류 전 과정을 실시간으로 모니터링하고 분석함으로써 더 빠르고 정확한 의사결정을 가능하게 하였다. 이러한 기술적 혁신은 물류관리의 범위와 효율성을 크게 확장시켰으며, 글로벌 경제에서 기업들이 경쟁우위를 확보하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

물류 및 공급망관리는 데이터 처리 기술, 최적화 기술, 로봇 및 정보통신기술 등의 다양한 기술 발전과 함께 끊임없이 진화해왔다. 이러한 발전은 단순한 물자 이동의 관리에서 복잡한 글로벌 공급망의 최적화까지 연구의 범위를 확장시키는 데 중요한 기여를 하였으며, 앞으로도 기술의 발전과 함께 물류 및 공급망관리 기법은 더욱 혁신적으로 발전할 것으로 예상된다.

3. 물류 및 공급망관리 논문 분석

본 연구에서는 국내·외 물류 및 공급망관리 분야의 연구를 분석하기 위해 대한산업공학회지의 창간호인 1975년부터 2024년까지 총 1,851편, TRE는 창간호인 1997년부터 2024년까지 총 2,944편, IJPR은 2005년부터 2024년까지 총 7,786편의 논문을 분석 데이터로 사용하였다. 대한산업공학회지의 경우 1975년부터 2002년까지는 대부분의 논문에 키워드가 입력되

Table 1. Number of papers associated with two research areas in three journals

	KIIE	TRE	IJPR
Logistics management	227(44.95%)	1,788(59.80%)	903(27.06%)
Supply chain management	278(55.05%)	1,202(40.20%)	2,434(72.94%)

어 있지 않아 초록에서 키워드를 추출하여 사용하였다. IJPR의 경우, TRE와 마찬가지로 1997년부터의 데이터를 사용하고 자 하였으나 2004년까지의 약 2,000여 편의 논문이 키워드가 입력되어 있지 않아 2005년부터의 7,786편의 논문을 분석 데이터로 사용하였다.

본 연구에서는 논문의 키워드를 통해 전체 산업공학 논문 중 물류관리 분야와 공급망관리 분야의 논문을 분류하였다. 물류관리 분야에서 자주 사용되는 키워드를 포함하고 있으면 물류관리 논문으로, 공급망관리 분야에서 자주 사용되는 키워드를 포함하고 있으면 공급망관리 논문으로 분류하였으며, 이러한 물류 및 공급망관리 분야 키워드는 [부록 A]에 수록하였다. 각 논문은 해당 분야의 키워드가 논문 키워드에 얼마나 포함되어 있는지를 계산하여 집계된 횟수가 더 많은 분야로 분류하였으며, 횟수가 같은 경우에는 두 가지 분야 모두 해당되는 것으로 분류하였다. 다만, 횟수가 적은 논문의 경우 분류가 잘못되었을 가능성을 배제하기 위해 추가 검토 과정을 거쳐 분류 작업을 진행하였다. 본 연구에서 사용한 논문 데이터에서 각 저널의 물류 및 공급망관리 분야로 분류된 논문 편 수는 아래 <Table 1>과 같다.

<Figure 2>와 같이 대한민국 산업공학 분야에서 물류 및 공급망관리는 지속적으로 중요한 역할을 수행해 왔다. 1970년대 중반 대한산업공학회지의 발간 이후, 물류 및 공급망관리 분야는 전체 연구의 20 - 30%를 차지하며 산업공학 연구 분야 내에서 중심적인 위치를 차지하게 되었다. 1970년대에는 이 분야의 연구가 전체 152편 중 33편으로 21.7%를 차지했으며, 이는 수출 주도형 정책에 따른 제조업 효율성 향상에 대한 관심 증대가 반영된 결과로 해석된다. 1980년대 중반부터 1990년대 초반까지는 컴퓨터 및 정보기술의 발전에 따라 해당 분야의 연구가 279편 중 87편(31.2%)으로 증가하였다. 이 시기에는 도요타 생산 시스템(Toyota Production System, TPS)과 물류관리

자동화의 도입, 그리고 국제 물류관리에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 1990년대 중반부터 2000년대 초반까지는 인터넷의 발전으로 인해 해당 연구가 118편으로 증가했으나, 전체 연구 논문 편 수의 큰 증가로 인해 비율은 24.4%로 감소하였다. 이 시기에는 ERP(Enterprise Resource Planning)와 SCM(Supply Chain Management)과 같은 새로운 기술의 등장이 주목받기 시작하였다. 2005년부터 2014년까지는 RFID 기술의 상용화와 빅데이터 분석의 발전으로 이 분야의 연구가 114편이 발표되었고, 이는 전체 441편 중 25.9%를 차지하였다. 또한 지속가능한 물류 및 친환경 공급망관리에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 2015년부터 2024년까지는 물류 및 공급망관리 논문 편 수가 106편으로 감소하여 전체 연구의 21.4%를 차지했으나, 이는 데이터 및 인공지능 분야의 급성장에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 이처럼 물류 및 공급망관리 분야는 변화하는 기술 환경에 맞추어 최신 트렌드를 반영하며 지속적으로 발전하고 있으며 꾸준히 연구되어 왔음을 보여준다.

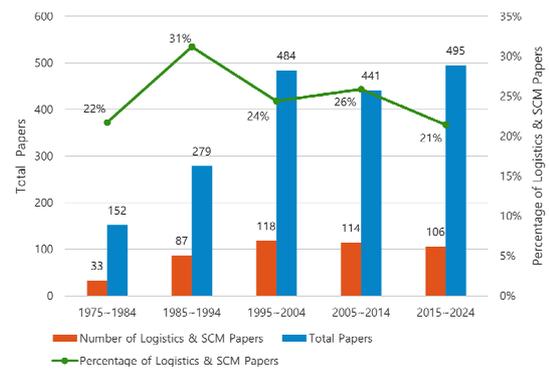


Figure 2. Proportion of logistics and supply chain management papers in KIIE

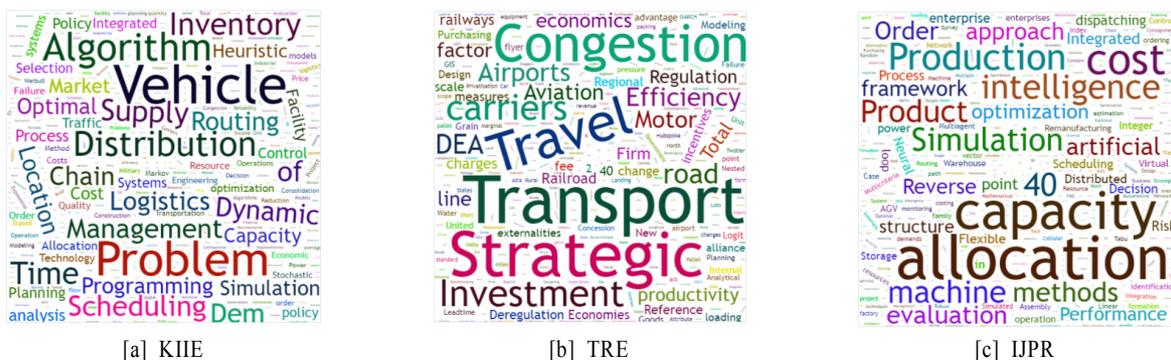


Figure 3. Word cloud of logistics and supply chain management papers in three journals

세 저널의 전체 데이터에 대한 각각의 워드 클라우드를 <Figure 3>에서 확인할 수 있다. 워드 클라우드에 사용한 논문 데이터는 전체 산업공학 논문 중 물류 및 공급망관리 분야의 논문을 선별하여 사용하였으며, 대한산업공학회지의 경우 1975년부터 50년간의 논문, TRE의 경우 1997년부터 28년간의 논문, IJPR의 경우 2005년부터 20년간의 논문을 사용하였다. 세 워드 클라우드를 분석해보면, 세부 주제는 다를 수 있으나 공통적으로 물류 및 공급망관리 분야의 연구라는 점에서 연결된다는 것을 알 수 있다. ‘Optimization’, ‘Heuristic’, ‘Simulation’ 등과 관련된 키워드가 자주 등장하는 것은 물류, 교통, 공급망관리 등에서 효율성을 높이고 자원을 최적화하기 위해서 세 저널에서 공통적으로 주요하게 사용되는 방법론을 반영하고 있다. 반면, 각 워드 클라우드에서는 저널별로 두드러지는 차이점도 발견된다. 대한산업공학회지는 ‘Vehicle’, ‘Inventory’, ‘Distribution’, ‘Scheduling’ 등의 키워드를 통해 물류 및 공급망관리 분야에서 다양한 주제들을 다루고 있음을 보여준다. TRE의 경우 ‘Strategic’, ‘Travel’, ‘Transport’, ‘Congestion’ 등의 키워드를 통해 물류 및 공급망관리에서의 전략과 수·배송에 관한 연구가 주를 이룸을 보여준다. IJPR은 ‘Capacity’, ‘Production’, ‘Allocation’ 등의 단어가 강조되며, 물류 및 공급망관리 분야에서의 생산 능력과 자원 배분에 중점을 두고 있음을 보여준다. 이처럼 세 워드 클라우드는 물류 및 공급망관

리 분야의 다양한 세부 주제를 반영하면서도, 각 저널의 특화된 연구 주제를 잘 드러내고 있다.

