

Multi-Pass 시뮬레이션을 이용한 제철소 구내의 스크랩 운송 실시간 스케줄링

이태하* · 박성식** · 조현보**

Real-time Scheduling of Scrap Disposal using Multi-Pass Simulation in Steel Industry

Tae-Ha Lee · Sung-Sik Park · Hyun-Bo Cho

〈Abstract〉

The relative importance of Logistics in steelworks industry is rather higher among other business activities. The objective of the paper is to propose the methodology for real-time vehicle scheduling for scrap disposal in the steelworks industry. Currently, the rule necessary to assign vehicles to a specific job is strictly fixed. The paper adopts the multi-pass rule selector (MPRS) that suggests a promising rule used for vehicle dispatching for a period of time. The MPRS is regularly invoked if necessary and then evaluates a set of rule candidates to select the best rule with respect to the system performance criteria. The experiment shows that the proposed approach outperforms the current single-pass strategy.

Key Words : Real-time vehicle scheduling, Multi-pass rule selector, Logistics, Steelworks industry

1. 서 론

현재 제철업은 원료에서 제품 출하에 이르는 긴 공정으로 인해 다른 업종에 비해 물류비용이 차지하는 비중이 매우 크다. <표 1>에서 보는 바와 같이 포항제철의 경우도 원료 수송비, 원료의 항만 하역비, 제철소 내에서의 제반 수송비, 제품 포장비, 제품 창고에서의 보관비, 제품 출하 이후 발생하는 항만 하역비 및 육송, 철송, 해송을 포함한 제반 수송 비용 등의 비용이 연간 9,000억원('96추정)에 달하며, 특히 수송비가 전체 물류비용의 70%를 차지한다. 따라서 포항제철과 같이 생산 규모가 2,000만 톤이 넘는 대형 제철소는 경쟁력 제고를 위해서 물류비용의 효율화 필요성이 대두되고 있다. 특히, 물

류비용의 대부분을 점유하고 있는 수송비의 개선이 필요하다.

〈표 1〉 포스코 물류비 규모

(단위 : 백만원)

년 도	원료 수송	제품 수송	제품 하역	구내 운송	원료 하역	제품 포장	고내 조작	계
'95	194,454	98,366	44,105	41,501	29,811	45,873	15,111	469,221
'96	187,123	99,583	45,522	43,300	35,856	43,703	13,308	468,395

자료원: 광양제철소 생산기술부

제철소의 운송 대상물은 크게 원료, 완제품, 폐기물과 재활용품으로 나눌 수 있다. 그리고 운송 작업은 용선운송을 위한 철도 수송과 부산물, 폐기물 및 일부 완제품 운반을 위한 차

* 포항공과대학교 철강대학원

** 포항공과대학교 산업공학과

량 수송으로 나뉜다. 그러나 단순히 원료와 중간 부산물의 수송에 주로 사용되는 철도 수송에 비해, 차량 운송은 다음과 같은 중요한 특성을 가지고 있다. 첫째, 발생 물량, 인력, 장비, 운송 경로 및 운송 단가 등이 계약 기간 동안 거의 고정되어 있다. 따라서 현재의 관리 방법 개선 효과는 익년도 작업 계약시에 적용된다. 둘째, 제철소 내의 운송 작업은 주공정을 지원하는 기능을 가진다. 따라서 운송작업의 효율적인 주공정 지원 여부도 평가되어야 한다. 셋째, 운송물과 차량의 형태가 다양하여 차량 기능 개선과 함께 관리의 효율화에 대한 필요성이 절실하다.

