

전투임무여건보장을 위한 보급차량경로 결정

이용연, 이호준
육군 분석평가단

e-mail:c15837@naver.com

Determination of the supply vehicle route to ensure combat conditions

Yong-Yoen Lee, Ho-Jun Lee
Republic of Korea Army

요 약

군수의 임무는 평시에 국가방위에 필요한 장비와 물자를 효율적으로 수요부대에 보급하여 최대의 군사력을 유지할 수 있도록 하고 전시에는 어떤 상황에서도 흔들림 없이 군수지원을 확실하게 보장하는 것이다. 최근 IT기술의 발전은 군의 군수지원 개념에 많은 영향을 주고 있다. 특히 미래 군사작전에서는 전장이 확대되고 다양한 전투요소가 투입되는바 적시적인 군수지원은 작전의 주도권을 확보하고 융통성을 확보하여 전장에서 이길수 있는 중요한 요소로 대두되고 있다. 이러한 적시적 군수지원을 달성하기 위해 새로운 개념의 군수지원 개념이 필요하고 그것이 바로 기존의 생각에서 탈피한 수요자 중심의 군수개념이다. 이것은 군수품을 보급하는 공급자가 '어떻게 군수품을 공급하면 수요자인 부대의 전투임무를 위한 여건을 보장할 수 있는가?'라는 물음에서 출발한다. 이에 본 연구에서는 물자를 보급받는 수요부대가 군수품을 적시에 보급받아서 부대의 전투임무여건을 보장받고 작전의 주도권 확보하여 공세적인 전장운영하기 위한 보급차량의 경로를 결정하고자 한다. 이는 기존의 공급자 중심이 아닌 수요자 중심으로 군수지원개념을 적용하여서 수요자가 대기하는 시간을 최소로 하면서 원하는 군수품을 적시에 보급받기 위한 차량경로 결정을 기존의 공급자 중심과 시간측면에서 비교하여 제시하였다.

1. 서론

일반적인 차량경로문제는 운행경로 또는 시간의 제약조건에 따라서 차량경로문제, 차량일정문제, 차량경로·일정문제로 구분된다. 차량경로문제(vehicle routing problem : VRP)란 물류센터(depot, 단지)에서 출발한 차량들이 제품을 요구하는 수요지를 방문하고 다시 처음의 물류센터로 복귀하는데 소요되는 총 시간(거리)을 최소화하는 경로를 결정하는 문제로서 다양한 현실적인 상화를 고려해서 발전해왔다.

본 연구에서 제시하는 문제는 군수품을 보급하는 공급부대가 수요부대에 어떻게 하면 효율적으로 군수품을 보급할수 있을지를 수요부대 측면에서 대기시간을 최소화하는 관점에서 분석하였다는 것이다. 기존의 형태는 운행되는 차량의 제반 비용을 최소화하기 위해 경영자나 물류센터 즉 공급부대 측면에서 차량경로를 결정하였다면 이 연구에서는 경제성보다는 효율성과 수요자 중심의 군수개념을 적용한 차량경로 결정하고

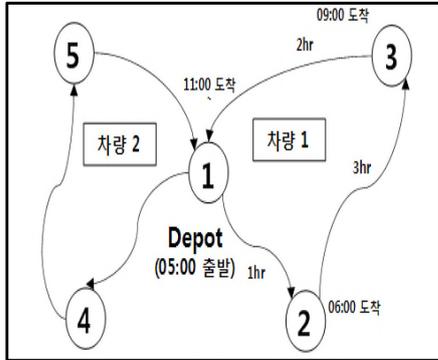
자 한다. 이러한 의사결정은 군의 군수개념과 경제적인 측면보다 효율적인 측면을 고려한 군의 특성에 부합된 것이다.

2. 수요부대 중심의 차량경로 결정 모델링

2.1 문제정의

기존의 차량경로문제는 군수품을 보급하는 공급부대나 상급부대의 관점에서 가능한 신속히 수요부대에 보급을 마치고 보급소로 복귀하여 비용을 최소화하는 것이 목적이었다면 수요부대 대기시간 최소화를 위한 차량경로 문제는 각각의 수요부대가 보급을 받기 위해 대기하는 시간을 최소화하는 것이 그 목적이다. 목적함수는 표준형태의 차량경로문제는 총 차량 이동시간의 최소화이며 본 연구에서는 수요부대 대기시간(Total delivery waiting)의 최소화이다. 이는 각각의 수요부대가 보급을 받기 위해 대기하는 시간을 최소화하며, 보급이 이루어지지 않는 수요부대의 수를 최소화한다는 개념이다. 본 연구에서는 보급소에서의 대

기시간을 포함하는 경우를 적용하며 대기시간의 개념은 보급소를 출발한 차량이 각 수요부대에게 최종적으로 도착하기까지 소요시간이라고 정의한다. 대기시간 최소화 개념은 2가지 개념으로 설명할 수 있다. 첫째는 방문순서에 따라 배송완료시간이 달라질 수 있다. 다음의 <그림1>와 같은 예를 들어 설명한다.



