

조선소에서 블록 수송을 위한 복합트랜스포터 일정계획 Transporter Scheduling for Block Transportation in the Shipyard

주철민*, 이운식**, 이강배***

* 동서대학교 시스템경영공학과

** 부경대학교 시스템경영공학과

*** 동아대학교 경영정보과학부

초록

본 논문은 조선소에서 계획기간동안 각 플랜트의 생산일정에 따른 블록의 모든 수송요구량이 미리 알려져 있는 정적인(static) 수송환경을 고려한 트랜스포터 일정계획문제를 다룬다. 조선소 내에서 블록들의 수송은 몇 가지 특성을 가진다. 500톤을 초과하는 거대 블록들은 2대 이상이 결합된 새로운 형태의 트랜스포터를 이용하여 운반된다. 운반이 요구되는 블록들 중 일부는 계획기간동안 규정된 출발요구시각에 pick-up되기를 요구하는 반면 나머지 블록들은 계획기간동안 규정된 도착요구시각 전에 delivery되기를 요구한다. 이러한 트랜스포터의 결합 및 시간 제약은 문제를 더욱 복잡하게 하는 요인이 된다. 본 논문에서는 계획기간 내에 모든 블록운반 요구사항들(출발지와 도착지, pick-up과 delivery 시각, 톤수, 결선 등)을 만족시키는 트랜스포터 일정계획문제를 다룬다. 트랜스포터 일정계획문제에서 중요한 주제는 총 로지스틱스 시간 (공차운행시간, delay 시간 및 tardy 시간)을 최소화하기 위해 계획기간 내에 최소의 트랜스포터 운영대수로 각 트랜스포터에 어떤 블록을 할당하고 어떤 순서로 운반할 것인지를 결정하는 것이다. 이에 본 논문에서는 주어진 트랜스포터 일정계획문제를 해결하기 위해, 1단계에서 최소비용 네트워크 흐름문제를 근간으로 트랜스포터의 최소사용대수를 구하고 이를 기초로 2단계에서 각 트랜스포터에의 블록 할당과 운반순서를 결정하는 2단계 휴리스틱 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

본 논문에서는 조선 산업의 생산필드에서 많은 물류비용과 생산지연비용을 유발시키는 트랜스포터의 일정계획문제를 다루고자 한다. 대상 환경으로는 계획기간동안 각 플랜트의 생산일정에 따른 블록의 모든 요구량이 미리 알려져 있는 정적인(static) 수송환경을 고려한다. 조선소 내에서 블록들의 수송은 몇 가지 특성을 가진다. 500톤을 초과하는 거대 블록들은 2대 이상이 결합된 새로운 형태의 트랜스포터를(이하 결선이라 한다.) 이용하여 운반된다. 이러한 상황은 트랜스포터 운영의 심각한 제약으로 작용되며 대형 조선소에서는 500톤을 초과하는 대형 블록의 운반이 필수적이며 경우에 따라 4대의 트랜스포터의 결선을 요구하는 경우도 있다. 운반이 요구되는 블록들 중 일부는 계획기간동안 규정된 출발요

구시각에 pick-up되기를 요구하는 반면 나머지 블록들은 계획기간동안 규정된 도착요구시각 전에 delivery되기를 요구한다. 각 블록에는 출발지, 도착지, pick-up 시각, delivery 시각, 톤수, 적재시간, 결선 등과 같은 정보가 주어진다. 이러한 블록의 이동과 관련된 요구들은 요구되는 pick-up 시각 이후에 블록이 운반될 때 발생하는 지연시간 (이하 *delay 시간*이라 한다.)과 요구되는 delivery 시각 이후에 블록운반이 완료될 때 발생하는 지연시간 (이하 *tardy 시간*이라 한다.)의 2가지 벌과시간(penalty time)을 유발한다. delay 시간의 경우 플랜트의 생산일정에 의해 pick-up시각 이전에 블록이 완성될 수 없으므로 사전에 트랜스포터의 도착시 운반이 불가능하여 트랜스포터는 대기하여야 한다. 따라서, pick-up시각은 반드시 지켜져야 한다. 또한, tardy 시간의 경우 delivery시각 이후에 트랜스포터의 도착시 플랜트에 적시에 블록이 투입되지 못하므로 블록생산이 지연되어 공정이 전체적으로 지연을 초래하게 된다. 더구나, 블록들은 조선소내의 다른 지역에 분산 배치되어 있는 관계로 어떤 트랜스포터로 어떤 블록을 운반하느냐에 따라 각 트랜스포터의 공차운행시간에 영향을 미치게 된다. 하나의 블록이 하나의 트랜스포터에 할당될 때, 다음과 같은 순서에 의해 로지스틱스 관련 시간들이 발생하게 된다.

