

# Transportation Planning System에 대한 연구

정재훈, 이상민, 민대기, 이재호, 진준

LG CNS Information Technology Group Div, R&D Center

## Research on Transportation Planning System

Jaehun Jeong, Sangmin Lee, Daegi Min, Jaeho Lee, Jim Chen

LG CNS Information Technology Group Div, R&D Center

E-mail : [jeongjh@lgcns.com](mailto:jeongjh@lgcns.com) , [sminlee@lgcns.com](mailto:sminlee@lgcns.com), [dgmin@lgcns.com](mailto:dgmin@lgcns.com), [leejaeho@lgcns.com](mailto:leejaeho@lgcns.com)  
[ichen@lgcns.com](mailto:ichen@lgcns.com)

### Abstract

In today's rapidly changing business environment, quality of responsiveness to customer requirements for short order cycles and on time delivery is becoming more important and considered as one of critical success factors in supply chain management. Yet despite its importance on reducing transportation cost and improving customer service, little attention has been given to the transportation planning system in Korea SI industry. In this paper, we present development of transportation planning system especially to deal with vehicle routing problem which has the goal to minimize the costs of daily transportation operation and to maximize customer delivery service. The system architecture with other enterprise application is presented and real-world constraints are well incorporated into the system by combining constraints programming and meta heuristics.

### 1. 서론

우리나라의 국가 물류비는 1999년 기준으로 78조 9천억원으로 GDP의 16.4%를 점유하고 있다. 일본의 9.58%, 미국의 9.9%보다는 상당히 높은 수준이며 물류 비용에서 수배송이 차지하는 비중이 69.9%로 그 비중이 해마다 증가하고 있다.[1] 최근 들어서는 극심한 교통정체로 각 기업들의 수배송 효율이 크게 떨어지고 있고, e-비즈니스와

홈쇼핑산업의 발전에 따른 수요의 패턴변화로 인하여 소량, 다빈도, 긴급 수배송 요구가 점차 증가하고 있다. 따라서 기업의 핵심경쟁요소의 하나로써 물류가 인식되어 가고 있으며 물류비용의 절감 차원뿐만 아니라 고객들에 대한 물류서비스의 향상이라는 측면에서도 Transportation Management System (TMS)이 차지하는 비중이 점점 커지고 있다. IT의 발전과 더불어 고객서비스 향상

을 만족시키기 위한 TMS 솔루션에 대한 국내 시장의 요구는 증가하고 있으나 TMS에 대한 기술과 인식의 부족, 솔루션의 부재로 인하여 적절한 대응을 못하고 있는 실정이다.

TMS는 물류전략과 계획 그리고 실행의 영역으로 나뉘어 진다(그림1). 물류 전략에서는 물류센터의 위치, 운영중인 물류센터의 수, 규모, 거점간의 수송수단의 최적화 등을 다루면서 기업의 장기간의 물류전략 수립을 위해 네트워크 모델링과 Multi Enterprise 모델링 그리고 시뮬레이션을 수행한다. 계획부분에서는 단기간의 차량 운용에 대한 계획을 수립하며 일일 배차계획, 배송계획, 긴급발송등의 업무를 담당한다. 운용부분에서는 주문관리, 화물추적, 선적관리, 리포팅, 운송수단 선택, 운임정산, 운송업체 관리등의 업무를 수행한다.