<그림1> 방문순서에 따른 대기시간 차이

일반적인 차량경로 문제의 개념에서 1-2-3-1의 경로 혹은 1-3-2-1의 경로는 어떤 경로로 운행을 하든 소요되는 시간은 6시간으로 동일하다. 그러나 고객 대기시간 최소화 관점에서 보면 1-2-3-1의 경우에는 배송완료시간은 9시이고 1-3-2-1의 경우는 배송완료시간은 10시이다. 결국 차량이 방문하는 고객이 동일하더라도 운행순서(차량경로)에 따라 배송완료시간(대기시간)은 달라질 수 있다. 둘째, 각 차량들의 마지막 고객까지 운행시간의 합이 동일할지라도 운행경로에 따라서 모든 고객 중 최종 방문고객의 대기시간은 달라질 수 있다. <그림15>와 같이 경우 1에서는 1번 차량이 1-2-3으로 운행하고 2번 차량이 1-4-5로 운행하여 운행차량의 마지막 고객까지 총 이동시간은 8시간 소요되며, 경우 2에서 또한 1번 차량이 1-3-5로 운행하고 2번 차량은 1-4-2로 운행하여 총 이동시간은 8시간으로서 동일하게 소요되지만 최종적으로 서비스를 받는 수요부대의 입장에서의 대기시간은 경우 2에서 4시간으로, 경우 1에서의 5시간보다 짧게 소요된다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 각 차량들의 이동시간의 편차가 적을수록 최종 서비스를 받는 고객의 대기시간은 단축되며, 최종 고객의 대기시간은 배송완료시간과 동일한 의미를 가진다.

본 연구에서는 기존의 차량경로문제에서 기본적으로

추구하려는 포괄적인 목적과 상반된 개념의 수요부대 중심의 해를 찾는 모델을 제시하고자 한다. 본 연구의 이론적 타당성 평가를 위해서 표준모델과의 관계를 고찰하고자 본 모델을 구성하는데 필요한 가정사항은 차량경로문제의 표준형태(standard vehicle routing problem)와 동일하게 구성한다.

2.2 수리모델

수요부대 대기시간 최소화를 위한 차량경로 문제를 도출하기 위해 적용되는 가정사항은 다음과 같다.

- 각 차량은 최대 적재용량까지 적재가 가능하며 적재용량은 동일하다.
- 각 수요부대간 차량의 운행속도는 동일하다(화물적재에 영향을 받지 않는다.)
- 물량의 적재 및 하역에 소요되는 시간은 고려하지 않는다.
- 차량의 출발 및 종착은 보급소에서만 이루어지며, 단일 보급소만 존재한다.
- 각 수요부대의 수요량은 확정적이며 알려져 있다.

가. 인덱스

- i, j : 수요부대($i=1,2,N$; $i, j=1$: 차고지)
- k : 차량 수, $k \in [1, \dots, K]$
- s : 마지막에서 서비스 받는 순서, $s \in [1, \dots, S]$

나. 결정변수

- $x_{ijk s}$: 차량 k 에 의해 수요부대 i 와 j 까지 마지막에서 s 번째 서비스가 이루어지면 1 그렇지 않으면 0

다. 파라미터

- N : 수요 부대수
- $D_i s$: 품목 수
- C : 차량의 용량
- K : 차량 수
- T : 수요부대의 부분집합
- V : 수요부대의 전체집합
- d_{ij} : 수요부대 i 와 j 의 거리
- s : 마지막에서 서비스 받는 순서

라. 목적함수

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S s d_{ij} x_{ijk s} \tag{1.1}$$

마. 제약조건

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^S x_{i1k1} \leq 1 \quad \text{for } \forall k \quad (1.2)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S x_{ijks} = 1 \quad j=2..N \quad (1.3)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S x_{ijks} = 1 \quad i=2..N \quad (1.4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ipks} - \sum_{i=1}^N x_{pjk(s-1)} = 0 \quad p=2..N, k=1..K, s=2..N \quad (1.5)$$

$$\sum_{i=1}^N D_i (\sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^S x_{ijks}) \leq C \quad \text{for } \forall k \quad (1.6)$$

