

COMSOAL 휴리스틱을 이용한 최적 운송경로 탐색

이 성 열*

Applying the COMSOAL Heuristic to the Optimal Vehicle Routing Selection

Sung Youl Lee*

■ 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 problem. 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.

Keyword : COMSOAL, Vehicle Routing Problem, Computer Heuristic

1. 서 론

최근의 복잡한 도로사정과 차량의 증가 등 교통 혼잡에 따른 물류비용의 증가는 최적의 차량운송 경로 탐색 방법에 대한 연구에 박차를 가하게 되었다. 특히 인터넷을 이용한 전자상거래 시장의 확대는 제 3자 물류회사에 대한 필요성을 더욱 증대시

키고 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 조립

논문접수일 : 2002년 7월 3일 논문게재확정일 : 2003년 4월 18일

* 관동대학교 멀티미디어공학부

라인벨런싱문제에 대한 컴퓨터 휴리스틱 해법으로 알려져 왔다(Arcus, 1996). 하지만 COMSOAL 기법의 개념은 운송문제, 자원할당 등을 포함하는 다양한 응용 문제들에 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 조립라인벨런싱 분야에서 응용되어 왔던 COMSOAL 기법을 최적의 차량운송 경로 탐색에 적용하고 그 타당성을 검토하였다. 기존의 예제와 가상적으로 작성된 예제에 적용해 본 결과 다른 방법에 비해서 상대적으로 간단한 COMSOAL 해법은 안정적으로, 기존의 다른 기법에 뒤지지 않는 좋은 해를 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 외 1(1999)과 장인성 외 1(1999)은 유전 알고리즘을 이용한 최단경로 알고리즘을 제안하였으며, 유웅석 외 1(1999)은 병렬유전 알고리즘을 이용한 해법을 제시하고 있으며, 유웅석 외(2001)는 제약이론과 병렬 유전 알고리즘을 이용하여 차량운영에 관한 연구를 하였으며, 신계영(2001)은 지점내의 집배송을 위한 영업사원별 담당구역 배정모형을 수립하고 그 탐색적 해법을 제시하였다. 황홍석 외 1(2001a)와 황홍석 외 1(2001b)은 GIS와 유전 알고리즘을 이용한 차량운송 시스템을 구축하였다.

Gen et al.(1999)에서는 두 가지 목표를 갖는 운송 경로 탐색문제에 스페닝 트리로 가능해를 표현한 후 유전자 알고리즘을 이용하였다. 유전 알고리즘을 이용한 해법들이 요구되는 최적해를 도출한다고 할지라도 다양한 운송환경에 적합한 유전자 표현방법 및 프로그래밍에는 유전 알고리즘에 대한 전문적인 지식을 요구하게 된다. 또한 적용문제에 따라 민감하게 반응하는 유전 파라미터들(교배율, 돌연변이율, 모집단수 등)의 적절한 선정은 유전자 알고리즘의 적용에서 흔히 대두되는 중요한 선결 과제이다. 유전 연산자 조작결과로 발생될 수 있는 불가능해에 대한 처리도 요구될 수 있으며, 여러 차량에 대한 동시배차문제 등을 다루어야 할 경우는 병렬 유전 알고리즘과 같은 좀 더 복잡한 구조의 알고리즘이 요구되기도 한다. 하지만 본 연구에서 소개하는 COMSOAL은 민감한 파라미터의 사용이 요구되지 않는 상대적으로 간편한 개념 및 프로그래밍으로 기존의 다른 방법들에 뒤떨어지지 않는 해를 얻을 수 있는 장점과 가용해 범주 내에서 해를 단계적으로 탐색하기 때문에 결과적으로 도출되는 해는 언제나 실행 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 총합

은 차량 한 대의 적재용량을 초과할 수 있도록 충분히 많다.

4. 모든 수요지점의 수요량은 알려져 있다.

위의 가정에 의거한 간단한 수리모형은 아래의 식 (1)과 같은 목적함수식을 구축할 수 있으며, 제약조건 식으로는 최대운행거리 식 (2), 적재용량 식 (3), 본점을 출발 후 반드시 본점으로 다시 돌아와야하는 조건 식 (4) 등이 주어질 수 있으며, 그에 대한 자세한 설명은 유웅석 외 2(2001)를 참고하기 바란다.