특히 제철소 내의 여러 곳에서 불규칙적으로 발생하는 다양한 형태의 재활용되는 스크랩 수거비는 차량수송 물류비용의 많은 부분을 점유하고 있다. 현재 제철소 내에서 재활용이 가능한 스크랩은 Coil형, Sheet형, Crop형, Chopper형, 건축 폐자재형 등의 다양한 형태로 수백여 개소에서 불규칙적으로 발생한다. 그리고 수집된 스크랩은 크기를 기준으로 곧바로 제강공장의 주원료로 투입되거나 별도로 마련된 장소에 모았다가 잘게 절단하여 제강 공장에 투입되는 등 그 처리 방법이 다양하다. 이러한 스크랩은 Load Luger라는 특수 수송 차량에 의해 수거되며, Loading 또는 Unloading되는 특수 박스를 사용하고 있다.

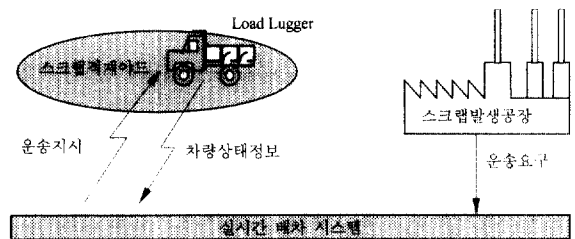
본 논문에서는 구내 운송 중에서 많은 비중을 차지하고 있는 차량 수송비, 특히 Load Luger를 통한 스크랩 운송 비용을 절감하기 위하여 Load Luger의 배차 Scheduling기법을 제안하고 현장에 적용할 수 있는 프로토타입을 개발하고자 한다. 특히, 스크랩을 처리할 수 있는 최소한의 Load Luger 대수의 결정 방법과 발생한 작업을 효율적으로 Load Luger에 할당하는 방법론 개발에 중점을 둔다.

2. Load Luger 수송 문제

2.1 현재 운송시스템의 구조

현재의 운송 시스템은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 스크랩 발생 공장, 스크랩 적재 야드, 운송 차량인 Load Luger, 그리고 실시간 배차 시스템으로 구성된다. 우선 스크랩 발생 공장은 원료 부두에서 출하 부두까지의 제철소 전 지역에 분포되어 있다. 그리고 공장에서 발생하는 스크랩류를 수거 운반하기 위하여 Load Luger를 투입하고 있으며 스크랩 적재 야드는 1야드, 2야드, 슈트동, 미니밀 스크랩 야드, MD Plant

등의 5개로 구분되어 있다. 여기서 1야드는 가공이 필요한 스크랩을, 2야드는 수입 스크랩이나 가공이 필요치 않은 스크랩을, 그리고 슈트동은 스크랩 불출을 위한 장소로 가공이 불필요한 스크랩을 적재한다. 마지막으로 미니밀 공장의 수입 스크랩을 보충하기 위한 미니밀 스크랩 야드와 철원 가공 설비인 MD Plant가 있다. 실제 접수된 운송요구를 관리하는 시스템인 실시간 배차 시스템은 발지 코드와 착지 코드를 관리하고 있으며 각 Load Luger의 회당 운송량, 공차 시간, 상하차 시간 등을 추적한다.



<그림 1> 운송 시스템 구성과 인터페이스

2.2 현재 운송시스템의 수송방법과 문제점

현재의 운송시스템은 발생지역을 5개의 영역으로 구분한 후, 각 영역마다 고정된 차량을 할당하여 운영하고 있다. 운송 요구는 스크랩 발생 장소에 설치된 단말기를 통하여 실시간 배차 시스템으로 전달되고, Load Luger의 상태는 운전자가 무선 핸드 단말을 통하여 작업 중, 대기중, 작업 불가 등의 정보를 실시간 배차시스템으로 전달한다. 단, 앞에서의 작업 중은 작업지시를 받은 시점부터 작업대기를 실시간 시스템에 알려 줄 때까지의 상태이고, 작업 불가는 휴식시간, 식사시간, 교대 시간 등의 실제 작업이 불가능한 경우를 의미한다. <표 2>는 운송 요구와 차량 상태를 고려하여 이벤트를 접수한 시점에서의 상황을 정의한 것이다. 이와 같은 운송요구와 Load Luger의 상태는 하루 24시간 관리되며, 이벤트가 발생할 때마다 상황변화를 파악하여 조치하게 된다. 특히, 상황 C는 실시간 배차 시스템이 의사 결정을 수행하여 구해진 배차 스케줄을 차량이나 스크랩 발생 장소로 알려주는 경우를 의미한다.