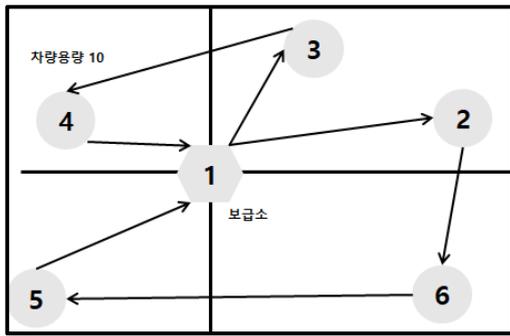
$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ijks} \leq 1 \quad \text{for } \forall k, s \quad (1.7)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^S x_{ijks} \leq |T|-1 \quad \forall k, t \forall t \subset V, |T| \neq 0 \quad (1.8)$$

$$x_{ijks} = 0 \quad \text{for } \forall i, k, s \quad (1.9)$$

$$x_{ijks} = \{0,1\} \quad \text{for } \forall i, j, k, s \quad (1.10)$$

(1.1) 목적함수는 수요부대의 군수품 물량을 수송하는데 있어 모든 수요부대가 대기하는 시간을 최소화하는 것이다. 다음의 <그림2>와 같은 경우에 있어서 보급소는 1번 지점이고 2번부터 6번까지는 수요부대가 된다.



<그림2> 수요부대 대기시간 최소화 차량경로 문제의 목적함수

이때 가용한 차량수는 2대이고 모두 10으로 동일한 적재용량을 갖는다. 1번 차량은 1-3-4-1의 경로로 이동하고 2번 차량은 1-2-6-5-1의 경로로 이동한다. 이때의 각 차량의 목적함수 값은 <표 1>과 같이 나타낼 수 있다. 이와 같이 각 차량은 각 수요부대가 대기하는 시간의 총합으로 나타낼 수 있다. 그러므로 총 목적함수 값은 1번 차량의 목적함수 값인 $3d_{13} + 2d_{34} + d_{41}$ 과 2번 차량의 목적함수 값인 $4d_{12} + 3d_{26} + 2d_{65} + d_{51}$ 의 합이 된다.

(1.2)은 운행차량 차고지 복귀 제약식으로 결정변수 x_{ijks} 에서 s는 마지막에서 보급을 받는 순서를 의미한다. s가 1이란 의미는 맨 마지막으로 보급 받는 지점을

의미하고, 이때 j가 1이므로 보급소를 방문해야 한다는 것을 의미한다. 즉, 맨 마지막에는 항상 보급소로 복귀해야 함을 의미한다. 이 제약식은 모든 차량에 대해 적용되며, 부등식 ' \leq '의 의미는 가용 차량중에서 최적해에 필요한 차량만 운행한다는 의미이며 '='일 경우엔 모든 차량을 운행해야 하지만, '<'이 포함됨으로서 모든 차량을 운행할 필요가 없다는 의미가 추가된다. (1.3), (1.4)은 차량 1회 방문 제약식으로 모든 지점 i, j에 대해서 차량이 한번씩만 방문한다는 1회 방문 제약식이다. (1.5)는 차량 흐름의 연속성 제약식으로 중간 경유지점 p는 다음 서비스 지점으로 이동하기 위한 출발지점이며 차량 k가 수요부대 i에 도착한 후 물량의 하역을 마친 후에 반드시 수요 부대를 출발해야 되며 이때 보급 순서 s의 인덱스는 1이 감소함으로서 다음 보급순서와 연결 되어야 함을 의미한다. (1.6)은 수송화물의 제한 제약식으로 차량은 적재용량을 초과하지 않는 범위 내에서 적재한다. 화물을 적재하고 구간 (i, j)를 운행하는 차량의 적재 용량의 합은 차량의 용량 C를 초과할 수 없다. (1.7)은 제약식 (1.2)와 동일한 개념으로 제약식 (1.2)가 모든 지점 i, j에 대해서 1회 방문의 원칙이 적용된다면, 이 제약식은 모든 차량과 모든 보급순서 s에 대해서도 1회 방문 원칙이 지켜져야 함을 의미한다. (1.8)은 부분경로(sub-tour) 제거 제약식으로 이 제약식은 보급소를 포함하지 않는 경로의 형성을 방지하기 위한 조건식이다. T는 수요부대의 부분집합이며, V는 수요부대의 전체집합이다. (1.9)는 동일지점 이동불가 제약식으로 i와 j가 같은 경우에는 결정변수가 0이 되어야 한다. 이 사항은 모든 지점과 모든 차량, 모든 보급 순서에 대해 동일하게 적용이 된다. (1.10)은 정수 제약식으로 결정변수 x_{ijks} 는 0이나 1 값을 가져야 한다. 차량 k에 의해 수요부대 i와 j까지 마지막에서 s번째 보급이 이루어지면 1 그렇지 않으면 0이다.