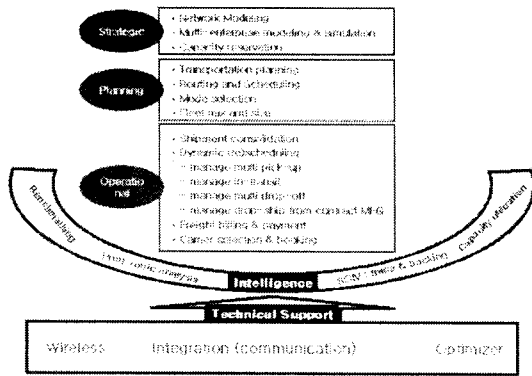


그림1 기능에 따른 분류

본 연구에서는 일상적인 배송시스템에서 현실적인 제약으로 작용하는 많은 제약들을 수용할 수 있는 수배송 계획시스템을 개발하였다. 다양한 제약들을 반영하기 위하여 제약프로그래밍 기법을 이용하였으며 효율적인 최적해 생성을 위하여 휴리스틱과 메타 휴리스틱의 조합에 의한 2단계 해 생성을 수행하였다. 2장에서는 수배송 계획시스템이 다루고 있는 배송계획의 문제정의와 관련 연구를 정리하였으며 3장에서는 시스템에서 수행하는 제약프로그래밍과 최적화 기법을 나타내었다. 4장에서는 수배송시스템의 개요와 기능성을 보여

주며 5장에서는 구현된 시스템을 예시하였다.

## 2. 문제정의와 관련연구

Vehicle Routing Problem(VRP)는 거점에서 출발한 차량들이 배달이나 수집등의 서비스를 요구하는 고객들을 특정한 순서대로 방문하고 다시 거점으로 돌아오는 최소비용의 경로를 결정하는 문제이다.[4] VRP에 관한 연구는 오래전부터 활발히 이루어지고 있으며 현실문제에 적용할 때 여러종류의 제약조건이 존재한다

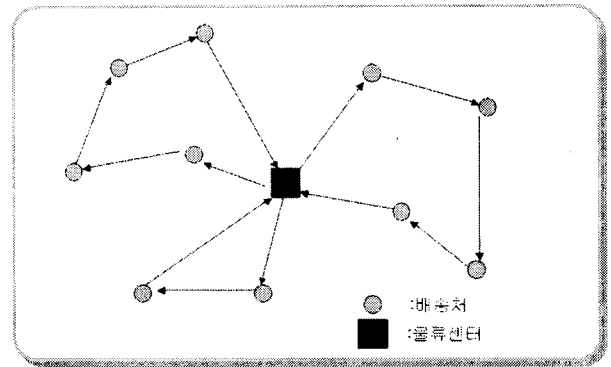


그림2 Vehicle Routing Problem

따라서 다양한 형태의 VRP가 존재하며 이들의 분류기준도 거점의수, 서비스의 종류(배달또는 수집),차량유형의 동일성유무, 서비스 시간제약의 유무등 매우 다양하다.(그림3)

구분	세부내용	비고
TSP	Traveling Salesman Problem	
	1대의 차량의 단순 최적 경로 설정	
VRP	Vehicle Routing Problem	
	n대의 차량의 최적 경로 설정	
C-VRP	Capacitated - VRP	
	차량의 용량을 반영한 최적 경로 설정	
C-VRP/MD	C - VRP with Multi-Depot	
	복수개의 물류센터를 반영한 최적 경로 설정	
C-VRP/MDTW	C - VRP/MD with Time-Window and More!	
	고객의 배송 요구시간대를 반영한 최적 경로 설정	

그림3 VRP의 종류

다음은 운송회사에서 일어나고 있는 실제 제약들이다.

- \*시간대에 따른 방문지의 트럭의 톤수 제한
- \*인도처별 차량 톤수 제한
- \*고객 희망도착시간 반영

- \*여러 종류의 차량 운용
- \*고객 서비스 시간
- \*방문지의 선후관계
- \*운전자 휴식시간 반영
- \*특정차량에 대한 방문지의 제한

단순한 Traveling salesman problem으로부터 출발하여 VRP에 대한 많은 연구가 존재하지만[1-7] 연구된 많은 알고리즘을 현실적인 문제에 적용하기에는 많은 어려움이 존재한다. 각 물류회사마다 특이한 제약환경이 존재하며 이러한 제약을 반영하기에는 기존의 VRP모델이 너무 단순하며 현실적인 제약조건을 만족하는 연구는 극히 드물다.[5] 과거시점의 실적을 기반으로 하는 생산계획이나 수요계획과는 달리 배송계획은 운송회사가 가지고 있는 정책의 반영과 차량 운행시 실시간으로 일어나는 많은 제약 사항들을 만족하지 못하면 계획시스템으로 부적절하게 된다.