물류 및 공급망관리 분야의 논문에서 등장하는 키워드 간의 관계를 분석하기 위해 자연어 처리 기법을 활용한 키워드 의미망 분석(Semantic Analysis)을 수행하였고 그 결과를 <Figure 4>에 나타내었다. 키워드를 벡터로 변환하고 인공 신경망 모델을 통해 유사성을 학습하는 방법을 임베딩(Embedding)이라 하며, 이렇게 임베딩된 키워드 벡터를 시각화하면 전체적인 의미망 지도를 제작할 수 있다. 대표적인 임베딩 기법으로는 Word2Vec (Mikolov *et al.*, 2013)이 있으며, 본 연구에서는 Python의 Gensim(Gensim, 2022) 패키지에서 제공하는 Word2Vec 모델을 활용하여 의미망 지도를 작성하였다. 논문에서 함께 등장한 키워드들을 코퍼스(Corpus)에 포함시켜 Word2Vec 모델이 키워드들 간의 유사성을 학습하도록 하였다. 전체 키워드를 30차원의 벡터로 임베딩한 후, PCA(Principal Component Analysis)와 t-SNE(t-distributed Stochastic Neighbor Embedding)(van der Maaten and Hinton, 2008) 차원 축소 기법을 사용하여 2차원 평면에 의미망 지도를 시각화하였다. 이후, 유사성이 높아 같은 군집에 속한다고 판단되는 키워드들을 각기 다른 색을 입혀 군집화하였으며, ‘Mathematical modeling’, ‘Production’, ‘Routing’, ‘Dynamic system’, ‘Disruption’, ‘Sustainability’, ‘Distribution’을

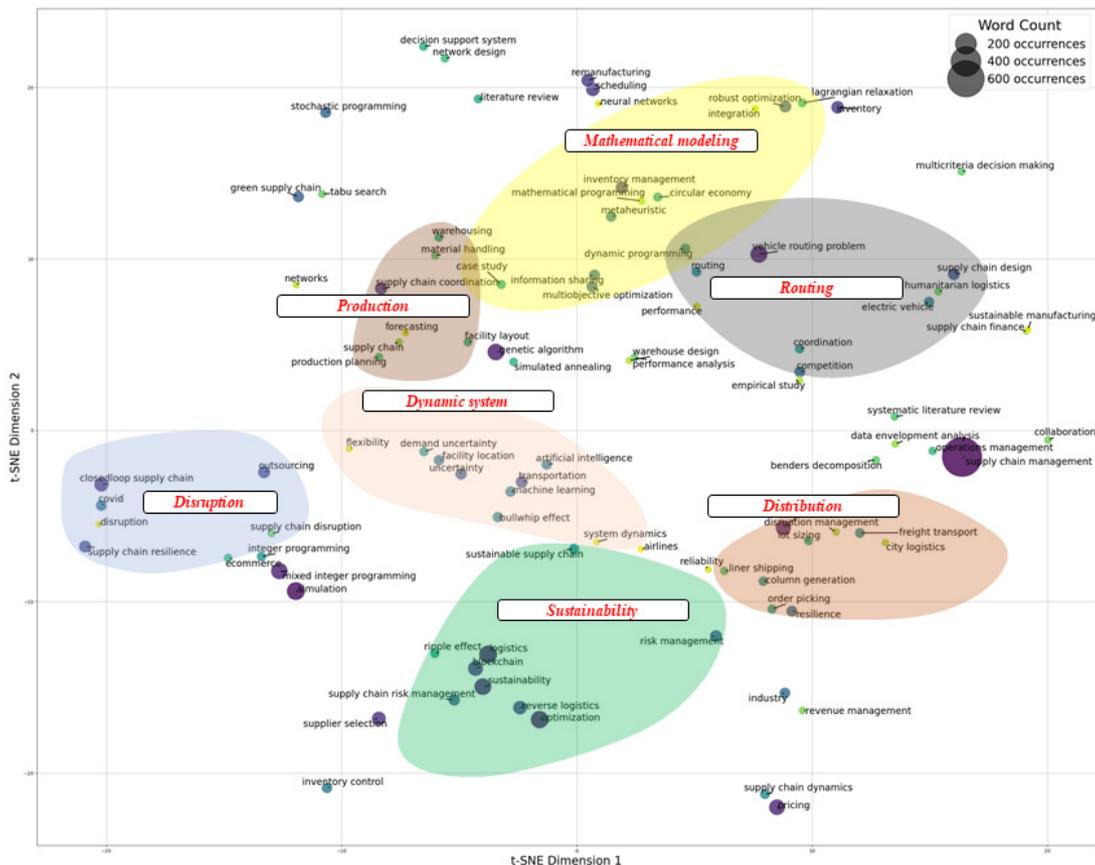


Figure 4. A semantic network analysis for the papers in the logistics and supply chain management research areas

군집의 대표 키워드로 선정하였다. 먼저 ‘Mathematical modeling’ 군집에서는 ‘multiobjective optimization’, ‘robust optimization’, ‘dynamic programming’, ‘Lagrangian relaxation’과 같은 수리계획 모형에서 자주 사용되는 키워드들이 높은 빈도로 출현하였다. ‘Production’ 군집에서는 ‘material handling’, ‘facility layout’과 같은 공정 내 물류와 관련된 키워드와 ‘production planning’과 같이 공급망관리 내 생산과 관련된 키워드가 출현하였다. 다음으로 ‘Routing’ 군집에서는 물류 분야에서 대표적인 문제인 ‘vehicle routing problem’ 키워드가 가장 많이 등장하였고, 이와 관련한 ‘electric vehicle’, ‘humanitarian logistics’ 등과 같은 키워드도 등장하였다. ‘Dynamic system’ 군집에서는 ‘demand uncertainty’, ‘flexibility’와 같은 키워드가 많이 출현하였다. ‘Disruption’ 군집에서는 ‘COVID’ 키워드가 많이 출현하였는데, 이를 통해 COVID-19 이후 공급망 붕괴와 관련한 연구들이 많이 진행되었다는 것을 확인할 수 있다. 이와 관련하여 ‘supply chain resilience’와 같은 키워드도 높은 빈도로 출현하였다. ‘Sustainability’ 군집에서는 ‘sustainability’, ‘sustainable supply chain’과 같은 키워드들이 높은 빈도로 출현하였으며, 관련된 개념인 ‘risk management’와 같은 키워드들도 많이 등장한 것을 볼 수 있다. 또한 ‘reverse logistics’, ‘blockchain’과 같이 지속가능한 공급망관리를 위해 활용될 수 있는 개념 및 기술과 관련한 키워드도 등장하였다. 마지막 ‘Distribution’ 군집에서는 ‘freight transport’, ‘city logistics’, ‘liner shipping’, ‘order picking’과 같이 자원 및 물자의 분배와 관련한 키워드들이 많이 출현하였다.

4. 물류 및 공급망관리 연구 세부분석

4장에서는 산업공학회지, TRE, IJPR에 출판된 논문을 물류관리와 공급망관리 각각의 세부 분야로 구분하여 분야별 출판 비율을 살펴보고, 많이 사용된 키워드들을 검토하여 연구 동향에 대한 세부분석을 수행하였다. 물류관리와 공급망관리의 유형별 세부 연구 분야를 <Figure 5>에 도식화하였다. 추가적으로, 연구재단의 기초연구사업의 지원 현황을 살펴봄으로써 국내 공급망관리와 관련된 연구 현황을 살펴보았다.

