

# 상호대차 요청 도서 운송량 최대화를 위한 차량 이동 방법 연구\*

## Vehicle Routing for Maximizing Interlibrary-Loan Requests under Time Constraints

임 희 종 (Heejong Lim)\*\*

이 상 복 (Sangbok Lee)\*\*\*

박 성 재 (Sungjae Park)\*\*\*\*

### 목 차

- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| 1. 서 론           | 3.3 모형의 제약조건식 구성  |
| 2. 문제 정의와 이론적 배경 | 4. 모형의 적용 및 결과 분석 |
| 3. 모 형           | 4.1 실험 방법         |
| 3.1 가정           | 4.2 실험 결과         |
| 3.2 기호 및 변수 정의   | 5. 결 론            |

### 초 록

상호대차 서비스 운영의 효율화를 위해서 시스템적 접근과 같은 다양한 방법이 모색되고 있다. 본 연구는 그 가운데 상호대차 대출 요청의 이용자 대기시간을 줄일 수 있는 운영관리 방법에 대해서 제시하였다. 지역 내 상호대차 대출의 이용자 대기 시간은 2~3일로 안내되고 있는데 이와 같은 대기가 발생하는 가장 큰 이유는 도서 배송 차량의 이동경로 및 도서 배송량 결정에 비효율성이 있기 때문이다. 이를 해결하기 위해 혼합정수계획모형이라는 수리적 모형을 통해 도서 배송량을 최대화할 수 있는 차량 경로이동 방법을 제시하였다. 그리고 실제 도서관의 상호대차 요구량 자료를 이용하여 하루 가용한 시간 별, 최적의 도서 이동 및 차량 경로 해법을 제안하였다.

### ABSTRACT

There are many systematic approaches to manage Interlibrary loan (ILL) efficiently. In this paper, we propose an operating method reducing user-waiting in ILL. Users are usually informed to wait around two to three days in a regional ILL service. The reason of the waiting is that there is inefficiency in running material-delivery vehicles. A mixed integer programming is employed to resolve this issue. It provides an optimal vehicle-route maximizing material-deliveries subject to time availability. We used an actual data of a regional ILL system to provide optimal vehicle routes under different time settings.

키워드: 상호대차, 상호대차 배송 차량, 공공도서관, 혼합정수계획모형, 집배송차량경로

Interlibrary Loan, Interlibrary Service Delivery, Public Library, Mixed Integer Programming, Pickup and Delivery Vehicle Routing

\* 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임.

\*\* 서울시립대학교 경영학부 조교수(limh@uos.ac.kr) (제1저자)

\*\*\* 한성대학교 산업경영공학과 조교수(slee@hansung.ac.kr) (교신저자)

\*\*\*\* 한성대학교 문헌정보전공 조교수(spark@hansung.ac.kr) (공동저자)

논문접수일자: 2017년 4월 25일 최초심사일자: 2017년 4월 25일 게재확정일자: 2017년 5월 12일  
한국문헌정보학회지, 51(2): 237-253, 2017. [http://dx.doi.org/10.4275/KSLIS.2017.51.2.237]

## 1. 서론

상호대차 서비스는 여러 도서관이 네트워크로 연결되어 도서관이 보유하고 있는 정보자원을 공유하고 유통하는 시스템이다. 정보자원의 공유를 통해 정보의 활용도를 높이고 자원의 수집을 효율적으로 할 수 있다는 점에서 도서관에서의 상호대차 서비스는 점차 확대되어 가고 있다. 2010년 이후 상호대차 서비스에 대한 연구가 많이 수행되어 왔는데 이를 살펴보면, 온라인 서비스 시스템을 통해 획득된 데이터를 바탕으로 상호대차서비스 운영 현황분석 연구(박영애, 이재운 2010a; 이지원 2015), 상호대차 협력관계 및 기여도 분석연구(유종덕 2013), 도서 이용패턴을 기반으로 하는 이용자 요구 예측연구(손정표 2008), 도서의 효율적 관리 및 평가 정책 수립연구(박영애, 이재운 2010a; 2010b) 등이 있다. 상기 연구들은 상호대차 서비스 접근성 및 효율성 향상을 통해 서비스 만족도를 높이고자 하는 데 그 목적이 있다. 상호대차 서비스에 대한 이용자의 만족도를 높이기 위한 다른 방법의 하나로 상호대차 자료의 신속한 배송과 신청절차의 간소화 및 유통체계에 대한 관리가 필요하다. 특히, 신속한 배송은 이용자들의 만족도를 이끈다는 점에서 만족도 측정을 위한 중요한 고려요소가 된다.

여러 도서관이 네트워크 형태로 연결되어 있는 상호대차서비스 운영의 효율화를 위해서, 본 연구에서는 상호대차서비스를 신청한 이용자의 대기시간에 초점을 맞추었다. 이용자는 원하는 도서를 검색하고 검색 도서가 해당 도서관에 없는 경우, 온라인 시스템으로 상호대차 서비스를 신청한다. 본 연구의 실험 환경으로 택한 성

북구의 공공도서관 현황을 보면 이용자가 상호대차 서비스를 신청 후 2~3일간 기다리는 것으로 안내받고 있다. 이후 도서가 신청 도서관에 도착하면 직접 도서관을 방문하여 수령할 수 있다. 그런데 여기서 눈 여겨 봐야 하는 것은 구내 이동 차량을 이용한 실제 도서 이동 시간은 만나절을 넘기지 않는다는 데에 있다. 그럼에도 불구하고 2~3일간의 대기가 발생하는 이유는 여러 도서관(성북구의 경우 9개)에서 각각 신청/접수하는 도서와 이를 운반하는 시스템의 효율성이 떨어져 요청 도서의 발송 지연과 같은 문제가 발생하기 때문이다.

