

## COMSOAL을 이용한 최적 운송경로 선정 Optimal Vehicle Routing Selection Using COMSOAL

이성열

관동대학교 정보기술공학부 인터넷산업정보공학전공

### Abstract

Vehicle routing problem is known to be a NP-hard problem, and is traditionally solved by some heuristic approaches. This paper investigates the application of the computer method COMSOAL to the optimal vehicle routing selection problem. The COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines) is a computer heuristic originally developed to solve an assembly line balancing problem a few decades ago. The solution methodology of repeatedly running COMSOAL will result in many feasible solutions from which the best is chosen. This solution approach now becomes viable thanks to the significantly increased speed of recent computer technology. This paper discusses the adaptation of the COMSOAL approach to the known set of simple vehicle routing example problem. The results show that the COMSOAL can be a good possible approach to solve the vehicle routing problem.

**Keywords:** COMSOAL, vehicle routing problem, computer heuristic.

### 1. 서론

최근의 복잡한 도로사정과 차량의 증가 등 교통혼잡에 따른 물류비용의 증가는 최적의 차량운송경로 탐색방법에 대한 연구에 박차를 가하게 되었다. 특히 인터넷을 이용한 전자상거래 시장의 확대는 제 3자 물류회사에 대한 필요성을 더욱 증대시키고 있다. 이러한 물류회사들은 정시납품을 통한 고객 서비스의 증진과 더불어 물류비용의 감소를 위해서는 차량의 적재용량을 최대한 활용하여, 최소의 운행차량수로 최소의 운행거리를 운행할 수 있는 적절한 운송정책을 수립하여야 할 것이다. COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines) 기법은 원래는 조립라인 밸런싱문제에 대한 컴퓨터 휴리스틱 해법으로 알려져 왔다 (Arcus, 1966). 하지만 COMSOAL

기법의 개념은 운송문제, 자원할당 등을 포함하는 다양한 응용문제들에 적용될 수 있다. 이 기법의 기본개념은 단계별로 가용해 공간을 임의로 탐색하면서 다양한 가능해를 찾은 후, 주어진 반복횟수에 도달하면 그때까지 얻어진 최선해를 출력하는 알고리즘으로 최근의 저렴하면서도 획기적으로 빨라진 컴퓨터 성능에 따라 새롭게 조명해볼 필요가 있는 방법이다. 그러므로 본 논문에서는 그동안 주로 조립라인밸런싱 분야에서 응용되어 왔던 COMSOAL 기법을 최적의 차량운송경로 탐색에 적용하고 그 타당성을 검토하였다. 이미 보고된 간단한 예제에 적용해본 결과 다른 방법에 비해서 상대적으로 간단한 COMSOAL 해법은 신속하게 안정적이며, 좋은해를 도출할 수 있었다.

### 2. 기존연구 고찰

차량경로문제에 대한 기존연구는 최적화 해법과 발견적 해법으로 구분될 수 있다. 그러나, 수요지점의 수가 급증할 경우는, 계산시간의 급격한 증가 때문에 최적화 해법은 적용이 곤란하게 되어 상대적으로 발견적 해법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 추세이다. 최근의 연구동향을 요약한다면, 유전 알고리즘을 이용한 연구들이 주로 활발하게 진행되고 있는데, 김현명 외1 (1999)과 장인성 외1 (1999)는 유전 알고리즘을 이용한 최단경로 알고리즘을 제안하였으며, 유용석 (1999)은 병렬유전 알고리즘을 이용한 해법을 제시하고 있으며, 유용석 (2001)은 제약이론과 병렬 유전 알고리즘을 이용하여 차량운영에 관한 연구를 하였으며, 신재영 (2001)은 지점내의 집배송을 위한 영업사원별 담당구역 배정모형을 수립하고 그 탐색적해법을 제시하였다. 황홍석 외1 (2001a)와 황홍석 외1 (2001b)는 GIS와 유전 알고리즘을 이용한 차량운송시스템을 구축하였다. 유전 알고리즘을 이용한 해법들이 요구되는 최적해를 도출한다고 할지라도 다양한 운송환경에 적합한 유전자 표현방법 및 프로그래밍에는 유전 알고리즘에 대한 전문적인 지식을 요구하게 된다. 또한 유전자 조작결과로 발생될 수 있는 불가능해에 대한 처리도 요구될 수 있으며, 여러 차량에 대

