

우편운송망 성능평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발

박상용¹ · 이태한^{2*} · 최지영³ · 이 석³

¹한국 에너지기술연구원 정책연구부 / ²전북대학교 산업정보시스템공학과

³한국전자통신연구원 우정기술 연구센터

Development of the Postal Transportation Network Simulation System

Sangyong Park¹ · Taehan Lee² · Jiyoung Choi³ · Suk Lee³

¹Energy Policy Department, Korea Institute of Energy Technology, Daejeon, 305-343

²Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 561-756

³Postal Research center, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon, 305-350

In Postal logistics, the efficient design and operation of transportation network is very important issue. But, it is hard to operate the postal transportation network flexibly according to the change of mail volume. In Korea post, a transportation plan is pre-determined and the transportation of mail is performed through the routes in the plan. When the routes cannot transport all mail, temporary vehicles are used. In the postal transportation, it is important to make a good transportation plan and to manage the plan efficiently. But the change of transportation plan is not a simple work because hundreds of vehicles and persons are related to the plan. So, a methodology to check the effect of the change of the transportation plan in advance is required. In this paper, we develop a simulation model to evaluate the performance of a postal transportation plan. We implement the simulation model and develop an information system including user interface for managing data and simulation results. We apply our simulation model and system to the real change of transportation plan.

Keywords: postal transportation network, simulation, ARENA, performance analysis

1. 서론

국내 우편운송망은 전국 3,600여 개의 우체국과 구분 자동화 시설인 22개 집중국 및 우편물의 교환을 위한 대전의 교환센터 한 곳으로 이루어진 hub-and-spoke 형태의 망을 이루고 있다. 수 집된 우편물은 22개 집중국을 허브로 하여 집중국으로 운송하여 도착지 별로 구분을 한 후, 교환센터를 활용한 22개 집중국 사이의 우편물의 운송을 통하여 도착지로 보내어진다. 이 때, 집중국과 관할 우체국 사이의 우편물의 운송을 하부운송, 교환센터를 포함한 집중국들 사이의 우편물의 운송을 기간운송 이라고 한다.

우편 운송망의 최적 설계 및 효율적인 운영은 우편물류 서비스에 매우 중요한 요소이다. 이에 따라 최적의 우편물류 서비스를 제공할 수 있는 운송 계획을 수립하기 위한 알고리즘 과 정보 시스템을 개발하기 위한 연구들이 이루어져왔다 (Dasagupta *et al.*, 1999). 그러나 복잡한 우편물류망 구조와 프로 세스를 수리모형을 이용하여 모델링하는 데에는 한계가 따른다. 따라서 최근에는 수리모형보다 더 현실적인 모델링이 가능하며, 운송관계자의 경험이나 노하우로 산출할 수 없는 정 량적인 결과를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있는 시뮬레 이션을 이용하여 지속적으로 물류망의 성능을 분석하고 관리 하기 위한 연구들이 부각 되고 있다(Kelton *et al.*, 2003; Kim *et al.*,

*연락처 : 이태한 교수, 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 063-270-2333,

E-mail : myth0789@chonbuk.ac.kr

2005년 5월 접수, 2회 수정 후 2005년 11월 게재 확정.

2003; Wert *et al.*, 1991). 그러나 기존 연구 결과들은 우편물류망의 구조 또는 운영 전략과 같은 거시적인 수준의 의사결정을 지원하기 위한 시뮬레이션 개발에 초점이 맞추어져 있었다(Pegdem *et al.*, 1990). 따라서 현업에서 실제 운영되는 운송 계획을 시뮬레이션 모델링에 직접 반영할 수 있는 구체적인 수준의 시뮬레이션 개발은 이루어지지 못했다(Cheung and Bal, 1998). 이런 한계를 극복하기 위해서 본 연구에서는 집중국과 집중국 상의 망인 기간 운송에 대하여 물류망 구조 및 업무 프로세스뿐 만 아니라, 운송계획 정보와 동적으로 변화하는 우편 물량 등을 반영하여 정량적인 운송 계획 성능 분석 결과를 산출할 수 있는 우편운송망 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 또한 본 연구에서는 개발된 시뮬레이션 시스템을 이용하여 기간 운송계획 개편에 따른 망 성능 변화를 분석하였다. 이를 통하여 기간망 운송 계획 대안을 사전에 분석 평가하여 운송 체계 개편 시 발생할 수 있는 위험 요인을 최소화할 수 있었다.

우편운송망 시뮬레이션 시스템 개발은 크게 우편운송망을 시뮬레이션 기법을 이용하여 모델링하고 이를 시뮬레이션 도구를 이용하여 구현하는 과정과 시뮬레이션에 필요한 정보들을 관리하고 사용자가 시뮬레이션을 손쉽게 이용할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공하는 정보 시스템을 개발하는 과정으로 이루어졌다. 시뮬레이션 모델링과 구현을 위한 도구로는 Arena 8.01이 사용되었으며, 시뮬레이션 수행을 위한 입력 정보와 출력 정보의 효과적인 관리를 위하여 Arena는 대부분의 시뮬레이션 관련 정보를 MS Access DB와의 인터페이스를 통하여 교환할 수 있도록 구현되었다. 또한 사용자가 손쉽게 시뮬레이션 데이터를 입력하고 원하는 시뮬레이션 결과를 조회할 수 있도록 Delphi 7.3을 이용하여 사용자 인터페이스를 개발하였다.

우편운송망의 시뮬레이션 모델링과 구현에 관한 내용은 2장에서, 시뮬레이션 입·출력 정보 관리와 사용자 인터페이스 제공을 위한 정보 시스템 개발에 관한 내용은 3장에서 상세하게 다룰 것이다. 또한 4장에서는 본 연구에서 개발한 시뮬레이

션 시스템을 활용하여 기간 운송 계획에 대한 현행안과 개편안에 따른 망 성능을 비교 평가하는 과정에 대하여 상술한 후 5장에서 결론을 맺는다.

2. 시뮬레이션 모델링 및 구현

2.1 시뮬레이션 개요 및 목적

전술한 바와 같이 국내 우편운송은 기간운송 및 하부운송의 두 계층으로 이루어지고 있다. 이러한 우편 서비스를 제공하기 위해서는 차량 운행 계획을 수립하는 과정이 필요하다. 매일 변화하는 운송 물량에 대하여 매번 운송 계획을 수립하여 운송을 수행하는 것이 가장 이상적인 운영이라고 할 수 있다. 그러나 우편물량을 미리 알 수 없다는 것과 차량 및 인력 운영 등의 현실적인 한계로 인하여 이러한 운영은 불가능하다. 현재는 미리 과거의 물량을 기반으로 하여 미리 운송 노선 및 차량할당을 결정한 운송 계획을 수립하여 정기적으로 운영하고 있으며, 차량이 부족할 경우에는 임시편을 운행하고 있다. 이러한 경우 우편물량의 변화에 따라 운송 계획의 적절한 변경 운영이 효율적 운영에 중요한 요소가 된다. 그러나, 운송 계획의 변경은 하루 수백 대의 운송과 수백 명의 인력이 관련된 문제로, 그 효과에 대한 확신이 없이 변경하는 것은 어려운 일이다. 따라서, 우편운송 계획의 변경에 따른 효과를 미리 확인해 볼 수 있는 방법이 요구된다. 본 연구에서는 기간운송 계획의 성능 평가를 수행할 수 있는 시뮬레이션 모델링 및 시스템을 개발하고 이를 통하여 기간운송 계획 변경의 효과를 분석할 수 있도록 한다. 이는 집중국과 교환센터로 이루어진 기간 운송망의 운송 계획에 따라 우편물 운송을 모델링하고 그 성능을 측정하는 것이다. 전술한 바와 같이 기간운송 노선은 미리 결정된 운송 계획에 따라 운영되고 있으며, 임시편이 활용되고 있다. 먼저 대상이 되는 기간운송의 노선은 <Figure 2>에서