### 3. 수배송 계획 최적화

개발된 수배송 계획 시스템은 최적해를 생성하기 위하여 제약 프로그래밍과 메타 휴리스틱을 사용한다. 제약 프로그래밍은 실제 수배송 환경에서 일어나는 여러가지 제약 조건들을 모델링하기 위하여 사용되었으며 제약을 만족하는 가능해집합에서 타부서치등의 메타 휴리스틱을 사용하여 유사 최적해를 생성한다.

#### 3.1 제약 프로그래밍 모델링

제약 프로그래밍은 규칙 형태의 관계를 가진 계량적 변수와 비계량적 변수들간의 제약 조건을 표현하기에 적합하다. 일반 프로그래밍 언어와는 달리 제약 프로그래밍 프로세스는 requirement를 만족하는 일련의 제약들의 생성과 제약에 의한 탐색공간이 줄어든 가능해 생성으로 이루어진다. 문제 표현시 직관적이고 이해하기 쉬운 형식을 따르고 있어서 개발시간 단축 및 쉬운 코드 관리에도 유용하며 인공지능연구와 최적화 모형이 만나는 지

점이라고 볼수 있다. 본 연구에서는 현실적인 제약 반영을 위하여 Kilby[5]의 차량제약 모델을 확장하여 VRP모델링을 수행하였다. 복수 이종차량, 복수 물류센터, 주문,방문지등을 기본 object로 정의하고 object 자기제약과 object간의 제약들을 모델링 하였다.

#### \*Object 자기 제약

- 주문의 희망고객시간
- 운전자 휴식시간
- 차량 종류

#### \*Object들간의 제약

- 방문지의 선후관계
- 인도처별 차량톤수 제한
- 특정차량에 대한 방문지의 제한

### 3.2 메타 휴리스틱에 의한 최적해생성

컴퓨터의 성능의 급속한 성장에도 불구하고 최적화의 많은 문제가 NP-hard로서 컴퓨터 용량과 계산시간의 한계를 갖게 된다. 이러한 문제에 대하여 많은 경우 발견적 기법에 의하여 유사해를 생성하나 해결하고자 하는 문제마다 각기 그 특성에 맞추어 개발해야 하는 어려움이 있다.(그림3) 본 연구에서는 특정문제에 구속되지않고 다양한 문제에 적용가능한 상위수준의 발견적기법, 메타 휴리스틱을 이용하여 제약프로그래밍에 의하여 탐색공간이 줄어든 해집합내에서 유사최적해를 구하게 된다.[4]

제약 프로그래밍으로 VRP 모델링 후 최적해는 초기해생성,개선해 생성 2단계를 거쳐 생성된다. 초기해 생성에서는 VRP의 여러가지 휴리스틱들을 사용하며 그 종류는 다음과 같다.

#### \*초기해 생성 알고리즘

- Savings,
- Insertion
- Sweep
- Nearest Addition
- Nearest Depot

초기해 생성에서는 제약을 만족하는 범위내에서 각 휴리스틱이 가지고 있는 알고리즘에 따라 하나의 해를 산출하게 된다. 문제크기가 작은 단계에서는 초기해를 구하는 휴리스틱들이 좋은 해를 생성하지만 제약수의 증가와 문제크기의 증가에 따라 해의 품질이 떨어지게 된다. 이를 보완하기 위하여 개선해 생성시 본 연구에서는 메타휴리스틱을 사용한다.

\*메타 휴리스틱 알고리즘

- Tabu search
- Neighborhood(2-opt,3-opt,cross, etc)
- Guided local search

#### 4.System Implementation

##### 4.1 System 개요

수배송 계획 시스템은 ERP나 기간계 시스템과 그림 4과 같이 구성되어 사용된다.