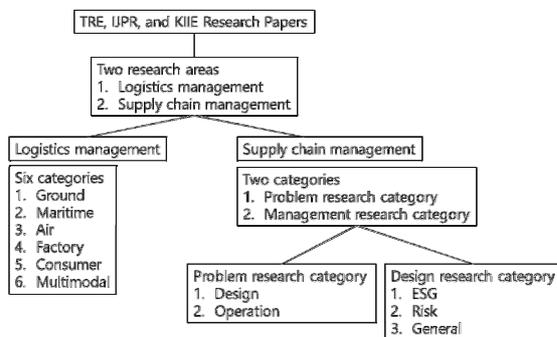


Figure 5. Hierarchical categorization of research papers in logistics and supply chain management

4.1 물류관리

물류관리로 분류된 2,918편의 논문 데이터를 활용해 세부 연구 주제에 대한 분석을 수행하였다. 물류관리 연구의 키워드를 바탕으로 세부 연구분야를 육상물류(Ground), 해운물류(Maritime), 항공물류(Air), 공장 및 창고물류(Factory), 생활물류(Consumer), 복합물류(Multimodal)로 구분하였으며, 이때 사용된 자세한 키워드는 [부록 B]에 수록하였다. 각 논문의 키워드가 각 세부분야 키워드를 얼마나 포함하고 있는지를 계산하여 횟수가 더 많은 분야로 분류하였으며, 두 가지 이상의 분야에서 동일한 횟수를 보이는 경우 복합물류로 분류하였다. 또한, 논문의 키워드가 하나의 분야에도 속하지 않는 경우에는 논문의 내용을 기반으로 직접 분야를 지정하는 작업을 수행하였다. 물류관리의 세부 분야별로 분류된 논문 비율은 아래 <Figure 6>과 같다. 물류관리의 세부 연구 분야는 복합물류(32%)와 육상물류(27%)가 가장 많았고, 항공물류(4%)에 대한 논문이 가장 적게 발표되었다.

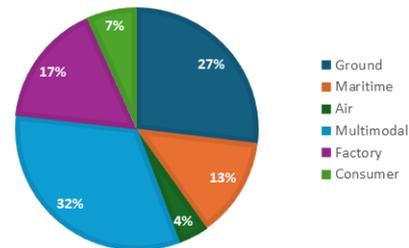


Figure 6. Proportion of research papers in logistics management area

최근 물류관리의 연구 동향을 살펴보기 위하여 저널 별, 시간대 별 세부 연구 분야의 비율을 비교하였으며, 그 결과는 <Figure 7>과 같다. 분석 기간은 2004년부터 2024년까지를 대상으로 하였으며, 전체 기간을 7년 단위로 구분하였다.

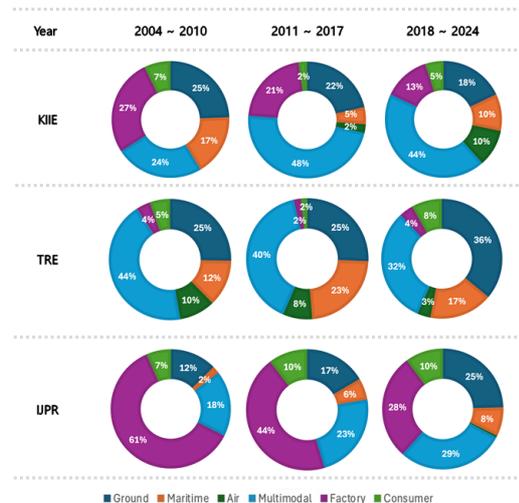


Figure 7. Recent research trends in logistics management area over time periods

Table 2. Top ten keywords for six sub-research categories in logistics management research area

Problem types Logistics management areas					
Ground	Maritime	Air	Factory	Consumer	Multimodal
Vehicle routing (106)	Liner shipping (35)	Airlines (22)	Warehousing (49)	Reverse logistics (44)	Simulation (30)
Electric vehicle (45)	Maritime transportation (16)	Airline pricing (6)	Order picking (41)	City logistics (22)	Transportation (29)
Freight transport (32)	Genetic algorithm (14)	Competition (6)	Facility layout (36)	Last-mile delivery (16)	Vehicle routing (26)
Scheduling (20)	Fleet deployment (10)	Airfares (6)	AS/RS (32)	Pickup and delivery (10)	Container terminal (26)
Optimization (18)	Berth allocation (10)	On-time performance (4)	Warehouse design (26)	e-Commerce (10)	Optimization (23)
Robust optimization (18)	Empty container repositioning (9)	Simulation (4)	Simulation (24)	Routing (8)	Humanitarian logistics (21)
Transportation (16)	Container shipping (9)	Data envelopment analysis (4)	Genetic algorithm (18)	Crowdsourcing (8)	Genetic algorithm (20)
Column generation (15)	Maritime safety (9)	Flight delays (4)	Reverse logistics (18)	Supply chain management (7)	Column generation (19)
Congestion (13)	Maritime (8)	Deregulation (3)	Remanufacturing (14)	Facility location (6)	Supply chain management (18)
Genetic algorithm (12)	Container transportation (8)	Airline alliances (3)	Optimization (14)	Optimization (6)	Scheduling (15)

대한산업공학회지에 출판된 논문의 경우, 2004년부터 2010년까지의 구간에서는 각 분야별 연구가 비슷하게 진행되었으나, 2011년 이후의 기간에는 복합물류에 대한 연구가 40% 이상으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 항공물류의 연구 비율은 증가추세에 있으며, 공장 및 창고물류의 비율은 감소 추세를 보인다. TRE의 경우, 전 기간에 걸쳐 복합물류가 가장 높은 비율을 차지하고 있으나 점차 감소하고 있다. 저널의 특징에 맞춰 육상물류, 해운물류, 항공물류가 다른 저널에 비해 지속적으로 높은 연구 비율을 보이나, 항공물류에 관련된 연구 비율은 감소하고 있음을 확인하였다. IJPR은 저널 특성상 공장 및 창고 물류에 관련된 연구가 가장 높은 비율을 차지하고 있으나 최근 큰 폭으로 감소하였음을 알 수 있으며, 복합물류, 육상물류, 해운물류 등이 그 자리를 차지하는 것으로 보아 저널 간의 경계가 점점 사라지고 있음을 알 수 있다. 이는 다양한 비즈니스 프로세스가 서로 연결되어 통합적인 의사결정이 이루어지고, 혁신적인 비즈니스 모델이 도입됨에 따라 물류관리 분야가 점점 확장되고 있음을 의미한다.

다음으로, 물류관리의 세부 분야별로 가장 많이 사용된 10개의 키워드를 비교 분석하였다. <Table 2>는 분야별 주요 키워드를 보여주며, 괄호 안의 숫자는 해당 키워드를 사용한 논문의 숫자를 나타낸다. 육상물류는 ‘vehicle routing’, ‘electric vehicle’, ‘freight transportation’이 많이 사용되었고, 해운물류에서는 ‘liner shipping’, ‘maritime’을 포함한 키워드 및 ‘container shipping’과 같은 키워드들이 많이 사용되었다. 항공물류에서는 ‘airlines’,

‘airfares’, ‘flight delays’ 등의 키워드들이 많이 사용되었으며, 공장 및 창고물류에서는 ‘warehousing’, ‘order picking’, ‘facility layout’ 등의 키워드들이 많이 사용되었다. 생활물류에서는 ‘reverse logistics’, ‘city logistics’, ‘last mile delivery’와 같은 키워드들이 많이 사용되었다. 복합물류에서는 방법론적인 부분과 물류관리 전체에서 쓰이는 키워드들을 확인할 수 있었다.

최근 연구 동향을 더 자세히 알아보기 위해서 기간별로 물류관리 세부 분야에서 가장 많이 사용된 키워드 3개의 변화를 <Table 3>에 정리하였다. 분석 시기는 2004년부터 7년 단위로 3개의 구간으로 구분하였다. 육상물류에서는 ‘vehicle routing’ 문제가 꾸준히 가장 많이 연구되었으며, ‘electric vehicles’에 관한 관심이 증가했다는 점을 알 수 있다. 해운물류에서는 2018년 이후의 구간에서 ‘maritime safety’가 새롭게 등장한 것을 보아 해운물류의 안전성에 관한 관심이 증가했으며, 항공물류에서는 ‘flight delays’와 ‘delay propagation’을 통해 항공지연에 대한 주제가 관심을 받고 있음을 알 수 있다. 공장 및 창고물류에서는 ‘order picking’이 주된 연구 주제로 꾸준히 주목받고 있음을 확인하였다. 생활물류에서는 ‘last mile delivery’, ‘city logistics’와 같은 소비자 배달과 관련된 물류에 대한 관심이 증가했으며, 이는 전자상거래(E-commerce)의 경쟁 강화로 당일배송, 새벽배송 등의 소비자 배달 관련 시장이 확대되었기 때문으로 이해할 수 있다. 또한, ‘robust optimization’ 및 ‘machine learning’ 키워드의 등장을 통해 문제 해결 방법론의 관점에서 강건최적화와 기계학습의 적용에 대한 관심이 커진 것도 파악할 수 있다.