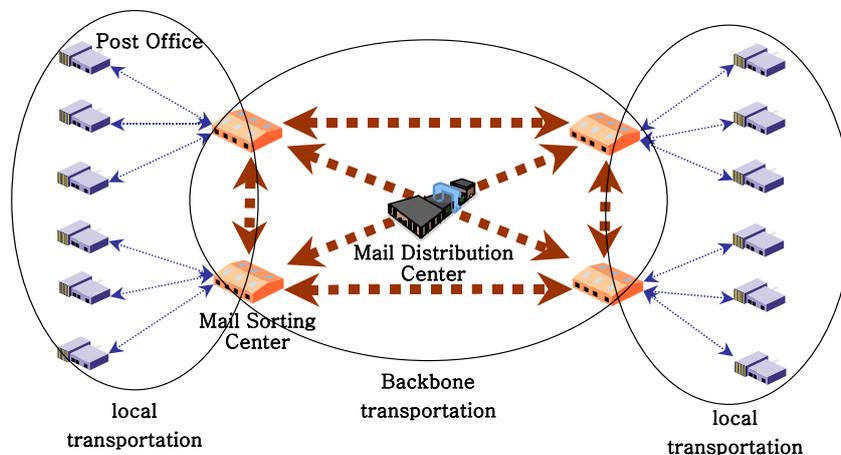


Figure 1. Structure of postal transportation network.

보듯이 집중국 간에 직접 이루어지는 직발송노선과 교환센터 를 경유하여 운송이 되는 교환노선으로 나누어진다. 직발송 노선의 경우 두 집중국 간의 노선인 직송과 세 개 이상의 집중 국사이의 겸송으로 구분된다.

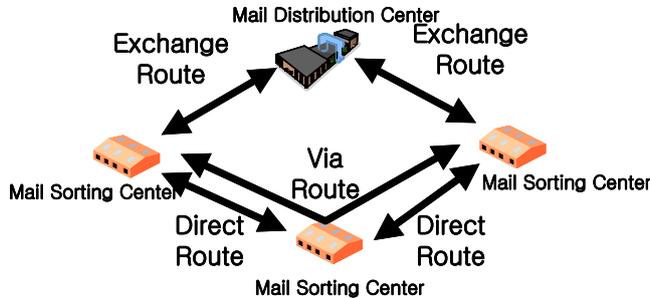


Figure 2. Types of transportation route.

우편운송은 적은 비용으로 신속한 운송이 그 목표가 된다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 우편물은 크게 일반 서신을 포함하는 통상 우편물과 소포 우편물로 나누어지며, 통상 우 편물은 서비스에 따라 빠른 통상 우편과 보통 통상 우편으로 구분이 된다. 우편사업의 경쟁력 확보 및 서비스 제공 측면에서 빠른 통상 우편물과 소포 우편물의 경우 보통 통상 우편물 에 비하여 우선적인 처리를 요구하며, 운송에 있어서도 우선 권을 갖는다. 특히, 소포 우편물의 경우 인터넷 쇼핑물 등의 고 객의 요구에 따라 익일 배달이 우편사업의 경쟁력 확보에 매 우 중요한 요소가 되고 있다. 따라서, 이를 반영한 시뮬레이션 이 요구된다.

운송노선의 측면에서 보면, 교환편의 경우 직발송에 비해 운송시간이 더 오래 걸리는 반면, 규모의 경제를 통한 비용의 절감이 가능하다. 그러나, 물량이 확보가 가능하다면 직발송 노선이 비용 측면에서도 더 유리하다. 따라서, 편성된 직발송 노선을 통하여 먼저 우편물을 운송하고 물량이 확보되지 않는 경우 교환편을 이용하는 것을 반영하는 것이 요구된다.

2.2 시뮬레이션 입출력

우편운송망 시뮬레이션을 위해서는 많은 입력 자료를 요한 다. 그 내용은 크게 다음과 같다.

- 우편서비스 정보: 서비스의 종류 및 서비스 별 송달 기준
- 망 구조 정보: 거점(교환센터, 집중국)의 수, 위치, 용량, 작업시간대 등
- 우편물량 정보: 집중국 간 서비스 별 물량 발생 정보
- 운송계획 정보: 운송 노선 별 출발지, 도착지, 경유지, 적 용 요일, 운송비용 등
- 시뮬레이션 기본 정보: 시뮬레이션 기간, 팔레트 기준 적 재율 등의 파라미터

본 연구에서는 위와 같은 주어진 입력 자료를 기반으로 다 음 절에서 설명할 운송 프로세스를 따라 시뮬레이션을 수행하 여 다음의 결과를 도출하여 운송계획의 성능을 평가한다.

- 운송비용
- 서비스별 송달 기준 만족률
- 거점별 처리물량
- 노선별 운송실적(적재율)
- 임시편 발생 실적

2.3 시뮬레이션 프로세스 설계

본 연구에서는 시뮬레이션 수행을 위해, 현행 기간운송 프 로세스를 정리하고 그에 따라 시뮬레이션 모듈을 구현하였다. 먼저, 기존 운송업무 프로세스를 크게 4개 부분으로 나누어 분 석하였다. 첫 번째 프로세스는 집중국에서 우편물의 발생과 종류별, 목적지별 구분 작업에 관한 프로세스이며, 두 번째 프 로세스는 목적지 집중국 직접 향하는 직송차량 또는 타 집중 국을 경유하여 목적지 집중국에 도착하게 되는 겸송차량의 발 생, 우편물 적재, 차량출발에 관한 프로세스이다. 세 번째 프 로세스는 교환센터로 향하는 교환 운송편에 대한 프로세스이며, 마지막 프로세스는 교환센터에서 이루어지는 교환 프로세스 이다.