한 동시배차문제 등을 다루어야 할 경우는 병렬 유전 알고리즘과 같은 좀 더 복잡한 구조의 알고리즘이 요구되기도 한다. 하지만 본 연구에서 소개하는 COMSOAL은 상대적으로 간편한 개념 및 프로그래밍으로 기존의 다른 방법들에 뒤떨어지지 않는 해를 신속하게 얻을 수 있는 장점과 가용해 범주내에서 해를 단계적으로 탐색하기 때문에 결과적으로 도출되는 해는 언제나 가능해가 된다.

### 3. 수리모형

차량경로문제에 대한 전통적인 모형은 단일의 본점과 다수의 수요지점, 그리고 차량적재용량이 동일한 일정수의 보유차량수, 각각의 수요지점의 수요량은 알려져 있으며, 차량의 운행거리의 제한이 있을 경우도 있다.

이러한 차량경로문제에서는 보통 다음과 같은 가정을 하고 있다.

1. 모든 차량은 본점을 출발하여 반드시 다시 본점으로 되돌아와야 한다.
2. 본점을 제외한 모든 수요지점은 한 대의 차량에 의해서 한번만 방문된다.
3. 각 수요지점의 수요량은 차량의 적재용량을 초과하지 않으며, 모든 수요지점의 수요량의 총합은 차량 한 대의 적재용량을 초과할 수 있도록 충분히 많다.
4. 모든 수요지점의 수요량은 알려져 있다.

위의 가정에 의거한 간단한 수리모형은 식 (1)과 같은 목적함수식을 구축할 수 있으며, 제약조건으로는 최대운행거리, 적재용량, 최대차량수, 본점을 출발후 반드시 본점으로 다시 돌아 와야하는 조건 등이 주어질 수 있으며, 그에 대한 자세한 설명은 참고문헌 유웅석 외2 (2001)을 참고하기 바란다.

$$Min \sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N w_{ij} c_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

여기서,  $w_{ij}$  = 수요지점 i에서 j까지의 운행거리  
 $c_{ij}$  = 차량 k의 수요지점 i에서 j까지의 도로상황 가중치

식 (1)의 의미는 수요지점 i에서 j까지의 도로상황 가중치에 차량 k의 수요지점 i에서 j까지의 운행거리를 곱한 값들의 총합으로 구성되는 차량의 총운행시간(또는 총 운행비용)을 최소화하는 목적함수이다. 여기서, 차량의 운송비용은 운송시간과 운송거리에 비례한다는 가정하에 차량운행거리 x 도로상황 가중치는 운송비용에 대응할 수 있으므로 이 값을 최소로 하는 운송경로를 구하는 최적해 모델로 구축될 수 있다.

### 4. COMSOAL 기법

COMSOAL은 Arcus (1966)에 의해서 처음으로 조립라인밸런싱문제를 해결하기 위한 컴퓨터 기법으로 출현하였다. 이 기법은 그동안 대부분 조립라인밸런싱 분야에서 주로 이용되었으며, 제한된 자원할당문제 등에서도 드물게 이용되고 있다. 특히 자원할당문제에 적용되었을 때, 샘플크기가 방대할 경우는 다른 기법들에 비해서 더 나은 결과들을 도출하였다고 보고되고 있다. 자원할당문제에 적용된 또 다른 연구는 계획예정인 다음 활동을 선택하는데 있어서 단지 랜덤 샘플링만을 적용했는데도 매 반복(iteration)에서 매우 안정적인 결과를 도출하였다고 보고 하고 있다. (Depuy and Whitehouse, 2000)