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

제약조건 :

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N w_{ij} c_{ijk} x_{ijk} < L \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N D_i \left(\sum_{j=0}^N x_{ijk} \right) < U \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijk} - \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 0 \quad \forall i, k \quad (4)$$

여기서,

w_{ij} = 수요지점 i에서 j까지의 운행거리

c_{ijk} = 차량 k의 수요지점 i에서 j까지의 도로상황 가중치

x_{ijk} = 차량 k가 수요지점 i에서 j로 이동하면 1, 아니면 0

L = 차량의 최대운행가능거리(실험에서는 L 미만 적용)

U = 차량의 최대적재용량(실험에서는 L 미만 적용)

D_i = 수요지점 i의 수요량

식 (1)의 의미는 수요지점 i에서 j까지의 도로상황 가중치에 차량 k의 수요지점 i에서 j까지의 운행거리를 곱한 값들의 총합으로 구성되는 차량의 총 가중운행거리(또는 총 운행비용)를 최소화하는 목적함수이다. 여기서, 차량의 운송비용은 운송시

간과 운송거리에 비례한다는 가정하에 「차량운행거리×도로상황 가중치」는 운송비용에 대응할 수 있으므로 이 값을 최소로 하는 운송경로를 구하는 최적해 모델로 구축될 수 있다.

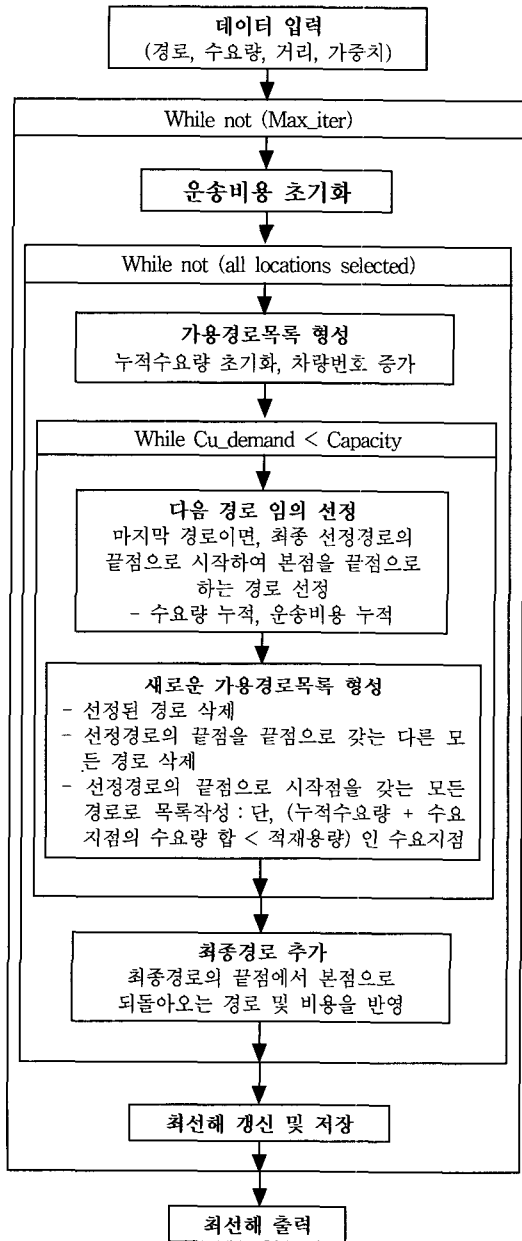
4. COMSOAL 기법

COMSOAL은 Arcus(1996)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(Depuy and Whitehouse, 2000). 자원할당문제에 적용된 또 다른 연구는 계획예정인 다음 활동을 선택하는데 있어서 단지 랜덤 샘플링만을 적용했는데도 매 반복주기(iteration)에서 매우 안정적인 결과를 도출하였다고 보고하고 있다(Depuy and Whitehouse, 2000).

컴퓨터 휴리스틱으로서 COMSOAL은 매 단계마다 순서제약, 자원제약 등의 제약조건을 만족하는 가용목록을 갱신하면서, 그 가용목록중 임의로 한 항목씩 선택하여 모든 항목선택이 성취되면 하나의 가용해가 찾아지게 되며 같은 방법으로 다수의 가용해를 발생하고 최종 반복횟수에 도달하면 그때까지의 최선해를 최종결과로 출력한다. 최적 운송경로 탐색문제에 적용한다면, COMSOAL은 먼저 최초의 가능한 경로들의 목록을 가용목록으로 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 가용목록이 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.