2.3.1 우편물 발생 및 적재 프로세스

우편물 발생, 구분 및 차량 적재에 대한 프로세스는 아래 <Figure 3>에 정의되어 있다. 우편물이 발생하게 되면, 목적지 별 구분을 위하여 집중국별, 종별로 정의된 처리 소요 시간만 큼 집중국 내에서 지연된 후 빠른 통상과 소포의 경우는 목적 지가 동일한 직송차량 또는 겸송차량을 검색하여 해당 차량이 존재하는 경우에는 대기하지 않고 바로 상차되게 된다. 그러 나 해당 차량이 존재하지 않는 경우는 교환센터 대기열에서, 보통 통상의 경우는 보통 통상 우편물 대기열에서 대기하다 차량이 출발 시에 상차된다. 보통 통상의 상차 프로세스와 빠 른 통상과 소포의 상차 프로세스를 다르게 모델링한 이유는 2.1에서 설명한 바와 같이 익일 배달이 요구되는 빠른 통상과

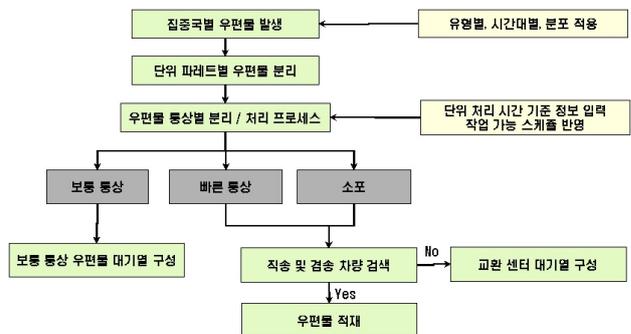


Figure 3. Mail handling process in a mail sorting center.

소포는 직송과 검송 노선 위주로 배차하여 교환센터에서 발생하는 소요 시간을 단축하기 위함이다.

2.3.2 직발송편 관련 프로세스

다음으로 직송과 검송 차량이 발생하여 출발할 때까지의 프로세스는 아래 <Figure 4>에 정의되어 있다. 차량이 발생하게 되면 빠른 대기열에서 대기하고 있는 소포 및 빠른 통상 우편물 중에 목적지가 동일한 우편물이 존재하는지 검색하게 된다. 이 때 우편물을 적재하는 우선 순위는 직송차량, 검송차량, 검송지출발 가상 차량, 교환센터 행 차량의 순이다. 이는 소포 및 빠른 통상 우편물의 송달 기준 만족도를 높이기 위함이다. 또한 검송지출발 가상 차량이란 검송 구간의 경유지에서 검송 노선에 상차하기 위한 우편물을 적재하기 위하여 생성된 가상의 차량으로서 실제 검송 차량이 도착하게 되면 적재되어 있는 우편물을 하차하여 실제 검송차량에 상차될 수 있도록 유도하는 역할을 한다. 대기하고 있는 우편물에 대한 상차가 완료되면 차량은 출발시간까지 차량 대기열에서 대기하면서 새로이 구분되어 나오는 우편물을 상차한다. 출발 시간 이전에 만차가 되게 되면 차량 정보에 따라 임시편을 생성할 수 있다. 또한 출발 시간까지 만차되지 않는다면, 보통 통상 대기열에서 대기하고 있는 보통 통상을 상차한 후 출발 가능 팔레트 이상이 상차되었다면 목적지로 출발한다.

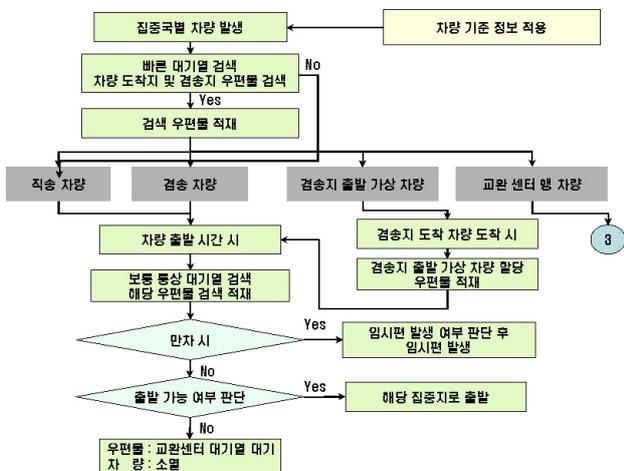


Figure 4. Vehicle handling process(for vehicle to other mail sorting centers)

2.3.3 교환편 관련 프로세스

아래 <Figure 5>는 교환 운송편 차량에 관한 프로세스를 정의하고 있다. 교환 운송편 차량은 생성 후 교환센터 대기열에서 대기하고 있는 소포 또는 빠른 통상 우편물을 검색하여 존재하면 차량에 적재한다. 적재하는 과정에서 단위 기준 미만의 팔레트들 중 목적지가 동일한 엔터티들을 모아서 직교환 팔레트로 변화시키고, 직교환 팔레트 구성 후에도 단위 기준 미만인 팔레트들은 혼재 팔레트로 변화시킨다. 직교환 팔레트

란 교환센터에서 각 집중국에서 모아진 우편물을 도착지별로 구분하여 운송함에 있어, 도착지가 동일한 우편물만이 담긴 팔레트로, 교환센터에서는 해당 직교환 팔레트의 우편물은 해체하여 구분하는 일 없이 바로 교환이 이루어진다. 반면 목적지가 서로 다른 우편물이 실린 팔레트가 혼재 팔레트이며, 이는 교환센터에서 해체하여 목적지별 구분을 하는 프로세스가 요구된다. 이후 프로세스는 직송 및 검송 차량의 프로세스와 동일하므로 상세한 설명은 생략한다.

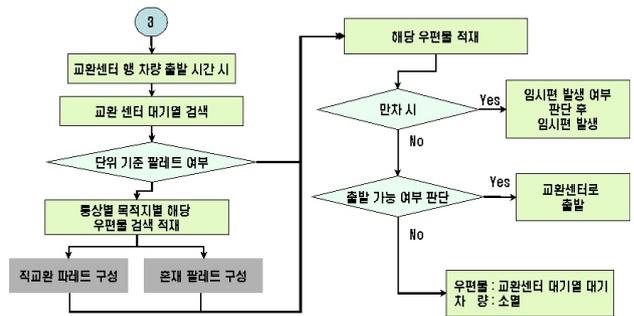


Figure 5. Vehicle handling process(for vehicle to the mail distribution center).

2.3.4 교환센터 프로세스

마지막으로 교환센터 내부 프로세스는 <Figure 6>에서 정의하고 있다. 교환센터에 차량이 도착하면 우편물은 하차되어 직교환 팔레트와 혼재 팔레트 여부에 따라 목적지 별 구분 프로세스를 거치게 된다. 구분 프로세스 종료 후에는 우편물의 목적지와 동일한 목적지 속성을 가지는 차량을 검색하고, 차량이 존재한다면 해당 차량에 상차되고, 그렇지 않은 경우에는 집중국 우편물 대기열에서 대기하면서 동일한 목적지 속성을 갖는 차량이 발생하게 되면 상차되어 출발한다.