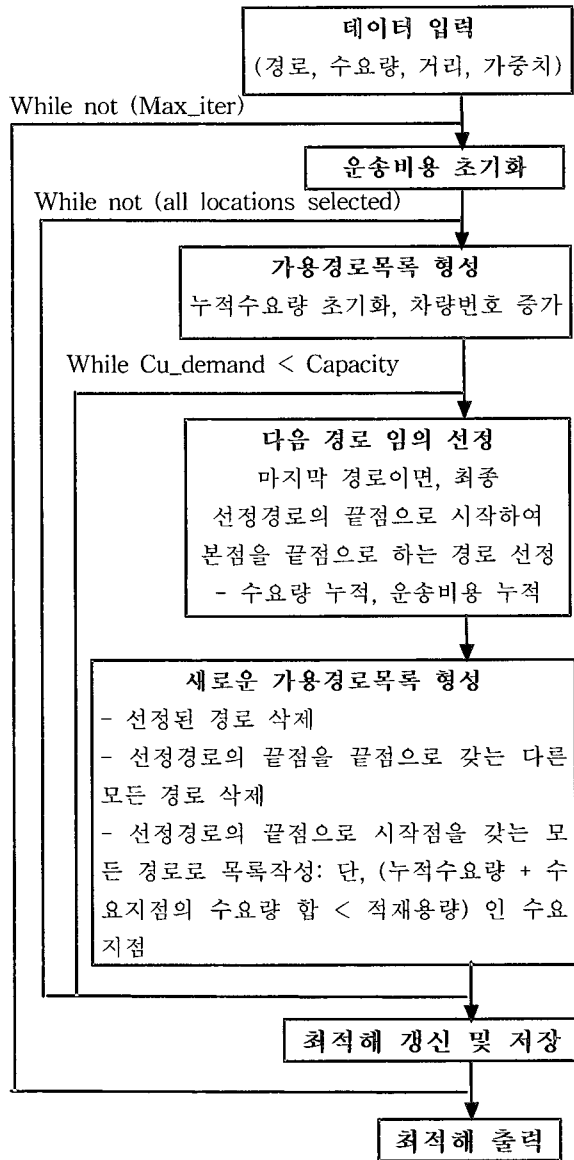
컴퓨터 휴리스틱으로서 COMSOAL은 신속하게 다수의 가능해를 발생하고 최종 반복횟수에 도달하면 그때까지의 최적해를 최종결과로 출력한다. 최적 운송경로탐색문제에 적용한다면, COMSOAL은 먼저 최초의 가능한 경로들의 목록을 가능해 목록으로 발생시킨다. 이 목록에 속하는 수요지점의 수요량은 적재용량을 초과하지 않으며, 이미 선택된 적이 없는 지점이어야 한다. 다음에 선정가능한 수요지점은 이 가용목록으로부터 임의로 선택되며, 하나의 수요지점이 선택되면, 선택된 수요지점을 제외한 새로운 가능목록이 다시 발생되어야 한다.

COMSOAL은 이러한 방법으로 반복하여 주어진 반복횟수동안 가장 최소의 비용을 발생시키는 경로순서를 찾아준다.

COMSOAL 기법의 흐름도는 [그림 1]과 같으며, 1회 주기에 대한 절차요약은 다음과 같다.