<그림 1> 최소화 비용 운송경로 탐색을 위한 COMSOAL 흐름도

1. 가용경로 목록 형성 : 본점(시작점)과 모든 수요지점사이의 경로로 가용경로 목록 형성

2. 가용경로 목록으로부터 임의로 다음경로 선정
3. 선정된 수요지점의 수요량 누적 및 경로비용 누적
4. 새로운 가용경로 목록 형성 : 선정된 경로의 시작점과 직접 연결된 모든 다른 경로를 삭제한 후 선정된 경로의 끝점과 직접 연결된 모든 경로 중 수요지점의 수요량이 차량의 남아 있는 적재용량을 초과하지 않는 수요지점들과 연결된 경로들로 새로운 가용경로 목록으로 형성
5. 모든 경로가 선정될 때까지 2~4를 반복
6. 주어진 반복회수까지 1~5을 반복 후 그때까지의 최선해를 출력

여기서 반복횟수는 사용자가 문제에 따라 임의로 정할수 있다. 물론 반복횟수가 커지면 최선해를 얻을 가능성도 커지지만 계산시간도 그만큼 커지게 된다. 하지만 최근의 컴퓨터의 획기적인 성능덕분에 9개의 수요지점이 있는 경로문제(가능경로수 = 9!)에 적용해 본 결과 평균적으로 수초이내에 안정적인 근사 최적해를 얻을 수 있었다.

5. 예제실험 및 결과토의

본 연구에 이용된 예제는 가능경로의 수가 많지 않은 경우와 충분히 많은 경우인 2가지의 경우에 대해 실험이 실시되었다. 첫 번째 예제는 알고리즘의 유효성 검증을 목적으로 최적해를 사전에 알고 있는 유용석 외 2(2001)에 사용된 동일한 문제(수요지점수 6곳, 가능경로수 6! = 720)를 비교를 목적으로 그대로 이용하였으며, 두 번째 예제는 첫 번째 예제에서 수요지점수와 관련 비용 데이터만 12곳 (가능경로수, 12! = 479,001,600)까지 임의로 추가하여 최적경로는 확인 할 수 없지만 근사 최적해에 대한 수렴성과 계산시간의 측정을 목적으로 실험을 실시 하였다.

[예제 1]

차량운영에서의 제약은 운영가능한 차량의 대수, 중부방문의 금지, 차량 적재용량제약, 도로사정 등

이다. 여기서 도로사정은 출발지와 도착지사이의 운행거리에 적당한 가중치를 부여하여 표현되었다. 즉, 정상적인 도로상황을 1.0으로 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(유용석 외 2, 2001).

주어진 예제에서 각 차량의 적재용량은 30인 한 종류의 차량이며, 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> 도로사정 변화에 대한 가중치

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

자료소스 : 유용석 외 2(2001).

<표 2> 수요지점간의 운송비용(수요지점수 = 6)

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 1>은 도로사정에 대한 가중치와 빈도수를 나타내며, <표 2>는 각 수요지점간의 거리에 도로상황 가중치를 빈도수에 의거해서 곱한 결과로 얻어진 임의의 운송비용 값을 보여준다. 즉, 표에서 행은 출발지점을 열은 도착지점을 나타내며, 본점(0)과 수요지점 1~6곳 사이의 운송비용 데이터를 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 수요지점의 수요합)내에서 가능한 수요지점간 경로를 선정한 후, 첫 차량의 배정이 끝나면 다음 차량에 같은 방법으로 경로가 선정되며, 이 과정은 모든 수요지점의 선정이 끝날 때까지 반복된다.

COMSOAL 알고리즘은 Matlab 언어로 프로그램되었으며, 펜티엄 III PC(700MHz CPU)에서 2초 이내에 <표 3>과 같은 최적해를 얻을 수 있었으며, 이 해는 유용석 외 2(2001)의 결과와 동일한 값이다. 본 예제의 경우 수 차례의 실험결과 반복횟수 200에서 항상 안정적으로 최적해인 두 대의 차량에 최소비용 111의 운송경로를 얻을 수 있었다.