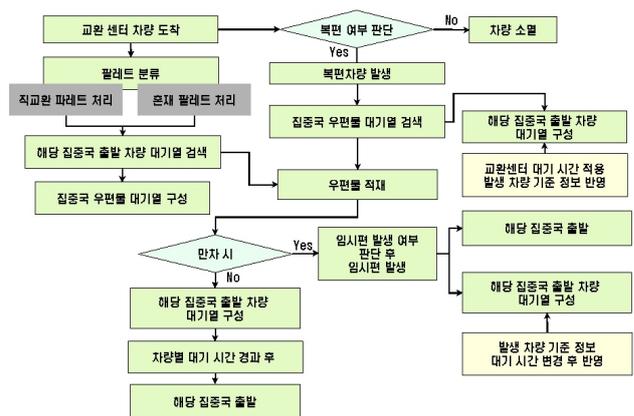


Figure 6. Mail handling process in the mail distribution center.

2.4 Arena를 이용한 시뮬레이션 구현

본 연구에서는 앞 절에서 정의된 입·출력 데이터와 우편물

류 프로세스를 시뮬레이션 도구인 Arena를 이용하여 구현하였다(Law and Kelton, 2000; Niels, 2003; Part *et al.*, 2000). 본 연구에서 활용된 구현 과정의 특징은 다음과 같다. 첫 번째는 우편물 관련 정보, 차량 발생 관련 정보, 각 집중국 및 교환센터 우편물 처리 시간 및 작업 일정과 같은 기준 정보를 Ms Access DB로 구성하였다는 점이다. 두 번째는 운송망 특성화된 템플릿 모듈을 개발하였다는 점이다. 집중국과 교환센터의 시뮬레이션 모델링 결과를 모듈화함으로써 처리 속도를 단축하고, 유지 보수가 용이하며, 사용자 편의성을 증대시키는 효과를 기대할 수 있었다. 세 번째는 시뮬레이션 자동 처리 프로그램 삽입을 통하여 시뮬레이션 구동 시 파일 클릭만으로 프로그램을 실행토록 구성하여 정보 시스템과 시뮬레이션 사이의 인터페이스를 용이하게 개발하였다. 마지막은 Arena에서 제공하는 시뮬레이션 결과뿐 아니라 우편물 처리 정보, 차량 처리 정보, 집중국 처리 정보, 그리고 교환센터 처리 정보와 같은 추가 결과 자료를 추출한다는 점이다. 집중국과 교환센터에 대한 시뮬레이션 모델링 결과를 모듈화하고 이러한 모듈들을 이용하여 전체 우편물류망에 대한 시뮬레이션 모델을 구현하였다.

3. 시뮬레이션 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템 환경 및 사용자 시나리오

앞 장에서 기술한 시뮬레이션의 활용도를 극대화하기 위해서는 시뮬레이션에서 필요한 데이터들을 손쉽게 입력하고 관리할 수 있는 소프트웨어 시스템이 필요하다. 본 연구에서는 시뮬레이션에 필요한 정보들을 관리하고 사용자가 시뮬레이

션을 손쉽게 이용할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공하기 위해서 개발한 정보 시스템을 시뮬레이션 시스템으로 정의하였다. 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 시스템은 MS Windows 계열의 운영체제 하에서 구동되며, Arena와 가장 신뢰도 높은 인터페이스를 제공하는 MS Access 2003을 DBMS로 활용하고 있다. 개발 도구는 표준 컴포넌트를 사용하여 개발 기간을 단축하고 프로그램의 유지 보수가 용이한 Delphi 7.0을 활용하였다. 또한 Standalone 방식으로 사용되는 Arena의 특성에 따라 시뮬레이션 시스템 역시 Standalone 형태로 구동된다. <Figure 7>은 의사 결정자가 시스템을 활용하여 우편물류망 운영에 대한 의사 결정을 수행하는 사용자 프로세스 시나리오를 표현한 순서도이다.

3.2 입·출력 데이터 설계

시뮬레이션 성능의 향상을 위하여 시뮬레이션 수행중에 데이터를 조작하는 경우를 최소화할 수 있도록 데이터베이스를 설계하였다. 예를 들면 우편물 발생과 관련된 데이터베이스의 경우 시뮬레이션 첫째날 동서울 집중국에서 부산 집중국으로 가는 소포 팔레트가 몇 개 존재한다는 식으로 데이터베이스를 설계한 것이 아니라 시뮬레이션 첫째날 동서울 집중국에서 부산 집중국으로 가는 소포 팔레트 각각을 저장할 수 있도록 데이터베이스를 설계하였다. 따라서 시뮬레이션 수행 중에 우편물 발생량이 얼마라는 정보를 읽어와 발생량에 따라 우편물 엔터티 생성 로직을 반복하는 것이 아니라 데이터베이스에 저장되어있는 레코드마다 우편물 엔터티 하나를 생성하도록 시뮬레이션이 구현되었다. 그 결과 데이터베이스에 저장되어 있는 레코드의 수는 증가하게 되지만, 시뮬레이션에서 수행하여야 할 업무는 감소하게 되어 시뮬레이션의 성능 향상을 기대할 수 있다. 그러나 이에 따라 사용자가 시뮬레이션에서 사용되는 형태의 데이터를 직접 입력하고 관리하기는 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 사용자가 입·출력 데이터를 관리하기 위한 데이터베이스와 시뮬레이션 실행을 위한 데이터베이스를 분리하여 각각 기초 데이터베이스(Foundation Database)와 실행 데이터베이스(Execution Database)로 정의하였다. 그리고 두 데이터베이스 사이에서 데이터를 변환하는 기능을 시뮬레이션 시스템에 추가하였다. 이에 따른 운송계획 정보도 앞에서와 같은 맥락에서 한 대의 차량 각각을 저장할 수 있도록 데이터베이스를 설계하였다. 이에 따라 사용자가 입력하는 데이터 형태와 시뮬레이션에서 인식하는 데이터 형태가 서로 상이하게 된다. 따라서 본 연구에서는 사용자의 입·출력 데이터를 관리하기 위한 데이터베이스를 기초 데이터베이스(Foundation Database)로, 시뮬레이션에서 인식하기 위한 데이터베이스를 실행 데이터베이스(Execution Database)로 정의하였다. 기초 데이터베이스와 실행 데이터베이스 사이의 관계 및 데이터 흐름은 <Figure 8>과 같이 정의하였다.

그림과 같이 사용자는 실행 데이터베이스를 직접 제어하지

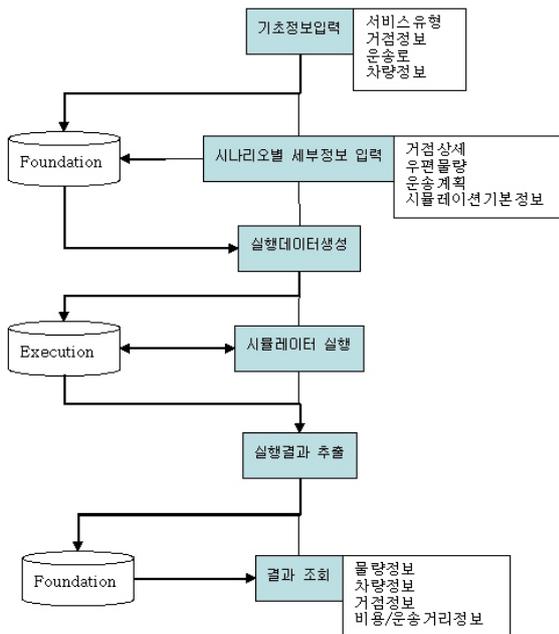


Figure 7. Usage scenario for the simulation system.