Table 3. Top three keywords over time periods for six sub-research categories in logistics management areas

Logistics management areas						
	Ground	Maritime	Air	Factory	Consumer	Multimodal
2004 ~2010	- Vehicle routing - Freight transportation - DEA	- Container transportation - Genetic algorithm - Mathematical programming	- Airlines - Airfares - Simulation	- Order picking - Genetic algorithm - Reverse logistics	- Reverse logistics - Supply chain management - Pickup & delivery	- Simulation - Optimization - Transportation
2011 ~2017	- Vehicle routing - Scheduling - Electric vehicles	- Liner shipping - Genetic algorithm - Maritime transportation	- Airlines - Flight delays - Dynamic programming	- Facility layout - Warehouse design - Order picking	- Reverse logistics - City logistics - Crowd sourcing	- Container terminal - Transportation - Simulation
2018 ~2024	- Vehicle routing - Electric vehicles - Robust optimization	- Liner shipping - Maritime safety - Machine learning	- Delay propagation - Aircraft size - Flight frequency	- Order picking - Warehousing - Performance analysis	- Last-mile delivery - City logistics - e-Commerce	- Vehicle routing - Humanitarian logistics - Column generation

4.2 공급망관리

공급망관리의 세부 연구 분야를 분석하기 위하여 공급망관리로 분류된 3,914편의 논문의 키워드를 중심으로 연구를 구분하고, 키워드의 빈도를 분석하였다. 공급망관리의 세부 연구 분야는 문제유형의 관점과 관리유형의 관점이라는 두 가지 기준으로 구분하였다. 구체적으로, 문제유형은 중장기적인 의사결정을 수행하는 공급망 설계(Design)와 단기적인 의사결정을 수행하는 공급망 운영(Operation)으로 구분하였다. 공급망의 관리유형의 관점은 지속가능성 및 ESG 관점의 관리(ESG), 불확실성과 위험을 대비하기 위한 관리(Risk), 그리고 그 외의 일반적인 관리(General)라는 세 분야로 구분하였다. 앞서 서술한 공급망관리의 유형별 세부 연구 분야를 <Figure 7>에 도식화하였다.

세부 연구 분야를 분류하기 위하여 분야별 키워드를 추가적으로 정의하였으며 <부록 C>에 정리되어 있다. 4.1절과 동일하게 세부 분야 키워드를 얼마나 사용했는가를 기준으로 세부 분야를 구분하였다. 문제유형에 따른 분류의 경우, 공급망 설계와 운영에 관련된 키워드의 수가 동일한 경우, 명확한 설계 키워드가 존재하는지 재검토하였다. 재검토에 사용된 키워드는[부록 C]의 공급망 설계 키워드 중에서 굵은 글씨로 작성된 키워드이며, 해당 키워드가 존재하면 설계로 분류하고, 그렇지 않은 경우는 운영으로 분류하였다. 관리유형의 관점에 따른 분류의 경우, ESG와 Risk 관련 키워드가 존재하면 더 많은 키워드가 있는 분야로 분류하였고, 키워드 숫자가 동일하면 두 분야에 모두 포함하였다. 또한, ESG와 Risk의 키워드가 존재하지 않으면 General로 구분하였다.

분류된 공급망관리 세부 분야별 논문 비율은 <Figure 8>과 같다. 문제유형의 관점에서는 공급망 운영(61%)에 관한 연구가 공급망 설계(39%)에 관한 연구보다 많았으며, 관리유형의 관점에서는 일반적인 관리(48%), 불확실성 및 위험관리(32%), 지속가능성 및 ESG 관리(20%)의 순으로 나타났다.

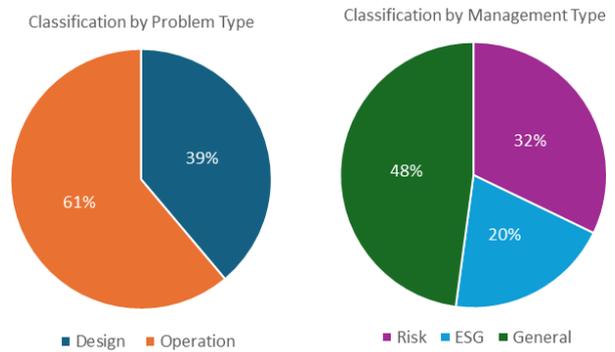


Figure 8. Proportion of sub-research categories for two research types in supply chain management research areas

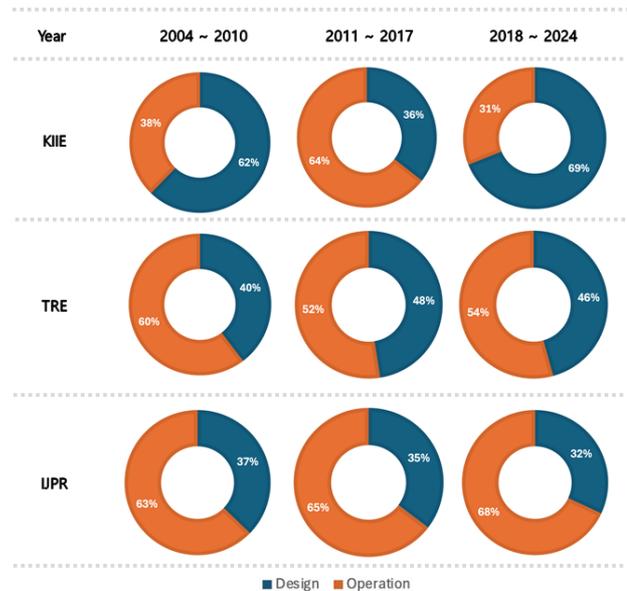


Figure 9. Research trends for problem types over time periods in three journals

공급망관리의 문제유형에 대한 최근 20년간 저널별, 시점별 논문의 비율은 <Figure 9>와 같다. 대한산업공학회지는 TRE와 IJPR에 비해 공급망 설계의 논문 비율이 높은 편이며, IJPR은 공급망 운영의 논문 비율이 높으며 최근 들어 조금 더 증가하는 것으로 나타났다. TRE는 공급망 운영의 비율이 다소 높으나, 다른 저널들에 비해 설계와 운영에 대한 논문들이 비교적 균형 있게 출판되고 있다.

<Table 4>는 공급망 설계와 공급망 운영의 연구에서 많이 사용된 상위 10개의 키워드를 보여주고 있다. 공급망 설계와 운영에서 공통적으로 경쟁상황에 대한 연구를 수행하는 ‘game theory’ 키워드들이 많이 사용되었다. 이는 여러 기업이 경쟁하는 환경에서 최적의 의사결정을 수행하는 공급망관리의 특성을 잘 보여주고 있다. 상위권에 위치한 키워드들은 공급망 설계(예: ‘facility location’, ‘outsourcing’)와 운영(예: ‘inventory’) 과정에서 필요한 의사결정 분야를 잘 설명하고 있으며, 가격결정(예: ‘pricing’)과 공급자 선정(예: ‘supplier selection’)은 두 분야에서 모두 공통으로 많이 나타나고 있었다. 또한, ‘sustainability’ 및 ‘resilience’ 키워드들을 통해 지속가능성과 회복탄력성 역시 두 분야 모두에서 많이 보임을 알 수 있었는데, 이는 관리유형의 세부 분석에서 더 자세히 설명하고자 한다.