실시간 배차시스템은 작업 중인 차량으로부터 작업 완료 정보를 접수하면, 접수된 운송 요구 중에서 해당 차량의 작업 군이 일치하는 작업을 우선적으로 선정한다. 만약 일치하는 작업의 수가 2개 이상인 경우에는 배차 우선 순위와 등록 시간

〈표 2〉 상황의 예

구분	A	B	C	D	E	F
차량 상태	모든 차량 작업 중	모든 차량 작업 중	최소한 1대 대기	최소한 1대 대기	모든 차량 사용불가	모든 차량 사용불가
운송 요구	있음	없음	있음	없음	있음	없음
조치 유형	이벤트 접수 대기	이벤트 접수 대기	작업 지시	이벤트 접수 대기	이벤트 접수 대기	이벤트 접수 대기

등을 고려하여 지시 대상 작업을 선정한다. 다음은 현재 운영되고 있는 배차 우선 순위 기준이다.

1순위) 관제원이 지정한 운송요구 (작업 군 및 공장 지정 순위 무시):

관제원이 지정하는 경우는 특정 공장이 운영 중지되는 경우나 차량이 고장나는 경우 등의 긴급 상황에서만 지정한다. 일반적인 경우에는 지정하지 않는다.

2순위) 우선 순위로 지정된 공장에서 발생율이 50%이상인 운송요구:

작업지시할 경우 같은 우선 순위가 2개 이상 존재하면 발생율이 50%이상인 작업을 우선적으로 수행한다.

3순위) 2 순위로 지정된 공장에서 요구시간이 8시간 이상 경과한 운송요구:

2순위로 지정된 공장에서 요구시간이 8시간 이상 경과한 경우는 1순위 공장이 있더라도 위의 1순위나 2순위의 작업에 해당하지 않으면 1순위를 무시하고 해당하는 2순위를 우선적으로 수행한다.

4순위) 3 순위로 지정된 공장에서 요구시간이 20시간 이상 경과한 운송요구:

3순위로 지정된 공장에서 요구시간이 20시간 이상 경과한 경우는 1순위나 2순위의 공장이 있더라도 위의 1순위, 2순위, 3순위의 작업에 해당하지 않으면 공장별 순위를 무시하고 해당하는 3순위를 우선적으로 수행한다.

5순위) 운전자가 지정한 운송요구:

운전자가 지정하는 운송요구는 운송 시스템에 보고되지는 않았으나 운전자가 발견한 비상 사태의 경우, 관제원과의 협의를 통해서 이루어 진다. 실제 거의 발생하지 않는다.

6순위) 우선 순위로 지정된 공장에서 운송요구 중 요구 발생 시간순:

1순위의 공장중에서 운송요구 발생 시간이 긴 작업부터 수행한다.

7순위) 2 순위로 지정된 공장에서 운송요구 중 요구 발생 시간순:

2순위의 공장중에서 운송요구 발생 시간이 긴 작업부터 수행한다.

주로 경험에 의존하는 현재의 운송 시스템은 다음과 같은 단점이 있다. 첫째, 작업 지시할 경우 차량 1대만을 고려함으로써 타 차량, 혹은 다른 시점, 다른 운송 경로를 통한 작업효율 향상 가능성을 배제하고 있다. 둘째, 차량별로 작업군을 편성하여 특정 구역 작업만을 배차함으로써 특정 차량의 일시적 작업 부하에 대한 부하 배분이 고려되지 않고 있다. 셋째, 투입 차량 대수에 대한 관리가 유연성을 갖지 못하고 항상 일정 대수 투입에 1대 비상 차량 대기 체제를 유지한다.