않고 사용자 인터페이스를 통하여 기초 데이터베이스를 통해 시뮬레이터에 정보를 입력하고 시뮬레이션 결과 정보를 조회한다. 시뮬레이션 시스템 내부에서 기초 데이터베이스와 실행 데이터베이스 사이의 데이터 변환을 담당하여 기초 데이터베이스에서 사용자가 입력한 정보를 읽어와 실행 데이터베이스에 시뮬레이션이 인식할 수 있는 데이터를 생성하며, 시뮬레이션의 결과 데이터를 실행 데이터베이스로부터 읽어와 사용자가 이해하기 쉬운 형태의 데이터를 기초 데이터베이스에 입

력하게 된다. Arena는 오직 실행 데이터베이스와의 인터페이스를 통하여 시뮬레이션을 수행하게 된다.

위에서 설명한 특성 때문에, 기초 데이터베이스는 실행 데이터베이스와 다른 몇 가지 요구 사항이 존재한다. 첫 번째 요구 사항은 기초 데이터베이스는 사용자가 직관적으로 이해하기 쉬운 데이터 구조를 가져야 하며, 다양한 사용자의 다수 시뮬레이션 시나리오에 관한 정보를 저장하여야 하기 때문에, 발생하는 우편물이나 차량 엔터티 개수만큼의 레코드를 저장

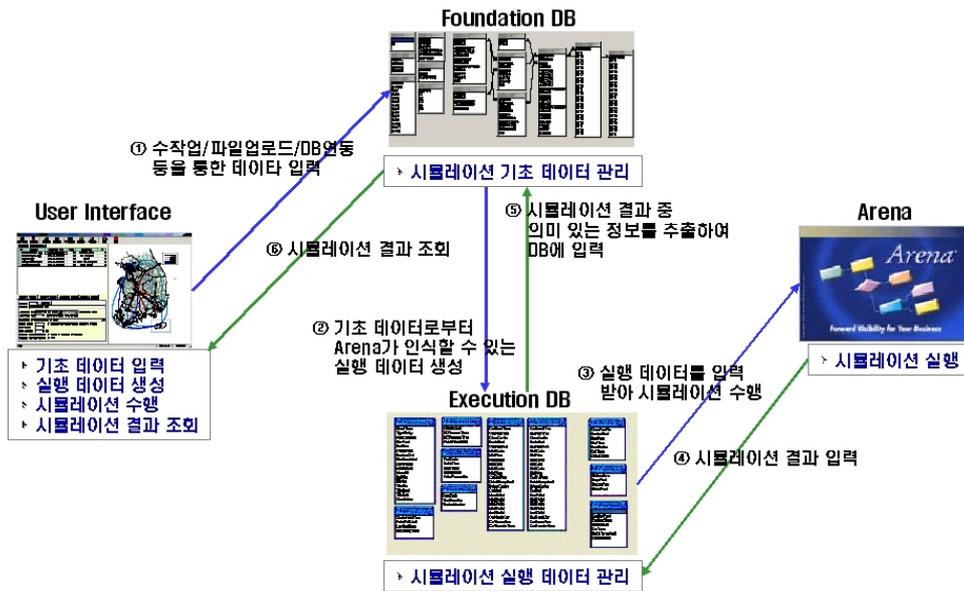


Figure 8. Information flow in the simulation system.

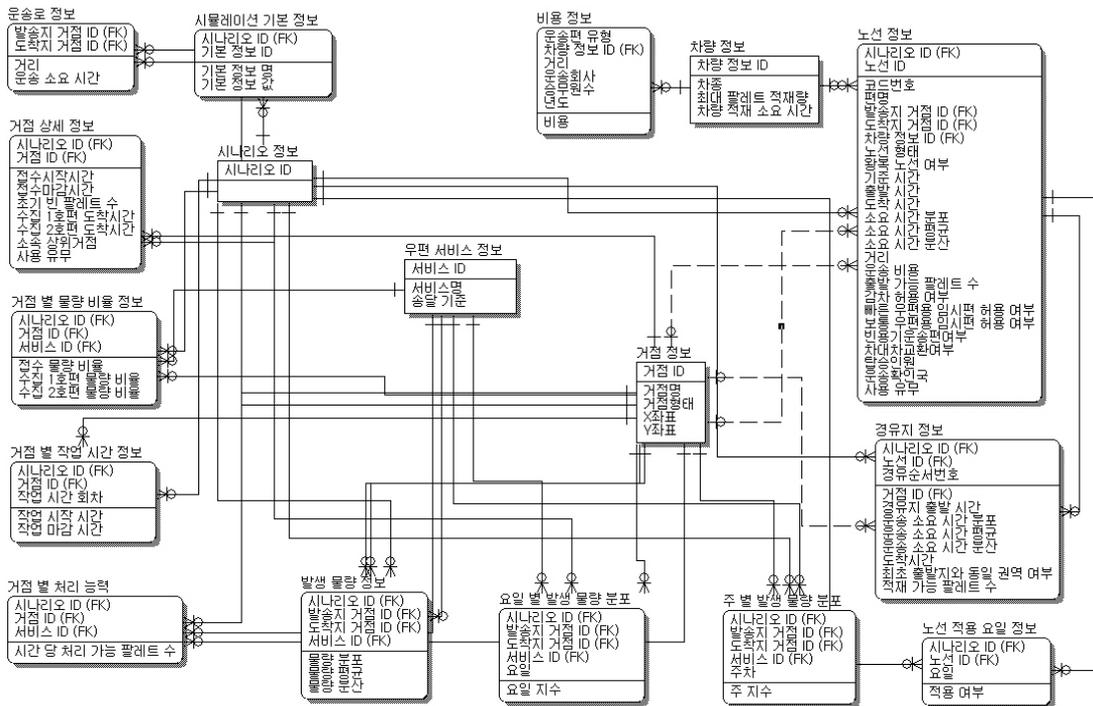


Figure 9. ERD for managing simulation data.

하는 실행 데이터베이스보다 효율적인 설계가 필요하다는 것이다. 두 번째 요구 사항은 기초 데이터베이스는 실행 데이터베이스를 생성하기에 충분한 정보를 저장할 수 있도록 설계되어야 한다는 것이다. 이와 같은 조건을 만족할 수 있도록 설계된 기초 데이터베이스 스키마는 <Figure 9>과 같다.