Table 4. Top three keywords for two sub-research categories of problem research category in supply chain management research area

Design	Operation
Game theory (67)	Inventory (108)
Supply chain design (61)	Game theory (105)
Facility location (41)	Sustainability (86)
Outsourcing (35)	Pricing (83)
Resilience (30)	Simulation (73)
Genetic algorithm (29)	Supply chain coordination (70)
Sustainability (29)	Supplier selection (63)
Pricing (27)	Closed-loop supply chain (56)
Supplier selection (26)	Supply chain resilience (50)
Simulation (25)	Bullwhip effect (47)

<Table 5>는 공급망의 문제유형별 최근 20년간 상위 키워드 3개의 변화를 보여주고 있다. 1998년 금융위기 이후 기업들이 핵심역량에 집중하기 위하여 아웃소싱을 많이 추구한 결과로 2004년에서 2010년 구간에는 공급망 설계와 운영의 두 유형 모두에서 ‘outsourcing’이 중요 키워드로 등장하고 있다는 것을 알 수 있다. 2011년 이후 구간에서는 기업 간 경쟁을 설명하기 위한 게임이론이 공급망 설계 및 운영 연구의 핵심 키워드로 등장하였다. 또한, 공급망 운영의 분야에서는 가격결정이 중요 연구 분야로 주목받았다.

Table 5. Top three keywords for two sub-research categories in problem research category over time periods

	Design	Operation
2004~2010	-Outsourcing -Neural networks -Supply chain design	-Simulation -Inventory -Outsourcing
2011~2017	-Supply chain design -Genetic algorithm -Game theory	-Game theory -Supplier selection -Pricing
2018~2024	-Game theory -Facility location -Supply chain design	-Game theory -Sustainability -Pricing

공급망의 관리유형 관점에서의 최근 20년간 저널별, 시점별 논문의 비율은 <Figure 10>과 같다. 2004년에서 2010년의 구간에는 모든 저널에서 일반 분야의 논문이 절대적으로 높은 비율(대한산업공학회지 85%, TRE 63%, IJPR 67%)을 보였다. 이후, 지속가능성 및 ESG, 불확실성 및 위험관리 분야의 연구가 매우 빠르게 증가하여, TRE와 IJPR의 경우 세 분야의 논문이 거의 비슷한 수준으로 출판되고 있음을 알 수 있다.

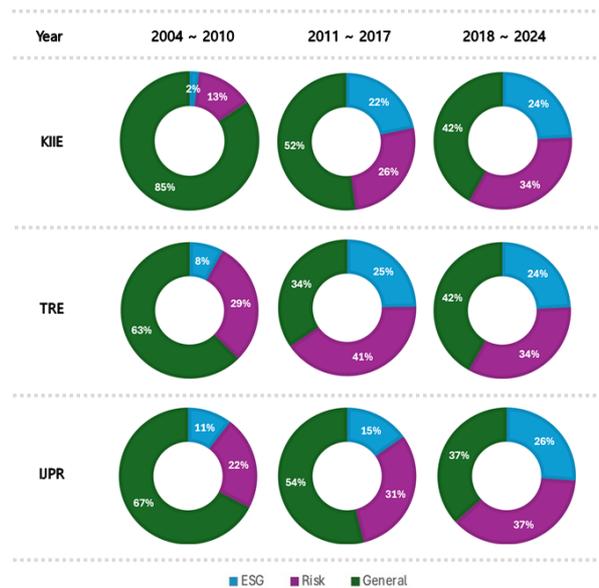


Figure 10. Recent research trends three sub-research categories in the management research category over time periods

공급망의 관리유형 관점에서의 어떤 키워드들이 사용되는지 살펴보기 위하여 상위 10개의 키워드를 <Table 6>에 정리하였다. 지속가능성 및 ESG 분야는 분야의 특성에 맞게 지속가능성이 가장 많이 사용되었으며, 환경 문제와 관련하여 순환경제(‘circular economy’)를 지원하는 폐공급망(‘closed-loop supply chain’) 관련 키워드들이 확인되었다. 사회 문제와 관련

Table 6. Top ten keywords for three sub-research categories in the management research category

ESG	Risk	General
Sustainability (127)	Risk management (128)	Inventory (82)
Closed-loop supply chain (74)	Resilience (120)	Game theory (81)
Remanufacturing (59)	Game theory (56)	Pricing (75)
Green supply chain (55)	information sharing (52)	Supplier selection (53)
Sustainable supply chain (49)	Bullwhip effect (49)	Outsourcing (53)
Game theory (46)	Simulation (45)	Simulation (43)
Circular economy (36)	Uncertainty (45)	Blockchain (39)
Sustainable manufacturing (25)	Ripple effect (40)	Genetic algorithm (36)
Sustainable operations (18)	Stochastic programming (39)	Supply chain coordination (36)
Social welfare (17)	Demand uncertainty (39)	Scheduling (34)

하여 사회복지(‘social welfare’)가 있었으나, 사회문제나 지배 구조문제는 환경 문제보다는 덜 연구되는 것으로 파악되었다.

공급망의 불확실성 및 위험관리 연구 분야에서는 분야 특성에 맞춰 불확실성(‘uncertainty’)과 위험(‘risk’) 키워드를 확인할 수 있으며, 불확실성 중에서는 수요의 불확실성이 가장 많이 연구되고 있음을 알 수 있다. 또한, 불확실성의 현상을 설명하기 위한 ‘bullwhip effect’, ‘ripple effect’와 불확실성을 해결하는 방안으로서의 ‘information sharing’이 연구의 핵심적인 키워드로 사용되고 있음을 파악할 수 있었다. 상위 10개 키워드에는 포함되지 않았지만 ‘COVID-19’, ‘disruption’과 같은 재난 관련 키워드들이 20위권 안에서 확인되었다.

그 외의 일반적인 연구 분야에서는 ‘inventory’, ‘pricing’, ‘supplier selection’, ‘outsourcing’, ‘scheduling’과 같이 연구 분야를 설명하는 일반적인 키워드들이 많이 확인되었다.

<Table 7>은 공급망의 관리유형별 최근 20년간 상위 키워드 3개의 변화를 보여주고 있다. 지속가능성 및 ESG 분야는 ‘sustainability’가 꾸준히 가장 중요한 키워드로 사용되고 있으며, 대상 영역이 ‘reverse logistics’에서 ‘closed-loop supply chain’, ‘remanufacturing’ 분야로 연구의 범위가 확대되는 것을 알 수 있다. 불확실성 및 위험관리 분야의 키워드를 살펴보면, 일상적인 공급망 운영 환경에서 고려되는 ‘bullwhip effect’와

‘information sharing’에서 공급망 혼란(disruptions) 환경에서 고려되는 ‘ripple effect’와 ‘resilience’로 연구자들의 관심이 이동하고 있음을 알 수 있다. 이는 최근 COVID-19, 러시아-우크라이나 전쟁 등 재난 상황 발생의 빈도가 증가하여 새로운 이론과 방법이 제시되고 있음을 의미한다. 마지막으로, 일반적인 연구 분야에서는 경쟁을 다루기 위한 ‘game theory’와 ‘blockchain’ 키워드가 많은 관심을 받는 것을 확인할 수 있다.

4.3 연구재단 기초연구사업 현황

연구재단 기초연구사업 현황은 ICT·융합연구단 성과분석 위원회(2024)를 참고하였으며, 조사기간은 2018년부터 2022년까지 공급망 위험관리 관련 연구에 한정되어 있다. 해당 기간 동안 신규로 선정된 기초연구사업은 <Table 8>과 같이 총 45개이며, 수행된 과제 of 총 지원금액은 32억 2,400만 원이다. 각 기초연구사업의 과제명, 사업명, 총 연구기간은 <부록 D>에 수록하였다.

연구를 수행한 연구자들에 대한 인터뷰결과, 기초연구사업의 결과가 원천기술 확보로 이어지기 위해서는 긴밀한 산학연 정보공유 및 협력체계의 구축이 필요하며, 미래기술에 대한 선제적이고 장기적인 지원이 필요하다고 논의되었다(Division

Table 7. Top three keywords for three sub-research categories in management research category over time periods

	ESG	Risk	General
2004~2010	-Sustainability -Reverse logistics -Simulation	-Bullwhip effect -Information sharing -Simulation	-Outsourcing -Simulation -Supplier selection
2011~2017	-Closed-loop supply chain -Sustainability -Remanufacturing	-Risk management -Bullwhip effect -Information sharing	-Supplier selection -Pricing -Game theory
2018~2024	-Sustainability -Closed-loop supply chain -Remanufacturing	-Resilience -Risk management -Ripple effect	-Game theory -Pricing -Block chain

of ICT · Convergence Research, 2024). 원천기술 확보를 위해 향후 중점적으로 추진될 연구 주제로는 공급망 붕괴 대응을 위한 회복탄력성이 높은 공급망 연구, 대형화되는 스마트공장 및 스마트 물류분야에 대한 연구, 지속가능성을 고려한 친환경 공급망 관리에 대한 연구가 필요하다고 논의되었다 (Division of ICT · Convergence Research, 2024).