상호대차 서비스를 신청한 뒤 발생하는 대기 시간을 줄이기 위해서 도서 운반 차량 운영의 효율성을 꾀하는 방법이 고려될 수 있다. 비용이나 시간과 같은 제약 요소들을 배제한 가장 손쉬운 방법은 도서 운반 차량이 구역 내 도서관을 두 번씩 방문하는 것으로, 이를 택하면 당일 요구 상호대차 도서는 전량 당일 배송이 가능하다. 그러나 이 방법은, 방금 언급한 것과 같이 비용, 시간과 같은 현실적 제약사항을 고려하지 않은 것이다. 이에 대한 현실적 해법 가운데 하나로, 배송차량의 운행경로를 설정함으로써 주어진 시간 안에 도서관을 최대한 방문하여 상호대차 도서 배송량을 최대화하는 것을 들 수 있다. 즉, 전 도서관의 1회 방문과 전 도서관의 2회 방문 사이에서, 제약 시간 안에 당일 요청된 상호대차 도서의 이동을 최대화할 수 있도록 2회 방문해야 할 도서관들을 결정하고 그에 맞는 차량 이동 경로를 설정하는 것이 이 문제의 해결 방안이 될 수 있다.

본 연구의 목적은 하루 동안 상호대차 도서 이동량을 최대화 할 수 있는 차량의 이동경로

를 결정하는 것에 있다. 하루에 이동할 수 있는 도서의 양을 최대화한다는 것은 이용자의 대기 시간을 줄여 이용자 만족도를 높이는 것을 의미한다. 여기에 차량의 가용시간을 고려함으로써 비용적 한계라는 현실적 제한 사항을 두었다. 이를 위하여 본 연구에서는 혼합정수계획모형(Mixed Integer Programming)을 이용하여 모델링을 하고 해를 찾아 최적 차량 운용 방안을 제시하였다. 모형의 적용 예시로 성북구의 상호대차 서비스 데이터를 이용하였고, 차량 운용 가용 시간별로 도서 이동량 및 차량 이동 경로를 제시하였다.

## 2. 문제 정의와 이론적 배경

본 연구에서는 성북문화재단 산하 9개 도서관의 상호대차 서비스 운영에 초점을 맞추어 진

행하였다. 현재 상호대차 서비스 차량은 오후 4시간 동안 상호대차 도서에 대한 배달서비스를 수행한다. 성북구립도서관에서 출발한 차량은 지역 내 도서관에 도서를 배송한 후 다시 돌아오게 된다. 이 과정의 이동경로는 <그림 1>과 같다. 그림에서 1: 성북정보, 2: 미리내, 3: 새날, 4: 달빛마루, 5: 꿈마루, 6: 청수, 7: 정릉, 8: 해오름, 9: 아리랑 도서관이며 번호 순서대로 한 번씩 방문하고 돌아온다. 각 도서관에 도서 이동 차량이 도착하면 이전에 방문했던 도서관에서 해당 도서관에 대출된 도서를 전달하고, 이후 경로상에 있는 도서관으로 배송될 도서가 있는 경우 새로 받아 전달하게 된다. 즉, 성북구립도서관(1번)을 제외하고는 운행 경로의 역방향 도서 이동은 당일에 이루어지지 않는다. 예를 들면 도서관 3에서 도서관 2와 6에 도서대출을 요청했을 때, 현재의 차량 운영방식에서는 도서관 2에서 요청한 도서(2에서 발송되는 도



<그림 1> 성북구 상호대차 서비스 차량의 이동경로

서)만이 배송되고, 도서관 6에 요청된 도서는 이론상으로 익일에 전달하게 된다. 도서 운반 차량이 도서관을 하루에 한 번씩만 방문하는 지금과 같은 운영방식에서 도서 배송량을 고려하지 않고 거리만을 생각한다면, 현재의 경로가 가장 타당한 경로로 보여진다. 하지만 현재의 배송경로에 의하면 당일 배송되는 도서 수량이 적고, 상당 수량이 익일 배송으로 미뤄지게 되어 도서관 이용자의 서비스 만족도 증대에 어려움이 있다.

상호대차 서비스 차량 운용의 목적은 가용 시간 조건 하에 이동 도서의 양을 최대화 시키는 것에 있다. 본 연구는 수리적 모형을 통해 효율적 차량 운용 방안을 제시하며, 이를 통해 차량의 이동 경로 및 도서의 이동량에 대한 결정을 내리고자 한다.

본 연구의 문제는, 차량경로문제(VRP: Vehicle Routing Problem)가 확장된 집/배송 차량경로문제(PDP: Pickup and Delivery Problem)의 특별한 형태로 볼 수 있다. PDP는 수송용량이 한정된 복수의 운송 차량이 출/도착지와 수송량이 결정되어 있는 수송 요청을 만족시킬 수 있는 차량 운송 경로를 결정하는 문제이다(Savelsbergh and Sol 1995). 하지만 본 연구가 PDP와 다른 점은 다음과 같다. 첫째, 복수의 운송차량이 아닌 한 대의 운송 차량이 존재한다. 둘째, 동일 지역을 최대 2번까지 방문할 수 있다. 셋째, 차량의 적재 한계가 없다. 이 가운데, 세 번째 사항은, 실제 데이터로 볼 때 차량의 적재 한계는 필요 없었기 때문에 제약을 두지 않은 것으로 추후 도서관의 커버리지가 커진다면, 문제에 따라 제약을 추가할 수도 있다. Savelsbergh and Sol (1995)은 PDP의 유형 및 유형별 문제해결 방

법에 대한 문헌을 조사하였다. 일반적 형태의 PDP 문제들을 정적/동적, 차량의 위치, 수송 요구 당 시간의 제약 유무, 차량의 가용시간 등의 형태로 분류하였다. 저자의 분류로 볼 때, 본 연구는 정적 문제이며 차량의 위치는 매번 같은 곳에서 한 대가 출발하며, 수송 요구 당 시간의 제약 요구는 없는 대신에 차량의 운행시간제약이 존재하는 모형이다.