- (1) 사용가능한 트랜스포터는 현재의 위치에서 운반요구 블록의 현위치까지 이동 하는 동안 *공차운행시간*이 발생된다.
- (2) 가능하면 블록의 pick-up시각에 맞추어 블록의 출발지에 도착한다. 이때, pick-up시각 이후에 트랜스포터가 도착하면 *delay시간*이 발생된다.
- (3) 출발지에 도착 후, 블록을 적재하기 위해서는 블록의 형상과 무게에 따라 일정한 *적재시간*이 소요된다.
- (4) 트랜스포터는 블록을 적재한 후 도착지까지 이동한다. 이 때 *적재운행시간*이 발생되며 적재시간 및 하역시간은 모두 여기에 포함된다.
- (5) 트랜스포터가 delivery 시각 이후에 도착하게 되면 *tardy 시간*이 발생된다.
- (6) 운반 후, 트랜스포터는 다음 블록을 운반하기 위해 현 위치에서 대기한다.

조선소내의 로지스틱스 비용을 절감하기 위해서는 최적의 트랜스포터 운영시스템을 구축하여야 하며 이를 위해 계획기간동안의 블록들의 여러 요구조건을 만족하면서 총 로지스틱스 시간을 최소화하도록 트랜스포터의 종류별 적정규모 결정, 각 트랜스

포터별 효율적인 경로 및 일정 계획을 수립해야 한다. 따라서 본 논문의 목표는 정적인 수송환경에서 트랜스포터의 이동 거리에 따른 이동시간을 최소화하고 트랜스포터의 공차운행시간을 최소화하기 위한 블록의 할당과 운반순서를 동시에 결정할 수 있는 일정계획 알고리즘을 개발하고 동시에 적절한 트랜스포터의 보유 대수의 결정방법을 개발한다.

만일 몇몇 블록들이 하나의 특정한 트랜스포터에 의해 운반되기로 사전에 결정되고 결선에 의한 운반형태가 없다면, 이러한 트랜스포터 일정계획문제는 운반하고자 하는 블록의 수를 노드수로 하는 traveling salesman problem(TSP)와 유사하다. 또한, 운반하고자 하는 블록을 job으로 하는 time-dependent setup time을 갖는 단일기계 일정계획문제 그리고 블록을 하나의 위치로 보는 차량경로문제 (vehicle routing problem) 등과 유사하다 할 수 있다. 이는 블록의 운반순서에 의해 트랜스포터의 공차운행시간이 발생하며 공차운행시간을 최소화하는 운반계획을 결정하는 것이 요지임을 알 수 있다. 그러나, 대부분의 TSP와 달리 본 과제는 블록들이 요구하는 pick-up 시각과 delivery 시각에 대한 제약이 존재하므로 문제를 더욱 어렵게 만듦을 알 수 있다 (time constraints를 갖는 TSP). 더구나, 본 과제에서 트랜스포터는 종류별로 여러 대를 보유할 수 있으므로 트랜스포터 일정계획문제는 multiple TSP with time constraints (m-TSPTC)로 해석될 수 있다. 잘 알려진 TSP, multiple TSP, 일반적인 차량경로문제들이 Laporte 와 Osman (1995), Crainic 과 Laporte (1998) 그리고 Chao (2002)에 의해 조사되었다. m-TSPTC는 NP-hard 문제라고 알려져 있다; 더구나, Savelsbergh (1985)는 차량대수가 미리 주어질 때, 운행비용을 최소화하는 차량경로문제조차 NP-complete임을 증명하였다. TSP에 대한 최적해를 제공하는 알고리즘은 Baker(1983)에 의해 Branch-and-Bound 기법을 기초로 개발되었다. Salvels-bergh(1985)는 TSPTC에 대한 interchange 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Desrosiers 등(1988)은 최소 차량대수를 구하기 위해 확장된 라그랑주 기법을 기초로 한 알고리즘을 제시했다. Dumas 등(1995)은 최적해를 찾기 위한 동적계획법 알고리즘을 제안한 반면 Langevin 등(1993)은 branch-and-cut 알고리즘에 의해 풀 수 있는 two-commodity flow problem를 개발하였다. Bianco 등(1998)은 선후제약식을 갖는 TSPTC를 풀기 위한 2단계 동적계획법에 기초한 알고리즘을 제안하였다. Gendreau 등(1998)은 insertion과 post-optimization 기법을 결합한 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. Pesant 등(1998)은 logic constraint programming에 기초한 기존의 논문과 차별된 알고리즘을 제시하였다. Calvo (2000)는 greedy insertion 기법에 기초한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Bard 등(2002)은 시간제약을 갖는 차량경로문제에서의 최소 차량대수 결정문제를 다루었으며 branch-and-cut에 기초한 알고리즘을 개발하였다. 수송시스템에서 차량대수결정문제를 다루는 또 다른 분야로는 자동화된 제조시스템에서의 AGV 시스템들과 관련된다. Maxwell과 Muckstadt (1982)는 계획기간동안 수송요구량이 주어질 때, AGV의 최소 대수를 결