1. 가용해 목록 형성: 본점(시작점)과 모든 수요지점사이의 경로로 가용해 목록 형성
2. 가용해 목록으로부터 임의로 다음경로 선정
3. 선정된 수요지점의 수요량 누적 및 경로비용 누적
4. 새로운 가용해 목록 형성: 선정된 경로의 시작점과 직접연결된 모든 다른 경로를 삭제한 후 선정된 경로의 끝점과 직접연결된 모든 경로중 수요지점의 수요량이 차량의 적재용량을 초과하지 않는 수요지점들과 연결된 경로들로 새로운 가용해 목록 형성
5. 모든 경로가 선정될 때까지 2-4를 반복
6. 주어진 반복회수까지 1-5을 반복후 그때까지의 최선해를 출력

여기서 반복횟수는 사용자가 문제에 따라 임의로 정할수 있다. 물론 반복횟수가 커지면 최선해를 얻을 가능성도 커지지만 계산시간도 그만큼 커지게 된다.



[그림 1] 최소비용 운송경로 탐색을 위한 COMSOAL 흐름도

하지만 최근의 컴퓨터의 획기적인 성능 덕분에 9개의 수요지점이 있는 경로문제 (가능경로수 =  $9!/2$ )에 적용해 본 결과 평균적으로 수 초이내에 안정적인 최적해를 얻을 수 있었다.

### 5. 예제실험 및 결과토의

본 연구에 이용된 예제는 참고문헌 (유용석, 2001)에 사용된 동일한 문제를 비교를 목적으로 그대로 이용하였다.

차량운영에서의 제약은 운영가능한 차량의 대수, 중복방문의 금지, 차량적재용량제약, 도로사정 등이다. 여기서 도로사정은 출발지와 도착지사이의 운행거리에 적당한 가중치를 부여하여 표현되었다. 즉, 정상적인 도로상황을 1.0

로 볼 때, 원활한 경우는 0.8, 정체인 경우는 1.2, 그리고 사고 또는 공사등 긴급상황발생인 경우는 1.8로 구분되었으며, 도로에서 각 상황이 발생할 빈도는 2:5:2:1로 가정되었다.

주어진 예제는 차량의 적재용량은 30이며, 각 수요지점의 수요량은 모두 10으로 동일할 때 본점(수요지점 0)에서 출발하여 1~6의 수요지점을 모두 통과하여 다시 본점으로 돌아오는 경로중 최소 운송비용경로를 탐색하는 문제이다.

[표 1]은 도로사정에 대한 가중치와 빈도수를 나타내며, [표 2]는 각 수요지점간의 거리에 도로상황 가중치를 빈도수에 의거해서 곱한 결과로 임의로 얻어진 운송비용값을 보여준다. [표 2]에서 도로상황에 대한 가중치는 가는 방향과 오는 방향에 따라 다를 수 있으나, 여기서는 편의상 같은 값으로 가정하였다. 경로 배정 방법은 첫 번째 차량의 적재용량 범위 (여기서는 3개의 수요지점)내에서 수요지점간 경로를 선정한 후, 첫 차량의 배정이 끝나면 다음 차량에 같은 방법으로 경로가 선정되며, 이 과정은 모든 수요지점의 선정이 끝날때까지 반복된다.

COMSOAL 알고리즘은 Matlab 언어로 프로그램 되었으며, 펜티엄 III PC (700MHz CPU)에서 2초이내에 [표 4]와 같은 최적해를 얻을 수 있었으며, 이 해는 참고문헌 유용석 외 2' (2001)와 동일한 결과이다. 본 예제의 경우 수차례의 실험결과 반복횟수 200에서 항상 안정적으로 최적해인 두 대의 차량에 최소비용 111의 운송경로를 얻을 수 있었다.

[표 1] 도로사정 변화에 대한 가중치

조건	원활	정상	정체	긴급상황
가중치	0.8	1.0	1.2	1.8
빈도수	20%	50%	20%	10%

[표 2] 수요지점간의 운송비용(거리 x 가중치)

지점	0	1	2	3	4	5	6
0	0	8	20	25	30	20	10
1	8	0	12	36	30	30	20
2	20	12	0	12	11	22	30
3	25	36	12	0	1.6	8.8	25
4	30	30	11	1.6	0	8	1.6
5	20	30	22	8.8	8	0	21.6
6	10	20	30	25	1.6	21.6	0