2.3 새로운 시스템에 대한 요구사항

위와 같은 단점의 해결을 위해서는 다음과 같은 몇 가지의 필수 기능이 요구된다. 첫째, 작업 지시 시점에서 타 차량의 작업 진행 여부와 관계없이 모든 차량에 대하여 지시 대상 작업을 수행할 수 있는 경우가 고려되어야 한다. 비록 다소 늦게 작업을 시작하더라도 차량의 위치에 따라서는 더 짧은 시간 내에 작업을 완료할 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 둘째, 일시적 부하가 걸리는 작업군에 차량의 적절한 투입을 통해서 차량별 작업 부하가 분산될 수 있도록 하여야 한다. 즉, 필요에 따라서는 작업군을 해제하는 등 차량 작업지역 할당에 유연성을 부여할 수 있어야 한다. 셋째 특정 시간대에 대한 총 차량 투입 소요를 예상하여 필수 투입 차량 대수를 결정하고, 필요할 경우 여유 차량을 타부문의 작업에 전환할 수 있어야 한다.

위의 요구사항을 요약하면 기존의 하나의 배차Rule 외에도 여러가지 상황을 고려한 다양한 배차Rule의 적용이 요구된다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Multi-pass Rule Selector (MPRS)를 통해서 최적의 배차Rule을 선택한 후, 이를 사용하여 대상 작업을 선정하고 작업 지시를 내리는 방법을 구현하고자 한다. 여기서 MPRS는 과거의 운송 요구 발생 패턴을 분석하고 운송 요구 발생을 예측하여 다수의 배차Rule중 최적의

Rule을 도출하는 방법론이다.

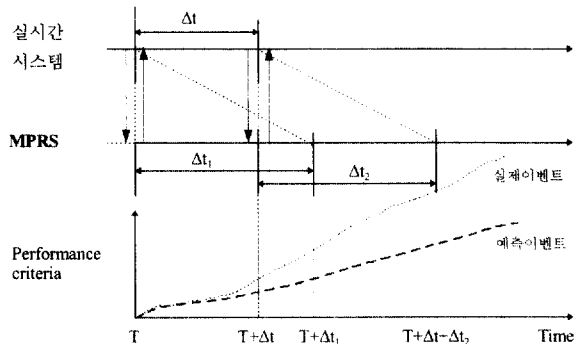
3. Multi-Pass Rule Selector를 이용한 운송 시스템

3.1 기본 개념

일반적으로 많이 사용되는 One-Pass Simulation은 하나의 Rule을 적용하여 그 결과를 생성하는 방법론이다. 이에 비해 Multi-Pass Simulation은 시스템의 여러가지 Rule중에서 MPRS를 사용하여 최적의 Rule을 선택한 후, 선택된 Rule을 적용하여 결과를 얻는 방법론이며, 기본적으로 Look Ahead Scheduling 방법과 일치한다. 여기서 MPRS는 여러 개의 Rule을 동시에 검토하여 해당 시간대에 가장 적합한 Rule을 찾는 방법론이다. MPRS는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 현재(T) 시점에서의 차량 및 운송 요구 정보를 받아 MPRS Window로 정의된 Δt_i 시간 동안의 이벤트를 예측하고 의사 결정을 위한 여러가지의 Rule들을 실험하여 가장 바람직한 결과를 내는 Rule 하나를 선택한다. 그리고 그 결과는 실시간 시스템으로 입력됨으로써 실제 시스템의 Rule로 사용된다. 그러나 이러한 예측은 시간이 흐름에 따라서 그 정확도는 감소하게 되고, 장기적으로는 많은 오류가 발생한다. 그래서 동시에 시스템의 Performance를 일정한 Criteria를 통해서 관리하고 원하는 오류범위를 벗어나면 다시 MPRS를 재구동하여 새로운 Rule을 선택한다. <그림 2>에서는 T시간에서 MPRS로 Δt_i 만큼의 시간을 예측하여 Rule을 선정하였으나 Performance Criteria에 의해서 Δt_i 시간에 오류범위를 벗어나서 $T+\Delta t_i$ 시간에 다시 MPRS를 구동하여 Δt_i 만큼 예측하고 $T+\Delta t_i+\Delta t_i$ 까지 수행될 새로운 Rule을 선택하는 과정을 보여준다. 만약 T에서 예측한 Rule이 Δt_i 까지 오류범위를 벗어나지 않으면 $T+\Delta t_i$ 에서 MPRS를 수행하여 새로운 Rule을 선택하게 된다.