정하는 수리모형을 제안하였다. 고창성 등(2000)은 컨테이너 수송시스템에서 차량대수 및 차량경로 결정에 insertion 알고리즘을 제시하였다. Koo 등(2004)은 컨테이너 수송시스템에서 수송요구량을 수행하기 위한 차량대수 및 차량경로를 동시에 결정하는 2단계 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. 또한, 또 다른 관련 연구분야로 다종의 차량을 수송수단으로 이용하여 생산로트크기와 차량의 종류별 사용 대수를 결정하는 통합 생산-수송 시스템이 있다. 이운식 등(2001)은 다종제품의 생산로트크기와 다종 컨테이너 수송정책을 동시에 수립하기 위한 한계비용계수에 기반한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Lee 등(2003)은 단일제품의 최적 생산로트크기와 다종 차량의 최적 수송정책을 동시에 결정하는 동적계획법 알고리즘을 개발하였다. 조선생산공정에서 블록의 생산 및 배치와 관련된 최근 연구들을 정리하면 다음과 같다. 박명환 등(1995)는 국내 조선산업의 개요와 산업공학적인 관점에서의 응용분야들을 조사하였다. 고시근 등(1999)은 조선소 내에서 곡블록 조립공장에서의 조립일정계획문제를 다루었고 유전자 알고리즘을 이용한 일정계획의 수립 방안을 제안하였다. 하태룡 등(2000)은 조선소 내에서 선각 평블록 조립공장에서의 효율적 일정계획 수립을 위한 혼합 유전자 알고리즘을 제시하였다. 정귀훈 등(2001)은 조선도장공정에서의 효율적 공간일정계획 수립을 위한 시간할당, 공간할당, 부하균형 등을 고려한 일정계획 알고리즘을 개발하였다. 그러나, 조선소 내에서의 트랜스포터 일정계획에 대한 연구는 고가의 장비구입으로 인한 투자비용과 고가의 운전비용으로 인해 로지스틱스 비용의 절감을 통한 생산성 향상 측면에서의 중요성에도 불구하고 관련 연구는 미미한 실정이다. 또한, 대형선박 건조시 발생하는 결선과 같은 특수한 상황을 반영할 수 있는 일정계획문제, TSP, 차량경로문제의 연구들에 대한 관심도 미미한 형편이다.