3. 실험설계 및 결과분석

3.1 실험설계

보급소가 수요부대에게 수요량을 신속하게 보급할 때 수요부대의 대기시간을 최소화하는 차량경로 결정을 하고자 한다. 실험에서는 6개의 수요부대, 가용차량 3대(차량용량 동일), 차량은 출발 후 반드시 보급소로

복귀해야 한다는 설계아래 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.0.0을 활용해 진행하였다. 실험에 사용된 부대별 수요 및 이동시간은 다음 <표 1>, <표 2>과 같다.

<표 1> 부대별 수요

수요부대	수요
1	3500
2	4000
3	6000
4	5000
5	3000
6	7000

<표 2> 수요부대간 이동거리

	1	2	3	4	5	6
0	9	14	21	23	22	25
1	0	5	12	22	21	24
2	5	0	7	17	16	23
3	12	7	0	10	21	30
4	22	17	10	0	19	28
5	21	16	21	19	0	9
6	24	23	30	28	9	0

3.2 실험결과 및 분석

위와 같은 데이터를 가지고 도출한 실험결과는 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 수요부대 대기시간 최소화 실험결과

구 분	차량 1	차량 2	차량 3
차량경로	1-2-5-1	1-6-7-1	1-3-4-1
총 운행시간	54	56	42
총 대기시간	94	109	77

차량 3대는 모두 사용되었으며 모두 부대별 수요를 만족시키고 보급소로 복귀하였다. 이 때 숫자 1은 보급소를 나타낸다. 적어도 56시간을 차량을 운행해야 모든 부대의 수요를 만족시킬 수 있었으며 수요부대의 대기시간 측면에서는 총 280시간, 차량 2의 109시간을 대기해야 모든 부대의 수요가 만족될 수 있었다. 이렇듯 공급자와 수요부대의 측면에서의 시간개념은 다를 수 있음을 알 수 있다. 차량용량이 충분하다면 차량 2대만 사용하여 모든 수요부대를 만족시켜서 수송비를 절감할 수 있다.

표준 차량경로문제와 대기시간 측면에서 비교결과는 다음의 <표4>과 같다.

<표 4> 표준 차량경로문제와 대기시간 측면 비교결과

구 분		차량 1	차량 2	차량 3
차량경로	표준	1-7-6-1	1-3-2-1	1-4-5-1
	수요	1-6-7-1	1-2-1	1-3-4-5-1
총 운행시간	표준	115	61	106
	수요	109	27	120

수요부대가 서비스를 받는데 소요되는 총 대기시간은 수요부대 중심의 차량경로의 차량 3이 120시간으로 개별부대의 관점에서는 표준 차량경로문제가 더

작은 대기시간으로 더 좋은 서비스를 제공받을 수 있었다. 이것은 부대 또는 차량별로 상이하나 전체적인 관점에서 수요부대 모두가 보급을 받는데 소요되는 시간의 총합은 수요부대 중심의 차량경로가 256시간, 표준 차량경로가 282시간으로 수요부대 중심의 차량 경로 결정이 26시간 적게 소요되었다. 공급부대가 수요부대의 모든 수요를 만족시키면서 수요부대의 대기 시간도 감소시키는 더 좋은 차량경로 결정이라고 할 수 있다. 향후 다양하고 현실적인 파라미터를 설정하고 각 수요부대에 대한 정확한 데이터를 사용하여 대기시간 최소화 관련 실험을 하면 더 의미있는 결과를 도출할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 공급자 중심의 사고에서 벗어나 수요부대의 전투임무여건을 보장하기 위해 군수품을 보급할 때의 차량경로를 어떻게 하는 것이 효율적인가를 시간측면에서 분석 제시하였다. 그 결과 수요부대 대기시간 측면에서 수요부대 전투임무여건을 보장을 위해 대기시간을 최소화하는 방향으로 의사결정하여 보급차량경로를 결정하는 것이 효율적임을 실험을 통해 증명하였다. 더 발전된 연구가 되기 위해서는 실제 군에서 운영되는 용량의 차량과 다양한 군수품을 여러 가지 작전환경적 요소와 결합하여 제시하고 실험에 적용한다면 더 실질적인 차량경로 결정을 위한 연구가 될 것이다.

참고문헌

- [1] 강경환(2002). “수요부대 대기시간 최소화를 위한 차량 경로 문제의 발견적 해법.” 연세대학교 석사 학위논문.
- [2] 김내헌. (1993). “배달과 회수를 고려한 차량 경로 문제.” 산업경영시스템학회지, 16(28), pp. 195-202.