Hernández-Pérez and Salazar-González (2009)는 다품종 상품의 집배송 순회 판매원 문제(m-PDTSP: multi-commodity Pickup and Delivery Traveling Salesman Problem)의 수리모형과 해법을 제시했다. m-PDTSP는 각각의 출발지와 목적지를 가지고 있는 각기 다른 상품을 한 장소에서 출발하여 동일 장소로 돌아오는 차량으로 배송하는 경로를 결정하는 문제이다. 이는 본 연구와 유사한 형태의 모형이나 저자는 수송 차량의 수송 한계를 고려하였고 동일 장소의 복수 방문을 고려하지 않았다는 점에서 본 연구와 다르다. 저자는 m-PDTSP를 혼합정수선형계획모형(mixed integer linear programming model)을 이용하여 모형화하였다.

Hosni, Sawaya and Artail(2014)은 택시공유 문제(shared taxi problem) 혹은 수송공유문제(ridesharing problem)를 연구하였다. 저자는 이를 혼합정수계획문제(mixed integer problem)로 모델링하고 최적해를 찾았다. 이 연구는 기존 설정된 경로 이동 간, 탑승 및 도착 시간의 제약과 택시 탑승 후 소요 시간의 제약을 가진, 새로운 승객의 탑승 요구가 발생하는 경우의 최적 할당 방법을 찾았다.

문헌을 살펴보면 위와 같은 모형들을 조금씩 변형하여 DARP(Dial-A-Ride Problem), 수송

공유 문제 등으로 추가 분류하고 각각의 적용분야에 맞는 목적함수와 제약조건의 변경 및 그에 따른 풀이 방법들을 제시하고 있다. 그 가운데 본 연구의 모형은 Hosni, Sawaya and Artail (2014)의 택시공유 문제와 많은 부분에서 유사성을 가지고 있지만 다음과 같은 차이점을 가지고 있다.

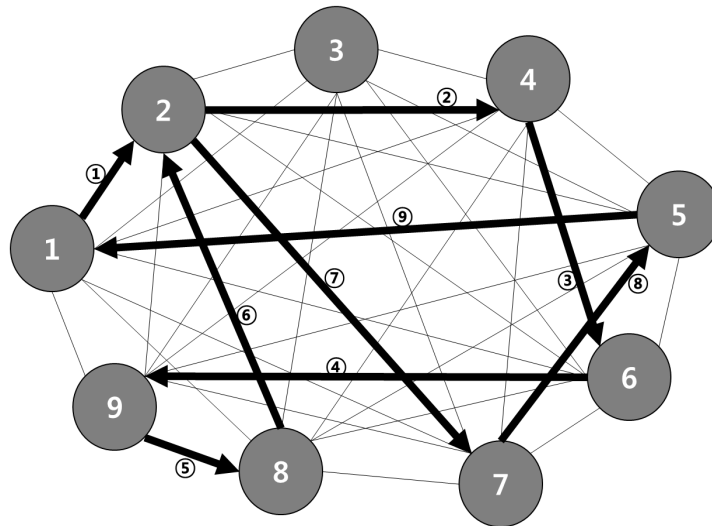
- 목적함수는 전체 이윤이 아닌 전체 도서 배송량의 최대화
- 복수의 차량이 아닌 한 대의 차량이 모든 집/배송을 처리
- 배송 요청의 동적 변화가 아닌 차량의 이동 전 정해진 당일 배송량 고정
- 동일 장소의 복수 방문
- 배송 요청 별 시간적 제한은 없으나 전체 배송의 시간적 제한 존재

본 연구의 의의는 첫째, 다양한 형태의 집/배송 차량경로문제(PDP)를 바탕으로 위에서 언급된 차이점을 고려한 새로운 수리적 모형의 개발이라 할 수 있으며, 둘째, 개발된 수리적 모형을 통해 기존 상호대차 서비스의 차량운용 효율성을 향상시킬 수 있는 새로운 대안 제시라고 할 수 있다. 기존의 상호대차 서비스의 경로선택 방법은 모든 도서관을 경유하는 최단경로를 산정하여, 상호대차 요청의 도서량을 고려하지 못하였기 때문에, 상당량의 도서가 배송이 당일 이 아닌 익일로 지연되는 상황이 발생하였다. 그 결과, 서비스 만족도가 떨어지게 되고, 이것은 상호대차의 활성화를 어렵게 하였다. 본 연구를 통해서, 주어진 자원(수송 차량)하에서 서비스의 효율을 극대화하는 방안을 제시하고자 한다.

### 3. 모 형

본 장에서는 한정된 시간 내에, 상호대차요청이 들어온 도서를 최대한으로 충족시키기 위한 운송차량의 여정을 수립하는 모형을 설명한다. 본 수리 모형에서, 상호대차요청은 도서를 보유하고 있는 도서관(출발지, origin), 그리고 대여하고자 하는 도서관(목적지, destination), 그리고 도서의 수량으로 구성된다. 상호대차요청이 받아들여진 경우, 운송차량의 경로를 따라서 해당 요청의 목적지에 운송 차량이 다다르면, 해당 요청이 배달된 것으로 모형화 하였다. 모형에서 차량은, 시간 제약조건 하에서, 같은 도서관을 최대 두 번씩 방문하며 최소 방문 횟수에 대한 제약은 두지 않는다. 그렇게 되면 방문하지 않는 도서관이 발생할 수 있는데, 그 이유는 도서 운송량을 최대로 하기 위해서, 다른 도서관의 도서 이동 기여도가 더 높으면 그 도서관을 선택하여 방문하고, 기여도가 낮은 도서관은 선택에서 배제하기 때문이다. 여기서 기여도는 이동 장서의 양을 의미한다. 예를 들면, A도서관의 장서 요구량과 이 도서관이 요청 받은 장서가 각각 한 권씩 되고, 나머지 도서관 간의 상호대차 요구량이 10권이라면 충분한 시간이 가용하지 않을 때는 A도서관을 방문하지 않을 수 있다. 즉, 특정일 시간적 제약으로 인해 특정 도서관의 요청이 거부될 수는 있다. 이를 해결하기 위해서 익일 제외됐던 도서관의 요청을 익일 우선순위를 두어 배송하는 방법을 택할 수 있다.