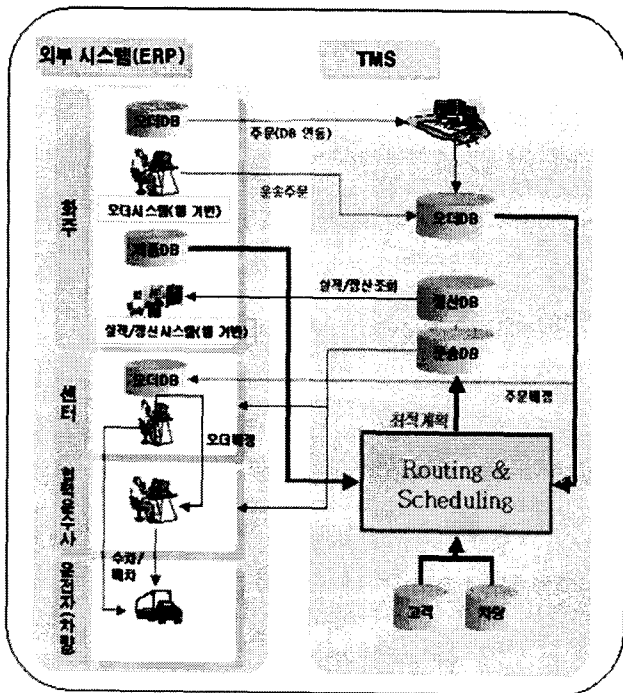


그림4. ERP와의 연계

최적화 엔진과 수행하는 역할에 따라 TMS서버와 웹 클라이언트로 구성되며 TMS서버에서는 배송

처, 차량, 주문등을 관리하며 일정한 시각에 배차 배송계획을 수행한다. 해당 물류센터에 존재하는 웹 환경에서는 서버에서 행한 수배송계획을 수정, 확정하며 긴급주문시의 dynamic scheduling과 주문취소시 rescheduling을 수행한다.

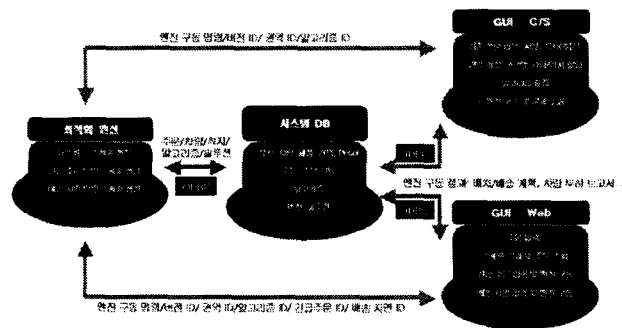


그림 5 시스템 개요

##### 4.2 System 기능

개발된 수배송 시스템은 현실에서의 다이내믹한 물류환경을 충분히 반영할 수 있는 다음과 같은 기능들을 가지고 있다.

###### 4.2.1 Version management

수배송 시스템은 여러 개의 물류센터에서 동시에 사용 가능하도록 설계되어 있다. 따라서 각각의 물류센터마다 수배송계획을 위하여 독립적으로 필요한 정보들은 version을 통하여 관리한다. Version은 오더의 양이나 계획환경이 달라지는 크리스마스, 설날등과 같이 특정한 시점에 대해서도 사용가능하도록 되어 있다. 버전은 권역별 모델, 주문/차량 그리고 알고리즘과 시물레이션의 결과등을 저장한다. 다양한 착지를 권역으로 구분하여 관리하며 사용자의 편의에 따라서 착지, 물류센터, 차량 등을 중심으로 구성된다. 업무환경, 시스템 성능 등의 환경에 따라서 원하는 수준으로 권역을 설정할 수 있으며, 이를 기반으로 최적의 배차/배송 계획을 수립하게 된다. 다양한 문제에 적합한 알고리즘을 구성함으로써 사용자는 미리 정의된 화면을 통하여 알고리즘과 관련된 정보를 쉽게 관리할 수 있으며 동일한 문제에 대하여 다

양한 알고리즘을 적용함으로써 최적의 알고리즘을 구성할 수 있다.