그림과 같이 기초 데이터베이스는 시물레이션 실행에 직접 필요한 정보 외에 우편서비스, 거점, 운송로, 차량 등과 같은 기초정보와 다양한 시물레이션 결과를 관리하기 위한 시나리오 정보 등을 포함하고 있다. 또한 우편물량 정보에 관해서는 거점별, 요일별, 주별 물량 정보를 포함하여 기본이 되는 발생물량 정보에 해당 요소들을 반영하여 시물레이션 시스템이 특정 시점에 특정 거점에서 발생하는 물량을 계산할 수 있도록 설계하였다. 다음으로 운송 정보 역시 노선, 경유지, 차량, 비용, 적용 요일 등으로 테이블을 세분화하여, 시물레이션에 필요한 다양한 정보를 효율적으로 관리할 수 있도록 설계하였다.

3.3 프로그램 기능 설계

시물레이션 시스템의 기능은 크게 기초 정보를 관리하기 위한 기능, 시나리오별 상세 정보를 관리하기 위한 기능, 시물레이션 수행을 위한 기능, 결과를 조회하기 위한 기능으로 구성된다. 특히 시물레이션 수행을 위한 기능은 기초 데이터베이스로부터 실행 데이터베이스로 입력 데이터를 변화시키는 모듈과 실행 데이터베이스로부터 기초 데이터베이스로 출력 데이터를 산출하는 모듈 그리고 Arena를 구동시켜 시물레이션을

실행하는 세 가지 모듈로 구성되어 있다. 각 기능별 세부 기능과 이에 대한 설명은 <Table 1>과 같다.

3.4 시물레이션 시스템 구현

시물레이션 시스템은 전문화된 사용자 시나리오, 입·출력 데이터베이스, 기능에 대한 설계에 따라 Delphi 7.0을 활용하여 구현되었다. <Figure 10>은 사용자가 시스템을 통하여 시물레이션을 수행하고 시물레이션 결과를 조회하기 위하여 구현된 화면 예시이다.

4. 적용: 시물레이션을 통한 기간우편 운송계획 개편

4.1 시물레이션 시스템 적용 개요

2004년 우정사업본부는 우편사업의 경쟁력확보를 위해 기간우편운송의 효율적 운영을 위해 기간운송 체계 개편을 계획 추진한 바 있다. 기간우편 운송망은 전문화 바와 같이 22개 집중국과 하나의 교환센터로 구성되어 있다. 교환센터는 집중국에서 보내진 우편물을 각 도착지별로 모아서 발송하여 주는 cross-docking 센터의 역할을 수행한다. 교환센터는 1일 2회의 교환 시간을 두고, 해당 교환 시간에 우편물의 교환이 이루어지도록 집중국별 운송 계획을 수립한다. 이러한 교환센터를 통한 우편물의 운송은 규모의 경제 측면에서 비용적인 효율성

Table 1. Functions of the simulation system

	Function	Description
Base Information	Service	Management of mail service information
	Depot	Management of depot information
	Route	Management of distance and time among depot
	Vehicle	Management of vehicle information
	Scenario	Management of simulation scenario
Scenario information	Results comparison	Results comparison by simulation scenario
	Details of depot	Management of detail deopt information
	Mail volume	Management of mail volume information
	Transportation plan basic information	Management of transportation plan Management of basic informatioin
Execution	Foundation DB → Execution DB	Conversion of Foundation DB into Execution DB
	Execution	Execution of AREA (Simulation tool)
	Execution DB → Foundation DB	Conversion of Execution DB into Foundation DB
Results inquiry	Distance	Transportation distance result
	Cost	Transportation cost result
	Quality	Quality of postal service
	Vehicle	Load rate of vehicles
	Depot	Sorting volume of mail sorting center

을 갖는다. 그러나 우편물의 운송 시간 측면에서는 집중국 간의 직접 운송에 비하여 추가의 시간을 요하게 된다. 택배업체들과 경쟁관계에 있는 소포 우편물의 경우 익일 배달로 대변되는 신속한 운송은 경쟁력의 핵심 사항이다. 기존의 기간운송은 교환센터 중심으로 운영함에 따라 집중국 간 운송이 가능한 부분의 교환센터 발송으로 인한 교환센터의 업무 부담 과중 및 1~2 시간의 운송 시간의 과다 소요에 따른 소포 우편물의 익일 배송률 저하의 한 요인이 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 집중국 간 직발송 확대 및 교환시간을 변경하는 것을 그 주된 내용으로 기간운송 체계 개편을 수행하였고, 소포 우편물의 익일 배달률 향상 및 비용 절감을 그 목표로 하였다.

우편운송망의 개편은 복잡하고 많은 인력 및 자원이 관련된 일로 실제 적용 전에 그 효과 및 실효성 분석이 요구되었다. 그에 따라, 본 연구에서는 개발된 시뮬레이션 시스템을 활용하여 운송망 개편에 따른 운송비용과 송달기준 만족률과 같은 망 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 이를 통하여 운송망 개편의 타당성을 검증하였다.

4.2 기간운송 체계 개편 내용

집중국 간 직발송 노선의 경우 교환에 비해 운송 시간이 적게 소요되므로, 도착 집중국 익일 배달 시간을 기준으로 출발 시간을 늦게 할 수 있다. 그 결과 출발지에서의 작업 시간의 추

가 확보로 익일 배달 가능 물량을 증가시킬 수 있다. 교환센터 운영의 의미는 규모의 경제를 통해 운송비 절감을 도모함에 있다. 따라서, 전 집중국 사이를 직발송하는 것은 경제적인 면에서 큰 손실을 가져오게 되며, 직발송 구간이 경제성을 갖기 위해서는 해당 구간의 차량이 많은 물량을 운송할 수 있어야 한다. 이러한 비용의 증가를 막기 위하여 물량이 확보되는 노선에만 직송편을 활용하도록 하였다. 또한, 이러한 직발송 구간을 늘리기 위하여 두 개의 집중국뿐 아니라, 세 집중국 사이의 직발송 노선인 겸송 구간도 고려하였다. 이러한 개편 방향을 기반으로 새로운 기간운송 계획을 수립하였다. 수집된 일별 데이터를 기반으로 하여 물량이 확보되는 구간을 중심으로 직발송 노선을 생성하고 교환 노선을 생성하였다. 그 결과 직발송 노선이 증가하고 교환 노선이 감소한 새로운 운송계획 대안이 수립되었다. 두 대안의 구간 및 편수가 <Table 2>에 있다. 개편안의 교환 노선의 경우 새로운 편도 구간의 도입 등으로 인하여 구간은 증가하였으나, 차량 편수는 감소하였다.