상호대차 서비스 차량 운용의 수리적 모형을 도식화하면 <그림 2>와 같이 네트워크 구조로 이루어져 있다. 각각의 도서관을 네트워크의



〈그림 2〉 문제 네트워크와 실현가능한 해

노드(node), 도서관 간 이동경로를 네트워크의 아크(arc)로 표시할 수 있다. 그림에서 보여지는 것처럼 9개의 도서관이 있더라도 각각의 도서관을 모두 연결하는 아크의 수가 총 36개가 되므로 매우 복잡한 형태의 네트워크 형태를 가지게 된다. 수리적 모형은 아크로 연결된, 여러 다양한 순서를 가진 노드의 조합 가운데 배송 도서의 양을 최대화할 수 있는 조합을 찾는다. 예를 들어 수리적 모형이 찾아낸 조합이 1-2-4-6-9-8-2-7-5-1이라면 차량이 이 경로를 따라 이동하여 경로에서 발생하는 상호대차 도서의 운송을 하는 것이, 가용 시간이라는 제약조건에서 최대로 도서를 배송할 수 있는 경로라는 것을 의미한다.

네트워크 구조를 통해 최적의 해(조합)를 찾을 때 어려운 점은, 네트워크 내에서 차량 이동으로 가능한 조합이 매우 많으며, 이에 대한 검색 과정을 거쳐 최적의 해를 찾는다는 것이다. 〈그림 2〉에 있는 최적해의 예시를 보면 2번 도

서관을 두 번 방문한다. 이를 네트워크 형태로 구성하면 2번 1차 방문과 2번 2차 방문을 각각 독립적인 노드로 구현할 수 있다. 모든 노드의 최대 2회 방문을 허용하므로 이를 네트워크화하면 총 18개의 노드가 생긴다. 이렇게 되면 가능 경로 조합의 수가 기하급수적으로 증가한다. 즉, 최적해 검색에 매우 많은 시간이 소요된다는 의미이다.

네트워크 구조에서 가능 해의 선택 시, 경로상의 노드를 여러 개 거쳐 배송되는 도서의 경우도 모두 확인해봐야 한다는 문제도 있다. 예를 들면, 도서관 A와 B를 순서대로 연결시키는 조합이 해에 들어가게 된다면, A에서 B로 직접 배송되는 도서뿐만 아니라 A도서관에서 향후 경로에 있을 도서관으로 배송될 도서까지도 고려해서 선택해야 한다. 즉, A-B 이후 가능한 다양한 경로 조합의 도서 이동량 가능성을 모두 고려해봐야 하는데, 네트워크 상에서 이러한 가능 조합의 수가 매우 많이 존재한다.

### 3.1 가정

본 연구에서는 상호대차 운송 문제의 주요 특징과 제약을 고려하여 다음과 같이 가정한다.

- 1) 운송차량의 수송 한계는 없다고 가정한다. 도서의 무게와 부피는 다른 물자와 다르게 충분히 작기 때문에, 우리가 일반적으로 사용하는 운송차량의 수송 용량에 제한되지 않는다고 가정한다.
- 2) 운송 차량은 1대이다.
- 3) 각 도서관은 최대 2번까지 방문이 가능하다. 이론상으로는 횟수의 제한이 없이 복수의 방문이 가능하지만, 당일 배송 도서가 고정된 상태에서 모든 도서관을 2번씩 방문한다면 모든 상호대차요청을 충족하게 된다. 하지만, 본 연구는 2번의 방문이 시간제약으로 불가능한 경우의 운송 계획을 수립하는 것이므로, 도서관 별로 최대 2번의 방문이 가능하다고 가정한다.

### 3.2 기호 및 변수 정의

본 연구에서 사용되는 기호 및 변수는 다음과 같이 정의한다.

#### [집합]

- $P$ : 상호대차 요청의 집합
- $V$ : 도서관의 집합
- $V_1$ : 각 상호대차 요청의 출발 도서관의 집합,  $V_1 \subset V$
- $V_2$ : 각 상호대차 요청의 도착 도서관의 집합,  $V_2 \subset V$

- $V_3$ : 각 상호대차 요청의 도착 가도서관(dummy)의 집합,  $V_3 \subset V$
- $s(p), f(p), f'(p)$ : 상호대차 요청  $p$ 의 출발, 도착, 도착 가도서관,  $s(p) \in V_1, f(p) \in V_2, f'(p) \in V_3$

#### [결정변수]

- $d_p$ : 결정변수. 상호대차 요청  $p$ 가 처리되면 1, 아니면 0.  $p \in P$
- $x_{ij}^p$ : 결정변수. 상호대차 요청  $p$ 가 도서관  $i$ 에서  $j$ 로 운반되면 1, 아니면 0.  $p \in P, i \in V, j \in V$
- $y_{ij}$ : 결정변수. 운송 차량이 도서관  $i$ 에서  $j$ 로 이동하면 1, 아니면 0.  $i \in V, j \in V$
- $u_i$ : 결정변수. 운송 차량이 도서관  $i$ 에 도착한 시각.  $i \in V$

#### [상수]

- $l_p$ : 상호대차 요청  $p$ 의 도서 수량
- $T_{ij}$ : 도서관  $i$ 에서  $j$ 로의 이동시간
- $T$ : 상호대차 여정으로 주어진 시간 한도
- $M$ : 임의의 매우 큰 수(Large M)