5. 물류 및 공급망관리 연구의 발전 방향

본 장에서는 물류 및 공급망관리 연구의 미래 발전 방향을 살펴보고자 한다. 최근까지 인공지능, 사물인터넷, 스마트팩토리, 디지털 트랜스포메이션(DX) 등을 중심으로 한 Industry 4.0 기반의 기술 발전이 주를 이루어 왔다. 그러나 이제 Industry 5.0 시대로의 전환을 지향하고 있다. Industry 5.0은 Industry 4.0의 보완적 개념으로, (i) 인간 중심의 접근, (ii) 지속가능성, (iii) 회복탄력성을 중점으로 하는 새로운 산업 패러다임을 의미한다 (Leng *et al.*, 2022). 자동화 및 디지털화를 중심으로 효율성과 생산성 증대에 초점을 맞추어온 Industry 4.0은 그 과정에서 몇 가지 한계와 부작용이 드러났다. 지나친 자동화와 디지털화로 인해 인간 노동의 역할이 축소되고, 일자리 감소와 같은 사회적 문제가 발생하였다. 또한, 기술 의존도가 높아지면서 사이버 보안 위협과 데이터 프라이버시 문제가 대두되었으며, 기술 격차로 인한 사회적 불평등 심화도 중요한 문제로 부각되었다. Industry 5.0은 이러한 한계를 보완하고자 첨단 기술을 인간 중심으로 통합하여, 기술과 인간의 상호작용을 통해 보다 창의적이고 지속가능한 산업 생태계를 구축하는 데 중점을 둔다 (Xu *et al.*, 2021). 또한, 기술의 혜택을 단순한 생산성 향상에 그치지 않고, 인간과 환경을 고려한 방식으로 적용하여 사회적 및 윤리적 문제를 해결하고, 더 나은 작업 환경을 제공하는 것을 목표로 한다 (Maddikunta *et al.*, 2022). 뿐만 아니라, 공급망의 복잡성이 증가하고 글로벌 위기가 빈번해짐에 따라, 불확실한 상황에서도 신속하게 대응하고, 복구할 수 있는 회복탄력성을 중요시한다. 이를 통해 기업들은 변화하는 환경 속에서 안정적인 운영을 유지하고, 장기적인 생존 가능성을 확보하고자 한다.

Industry 5.0으로의 시대적 변화는 물류 및 공급망관리에 중대한 영향을 미칠 것으로 예상된다(Grosse *et al.*, 2023). Industry 5.0은 단순한 생산성 향상을 넘어 지속가능한 발전과 인간의 복지를 강화하는 것을 목표로 하며, 이를 위해 환경친화적인 기술의 통합, 재생 가능 에너지의 사용, 자원 순환 시스템 구축 등을 지향한다(Dwivedi *et al.*, 2023; Karmaker *et al.*, 2023). 이러한 접근은 기업이 사회적 책임을 다하면서도 경제적 성과를 극대화할 수 있는 방향을 제시할 것으로 보인다. 본 연구에서 제시하는 물류 및 공급망관리 관점에서의 Industry 5.0 시대, 즉 물류 5.0 시대에 중점이 되어야 할 연구 방향은 다음과 같다:

- 1) **인간-로봇 협업 시스템의 발전:** 인간과 로봇이 협력하여 작업을 수행하는 코봇(Cobot)이 물류의 중요한 역할을 수행할 것이다(Prassida and Asfari, 2022). 인간은 반복적이거나 위험한 작업에서 벗어나 창의적이고 전략적인 역할을 수행할 수 있으며, 로봇은 정확하고 효율적인 작업을 담당하게 되어 생산성과 안전성을 동시에 높일 수 있을 것이다. 이에 더불어, 작업 환경의 유연성을 높이고, 맞춤형 생산을 가능하게 하며, 고객의 다양한 요구에 신속하게 대응할 수 있어 개인화된 제품 및 서비스의 수요가 증가하는 현대 시대에 중요한 경쟁력을 제공할 것이라 기대된다(Tiwari *et al.*, 2022).
- 2) **지속가능한 물류 및 공급망 시스템의 구축:** Industry 5.0의 중요한 목표 중 하나는 지속가능한 시스템의 구축이다. 탄소 배출을 줄이고, 에너지 효율성을 높이며, 자원을 효과적으로 관리하는 전략이 강조될 것이며, 친환경 운송수단의 도입이 중요해질 것이다. 또한, 재활용 가능 자재의 재사용과 폐기물 최소화를 목표로 한 순환 경제 모델이 물류와 공급망관리의 핵심 전략으로 자리 잡을 것이다. 2023년 산업공학 최초로 선정된 인간 중심 - 탄소 중립 글로벌 공급망 연구센터(Safe & Clean Supply Chain Research Center)의 주 연구 주제도 지속가능한 공급망 시스템 구축을 그 목표로 하고 있다.
- 3) **개인 맞춤형 물류 및 공급망관리의 발전:** 고객의 개인화된 요구를 충족시키기 위해 물류 및 공급망 시스템은 더욱 유연하고 반응성이 뛰어난 시스템으로 진화할 것이다. 이를 위해 맞춤형 생산 및 물류 전략, 실시간 데이터 분석, 인공지능 기술, 블록체인 기술 등이 활용될 것이며, 이를 통해 투명성, 유연성, 및 회복탄력성의 특징을 보인 공급망이 구축될 것이다.
- 4) **디지털 트윈 기술의 활용:** 디지털 트윈 기술을 활용하여 물류 및 공급망 시스템의 물리적 환경과 가상 환경을 통합해 실시간으로 데이터를 수집하고 분석함으로써, 잠재적 리스크를 사전에 식별하고 대응하는 방안도 핵심 연구 분야가 될 것으로 보인다. 또한, 이 기술은 탄소 배출량을 모니터링하고 에너지 사용을 추적하여 지속가능한 공급망을 구축하기 위한 중요한 도구로 활용될 수 있을 것이다. 즉, 다양한 시나리오를 가상으로 테스트하고, 예측 분석을 통해 미래의 리스크를 사전에 식별하며, 효율적인 대응 방안을 마련하는 데 중요한 연구 주제가 될 것이다.
- 5) **회복탄력성을 중심으로 한 물류 및 공급망관리 강화:** 최근 COVID-19, 수에즈 운하 마비, 반도체 부품 공급 부족 등의 글로벌 위기는 물류 및 공급망의 취약성을 드러냈으며, 이에 따라 회복탄력성에 대한 관심이 높아지고 있다. Industry 5.0 시대에서는 예상치 못한 외부 충격에도 신속하게 대응하고, 운영을 유지하거나 빠르게 복구할 수 있는 회복탄력성 높은 공급망이 중요할 것이다. 이를

위해 다양한 공급원 확보, reshoring과 nearshoring, 재고관리 방식의 변화, 디지털화된 실시간 모니터링 시스템이 필수적이다. 또한, 지역화(Localization)된 공급망을 통해 글로벌 충격에 대한 의존도를 낮추고, 지역 내 자원을 활용하는 전략도 강화될 필요가 있다.

- 6) **스마트물류의 인간 중심 기술 통합:** Industry 5.0에서는 기존의 스마트물류 개념이 인간 중심의 기술 통합으로 더욱 확장될 것이다. 스마트 센서와 IoT 기술을 통해 물자의 실시간 추적이 가능해지고, 이러한 데이터를 바탕으로 인간과 인공지능이 협력하여 더 나은 의사결정을 내릴 수 있을 것이다. 이는 효율성을 극대화하는 동시에, 인간의 창의성과 기술의 정교함을 결합하여 새로운 가치를 창출할 것이다.