<표 3> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 1 → 2 → 3 → 0	57
2	0 → 6 → 4 → 5 → 0	54
총 운송비용		111

<표 4> 수요지점간의 운송비용(수요지점수 = 12)

지점	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	8	20	25	30	20	10	8	25	36	12	10	20
1	8	0	12	36	30	30	20	30	20	12	11	36	12
2	20	12	0	12	11	22	30	8.8	1.6	22	25	11	8.8
3	25	36	12	0	1.6	8.8	25	20	12	21.6	30	1.6	8
4	30	30	11	1.6	0	8	1.6	8	30	25	12	20	36
5	20	30	22	8.8	8	0	21.6	22	11	20	8	25	25
6	10	20	30	25	1.6	21.6	0	1.6	21.6	30	20	10	1.6
7	8	30	8.8	20	8	22	1.6	0	8.8	36	25	20	30
8	25	20	1.6	12	30	11	21.6	8.8	0	20	10	30	20
9	36	12	22	21.6	25	20	30	36	20	0	12	25	11
10	12	11	25	30	12	8	20	25	10	12	0	8	25
11	10	36	11	1.6	20	25	10	20	30	25	8	0	12
12	20	12	8.8	8	36	25	1.6	30	20	11	25	12	0

[예제 2]

본 예제는 [예제 1]과 동일한 운송조건에 단지 수요지점수를 두 배로 확대하고 관련된 운송비용 데이터를 임의로 추가하였다. 즉, 수요지점수가 12

곳으로 가능경로수가 12!(479,001,600)인 대형문제이기 때문에, COMSOAL 반복횟수를 다양한 구간에 걸쳐 실험을 수행한 후, 그 결과의 변화 추이를 보이기 위해 총 가능경로수의 1/100000, 1/10000, 1/1000, 1/100, 2/100에 해당하는 1) 4,800회 2) 48,000회 3) 480,000회 4) 4,800,000회 5) 10,000,000회인 5가지 경우에 대한 실험결과를 정리하였다.

<표 5> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로 [반복횟수 = 4,800(0.001%)]

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 7 → 8 → 2 → 0	38.4
2	0 → 5 → 4 → 10 → 0	52
3	0 → 1 → 9 → 12 → 0	51
4	0 → 6 → 3 → 11 → 0	46.6
(계산시간 = 37초) 총 운송비용		188
비용(시간) : 173(37초), 180(37초), 182(31초), 183(37초), 188(37초), 188(37초), 189(30초), 191(31초), 192(32초), 193(37초)		

COMSOAL에서의 다음 경로선택은 랜덤샘플링에 의해서 수행되어 지므로 각 반복횟수에서 수차례 실험을 한 후 얻어지는 평균해를 분석해 보았다. <표 5>, <표 6.1>, <표 6.2>, <표 7>, <표 8>은 위의 처음 4가지 경우에 대해 각각 10회의 실험을 한 후 얻어진 운송비용 값 중의 중앙값에 해당하는 해에 대한 요약을 보여준다. <표 5>를 살펴보면, 반복횟수를 4,800회(총 가능경로수의 0.001%)로 10차례 실험했을 때 얻어진 최소 운송비용 값들 중 중앙값인 188일 때의 운송경로를 요약한 것이다. 표에서, 총 운송비용 값은 소수점이하를 반올림해서 얻어진 값이다. 이 때 얻어졌던 운송비용 및 계산시간을 운송비용 값 기준으로 오름차순으로 정리하면, 각각 173(37초), 180(37초), 182(31초), 188(37초), 188(37초), 188(37초), 189(30초), 191(31초), 192(32초), 193(37초)이었다. 즉, 본점에서 출발하여 12곳의 수요지점을 모두 경유하고 다시 본점으로 돌아오는 최소비용경로는 4대의 차량이 필요하며, 각 차량별 운송경로 및 운송비용은 표의 두 번째, 세

번째 열에 보여지고 있다. 하지만, 본 문제의 경우에 반복횟수 4,800회는 아직 충분치 않은 횟수여서 얻어진 최소비용값들 사이에 다소 큰 격차가 보이고 있음을 알 수 있다.