#### 4.2.2 Scheduling

스케줄링에서는 고객으로부터 희망도착시간대를 반영하고 배달과 수거를 동시에 수행할수 있는 배송계획을 만든다. 복수개의 차량에 대하여 톤수와 중량,부피등에 따른 차량제약사항을 반영하고 주문유형과 착지우선순위에 따라 배송계획을 수립하며 사용차량수 최소화, 이동거리 최소화등 다양한 목적함수를 선별적으로 선택할 수 있도록 설계되어 있다.

#### 4.2.3 Dynamic Scheduling

실 배송 현장에서는 긴급주문과 주문 취소등 최초 배송계획 수립후 변동 주문에 대한 실시간 계획을 수립할 필요성이 존재한다. 변동 주문에 대하여 모든 주문을 포함하여 다시 최적해를 실시간으로 구하는 것은 불가능하므로 주문변동시 현재의 해에 개개의 변동사항을 포함해서 현재해를 개선하는 방향으로 실시간 계획을 구하도록 한다.

#### 4.2.4 Rescheduling

배송추적을 위해서는 해당 물건의 배송 후에 모바일등을 이용하여 배송 결과를 피드백해야 한다. 이때 배송지연,배송불가등의 후행 배송 물건에 대한 방문지 예정시간에 대한 변동이 생기면 이를 반영하기 위하여 Rescheduling을 수행하게 된다.

#### 4.2.5 배송관리 차량 운행정보 모니터링

운행 계획과 모바일을 이용하여 각 차량들의 운행실적을 관리하고 실시간 교통정보를 적용하여 최적 운행경로를 결정한다.

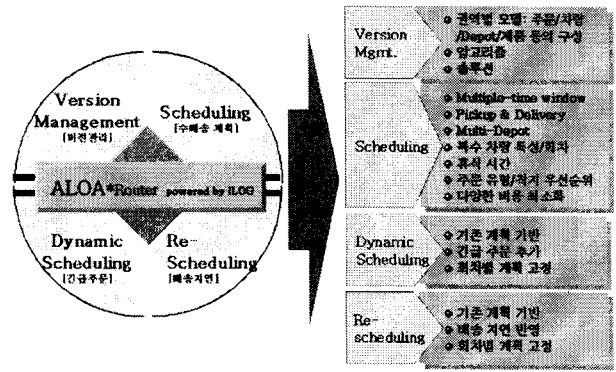


그림 6 수배송계획시스템의 기능

### 5.시스템 데모

그림 6은 알고리즘을 선택하는 화면이다. 알고리즘정보는 version 정보에 속해 있으며 초기해를 구하기 위하여 saving 알고리즘이 수행되며 개선해를 위해서 guided local search 알고리즘이 수행하도록 되어 있다.

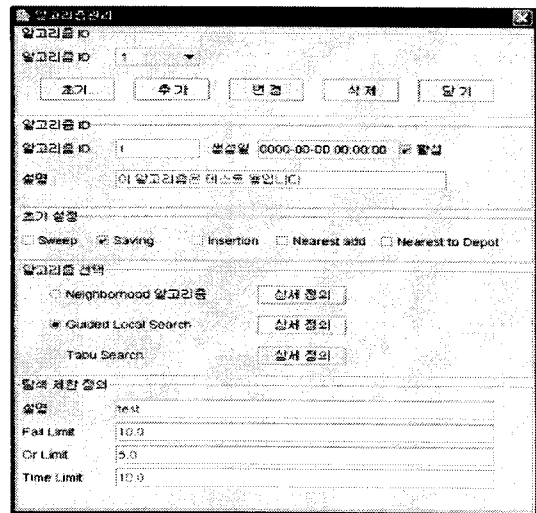


그림 6 알고리즘 관리

그림 7은 주문관리 화면이다. 주문의 ID, 착지점, 배송처 주소, 희망도착시간에 대한 정보가 담겨 있다.