6. 결론

시대별로 기술 발전이 급격하게 이루어짐에 따라 물류 및 공급망관리 분야의 연구도 이에 맞춰 발전해왔다. 본 논문에서는 물류 및 공급망관리 분야의 연구 발전 방향을 분석하기 위해 주요 저널에서 키워드를 추출하여 이를 분석 데이터로 활용하였다. 추출된 키워드를 바탕으로 의미망 분석을 수행해 주요 키워드 간의 관계를 시각화하고 그 관계성을 분석하였다. 더 나아가, 최근 시대별 및 분야별 연구 동향을 살펴봄으로써 연구 트렌드를 보다 심도 있게 분석하였다. 최근 연구에서는 지속 가능성과 회복탄력성 관련 키워드가 꾸준히 증가하고 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 환경 보호, 자원 절약, 불확실성에 대비한 공급망의 안정성을 강화하는 연구에 초점이 맞춰져 있음을 시사한다. 기후 변화, 글로벌 팬데믹, 정치적 불안정과 같은 외부 충격에 대응하기 위한 기업과 산업의 대응 능력을 향상시키는 연구가 활발히 진행되고 있다.

반면, 인간 중심 기술과 관련된 연구 키워드는 상대적으로 적음을 확인할 수 있었다. Industry 5.0의 핵심은 기술과 인간의 협력을 통해 더 나은 작업 환경과 사회적 가치를 창출하는 데 있다. 그러나 Industry 5.0이 기술과 인간의 협력을 강조하는 시대임에도 불구하고, 현재 연구는 여전히 자동화와 기술 최적화에 치우친 경향이 있으며, 이는 인간의 창의성, 직관, 감성적 요소를 기술과 어떻게 통합할 것인가에 대한 연구가 상대적으로 부족하다는 점을 시사한다. 향후 연구에서는 인간 중심 기술에 대한 연구가 더욱 활발해지기를 기대하며, Industry 5.0이 인간 중심의 접근과 지속 가능한 기술의 통합을 통해 물류 및 공급망 관리 분야에 혁신적인 변화를 가져올 것으로 보인다. 이러한 변화는 기업들이 변화하는 글로벌 시장에서 경쟁력을 유지하고 향상시키는 데 중요한 역할을 하며, 궁극적으로 인

간과 환경을 중심에 둔 새로운 산업 생태계 구축을 목표로 할 것이다.

참고문헌

- Division of ICT-Convergence Research (2024), Supply Chain Risk Management: Research Trends on R&D Issues Funded by the Basic Research Department, *NRF R&D BRIEF*, 2024-29, 1-14.
- Dwivedi, A., Agrawal, D., Jha, A., and Mathiyazhagan, K. (2023), Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development, *Computers & Industrial Engineering*, **176**, 108927.
- Gensim (2022), Python package for topic modelling with large corpus. <https://radimrehurek.com/gensim/>.
- Grosse, E. H., Sgarbossa, F., Berlin, C., and Neumann, W. P. (2023), Human-centric production and logistics system design and management: Transitioning from Industry 4.0 to Industry 5.0, *International Journal of Production Research*, **61**(22), 7749-7759.
- Karmaker, C. L., Bari, A. M., Anam, M. Z., Ahmed, T., Ali, S. M., de Jesus Pacheco, D. A., and Moktadir, M. A. (2023), Industry 5.0 challenges for post-pandemic supply chain sustainability in an emerging economy, *International Journal of Production Economics*, **258**, 108806.
- Leng, J., Sha, W., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C., Liu, Q., Wuest, T., Mourtzis, D., and Wang, L. (2022), Industry 5.0: Prospect and retrospect, *Journal of Manufacturing Systems*, **65**, 279-295.
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., ... and Liyanage, M. (2022), Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications, *Journal of Industrial Information Integration*, **26**, 100257.
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G. S., and Dean, J. (2013), Distributed representations of words and phrases and their compositionality, *Advances in Neural Information Processing Systems*, **26**.
- Moraes, A., Carvalho, A. M., and Sampaio, P. (2023), Lean and Industry 4.0: A review of the relationship, its limitations, and the path ahead with Industry 5.0, *Machines*, **11**(4), 443.
- Prassida, G. F. and Asfari, U. (2022), A conceptual model for the acceptance of collaborative robots in industry 5.0, *Procedia Computer Science*, **197**, 61-67.
- Roland Berger (2015), Logistics 4.0 – New innovations in the logistics business. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_shiten109_20151222.pdf.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., and Wang, L. (2021), Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception, *Journal of Manufacturing Systems*, **61**, 530-535.
- Tiwari, S., Bahuguna, P. C., and Walker, J. (2022), Industry 5.0: A macroperspective approach. In *Handbook of Research on Innovative Management Using AI in Industry 5.0*, IGI Global, 59-73.
- Van der Maaten, L. and Hinton, G. (2008), Visualizing data using t-SNE, *Journal of Machine Learning Research*, **9**(11).

<부록 A> 물류 및 공급망관리 분야 분류 키워드

실제 분류에서는 복수형, 형용사형 등 여러 변화형을 사용하였으나 부록에서는 가장 자주 쓰이는 형태만 나타내었으며 물류 및 공급망관리 분야 각각의 분류 키워드는 다음과 같다:

- 물류 분야 분류 키워드: 3PL, 4PL, AGV, air, airfare, airline, airport, aisle, AMR, AS/RS, autonomous, aviation, baggage, battery, belt, berth, bulk, bundle, bus, car, carbon, cargo, carrier, charging, cold chain, congestion, consolidation, container, containership, crane, cross docking, crowd-sourcing, delivery, depot, disaster, distribution center, drayage, driver, drone, e-commerce, electric, emergency, emission, empty, feeder, fleet, foldable, forwarder, freight, fuel, fulfillment, hazardous, heterogeneous, hinterland, homogeneous, hub, Hub-and-spoke, humanitarian, inbound, intermodal, last-mile, layout, LCC, liner, logistic, long-haul, maritime, material handling, milk-run, modal, omni-channel, on-demand, order batching, order picking, outbound, package, packing, pallet, parcel, parking, perishable, pickup, point-to-point, port, rack, rail, railway, recharging, recycling, relief, relocation, repositioning, retrieval, reverse logistics, RFID, ridesharing, route, ship, slot, speed, split, stacking, storage, stowage, terminal, time window, traffic, train, transportation, transshipment, travel, truck, truckload, TSP, UAV, unit load system, urban, vehicle, vessel, warehouse, waste, yard
- 공급망 분야 분류 키워드: 3PL, 4PL, allocation, blockchain, bought, bullwhip, buyer, capacity, carbon, channel, circular economy, closed-loop, cold chain, collaboration, contract, coordination, CPFR, customer, demand, disruption, distribution, dual-channel, echelon, fulfillment, incentive, integration, location, marginalization, market, multi-echelon, network, omni-channel, outsourcing, perishable, pool, price, procurement, purchase, resilience, responsiveness, retail, revenue, ripple, risk, selection, sharing, source, strategy, supply, supply chain, sustainability, tier, tranship, transshipment, vendor-managed inventory, vertical, VMI

<부록 B> 물류관리 세부 분류 키워드

- 실제 분류에서는 복수형, 형용사형 등 여러 변화형을 사용하였으나 부록에서는 가장 자주 쓰이는 형태만 나타내었음.
- 육상물류 키워드: Convoy, Metro, truck, freight, train, traffic, transport, car, bus, rail, driver, parking, drayage, ridesharing, urban, milk-run, vehicle, long-haul, congestion, UAV, drone
- 해운물류 키워드: Navy, Marine, Sea-based, yard, maritime, port, container, containership, vessel, fleet, ship, berth, bulk, liner, transshipment, hinterland, stowage, feeder, crane, foldable
- 항공물류 키워드: air, aviation, baggage
- 공장 및 창고물류 키워드: Production-inventory, manufacturing, robots, job-shop, Carousel, Racking, zone, material handling, warehouse, distribution center, cross-docking, AS/RS, retrieval, unit load system, order picking, picking, pallet, order batching, layout, rack, aisle, belt, AGV, RFID, AMR
- 생활 물류 키워드: City, last-mile, e-commerce, omni-channel, on-demand, delivery, parcel, pickup, urban, fulfillment
- 복합 물류 키워드: Truck-and-drone, Synchromodality, party, modal, terminal, carrier, forwarding, forwarder, 3PL, 4PL, Fourth, 4th, consolidation, split, drone