<표 6.1> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로 [반복횟수 = 48,000(0.01%)]

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 10 → 9 → 1 → 0	44
2	0 → 3 → 8 → 2 → 0	58.6
3	0 → 6 → 12 → 11 → 0	33.6
4	0 → 7 → 4 → 5 → 0	43.4
(계산시간 = 150초) 총 운송비용		180
비용(시간) : 164(161초), 167(161초), 174(161초), 176(150초), 176(161초), 180(150초), 182(161초), 183(161초), 183(161초), 190(161초)		

<표 6.2> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로 [반복횟수 = 48,000(0.01%)]

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 7 → 2 → 8 → 0	43.4
2	0 → 1 → 9 → 10 → 0	44
3	0 → 5 → 4 → 3 → 0	54.6
4	0 → 6 → 12 → 11 → 0	33.6
(계산시간 = 161초) 총 운송비용		176
비용(시간) : 164(161초), 167(161초), 174(161초), 176(150초), 176(161초), 180(150초), 182(161초), 183(161초), 183(161초), 190(161초)		

<표 7> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로 [반복횟수 = 480,000(0.1%)]

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 7 → 4 → 6 → 0	27.6
2	0 → 5 → 8 → 2 → 0	52.6
3	0 → 11 → 3 → 12 → 0	39.6
4	0 → 1 → 9 → 10 → 0	44
(계산시간 = 799초) 총 운송비용		164
비용(시간) : 164(776초), 164(784초), 164(788초), 164(797초), 164(799초), 164(810초), 164(819초), 164(853초), 165(1081초), 165(1140초)		

<표 8> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로
[반복횟수 = 4,800,000(1%)]

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 7 → 8 → 2 → 0	38.4
2	0 → 10 → 9 → 1 → 0	44
3	0 → 12 → 3 → 11 → 0	39.6
4	0 → 5 → 4 → 6 → 0	39.6
(계산시간 = 11509초) 총 운송비용		162
비용(시간) : 162(10320초), 162(10767초), 162(10888초), 162(11170초), 162(11509초), 163(7999초), 163(8184초), 163(8204초), 163(8414초), 163(14230초),		

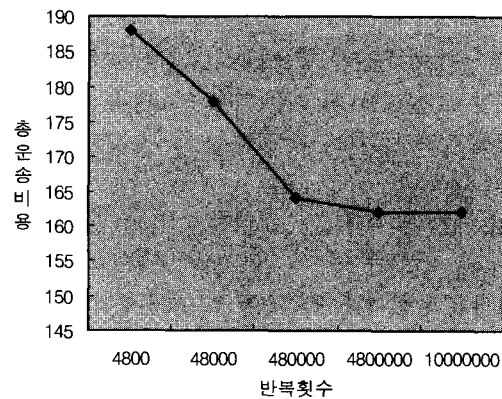
<표 6.1>, <표 6.2>, <표 7>, <표 8>도 같은 방법으로 얻어진 해를 요약한 것이며, 계산시간은 개략적으로 반복횟수에 비례하여 증가되는 것을 알 수 있다. 최적화의 목표인 총 운송비용도 반복횟수의 증가에 따라 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. <표 6.1>과 <표 6.2>는 총 운송비용의 중앙값이 서로 다소 다른 두 값을 갖고 있어서 각 값에 해당하는 운송경로를 두 개의 표로 나타내었다. <표 7>은 총 가능경로수의 1/1,000에 해당하는 480,000회를 수행했을 때 얻어진 결과로 총 운송비용 값이 현격히 줄어서 <표 9>에서 얻어진 최적 값의 97% 수준인 (3% 오차) 값을 약 13.3분만에 얻을 수 있어서, 사전에 방문 수요지점들에 대한 정보수집 후에 후시행되는 운송경로탐색문제의 현실을 감안한다면 실제 이용에 무리가 없을 것으로 여겨진다.

<표 9>는 총 가능경로수의 약 2%에 해당하는 반복횟수 10,000,000회를 통해 얻어진 해로써 총 운송비용이 5회 실험 모두 162에서 수렴하고 있는 것을 알 수 있었다. 이 경우에, 최적해가 찾아졌을 때의 반복횟수는 5차례 실험 모두에서 약 5,000,000회(계산시간 약 3~4시간)의 부근이었으며, 최소비용경로는 모두 <표 8>의 두 번째 열과 같은 동일한 경로를 나타내고 있어서 이 경로가 본 예제의 최적경로로 간주 할 수 있었다. <그림 2>는 반복횟수의 증가에 따른 총 운송비용값의 변화를 보여주는 도표로서 반복횟수가 총 가능경로수의 1/1,000에 해당하는 480,000에 이르면서 급격히 줄어들어

4,800,000 이후부터 최적값인 162에 수렴하는 것을 보여 주고 있다.