그러나 이러한 MPRS 방법론에서는 이벤트 예측방법, 예측 시간의 길이를 나타내는 Window의 길이의 결정, 실제 현장에서 구현할 때 실시간 관리를 가능하게 하는 Rule의 개수의 결정, Rule을 선택하는 Performance Criteria 선정 등의 몇 가지 선결되어야 할 문제들이 있다. (Cho 1993, Wu and Wysk 1989) 아래에서는 이러한 문제에 대해서 보다 자세히 알아본다.

우선 MPRS에서 가장 중요한 것은 정확한 미래, 즉 이벤트 발생의 정확한 예측이다. 미래의 이벤트를 보다 정확하게 예측하기 위해서는 정확하고 충분한 양의 과거 데이터가 필요하다. 즉, 각 지역의 스크랩 발생 빈도, Load Lugger 상태 및 이



<그림 2> 실시간 시스템과 MPRS

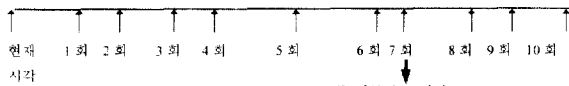
동 속도, 그리고 스크랩 발생 지역과 적재 장소 사이의 이동 거리 등과 같은 매개변수 정보가 필수적이다. 본 논문에서는 비록 적절한 형식은 아니지만 현재 운영되고 있는 시스템에 저장된 한달 간의 데이터를 통해서 필수 매개 변수들을 추론하여 찾아냈다. 우선 휴식 시간과 식사 시간 등으로 인한 Load Lugger의 상태와 Load Lugger의 이동속도 등은 회사에서 정한 표준으로부터 얻고, 스크랩 발생 지역과 적재 장소 사이의 이동거리 등은 지난 한달 간의 데이터와 직접 얻었다. 반면 각 지역의 스크랩의 발생 빈도는 한달 간의 데이터로는 부족하여 이를 기준으로 추론하였다. 우선 지역에 관계없이 각 작업의 발생 시간 분포를 구한 후 이를 기준으로 작업을 발생시켰다. 그리고 각 작업의 발생지역과 특성 등을 나타내는 작업코드를 한 달간 발생한 총 작업과 해당 작업코드의 비율로 정하였다. 이는 비록 장기간에 걸친 데이터로부터 직접적으로 얻은 데이터가 아니므로 정확하지는 않지만, 일반적으로 MPRS는 이들 데이터를 계속 수집 및 보완하면서 운영되므로 각각의 매개 변수의 정보는 정확도가 계속 높아질 것으로 예상된다.