Table 2. The number of routes in the transportation plans

	Current plan		New plan		Change	
	route	vehicle	route	vehicle	route	vehicle
Exchange route	31	138	40	105	△9	△33
Direct and Via route	91	165	146	208	△55	△43

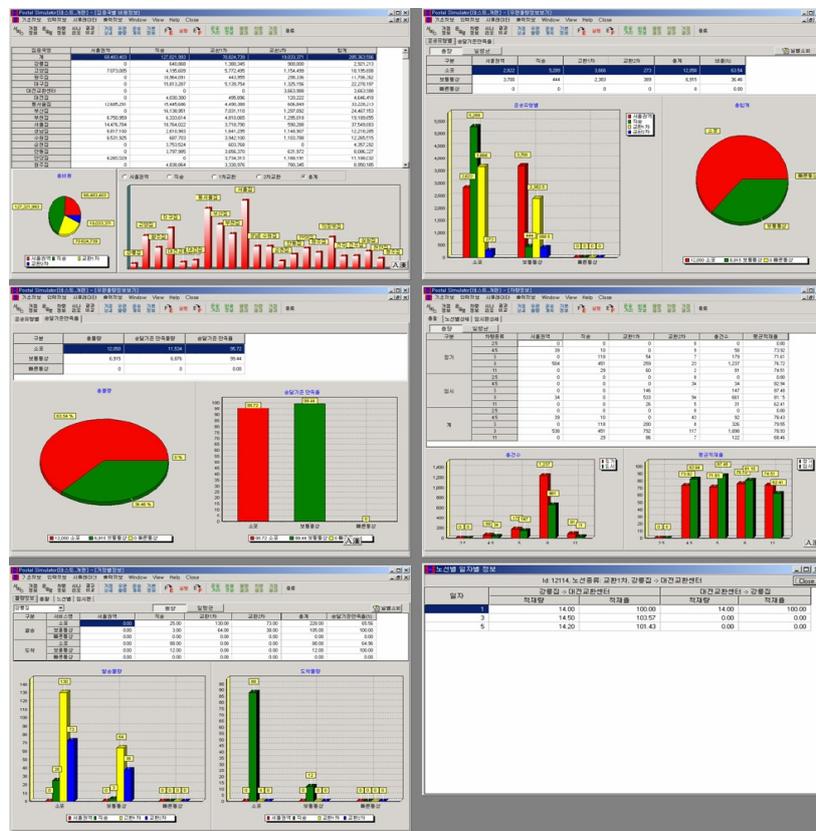


Figure 10. Snapshot of the simulation system.

4.3 시물레이션 수행 및 결과

개편의 효과 분석을 위하여 개편 전과 후의 운송계획 및 운송계획 수립을 위하여 조사된 두 달 간의 물량 데이터를 기반으로 입력 데이터를 생성하고 시물레이션 시스템을 통하여 시물레이션을 수행하고 결과를 분석하였다. 시물레이션을 위한 입력 데이터인 우편물량, 운송 노선, 거점 정보와 시물레이션 결과는 다음과 같다.

4.3.1 우편물량

우편물량 관련 정보는 운송 서비스에 대한 수요의 발생에 관한 정보이다. 시물레이션 수행 시 우편물을 발생시키기 위해서는 발생지, 목적지, 발생 시간, 우편물 종류, 그리고 발생량에 대한 정보가 필요하다. 그러나 이러한 물량 데이터는 기록되고 있지 않고 기존의 자료에서 얻을 수가 없는 자료로, 본 연구를 위하여 2003년 11월 및 2004년 2월에 우편물 O/D(Origin/Destination) 물량에 대한 현장 조사를 수행하였다. O/D 물량 조사 결과는 일자, 목적지, 발생지, 우편물 종류, 그리고 교환 차수에 따른 팔레트 단위의 우편물량 정보를 포함한다. 본 연구에서는 주말을 제외한 평일 우편물 발생 패턴을 그대로 시물레이션에 반영하였다.

4.3.2 운송계획

운송계획 정보는 시물레이션의 대안 역할을 수행하는 정보이다. 본 연구에서는 운송계획 개편안에 대한 성능 평가를 위하여 우편물량과 거점 관련 정보는 동일한 상태에서 운송계획에 관한 정보만 변경하여 개편 계획과 기존 계획에 대한 시물레이션을 수행하였다. 운송계획 정보는 차량별 출발지, 도착지, 출발 시간, 운송 소요 시간, 차량 종류 등의 정보를 의미한다. 실제 기존의 운송계획이나, 개편된 운송계획의 경우는 정기적으로 운행되는 차량 노선들을 의미하며, 매일 매일의 우편물량에 따라 임시 운송 차량이 발생하게 된다. 따라서, 시물레이션에서는 이러한 임시편의 발생을 고려하고 있으며, 전체적인 비용이나 송달 기준 만족률 등과 같은 성과의 측정은 임시편을 고려하여 이루어지게 된다.

4.3.3 운송 거점

거점이란 운송이 이루어지는 집중국과 교환센터를 의미하며, 거점에 대하여 필요한 정보는 우편물 처리 능력과 작업 일정에 대한 정보로 구성된다. 본 연구에서는 거점의 처리 능력을 단위 팔레트가 집중국에 도착하여 구분 작업을 마친 후 발송장에서 상차를 위하여 대기할 때까지 필요한 최소 시간으로 정의하고, 집중국에 대해서는 소포 팔레트, 빠른 통상 팔레트, 보통 통상 팔레트별로 교환센터에 대해서는 직교환 팔레트, 혼재 팔레트별로 분 단위의 처리 소요 시간을 추정하였다. 직교환 팔레트란 도착지가 동일한 우편물로 구성된 팔레트로 교환센터에서는 중계만을 한다.

혼재 팔레트란 도착지가 서로 다른 우편물이 섞여 있는 팔레트로 교환센터에서는 추가의 구분 작업을 요한다. 집중국 처리 능력에 대한 추정은 집중국의 일일 평균 가동 시간과 처리 실적을 기반으로 추정하였으며, 교환센터의 혼재 팔레트 처리 능력은 기계 구분기의 처리 능력을 기반으로 추정하였다. 거점의 작업 일정에 관한 정보는 거점별 작업 시간을 10분 단위로 정하여, 정해진 작업 시간에만 우편물의 구분 및 교환 작업을 수행하도록 하였다. 이 작업 시간은 실제 거점의 운영 현황을 반영하여 결정하였다.

4.3.4 시물레이션 결과

시물레이션은 결과로서 운송 거리, 비용, 운송물량, 차량 결과, 거점 결과 등을 산출한다. 운송거리는 총 운행한 차량들의 거리이며, 운송물량은 직송 및 교환 노선을 통하여 운송된 운송물량, 차량 결과는 임시편을 포함하여 운행한 차량 및 차량별 적재물량, 거점 결과는 거점의 처리물량, 가동시간 등을 의미한다. 개발된 시물레이션 시스템은 <Table 1>에 나타난 바와 같이 시물레이션 결과를 정리하여 조회할 수 있는 기능을 제공한다. 이 중 대안의 중요한 평가 요소는 운송비용과 송달 기준 만족률이다.

먼저 비용의 경우 시물레이션 결과 개편 계획이 기존 계획에 비하여 약 3% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 개편이 직송 위주의 개편이었기 때문에 직송 노선에서 발생하는 운송비용이 두 배 이상 증가하였으나, 교환편의 감소로 인한 비용 절감의 효과가 크기 때문에 전체 운송비용은 감소하는 것으로 나타났다.