주문ID	택지ID	구분명	최종도착시간
20020911001	200210151550	공급물1	2002-09-11 09:33 - 2002-09-11 10:33
20020911007	200210151550	공급물2	2002-09-11 14:30 - 2002-09-11 15:30
20020911003	200210151550	공급물3	2002-09-11 10:33 - 2002-09-11 11:33
20020911004	200210151550	공급물4	2002-09-11 15:30 - 2002-09-11 16:30
20020911005	200210151550	공급물5	2002-09-11 09:33 - 2002-09-11 10:33
20020911006	200210151550	공급물6	2002-09-11 17:26 - 2002-09-11 18:26
20020911007	200210151550	공급물7	2002-09-11 09:33 - 2002-09-11 10:33
20020911008	200210151550	공급물8	2002-09-11 14:30 - 2002-09-11 15:30
20020911009	200210151550	공급물9	2002-09-11 13:30 - 2002-09-11 14:30
20020911010	200210151550	공급물10	2002-09-11 16:47 - 2002-09-11 17:47

그림 7 주문정보

그림8은 물류 센터와 물류 센터에서 배송해야 될 배송처를 연결하는 작업을 수행하고 있는 화면이다.

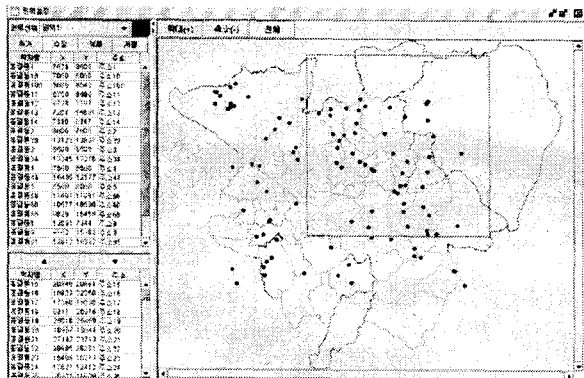
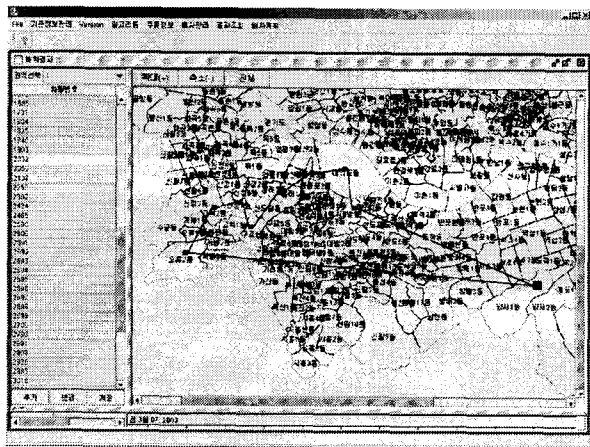
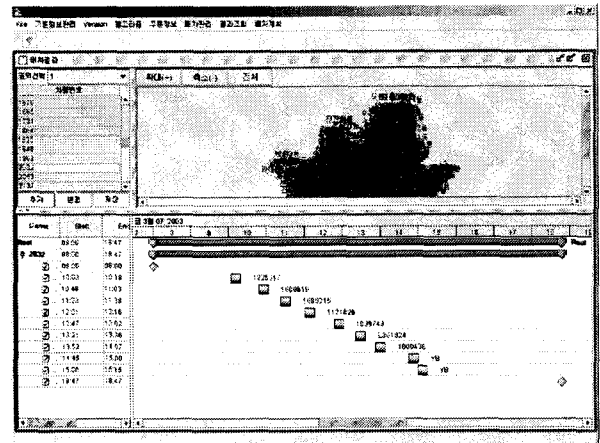