2. 본론

본 논문에서 제시하는 트랜스포터 일정계획의 전체 절차는 <그림 1>과 같이 요약할 수 있다.

$$\sum_{j \in B'} y_{iEk} = 1 \quad k \in T$$

$$y_{ik} = 0 \quad \text{모든 불가능한 } i, k \text{ 조합}$$

$$x_{ik}, d_{ik}^+, d_{ik}^- \geq 0 \quad i \in B, k \in T$$

$$y_{ik} = 0 \text{ 또는 } 1 \quad i \in B, k \in T$$

$$y_{ijk} = 0 \text{ 또는 } 1 \quad i, j \in B, k \in T$$

2-2. 휴리스틱 알고리즘

앞에서 주어진 최적화 모형을 이용하여 각 트랜스포터종류별 수량이 결정된 후의 최적 트랜스포터 일정계획을 구할 수도 있으나, 문제의 규모가 커질수록 그 시간과 노력이 기하급수적으로 증가하므로, 실제의 실시간 일정계획을 위해서는 보다 효율적인 탐색적인 해법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 각 트랜스포터별 블록 할당과 운반순서의 결정을 위해 다음과 같은 절차를 갖는 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다.

- Step 1. 현재시각(Tnow)를 0으로 초기화한다.
- Step 2. 현재시각에 운반가능하지만 아직운반되지 않은 블록리스트(CL)를 pick-up 시각을 기준으로 작성한다.
- Step 3. AV(Available한 차량)중 임의로 한 차량을 선정하고 다음의 할당 규칙에 의하여 운반 블록을 결정한다.
 - Step 3.1 차량의 운반시작시간 기준의 가능한 블록들을 대상으로 할당
 - Step 3.2 운행예상시간(공차운행시간+ 적재운행시간)을 기준으로 가능한 delivery 시간 내에 운반이 완료되도록 블록 할당
 - 가장 가까이 있는 블록을 대상 (Closest Unscheduled Block)
 - 가능하지 않다면, 지연시간이 최소화 되도록 할당

Step 4. 선정된 블록 및 차량에 대한 데이터를 갱신한다.

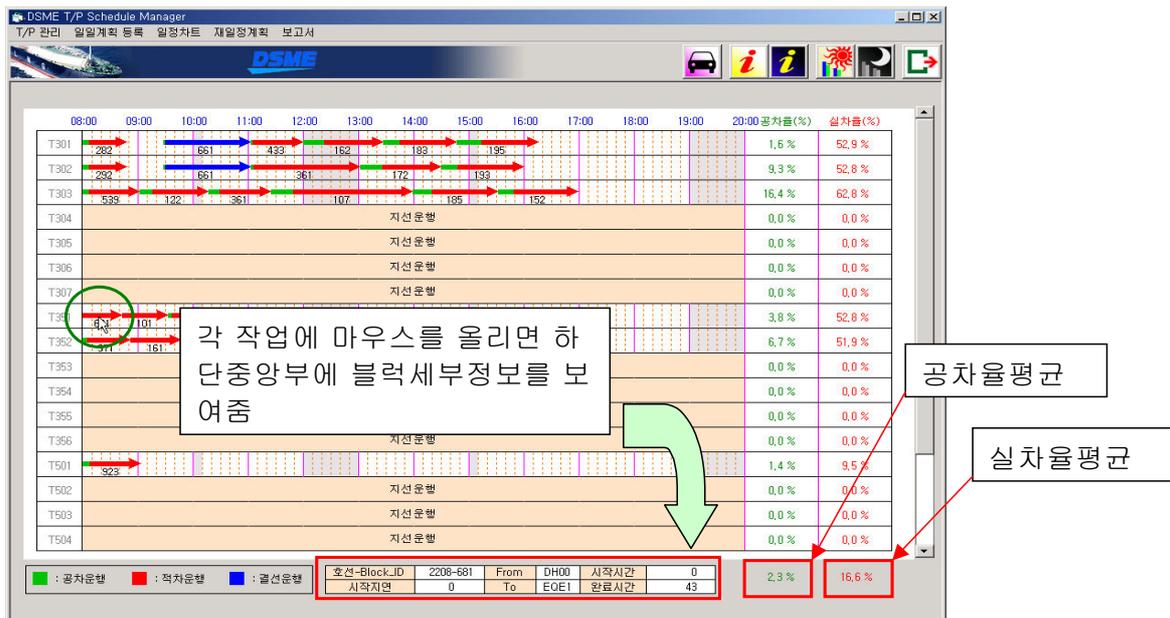
- 해당 블록을 CL에서 삭제
- 차량 가용성 수정, $|AV| = |AV| - 1$
- 해당 차량이 선택된 블록을 운반완료 하는 시간 계산 ($CT = Tnow + \text{공차운행시간} + \text{적재운행시간}$)