송달 기준 만족률의 경우 먼저 통상 우편물의 경우는 개편 운송계획과 기존 운송계획 모두 99% 이상의 송달 기준 만족률을 보이는 결과가 나왔다. 통상 우편의 경우 송달 기준이 4일이므로, 개편 전과 후의 차이가 크게 없는 것이 자명한 사실이다. 그러나 소포 우편물의 익일 배달률은 기존 운송망의 시물레이션 결과는 80%, 개편안의 경우 시물레이션 결과 94%로 크게 향상된 결과를 보여주었다.

또한, 개편 계획은 기존 계획에 비하여 직송의 증가로 인한 운송 능력의 증가로, 시물레이션 결과 임시편의 발생이 약 40% 정도 감소할 것으로 예측되었다. 이는 기존에 임시편을 활용하여 운송했던 상당 부분이 개편된 정기편 노선에 의하여 운송될 것으로 나타난 것이다.

이와 같이 개편 계획은 기존 계획에 비하여 비용이나, 소포의 익일 배달률 측면에서 좋은 결과를 줄 것이라는 시물레이션 결과를 얻을 수 있었다.

4.4 실제 개편 결과

개편 계획은 2004년 하반기에 시행되었다. 시행 후 우정사업본부에서 실제 개편 효과에 대하여 조사한 결과 비용의 경우 약 1.5% 정도의 감소를 보이는 것으로 조사되었다. 개편의 주

요 목적이었던 소포의 익일 배달률의 결과도 샘플링 조사 결과 개편 전의 77%에서 개편 후 약 92.6%로 크게 개선되었음을 확인하였다. 또한, 정기편의 운송 capacity의 증가로 임시편의 발생도 30% 정도 감소한 것으로 나타났다. 이는 위에서 설명한 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때, 개편의 중심 목적이었던 소포의 익일 배달률의 경우 시뮬레이션 결과인 94%와 크게 다르지 않은 결과를 보여주고 있다. 비용 및 임시편 발생률의 경우 예상된 시뮬레이션 결과와는 차이가 있다. 이는 시뮬레이션을 수행한 과거의 물량과 실제 발생하여 운송한 물량이 상이하여 발생하는 차이일 수 있다.

즉, 익일 배달률과는 달리 비용 및 임시편의 경우 물량의 차이가 결과에 그대로 반영이 되는 것이다. 이러한 시뮬레이션 결과와 실제 개편 결과의 차이를 고려하여 볼 때, 개발된 시뮬레이션 시스템은 향후 운송 계획의 개편 사전 검증을 위하여 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 우편운송망의 최적화를 위하여 신규 운송망 운영 전략 또는 운송계획 변경 시 변경 안에 대한 평가 및 검증하는 과정에서 필요한 의사 결정을 지원하기 위하여 우편운송망 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 우편 운송망 시뮬레이션 시스템 개발은 크게 우편운송망을 시뮬레이션 기법을 이용하여 모델링하고 이를 시뮬레이션 도구를 이용하여 구현하는 과정과 시뮬레이션에 필요한 정보들을 관리하고 사용자가 시뮬레이션을 손쉽게 이용할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공하는 정보 시스템을 개발하는 과정을 통하여 이루어졌다.

우편운송망 시뮬레이션 시스템 활용에 따른 가장 큰 기대효과는 우편운송망 환경이나 운영계획 변경에 따른 변화를 사전에 예측하여 변화에 따른 위험 요인을 최소화할 수 있다는 점이다. 기존의 운송망 성능에 대한 분석 결과와 운송망 구조 또는 운송계획이 수정된 운송망 성능에 대한 예측 결과를 비교함으로써, 변경안에 대한 실효성을 검증할 수 있으며, 더 나아가 변경안의 효과를 정량적인 수치를 통하여 예측할 수 있기 때문에, 운송망 구조나 운송계획의 변경에 소요되는 비용과 변경에 따른 기대 수익을 비교함으로써 변경안에 대한 경제성

분석도 가능하다.

그러나 본 연구는 기간운송만을 대상으로 하였기 때문에 전체 우편운송망에서 집중국과 집배센터 사이의 망인 하부 망이나 집배센터와 고객 사이의 집배 망에 대한 연구는 부족하다. 이에 따라 향후 시뮬레이션 시스템의 적용 대상과 시뮬레이션 시스템의 기능을 확대해 나가기 위한 연구가 지속적으로 필요할 것이다.

특히, 개발된 시뮬레이션 시스템은 운송계획의 성능 평가에 그치지 않고 운송계획의 수립에 활용될 수 있을 것이다. 이는 운송계획 모듈과의 통합을 통하여 시뮬레이션의 결과인 거점의 결과 및 노선의 실적 데이터 등을 반영하여 새로운 운송계획을 수립하고 다시 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 다시 반영하는 프로세스를 반복을 통하여 이루어질 수 있다. 이에 대한 추가 연구 및 개발은 큰 의미를 가질 것이다.

참고문헌

Cheung, Y. and Bal, J. (1998), Process analysis techniques and tools for business improvement, *Business Process Management Journal*, 4(4), 274-290.

Dasgupta, S., Sarkis, J. and Talluri, S. (1999), Influence of information technology on firm productivity: across-sectional study, *Logistics Information Management*, 12(1/2), 120-129.

Kelton, W.D, R. P., Sdowski, D. T., Sturrock (2003), *Simulation with Arena*, Third Edition, McGraw Hill.

Kim, H.Y., Kim, I.S., Jeong, Y.S., Lee, S., Jeong, J.B., Park, S.Y., Park, J.J., (2003), *Development of optimization technology on postal logistic network*, Final report, ETRI.

Law, A. M., W. D. Kelton (2000), *Simulation Modeling & Analysis*, 3d ed., McGraw-Hill.

Niels rik Larsen (2003), Simulation - A key tool to accelerate and add confidence to postal network configuration, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 1585-1592.

Park, S.S., Lee, Y.J., Lee, T.H., Choi, E.J., Choi, J.Y. (2000), *Study on the development of the optimization and simulation technology for postal transportation plan*, Final report, Electronics and Telecommunications Research Institute.

Pegden, C.D., Shannon, R.E. and Sadowski, R.P. (1990), *Introduction to Simulation Using SIMAN*, Systems Modeling Corporation, NJ and McGraw Hill, Inc.

Wert, S. D., Bard, J. F., deSilva, A. H. and Feo, T. A. (1991), A simulation analysis of semi-automated mail processing facilities, *Journal of the Operational Research Society*, 42, 1071-1086



박상용

고려대학교 산업공학과 학사
 고려대학교 산업공학과 석사
 현재: 한국에너지기술연구원 정책연구부
 관심분야: 시뮬레이션, 에너지시스템 모형 개발



이대한

연세대학교 응용통계학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재: 전북대학교 산업정보시스템공학과
 전임강사
 관심분야: 정수계획법, 조합최적화, SCM

**최지영**

고려대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
현재: 한국전자통신연구원 물류기술연구팀
연구원
관심분야: SCM, 최적화

**이석**

성균관대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사
현재: 한국전자통신연구원 물류기술연구팀
선임연구원
관심분야: 물류관리, SCM, 생산관리