본 논문에서 MPRS가 예측하는 이벤트는 작업 지시 시점, 그 시점에서의 차량 상태, 그리고 운송 요구 상태이다. 그리고 실시간 시스템은 MPRS에 의해 추천된 Rule에 의해 차량을 배치한다. 이러한 예측은 과거 실적으로부터 추출한 일정한 패턴에 따라 이루어지며 MPRS가 장시간의 실적 데이터를 보유할수록 예측의 정확도는 높아진다. 그러나 MPRS의 이벤트 예측의 정확도는 시간이 흘러감에 따라 확률적으로 틀릴 가능성이 높아지므로 필요한 경우 MPRS를 재적용하여 Rule을 다시 개선할 필요가 있다. 이를 위해서는 우선 MPRS를 재적용할 시간의 간격을 결정해야 한다. 본 논문에서 이러한 시간은 경험이나 확률적인 계산을 통해서 초기에 사용자가 임의의 시

간 Δt 로 정의한다. 그리고 $T+\Delta t$ 이 되면, MPRS를 다시 시작한다. 따라서 t 는 MPRS를 기본적으로 재시동하는 시간이므로 그 길이의 결정이 중요하다. 그러나 합리적인 Δt 를 구하기는 일반적으로 어렵다. 따라서 주어진 Δt 에 관계없이 항상 시스템의 오류 허용범위를 넘지 않도록 유지할 수 있는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 오류 허용범위를 설정하고 일정한 Performance Criteria를 통해서 이를 관리함으로써 이를 해결한다. 즉 만약 MPRS가 예측한 결과와 실제 이벤트 발생의 오차가 일정 수준 이상인 경우에는 $T+\Delta t$ 에 관계없이 MPRS를 현재의 시점에서 다시 수행시킴으로써, MPRS의 미래 예측과 이를 통한 Rule의 선택 결과의 정확성을 항상 유지시킨다.

그리고 MPRS를 재적용할 시기를 결정하는 평가기준도 필요하다. 현재 작업 지시 시점에 대한 예측은 그 시점에서의 최소한 1대 이상의 대기중인 차량의 위치와 최소한 1개 이상의 특정운송 요구의 개수를 포함한다. 따라서 MPRS는 상기의 항목들을 평가하게 되며 이 평가 결과에 의거하여 앞서 가는 MPRS를 현재 시점으로 되돌릴 것인가를 판단하게 된다. 본 논문에서의 MPRS가 사용하게 되는 평가 기준은 다음과 같다.

첫째, 작업 지시 시점에 대한 평가 기준으로 예측 시점과 실제 시점의 차이가 ± 5 분 이내에 들면 예측 결과가 신뢰성이 있는 것으로 판단하고 ± 5 분을 벗어나면 신뢰성이 없는 것으로 판단하여 -1점을 부여한다. 둘째, 예측된 작업지시 시점에서의 대기 차량의 위치에 대한 평가로 특정 차량이 예측된 야드에 있지 않으면 예측 신뢰성이 없는 것으로 판단하여 -1점을 부여한다. 셋째, 예측된 작업 지시 시점에서의 등록된 운송 요구 상태이다. 즉, MPRS가 지시한 운송요구가 예측된 시점에 등록되어 있는가에 대한 평가로 등록되어 있지 않으면 -1점을 부여한다. 상기 기준에 의해 평가된 점수가 -5점이 되면



예측횟수	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
차량상태				-1			-1	-1	-1	
운송요구							-1	-1	-1	
시점(± 5)			-1	-1	-1			-1	-1	
누적점수			-1	-3	-4	-4	-6	-9	-12	

(그림 3) 이벤트 예측의 정확도 관리표

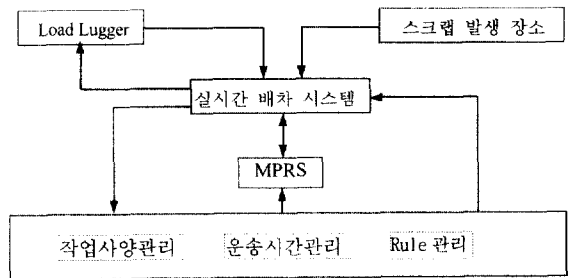
본 모델에서는 앞서 가는 MPRS를 현재 시점으로 되돌려 보다 더 현실적인 예측을 수행하게 된다. <그림 3>은 7번째의 이벤트 발생시점에서 누적점수가 -6점이므로 MPRS를 다시 수행시켜야 한다는 것을 보여준다.