그림 8 권역설정

그림9(a)에서는 계획이 수립된 결과를 보여주고 있다. 그림9(b)에서는 배송처도착 계획시간과



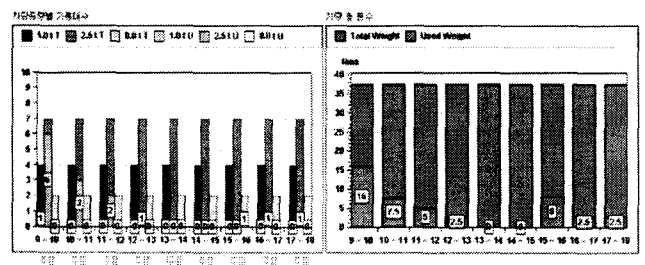
(a)



(b)

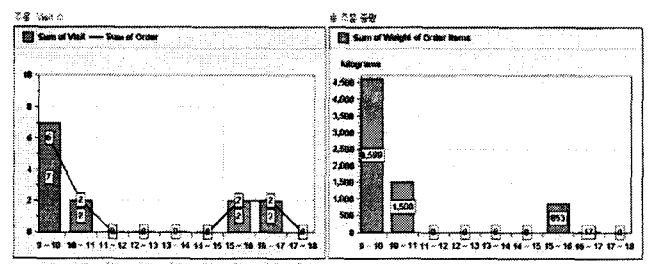
그림 9 배송계획 결과

서비스시간이 간트차트를 통하여 보여지고 있으며 최종적으로 물류 센터에 복귀하는 것이 보여진다. 그림10은 웹 클라이언트에서 볼수 있는 화면이다. (a)에서는 차량별 가용대수가 보여지며 (b)에서는 현재 가용되고있는 차량 총톤수가 보여주고 있다. 그림에서 보다시피 오전에는 차량이 많이 사용되고 있지만 오후로 갈수록 가용율이 떨어지고 있음을 알수 있다.



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 10 운용 현황 조회

(c)에서는 해당시간대에 서비스되는 배송처를 보여주고 있으며 (d)에서는 시간대 별 총 주문 용량을 나타내고 있다.

## 6. 개발 환경

본 시스템은 Visual C++ 환경에서 최적화 TOOL인 ILOG Solver, Dispatcher, Jview를 사용하여 최적화 엔진을 개발하였으며 Jview, JSP를 이용하여 Transportaion Server, Web client를 개발하였다.

## 7. 결론 및 추후 연구

본연구에서는 제약 프로그래밍과 메타 휴리스틱을 이용하여 차량 수배송 시스템을 개발하였다. 운송경로문제에 대한 현실성있는 제약조건을 만족하기 위하여 운전자휴식시간, 희망도착시간, 이중차량, 다물류센터등을 고려하였으며 긴급주문, 주문취소, 지연배달에 의한 계획의 변경을 반영하기 위하여 dynamic scheduling, rescheduling이 가능한 web client를 개발하였다. 수배송시스템은 계획 실행시 많은 상황이 발생하며 이의 보다 신속한 대응을 위해서는 계획뿐만 아니라 실행결과에 대한 신속한 feedback이 필요하다. 이를 위하여 ATP, GIS, ITS, Mobile시스템이 연계된 정보시스템에 대한 추후 연구가 필요하다.

### [참고문헌]

- [1] 화물 컨테이너 운송을 위한 타부서치기반의 차량운송계획, 구평희, 장동원, 2002 대한산업공학회 추계학술대회
- [2] 메타 휴리스틱 : 김여근, 윤복식, 이상복, 영지문화사, 2002
- [3] 가정제품 가정배달에서 설치차량 과 배달차량 배송스케줄의 동시결정에 관한 연구, 강용민, 선징웅, 2002 대한산업공학회 추계학술대회

[4] 시간제약과 하역장 용량제약이 있는 차량경로 문제에 대한 휴리스틱 해법, 장희정, 최은정, 이경식, 박성수, 2002 대한산업공학회 추계학술대회

[5] A Comparison of Traditional and Constraint-based Heuristic Methods on Vehicle Routing Problems with Side Constraints: P. Kilby, P. Prosser And P. Shaw, 1999

[6] G. Clarke and G. W. Wright. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, Operations Research, 12 P568-581, 1964

[7] M. Solomon, Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, Operations Research, 35,p254-265,1987