<표 9> COMSOAL 결과로 얻어진 최소비용 운송경로
[반복횟수 = 10,000,000(2%)]

차량번호	운 송 경 로	운송비용
1	0 → 7 → 8 → 2 → 0	38.4
2	0 → 10 → 9 → 1 → 0	44
3	0 → 12 → 3 → 11 → 0	39.6
4	0 → 5 → 4 → 6 → 0	39.6
(계산시간 = 5시간 11분) 총 운송비용		162
비용(시간) : 162(17123초), 162(17219초), 162(18673초), 162(23233초), 162(27323초)		



<그림 2> 반복횟수 - 총운송비용 도표

보통 최소 비용경로문제는 실시간으로 이루어지기 보다는 사전에 최적경로계획의 수립후 후시행하는 현실성을 고려한 다면, 실험의 결과에서 보여지는 것처럼, COMSOAL 기법의 응용은 타 기법에 비해 상대적으로 간단한 알고리즘 구조이면서도 최근의 컴퓨터 속도의 향상 덕분에 계산시간 측면이나 언제나 최적해 또는 근사 최적해에 가까운 실행가능해를 찾을 수 있어서 여타 기법에 뒤지지 않는 접근방법으로 보여진다.

6. 결론 및 추후 연구

본 연구의 주 목적은 그동안 조립라인밸런싱 분

야에서 주로 이용되던 COMSOAL 컴퓨터 휴리스틱 기법을 최적 운송경로 탐색문제에 적용하고 그 타당성을 검증하는 것이다. 실험결과는 최근의 획기적인 컴퓨터의 성능향상 덕분에, COMSOAL은 최적 경로탐색에 이용되어 오던 다른 휴리스틱 기법들에 비해 해의 탐색에 민감하게 반응하는 파라미터의 사용이 없는 상대적으로 간편한 계산 및 알고리즘이면서도 다른 기법들에 뒤지지 않는 좋은 해를 안정적이며 신속하게 도출 할 수 있었다. 이 방법의 적용은 네트워크 구축, 일정기간 동안의 여행 일정계획 수립시에 매일의 관광버스 운송경로 스케줄 등의 최적화에 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 추후의 보완과제로서는 가능해 목록으로부터 다음에 선정가능한 경로를 선택할 때, 선정우선순위계획 (priority scheme)이 도입된다면 COMSOAL의 해는 더욱 신속하게 얻어질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김현명, 임용택, "유전 알고리즘을 이용한 전역탐색 최단경로 알고리즘 개발", 「대한교통학회지」, 제17권 제2호(1999), pp.163-178.
- [2] 신재영, 하태영, "집배송 담당지역의 차량 배정문제", 「한국경영과학회/대한산업공학회 춘계 공동학술대회 논문집」, 2001.
- [3] 유용석, 노인규, "병렬 유전자 알고리즘을 이용한 차량경로문제에 관한 연구", 「대한산업공학회논문집」, 제25권 제4호(1999), pp.490-499.
- [4] 유용석, 박찬웅, 김원태, "계약이론을 이용한 효율적인 차량운영에 관한 연구", 「대한산업공학회 추계 학술대회 논문집」, 2001.
- [5] 이성열, "COMSOAL을 이용한 최적 운송경로 선정", 「대한산업공학회/한국경영과학회 춘계 공동학술대회논문집」, 2002.
- [6] 장인성, 이승재, "다목적 최단경로 선정을 위한 유전 알고리즘의 개발", 「대한산업공학회/한국경영과학회 추계 공동학술대회 논문집」, 1999.
- [7] 황홍석, 임해용, "GIS를 이용한 차량운송시스템", 「한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집」, 2001a.
- [8] 황홍석, 임해용, "지리정보시스템(GIS) 기반의 차량운송정보시스템", 「대한산업공학회 추계 학술대회 논문집」, 2001b.
- [9] Arcus, A.L., "COMSOAL : a computer method of sequencing operations for assembly lines," *International Journal of Production Research*, Vol.4(1966), pp.259-277.
- [10] Depuy, G.W. and G.E., Whitehouse, "Applying the COMSOAL computer heuristic to the constrained resource allocation problem," *Computers & Industrial Engineering*, Vol.38(2000), pp.413-422.
- [11] Gen, M., Y. Li and K. Ida, "Solving Multi-Objective Transportation Problem by Spanning Tree-Based Genetic Algorithm," *IEICE TRANS. FUNDAMENTALS*, Vol. E82-A, No.12(1999).