한편, MPRS가 해결해야 할 상황의 종류가 많고 각 문제의 해결을 위한 Rule의 종류가 또한 많으면 MPRS는 실시간으로 그들을 평가하기가 곤란하게 된다. 이 같은 경우, 신경망이나 전문가 시스템 등이 Rule의 수를 2~3 개 정도로 줄이는 역할을 할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 문제의 크기와 Rule의 개수를 고려할 때 이와 같은 방법론을 이용할 필요가 없었다.

위와 같은 방법론을 통해서 일정 시간 동안의 운송 요구를 예측한 후, 차량의 위치와 운송 시간을 고려하여 작업 사양으로부터 작업 지시 시점을 예측하여 최적의 작업 지시 Case를 반복적으로 선정한다. 이때 각각의 Rule별로 작업 지시 경로가 모두 만들어지고, 이를 Multi-path라고 한다. 그 후 MPRS는 Multi-Pass중 최적의 Rule 한 개를 선정하여 실시간 시스템에 알려주면, 실시간 시스템은 이 결과에 의해 제시된 Rule을 기준으로 실제 작업 지시를 결정하게 된다. 작업 지시가 가능한 여러 경로 중 최적의 작업 지시 경로를 선택하는 기준인 Performance criteria는 차량 투입 소요를 최소로 하는 것으로 정하였다.

3.2 MPRS를 이용한 운송 시스템의 구성 요소

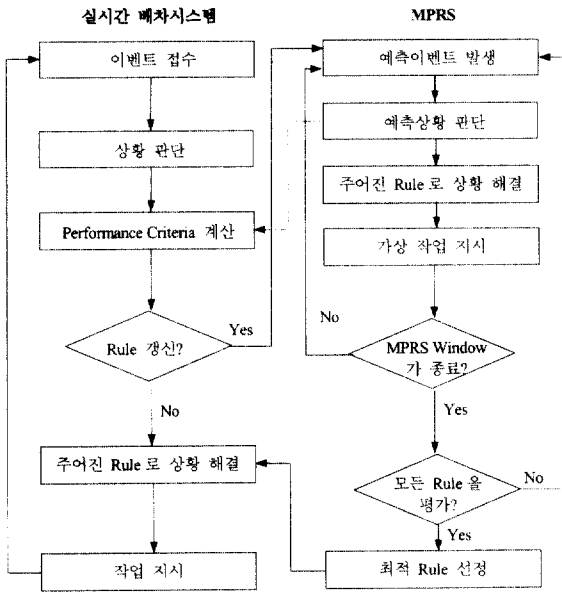
MPRS를 이용한 운송 시스템은 <그림 4>에서 보이는 바와 같이 크게 실시간 배차 시스템, MPRS, 작업 사양 관리, Rule 관리, 운송 시간 관리 모듈로 구성된다.



(그림 4) 운송 시스템의 구성요소

실시간 배차시스템은 스크랩 발생 장소와 Load Luger에서 들어오는 이벤트 정보를 접수한 후, 그들이 작업 지시를 요구

하는가를 판단한다. MPRS는 MPRS Window에서 발생할 이벤트를 예측하고 가상으로 등록된 모든 Rule을 반복적으로 적용함으로써 최소 차량 투입을 제공하는 Rule을 찾게 된다. 작업 사양 관리는 계량 코드, 물량 실적, 발생 빈도 실적, 작업군, 공장 우선순위 등의 Load Luger 작업의 사양을 관리한다. 운송 시간 관리는 차량이 지시를 받은 시점으로부터 도착 장소로 이동하여 빈 스크랩 박스를 내려 놓고 채워진 스크랩 박스를 상차하고 주행하여 차지 장소에 도착 및 하화한 후 작업 완료 정보를 핸드 단말을 통해 보내 왔을 때까지의 시간을 관리한다. 마지막으로 Rule관리는 최적의 작업 순서를 선정하는 방법들을 관리하게 된다. 이러한 개념을 수행할 수 있는 운송 시스템 모델의 흐름도는 <그림 5>와 같다.