<부록 C> 공급망관리 세부 분류 키워드

- 실제 분류에서는 복수형, 형용사형 등 여러 변화형을 사용하였으나 부록에서는 가장 자주 쓰이는 형태만 나타내었음.
- 공급망 설계 키워드: [M&A, Location, Outsourcing, resource allocation, capacity allocation, production allocation, capacity planning, structure, Vertical, integration, Strategy, configuration, design, partnership, architecture, offshoring, reshoring, nearshoring, location-inventory, Network, Supplier, supply, Distribution, distributor, Allocation, select, fulfill, Channel, Capacity]
- 공급망 운영 키워드: [Production, Planning, Scheduling, Routing, Forecasting, Batching, Contracting, Operation, Control, Packaging, Unpacking, Inventory, periodic review, continuous review, vendor-managed inventory, negotiation, Booking, Selling, Maintenance, Repair, EOQ, Lot sizing, backlogging, fulfilment, replenishment, dispatch, Kanban, auction, vehicle, delivery, layout, job ,Sourcing, source, Supplier, supply, procure, purchase, purchaser, Coordination, Distribution, distributor, Collaboration, Marginalization, Pricing, price, select, VMI, CPFR, tranship

- 지속가능발전 및 ESG 키워드: welfare, eco, Sustainability, Circular economy, Closed-loop, Carbon, Incentive, social, environment, government, job creation, subsidy, remanufacturing, refurbish, waste, fuel, emission, hazardous, Ethics, responsibility, CSR, Green, recycle, ESG, Cap-and-trade, Climate]
- 불확실성 및 위험관리 키워드: [volatility, VAR, conditional-value-at-risk, CVaR, Chance constraint, random, probabilistic, forecast, prediction, Risk, Resilience, disrupt, Bullwhip, Ripple, pool, share, Uncertainty, disaster, relief, humanitarian, emergency, robust, stochastic, scenario, pandemic, COVID-19, Climate]

<부록 D> 기초연구사업 지원 현황

과제명	사업명	총 연구기간
사물인터넷을 활용한 폐쇄형 공급망 구축 및 최적 성과 도출을 위한 협업 체계 개발	융합연구	2015-05-01 ~ 2018-04-30
글로벌 물류 효율성 향상을 위한 전략적 협업 플랫폼 개발	기본연구 (후속)	2015-11-01 ~ 2018-10-31
유통채널 공급망의 모델링 및 시뮬레이션 연구	중견연구	2016-06-01 ~ 2018-05-31
공급망 성과 측정을 위한 네트워크 DEA 모형에 관한 연구	중견연구	2016-06-01 ~ 2019-05-31
생태계 및 두뇌 네트워크를 벤치마킹한 탄력적 공급 네트워크 모델에 관한 연구	신진연구	2016-06-01 ~ 2019-05-31
뿌리기업의 지속가능 경영을 위한 에너지-환경-제조 연계형 M&S 운영 기술 개발	신진연구	2016-06-01 ~ 2018-05-31
신재생 에너지 공급 네트워크 설계 및 운영 통합 최적화 체계 구축에 관한 연구	신진연구	2016-06-01 ~ 2019-05-31
하중공유시스템의 최적 신뢰성 설계 이론 연구 및 로켓엔진과 공급망의 응용연구	기본연구	2016-06-01 ~ 2022-05-31
무선전력 기반의 공장 자동 반송 시스템 설계 및 운영 연구	기본연구	2016-11-01 ~ 2019-10-31
위치결정과 자원할당 문제를 가진 통합형 공급망 네트워크 최적설계: 혼합유전알고리즘 접근법	중견연구	2017-03-01 ~ 2019-02-28
재난 사전 및 사후 대응을 위한 차세대 드론 통합 물류 시스템	중견연구	2017-03-01 ~ 2020-02-29
클라우드 제조 시스템의 운영 전략 개발	중견연구	2017-03-01 ~ 2020-02-29
유통채널 공급전략을 위한 통합 계획-운영 의사결정 연구	학문후속세대 양성	2017-11-01 ~ 2018-10-31
Connected Smart Factory 환경에서의 Dynamic Supply Chain Network 설계 및 운영 연구	신진연구	2017-03-01 ~ 2020-02-29
불안정한 글로벌 네트워크 시스템에서 RFID를 고려한 실시간 정보 공유를 통한 서비스 수준 향상	기본연구	2017-06-01 ~ 2020-05-31
효과적 재난대응을 위한 인도주의적 공급체인 설계 방법론 개발	생애첫연구	2018-03-01 ~ 2021-02-28
클라우드 분산 생산 환경 하에 다단계 생산 및 배송 네트워크 프레임워크를 위한 통합 최적 일정계획 및 이익 공유 모델에 관한 연구	기본연구	2019-06-01 ~ 2022-02-28
공급망에서 Ripple Effect의 영향 분석 및 위험대응전략 연구	기본연구	2019-06-01 ~ 2022-02-28
다부품 제품의 아웃소싱 의사결정: 부품 간 상호의존성을 중심으로	생애첫연구	2019-09-01 ~ 2021-02-28
국내 기업의 공급망 성과와 주가 수익률간의 관계에 관한 연구	채도약 (중견)	2019-06-01 ~ 2020-05-31
사회 문제 해결을 위한 스마트 공급망 관리	중견연구	2020-03-01 ~ 2023-02-28
공장제조/현장시공 체계를 위한 시뮬레이션 기반 공급사슬관리 최적화	기본연구	2020-06-01 ~ 2023-02-28
고객 선택 모델하의 콜러블 제품 운영 및 가격 애널리틱스	기본연구	2020-06-01 ~ 2023-02-28
지속 가능한 폐쇄 루프 공급사슬관리에서 하이브리드 스마트 제조-재제조를 위한 의사결정 지원 시스템	기본연구	2020-06-01 ~ 2023-02-28
비정형 데이터를 활용한 핵심 공급망 파악, 위험 분석, 대안 제시 연구 및 시스템 개발	중견연구	2021-03-01 ~ 2024-02-29
변동하는 수요에 대한 접이식 컨테이너 임대 효과분석	학문후속세대 양성	2021-06-01 ~ 2022-02-25
효율적인 집단 면역 형성을 위한 Agent-based Simulation 및 인구통계학적 데이터 기반의 백신 공급 최적화 스케줄러 개발	기본연구	2021-06-01 ~ 2023-02-28
시장수요 및 생산수율이 불확실한 공급사슬의 거래가격 분석	중견연구	2022-03-01 ~ 2025-02-28
공급 중단과 수요 급증을 고려한 국가적 공급망 위험 관리	학문후속세대	2021-06-01 ~ 2024-05-31

과제명	사업명	총 연구기간
	양성	
그래프신경망을 활용한 창업 혁신 생태계와 공급 사슬망 구조 분석을 위한 시각적 비즈니스 인텔리전스 시스템 기술 연구	신진연구	2022-03-01 ~ 2027-02-28
다수의 운영 제약을 갖는 공급망 재고관리 문제에서의 구조적 강화학습 적용 기술 연구	기본연구	2022-06-01 ~ 2024-02-29
그래프 마이닝 기반의 B2B 시장 세분화와 예측 및 공급망 시각화 연구	기본연구	2022-06-01 ~ 2025-02-28
글로벌 공급망에서 노력 의존적 수요를 갖는 용량 할당 문제를 위한 Bilevel 최적화와 Stackelberg 게임	기본연구	2022-06-01 ~ 2025-02-28
마르코프 수요 모델을 활용한 분권화된 다계층 공급망에서의 재고관리 최적화 알고리즘 연구	기본연구	2022-06-01 ~ 2023-05-31
팬더믹 상황에서 리질리언스 이론을 이용한 회복 탄력적 공급망 모델에 관한 연구	기본연구	2022-06-01 ~ 2023-05-31
의약품류 콜드체인 적시배송을 위한 생산 및 배송 통합 운영계획에 관한 연구	기본연구	2022-06-01 ~ 2025-02-28
불안정한 공급망 위험 환경에서 지속가능한 공급망 구축 방안 연구	학문균형발전	2022-06-01 ~ 2026-05-31

저자소개

이다.

문일경: 서울대학교 산업공학과 교수로 재직하고 있다. 주 연구 분야는 생산관리, 공급망관리, 물류관리다. 제 23대 대한산업공학회장을 역임하였으며, 한국과학기술한림원 정회원이다.

정병도: 연세대학교 산업공학과에서 교수로 재직하고 있다. 주 연구분야는 공급망 최적화, Smart Factory, Smart Supply Chain이다.

김병수: 인천대학교 산업경영공학과 교수로 재직하고 있다. 주 연구분야는 생산계획 및 통제, 물류최적화 및 SCM, 시뮬레이션

신영철: 아주대학교 산업공학과 조교수로 재직하고 있다. 주 연구분야는 스마트물류, 스마트팩토리, 공급망관리, 최적화응용이다.