[표 2]는 이해를 돕기위해 표로 작성되었지만 실제 프로그래밍에서는 표상의 대각행렬의 값들을 제외한 나머지 42개의 셀값들을 순서대로 저장하여 이용하였다. 즉, 가용경로목록은

(0->1)부터 (6->0)까지의 42x2행렬로 순서대로 저장하고 거기에 각각 대응하는 수요지점간 운송비용정보는 (8, 20, ..., 20, 10)의 42x1 행렬로 순서대로 저장되었다. [표 3]은 프로그램에 이용된 경로 및 운송비용에 대한 데이터 구조를 보여준다.

[표 3] 경로 및 운송비용의 데이터 구조

일련번호	경로	운송비용
1	0 -> 1	8
2	0 -> 2	20
3	0 -> 3	25
4	0 -> 4	30
5	0 -> 5	20
6	0 -> 6	10
7	1 -> 2	12
8	1 -> 3	36
.	.	.
.	.	.
.	.	.
40	4 -> 0	30
41	5 -> 0	20
42	6 -> 0	10

[표 4] COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로

차량번호	운송경로	운영비용
1	0->1->2->3->0	57
2	0->6->4->5->0	54

## 6. 결론 및 추후 연구

본 연구의 주 목적은 그동안 조립라인밸런싱분야에서 주로 이용되던 COMSOAL 컴퓨터 휴리스틱 기법을 최적 운송경로탐색문제에 적용하고 그 타당성을 검증하는 것이다. 실험결과는 최근의 획기적인 컴퓨터의 성능향상 덕분에, COMSOAL은 최적 경로탐색에 이용되어 오던

다른 휴리스틱 기법들에 비해 상대적으로 간편한 계산 및 알고리즘이면서도 다른 기법들에 뒤지지 않는 좋은해를 안정적이며 신속하게 도출할 수 있었다. 추후의 보완과제로서는 가능해 목록으로부터 다음에 선정가능한 경로를 선택할 때, 선정우선순위계획(priority scheme)이 도입된다면 COMSOAL의 해는 더욱 빠르게 얻어질 수 있을 것이다.

## 참고문헌

김현명, 임용택 (1999), 유전 알고리즘을 이용한 전역탐색 최단경로 알고리즘 개발, *대한교통학회지*, 17(2), 163-178.

신재영, 하태영 (2001), 김배송 담당지역의 차량배정문제, *한국경영과학회/ 대한산업공학회 춘계공동학술대회논문집*.

유용석, 노인규 (1999), 병렬 유전자 알고리즘을 이용한 차량경로문제에 관한 연구, *대한산업공학회논문집*, 25(4), 490-499.

유용석, 박찬웅, 김원태 (2001), 제약이론을 이용한 효율적인 차량운영에 관한 연구, *대한산업공학회 추계학술대회논문집*.

장인성, 이승재 (1999), 다목적 최단경로 선정을 위한 유전 알고리즘의 개발, *대한산업공학회/ 한국경영과학회 추계공동학술대회 논문집*.

황홍석, 임해용 (2001a), GIS를 이용한 차량운송시스템, *한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집*.

황홍석, 임해용 (2001b), 지리정보시스템(GIS) 기반의 차량운송정보시스템, *대한산업공학회 추계학술대회 논문집*.

Aarcus, A.L. (1966), COMSOAL: a computer method of sequencing operations for assembly lines, *International Journal of Production Research*, 4, 259-277.

Depuy, G.W., and Whitehouse, G.E. (2000), Applying the COMSOAL computer heuristic to the constrained resource allocation problem, *Computers & Industrial Engineering*, 38, 413-422.

Gen, M., Li, Y., and Ida, K. (1999), Solving Multi-Objective Transportation Problem by Spanning Tree-Based Genetic Algorithm, *IEICE TRANS. FUNDAMENTALS*, E82-A(12).