### 3.3 모형의 제약조건식 구성

#### 3.3.1 대출 도서의 수송 여부 결정

최대 2회의 도서관 방문이 가능하다고 가정했기 때문에, 가도서관(dummy)집합  $V_3$ 를 정의해서, 만일 2회의 방문이 필요하다면,  $V_2$ 에서 1회  $V_3$ 에서 1회의 방문을 하도록 설계하였다. 요청  $p$ 의 도착 도서관은  $f(p)$ , 도착 가도서관  $f'(p)$ 로 정의한다.

$$\sum_{j \in V} x_{js(p)}^p = \sum_{j \in V} x_{s(p)j}^p - d_p, \quad \forall p \in P \quad (1)$$

$$\sum_{j \in V} x_{jf(p)}^p + \sum_{j \in V} x_{jf'(p)}^p = \sum_{j \in V} x_{f(p)j}^p + \sum_{j \in V} x_{f'(p)j}^p + d_p, \quad \forall p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{jf(p)}^p + \sum_{j \in V} x_{jf'(p)}^p \leq 1, \quad \forall p \in P \quad (3)$$

제약식 (1)은 만일 요청  $p$ 가 수락되었다면 ( $d_p = 1$ ), 요청  $p$ 의 출발지로부터의 다른 어떤 도서관으로라도 운반이 되어야 한다( $\sum_{j \in V} x_{js(p)}^p = 1$ ). 제약식 (1)은 요청  $p$ 의 1회 수락을 보장하는 제약식이다. 요청  $p$ 가 수락되었다는 것은( $d_p = 1$ ) 해당 도서관에서 도서를 픽업하고, 도서관  $s(p)$ 가 해당 요청의 출발지가 된다는 것이다. 이 때,  $\sum_{j \in V} x_{js(p)}^p = 0$ 이 되고  $\sum_{j \in V} x_{s(p)j}^p = 1$ 이 되어 등호를 만족시킨다. 만일 요청  $p$ 를 가진 차량이 그 도서관을 재방문하게 되는 경우에는  $\sum_{j \in V} x_{js(p)}^p = 1$ 이 되고 이 도서관에서 픽업을 다시 하지 않고 도서 배송만 한 뒤 경로를 계속 이어나가야 하기 때문에  $\sum_{j \in V} x_{s(p)j}^p = 1$ ,  $d_p = 0$ 이 되어 등호를 만족하게 된다. 마찬가지로, 요청  $p$ 가 수락되었다면( $d_p = 1$ ), 요청  $p$ 의 도착지 또는 가도착지로 운반이 되어야 한다( $\sum_{j \in V} x_{jf(p)}^p + \sum_{j \in V} x_{jf'(p)}^p = 1$ ) (제약식 (2)). 제약식 (3)은 요청  $p$ 의 배달이 도착지 또는 가도착지로 1회만 배달이 되어야 한다는 것을 제약한다. 즉 도착지에도 배송되고, 가도착지에도 배송되는 것을 방지한다.

### 3.3.2 흐름 보존 제약식

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^p = \sum_{j \in V} x_{ij}^p, \quad \forall p \in P, \forall i \in V - \{s(p)\} - \{f(p)\} - \{f'(p)\} \quad (4)$$

출발지와 도착지를 제외한 경로상의 모든 도서관에 요청  $p$ 가 도착하면, 무조건 다음 도서관으로 출발해야 한다. 이것은 경로에서 요청  $p$ 의 흐름이 끊김이 없도록 제약을 두는 것이다.

### 3.3.3 상호대차요청의 경로 제약

$$x_{ij}^p \leq y_{ij}, \quad \forall p \in P, \forall i \in V, \forall j \in VV \quad (5)$$

상호대차요청  $p$ 의 경로는 운송 차량의 경로를 따라서만 생성된다. 만일 운송 차량이 구간  $ij$ 를 경유하지 않는다면,  $y_{ij} = 0$ 이고, 그렇다면 어떤 상호대차요청도 해당 구간을 지나갈 수 없게 된다( $x_{ij}^p = 0$ ). 하지만, 운송 차량이 구간  $ij$ 를 경유한다면,  $y_{ij} = 1$ 이고, 그렇다면  $x_{ij}^p \leq 1$ 이 되어 도서를 수송할 수 있게 된다.

### 3.3.4 운송 차량의 흐름 보존

$$\sum_{j \in V} y_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in V \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ji} \leq 1, \quad \forall i \in V \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ij} \leq \sum_{j \in V} y_{ji}, \quad \forall i \in V \quad (8)$$

모든 도서관에 도착하는 경로는 최대 1개, 그리고 모든 도서관에서 출발하는 경로는 최대 1개로 제한된다. 운송 차량은 1대이므로, 두 도서관에서 동시에 한 도서관으로 이동하는 경로는 불가능하고(제약식 6), 마찬가지로, 어떤 도서관에서 두 도서관으로 동시에 이동하는 경로도 불가능하다(제약식 7). 그리고 제약식 8은 어느 도서관에 수송차량이 도착하면 무조건 출발할 수 있어야 한다는 운송차량의 흐름을 이야기하고 있다.

### 3.3.5 도서관 별 도착시간 제약

$$u_j - u_i \geq T_{ij} - M(1 - y_{ij}), \quad \forall i \in V, \forall j \in V \quad (9)$$

운송 차량이 구간  $ij$ 를 경유하지 않는다면,  $y_{ij} = 0$ 이고,  $u_j - u_i \geq T_{ij} - M$ 이 되는데,  $M$ 이 매우



큰 수이므로,  $T_{ij} - M$  아주 작은 수가 되어,  $u_j - u_i$ 은 어떤 조합도 가능해진다. 즉, 도서관  $i$ 와 도서관  $j$ 의 도착 선후 관계는 규정할 수 없게 된다. 운송 차량이 구간  $ij$ 를 경유한다면,  $y_{ij} = 1$ 이고  $u_j - u_i \geq T_{ij}$ 의 조건을 만족해야 한다. 그러므로 도서관  $i$ 와 도서관  $j$  사이의 이동시간에  $T_{ij}$  이상의 도착시간 차이가 나도록 제약한다.