Step 5. CL의 상태에 따라

- IF $|CL| = 0$ and 모든 block 운반 완료, THEN 알고리즘 종료
- IF $|CL| = 0$ and 미완료: Tnow에 운반할 Block이 없는 경우, THEN $Tnow = \min(\text{Block이 운반 준비가 되는 시점})$ 으로 변경하고 Tnow에서 차량과 블록 데이터를 수정한후 단계 2로 간다.
- IF $|CL| > 0$ and $|AV| = 0$, THEN $Tnow = \min(\text{차량이 가용하게 되는 시점})$ 으로 변경하고 Tnow에서 차량과 블록 데이터를 수정한 후 단계 2로 간다.
- IF $|CL| > 0$ and $|AV| > 0$, THEN 단계 3으로 간다.

2-3. 적용

본 논문에서 제시한 트랜스포터 일정계획의 전체 절차는 개발된 휴리스틱 알고리즘을 근간으로 시스템화 하고(<그림 2> 참조), D 조선소의 실제 현장 데이터를 이용하여 적용하여 보았다. 사용한 데이터는 하루 총 36개의 블록이동을 요구하고 현재 6대의 트랜스포터를 이용하여 주야간 운영하고 있다. 동일 환경의 데이터를 본 논문의 알고리즘을 근간으로 한 시스템을 이용하여 수행한 결과 총 3대의 트랜스포터로 주간만 운영하여도 모든 블록의 이동을 완료할 수 있었다. 결론적으로 35%의 트랜스포터 가동율을 90%까지 끌어올림으로써 그 효율을 극대화 할 수 있었다.



<그림 2 : 일정계획 화면>

3. 결론

본 논문에서는 조선소에서 계획기간동안 각 플랜트의 생산일정에 따른 블록의 모든 수송요구량이 미리 알려져 있는 정적인(static) 수송환경을 고려하여 총 로지스틱스 시간을 최소화하도록 트랜스포터의 종류별 적정규모 결정, 각 트랜스포터별 효율적인 경로 및 일정 계획을 수립하는 트랜스포터 일정계획의 절차를 제시하였다. 제시된 절차는 1단계에서 최소비용 네트워크 흐름문제를 근간으로 트랜스포터의 최소사용대수를 구하고 이를 기초로 2단계에서 각 트랜스포터에의 블록 할당과 운반순서를 결정하는 2단계 휴리스틱 알고리즘으로 구성되어 있다. 제시된 트랜스포터 일정계획의 전체 절차는 개발된 휴리스틱 알고리즘을 근간으로 시스템화 하고, D 조선소의 실제 현장 데이터를 이용하여 적용하여 보았다. 향후 개발된 휴리스틱 알고리즘은 보다 일반적인 상황에서 본 논문에서 제시된 최적모형을 이용한 최적해와의 비교를 통해 계산시간 및 비용 측면에서의 효율성을 평가할 할 것이다. 또한 보다 나은 해를 탐색하기 위해 유전알고리즘등의 탐색방법의 접목도 연구할 것이다.

트랜스포터 일정계획문제를 해결하기 위한 절차의 효율성 및 효과가 검증되면, 이는 조선소내의 로지스틱스 합리화를 위한 체계적인 연구와 이론적 근거를 제공함으로써 다양한 학문적 연구의 토대를 마련하고, 결과로 얻어지는 다양한 적용이론과 일정계획 방안들은 실시간 배차환경의 동적 수송상황에 대한 트랜스포터 일정계획을 수립하기 위한 이론적 근거를 제시할 수 있다. 또한, 그 중요성에 비해 상대적으로 간과되어 왔던 트랜스포터의 효율적 운영에 대한 연구와, 이 분야에서의 로지스틱스 합리화에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 고시근, 박주철, 최용선, 주철민, “고정정반 블록 조립 작업장의 일정계획 시스템 개발”, 산업공학 12(4), 586-594 (1999).