### 3.3.6 총 운행시간 제약

$$u_i \leq T, \quad \forall i \in V \quad (10)$$

제약식 10은 본 연구의 가장 중요한 제약인, 수송 차량의 총 운행시간을 각 도서관의 도착시간에 제약한다. 모든 도서관의 도착시간  $u_i$ 는 총 운행시간  $T$ 보다 작거나 같아야 한다.

### 3.3.7 도착시간의 초기화

$$u_1 = 0 \quad (11)$$

첫 번째 출발 도서관의 도착시간을 기본적으로 0으로 세팅하는 제약식이다.

### 3.3.8 가도서관(dummy)의 도착 제약

$$u_i \leq u_j, \quad \forall i \in V_1, \forall j \in V_2 \quad (12)$$

가도서관의 방문과 실제 도서관의 방문에 순서를 두는 제약이다. 가도서관은 어느 동일 도서관에의 두 번째 방문을 의미하는 것이다. 즉, 2회째 도착하는 시간은 1회째 도착하는 시간 이후여야 한다.

### 3.3.9 목적함수

목적함수는 상호대차요청  $p$ 의 배달 여부와

그것의 도서 수량의 곱을 합해서, 총 도서 배달 수량을 최대화 하는 것이다.

$$\text{Max} \sum_{p \in P} l_p d_p \quad (13)$$

### 3.3.10 최종 모형

설명된 목적함수와 제약조건식을 조합하여, 주어진 시간 내에 최대의 도서 수송을 가능하게 하는 운송 경로를 계획하는 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{p \in P} l_p d_p \\ & \text{subject to} \\ & \sum_{j \in V} x_{js(p)}^p = \sum_{j \in V} x_{s(p)j}^p - d_p, \quad \forall p \in P \\ & \sum_{j \in V} x_{jf(p)}^p + \sum_{j \in V} x_{jf'(p)}^p = \sum_{j \in V} x_{f(p)j}^p + \sum_{j \in V} x_{f'(p)j}^p + d_p, \quad \forall p \in P \\ & \sum_{j \in V} x_{jf(p)}^p + \sum_{j \in V} x_{jf'(p)}^p \leq 1, \quad \forall p \in P \\ & \sum_{j \in V} x_{ji}^p = \sum_{j \in V} x_{ij}^p, \quad \forall p \in P, \forall i \in V - \{s(p)\} - \{f(p)\} - \{f'(p)\} \\ & x_{ij}^p \leq y_{ij}, \quad \forall p \in P, \forall i \in V, \forall j \in V \\ & \sum_{j \in V} y_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in V \\ & \sum_{j \in V} y_{ji} \leq 1, \quad \forall i \in V \\ & \sum_{j \in V} y_{ij} \leq \sum_{j \in V} y_{ji}, \quad \forall i \in V \\ & u_j - u_i \geq T_{ij} - M(1 - y_{ij}), \quad \forall i \in V, \forall j \in V \\ & u_i \leq T, \quad \forall i \in V \\ & u_1 = 0 \\ & u_i \leq u_j, \quad \forall i \in V_1, \forall j \in V_2 \\ & d_p \in \{0,1\}, x_{ij}^p \in \{0,1\}, y_{ij} \in \{0,1\}, u_i \geq 0 \end{aligned}$$

## 4. 모형의 적용 및 결과 분석

본 장에서는 서울특별시 성북구 내의 9개 도서관의 상호대차 요청 실적을 바탕으로, 주어진 이동 시간에서의 최적 운송 경로를 찾아보

았다. 모형의 타당성을 검증하는 방법으로 모형의 적절성과 활용가능성을 분석하였다. 각 결과는 ILOG CPLEX 12.5와 Java를 활용하여 도출하였다.

#### 4.1 실험 방법

2015년 특정일의 상호대차 요청을 성북구 내의 공공도서관 9개소의 실제 거리를 바탕으로, 본 모형을 적용하여, 주어진 운행 시간을 변화시켰을 때 운행 시간 별 최적 운송 경로와 그 운송 경로에 의해서 수송되는 도서의 수량을 비교하였다. 또한 각 상호대차 요청의 처리 여부도 비교 하였다. 데이터에서 당일 상호대차를 요청받은 도서는 총 208권이다.

#### 4.2 실험 결과

〈표 1〉은 수송차량의 최대 운행 시간을 변화시켰을 때, 최대한 수송가능한 상호대차도서의 수량, 최대수송을 위한 방문 도서관의 수와 상하차시간(10분)을 반영한 총 수송시간을 정리하였다. 제약된 운행시간이 작아질수록 수송량과, 방문한 도서관의 수는 감소하였다. 그 이유는, 시간이 부족하므로 일부 요청의 해당일 배송을 포기하고 다음 날로 연기하는 계획을 세우기 때문이다. 현재 성북구 공공 도서관의 차량 운행 시간은 하루 240분(4시간)이며 일정 경로로 도서관을 각각 한 번씩 방문하고 돌아온다. 〈표 1〉의 결과를 보면 본 연구에서 제시된 방법으로 240분 동안 도서관은 14개소 방문할 수 있고, 상하차시간의 변동을 고려하더라도, 현재의 9개소 방문보다는 많은 곳을 방문할 수 있게 된

다. 이는 곧 도서 배송량의 증가, 이용자 대기시간의 감소를 가져올 수 있다. 〈표 2〉는 수송차량의 최대 운행 시간을 변화시켰을 때, 개별 요청의 처리 여부를 정리한 것이다. 일반적으로 주어진 운행시간이 작아지면, 요청 도서 수량이 적은 상호대차요청을 처리하지 않았고, 출발지에서 도착지로의 직접 이동시간이 긴 요청을 처리하지 않는 경향이 있었다. 물론, 경우가 발생할 경우에는 직접 이동시간이 길더라도 해당 요청을 처리하였다.