[2] 고창성, 정기호, 신재영, “컨테이너 셔틀운송을 위한 차량 대수 결정”, 경영과학 17(2), 87-95 (2000).

[3] 박명환, 이운식, 옥영석, 이태억, “국내 조선산업의 개요와 국내외 산업공학관련 연구”, 산업공학 8(2), 5-20 (1995).

[4] 이운식, 정한섭, 이강배, “다종의 화물컨테이너를 고려한 다중제품 동적 로트크기결정 및 운송계획 모형”, 한국설비보전공학회지 6(2), 83-102 (2001).

[5] 정귀훈, 백태현, 민상규, 김형식, 박주철, 조규갑, 박창규, “조선공업에서의 공간일정계획 시스템의 개발 및 응용”, 산업공학 14 (4), 394-402 (2001).

[6] 하태룡, 문치용, 주철민, 박주철, “선각 평블록 조립공장 일정계획을 위한 혼합 유전 알고리즘”, 경영과학 17(1), 135-143 (2000).

[7] Baker, E. K., "An Exact Algorithm for the Time-Constrained Traveling Salesman Problem", Opns. Res. 31, 939-945 (1983).

[8] Bard, J. F., G. Kontoravdis, and G. Yu, "A Branch-and-Cut Procedure for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", Transportation Sci. 36, 250-269 (2002).

[9] Bianco, L., A. Mingozzi, and S. Sicciardelli, "Dynamic Programming strategies for the Traveling Salesman Problem with Time Windows and Precedence Constraints", Opns. Res. 45, 365-378 (1998).

[10] Calvo, R. W., "A New Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows", Transportation Sci. 34, 113-124 (2000).

[11] Chao, I. M., "A Tabu Search Method for Truck and Trailer Routing Problem", Computers and O.R. 29, 33-51 (2002).

[12] Crainic, T. G. and G. Laporte, Fleet Management and Logistics, Kluwer Academic Publishers (1998)

[13] Desrosiers, J., M. Sauve, and F. Soumis, "Lagrangian Relaxation Methods for Solving the Minimum Fleet Size Multiple Traveling Salesman Problem with Time Windows", Management Sci. 34, 1005-1022 (1988).

[14] Dumas, Y., J. Desrosiers, E. Gelinas, and M. M. Solomon, "An Optimal Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows", Opns. Res. 45, 367-371, (1995).

[15] Gendreau, M., A. Hertz, G. Laporte, and M. Stan, "A Generalized Insertion Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows", Opns. Res. 46, 330-335 (1998).

[16] Koo, P. H., W. S. Lee, and D. W. Jang, "Fleet Sizing and Vehicle Routing for Container Transportation in a Static Environment", OR Spectrum 26, 193-209 (2004).

[17] Langevin, A., M. Desrosiers, J. Kesrosiers, and F. Fomis, "A Two Commodity Flow Formulation for the Traveling Salesman and Makespan Problems with Time Windows", Network 23, 631-640, (1993).

[18] Laporte, G. and H. Osman, "Routing Problems: a Bibliography", Annal of O.R. 61, 227-262 (1995).

[19] Lee, W. S., C. H. Kim, and C. R. Sox, "A dynamic Production and Transportation Model with Heterogenous Vehicle Types", Int. J. of Industrial Engineering 10, 420-426 (2003).

[20] Maxwell, W. L. and J. A. Muckstadt, "Design of Automated Guided Vehicle Systems", IIE Trans. 14, 114-124 (1982).

[21] Pesant, G., M. Gendreau, J.-Y. Potvin, J.-M. Rousseau, "An Exact Constraint Logic Programming Algorithm for the TSP with Time Windows", Transportation Sci. 32, 12-29 (1998).

[22] Savelsbergh, M. W. P., "Local Search in Routing Problems with Time Windows", Ann. Opns. Res. 4, 285-305, (1985).