〈그림 3〉은 운행시간이 50분으로 제약된 경우의 최적 경로이다. 이 경우, 도서관 2, 5와 6을 포기하고, 나머지 도서관의 상호대차를 처리하는 것이 최적 계획이다. 〈그림 4〉는 운행시간이 60분의 제약을 받을 경우의 최적 경로이다. 이 경우 도서관 2를 포기하도록 하는 최적 계획이 수립되었다. 도서관 2가 북동쪽으로 단독으로 치우쳐져 있어서, 다른 도서관까지의 거리가 모두 멀기 때문에, 시간이 부족한 경우에는 도서관 2로의 운행을 하지 않는 계획이 수립되었다. 운행시간이 70분에서 90분으로 제약되는 경우에는(〈그림 5〉, 〈그림 6〉, 〈그림 7〉 참조), 모든 도서관을 한 번씩 순회할 수 있고, 재방문은 일부 도서관만 하게 된다. 운행시간이 100분 이상이 되면(〈그림 8〉 참조), 각 도서관을 두 번씩 방문하고 돌아온다. 〈그림 7〉과 〈그림 8〉에서와 같이 운행시간이 90분과 100분인 경우는, 도서관 2에 마지막으로 배송하고, 초기 출발지인 도서관 1로 돌아온다. 그림에서는 중복된 경로가 많아 혼란을 야기할 수 있으므로 최종 복귀하는 경로는 표시하지 않았다.

〈표 1〉 상하차시간(10분)을 고려한 운행시간별 운송된 도서의 수

운행시간(분)	T=50	T=60	T=70	T=80	T=90	T=100
배송도서량(권)	90	122	153	177	195	208
방문도서관수(개소)	7	9	10	13	14	17
총 소요시간(분)	120	150	170	210	230	270

〈표 2〉 서비스요청별 제공/거부 현황

(1: 제공, 0: 거부)

도서관		이동 시간	요청 도서수	운행시간					
출발지	도착지			50분	60분	70분	80분	90분	100분
8	1	19	15	1	1	1	1	1	1
9	1	17	11	1	1	1	1	1	1
9	3	9	9	1	1	1	1	1	1
7	9	4	9	1	1	1	1	1	1
3	6	13	8	0	0	0	1	1	1
2	1	7	8	0	0	1	1	1	1
7	6	6	8	0	0	0	1	1	1
5	7	5	8	0	1	1	1	1	1
7	1	15	7	1	1	1	1	1	1
8	6	12	7	0	0	0	0	1	1
9	8	4	7	1	1	1	1	1	1
2	8	26	6	0	0	1	1	1	1
4	1	13	5	1	1	1	1	1	1
6	9	9	5	0	1	1	1	1	1
5	6	4	5	0	0	1	0	1	1
2	6	22	4	0	0	1	1	1	1
2	3	14	4	0	0	1	1	1	1
4	6	13	4	0	1	1	1	1	1
4	9	11	4	1	1	1	1	1	1
4	7	10	4	1	1	1	1	1	1
5	2	24	3	0	0	0	0	1	1
5	1	20	3	0	1	1	1	1	1
4	8	17	3	1	1	1	1	1	1
6	3	14	3	0	1	1	1	1	1
8	4	12	3	0	0	0	0	0	1
8	7	9	3	0	0	0	1	1	1
3	1	9	3	1	1	1	1	1	1
7	8	9	3	1	1	1	1	1	1
7	3	9	3	1	1	1	1	1	1
7	4	9	3	0	0	0	0	0	1
9	7	4	3	0	0	0	1	1	1
8	9	4	3	0	0	0	1	1	1
6	1	22	2	0	1	1	1	1	1
2	9	21	2	0	0	1	1	1	1
1	9	18	2	1	1	1	1	1	1

도서관		이동 시간	요청 도서수	운행시간					
출발지	도착지			50분	60분	70분	80분	90분	100분
7	2	17	2	0	0	0	0	1	1
5	8	12	2	0	1	1	1	0	1
6	4	12	2	0	0	0	0	0	1
9	4	9	2	0	0	0	0	0	1
5	9	8	2	0	1	1	1	1	1
4	3	7	2	1	1	1	1	1	1
6	7	6	2	0	1	1	1	1	1
1	8	24	1	1	1	1	1	1	1
8	2	21	1	0	0	0	0	1	1
2	7	19	1	0	0	1	1	1	1
3	8	18	1	0	0	0	1	1	1
1	7	16	1	1	1	1	1	1	1
4	2	16	1	0	0	0	0	1	1
2	4	14	1	0	0	1	1	1	1
5	3	13	1	0	1	1	1	1	1
3	5	12	1	0	0	0	1	1	1
1	4	11	1	1	1	1	1	1	1
8	5	11	1	0	0	0	0	1	1
5	4	10	1	0	0	0	0	0	1
3	7	10	1	0	0	0	1	1	1
3	4	5	1	0	0	0	1	1	1



〈그림 3〉 제한시간 50분인 경우의 배송경로 (상하차시간 제외)





〈그림 4〉 제한시간 60분인 경우의 배송경로 (상하차시간 제외)



〈그림 5〉 제한시간 70분인 경우의 배송경로 (상하차시간 제외)





〈그림 6〉 제한시간 80분인 경우의 배송경로 (상하차시간 제외)



〈그림 7〉 제한시간 90분인 경우의 배송경로 (상하차시간 제외)



〈그림 8〉 제한시간 100분인 경우의 배송경로 (상하차시간 제외)

## 5. 결 론

본 연구는 상호대차 서비스의 운영관리개선을 통해 이용자의 만족도를 증가시킬 수 있는 방법에 대해 논하고 있다. 이용자 만족도 증가를 가져오는 요인 가운데 하나를 상호대차 요청 대기시간의 감소라고 보고, 상호대차 수송 차량을 효율적으로 운영하여 도서 운송량을 최대화할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 위해 혼합정수계획모형(Mixed Integer Programming)이라는 수리적 모형을 이용하였다. 이 모형은 도서 수송량 최대라는 목적을 가지고, 여러 제약조건 하에서 특정일의 상호대차 요청을 주어진 운송 시간 안에 해결하는 차량의 이동 경로를 결정한다. 예시로 지역 공공 도서관의 실제 상호대차 요청을 가지고 본 연구에서 제안한

방법으로 가용 시간별 최적의 차량 이동 경로를 찾았으며, 기존의 일회 순환보다 더 나은 경로를 제시할 수 있었다.

본 연구에서는 특정일의 데이터를 이용하여 경로를 설정하는 과정을 제시했다. 이를 실제 적용하기 위해서는 본 연구에서 제시한 모형을 기반으로 한 경로 설정 및 이행의 과정이 필요하다. 도서관 담당자는 매일의 상호대차 요구 도서량을 시스템에 입력한다. 모형이 요구 도서량을 가지고 그날 그날의 도서 운송 경로를 결정하면, 배송 담당자와 차량 운송 담당자는 이에 맞게 이동하며 도서관의 집배송을 수행하면 된다. 이 때, 도서관 배송 담당자와 운송 담당자의 규칙적 업무수행이 어려울 수 있다는 단점이 존재한다. 그러나 본 연구에서와 같이 동일 지역 내 경로 변화에 따른 적응은 어렵지 않을

것이라 판단되며, 규모가 커질 경우 이에 대한 교육과 같은 추가 대책이 요구된다. 한편, 본 연구에서 제안된 모형이 실제 상호대차 수송 계획에 보다 효과적으로 적용되기 위해서는 다음과 같은 문제점을 보완해야 한다. 먼저, 실험에서 수송 차량의 수송 용량 제약이 적용되지 않았다. 본 연구의 가정 중 하나는, 수송 차량의 수송 가능량이 무제한이라고 가정하고 있다. 만일, 본 연구의 범위를 서울시 전체로 확장한다면, 분명히 수송 차량의 수송능력이 중요한 제약이 될 것이다. 다음으로, 혼합정수계획법은 정확한 최

적해를 제공하지만, 알고리즘의 한계로, 문제의 풀이 시간이 길다. 실제 상호대차에서 적용할 수 있기 위해서는 짧은 시간 내에 경로 계획을 수립해야 할 것이다. 본 연구의 후속 연구로, 현실성을 더욱 반영하여 서비스를 위해 고려해야 할 제약을 추가하고, 모형의 가정을 완화하여 경로계획을 수립하는 연구가 진행될 필요가 있다. 또한, 최적해에 매우 가까운 해를 제공하는 휴리스틱 기반의 모형을 통해 개발된 기술의 현실적용도를 높일 수 있는 연구가 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박영애, 이재윤. 2010a. 대출 및 상호대차 통계를 활용한 작은 도서관 장서 평가에 대한 실험적 연구. 『한국문헌정보학회지』, 44(2): 333-356.
- [2] 박영애, 이재윤. 2010b. 지역단위 도서관 시스템에서의 이용중심적 장서평가 연구. 『한국문헌정보학회지』, 44(4): 457-477.
- [3] 손정표. 2008. 국공립대학도서관 상호대차의 양적 규모에 영향을 미치는 요인. 『한국도서관·정보학회지』, 39(1): 119-138.
- [4] 유종덕. 2013. 경기도 공공도서관 상호대차 네트워크 분석. 『정보관리학회지』, 30(2): 83-99.
- [5] 이지원. 2015. 학술정보 상호대차 서비스 현황 및 분석: 2004년-2014년 KERIS 데이터를 중심으로. 『정보관리학회지』, 32(3): 199-219.
- [6] Hernández-Pérez, H. and Salazar-González, J. J. 2009. "The Multi-commodity one-to-one Pickup-and-Delivery Traveling Salesman Problem." *European Journal of Operational Research*, 196(3): 987-995.
- [7] Hosni, H., Naoum-Sawaya, J. and Artail, H. 2014. "The Shared-taxi Problem: Formulation and Solution Methods." *Transportation Research Part B: Methodological*, 70: 303-318.
- [8] Savelsbergh, M. W. and Sol, M. 1995. "The General Pickup and Delivery Problem." *Transportation Science*, 29(1): 17-29.



• 국문 참고자료의 영어 표기

(English translation / romanization of references originally written in Korean)

- [1] Park, Young-Ae and Lee, Jae Yun. 2010a. "An Experimental Study on Small Library Collection Evaluation Utilizing Circulation Statistics and Interlibrary Loan Data," *Journal of the Korean Society for Library and Information Science*, 44(2): 333-356.
- [2] Park, Young-Ae and Lee, Jae Yun. 2010b. "A Study on User-oriented Evaluation of Book Collections under a Regional Library System," *Journal of the Korean Society for Library and Information Science*, 44(4): 457-477.
- [3] Sohn, Jung-Pyo. 2008. "A Study on Factors Affecting the Quantitative Size of Interlibrary Loan Service in National & Public University Libraries of Korea," *Journal of Korean Library and Information Science Society*, 39(1): 119-138.
- [4] Ryoo, Jong-duk. 2013. "An Analysis on Interlibrary Loan Network of Public Libraries in Gyeonggi Province," *Journal of the Korean Society for Information Management*, 30(2): 83-99.
- [5] Lee, Ji Won. 2015. "An Analysis of the Current State and Changes in the Interlibrary Loan Service Focused on KERIS Data from 2004 to 2014," *Journal of the Korean Society for Information Management*, 32(3): 199-219.