<그림 5> MPRS를 이용한 운송 시스템의 흐름도

MPRS를 이용한 운송시스템은 실시간 배차시스템과 MPRS의 두개의 모듈로 구성된다. 우선 실시간 배차 시스템은 차량 상태 정보와 운송 요구 이벤트를 접수한다. 그리고 접수된 이벤트를 가능한 차지, 운송 시간 패턴, 공장 지정 우선순위 등의 작업사양과 현재 시스템의 상황을 분석하여 Rule갱신이 필요한지 여부를 판단한다. 만약 Rule갱신이 필요하지 않으면 MPRS가 제시한 Rule을 이용하여 최적작업을 지시하고 Performance criteria에 의해 Rule갱신이 필요하다면 MPRS를 현재 시점으로 되돌려 현재의 차량과 운송요구에 의해 최적의 Rule을

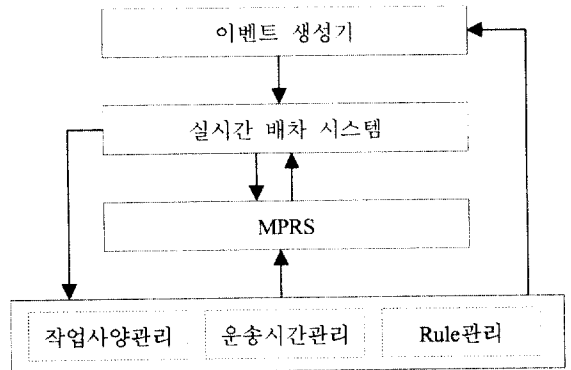
재선정토록 한다.

한편, MPRS의 재 수행 시, 실시간 배차 시스템으로부터 거의 이벤트 정보를 넘겨받은 MPRS는 현재의 차량 및 운송 요구 정보를 가지고 예측 이벤트를 발생시킨다. 시간이 진행됨에 따라 의사 결정이 필요한 상황이 발생하면 첫번째 실험할 Rule을 이용하여 문제를 해결한다. 앞에서와 같은 방법을 통해서 가상적으로 작업 지시를 수행하고 작업에 필요한 시간 만큼 진행시킨다. 만약 MPRS Window 길이에 도달되었으면, MPRS Window 시작 시점부터 완료 시점까지의 운송 실적 정보를 수집하고 Rule의 효율성을 계산한다. 다음으로 MPRS Window의 처음 시간으로 돌아가 모든 각 Rule에 대하여 같은 작업을 반복한다. 이렇게 하여 초기에 입력된 모든 Rule들에 대하여 평가가 완료되면, 각 Rule 중에서 차량 투입 공수가 최소인 Rule을 선정하여 실시간 배차 시스템에 알려준다.

4. 실험 계획 및 분석

4.1 실험 모델 구축

실험 모델에서 Load Luger와 공장은 이벤트를 발생시키는 이벤트 생성기로 대체되며 작업 사양과 운송 사양은 실적을 반영하였다. 그리고 Rule관리는 기존의 Rule을 포함하여 여러 가지의 Rule을 입력, 수정, 삭제할 수 있도록 설계되었다. <그림 6>은 실험을 위해 구현된 시스템 구조이다.



<그림 6> 실험 모델용 시스템 구조

본 실험의 주 관심 대상은 최적의 배차를 실현할 수 있는 Rule을 선택하는 방법론과 기존의 운송시스템과의 효율성의 차이를 실험적으로 검증하는 것이다. 따라서 본 모델에서는 기

존의 시스템에서 적용하고 있는 방법론과 새로운 방법론, 즉 MPRS를 이용한 운송 시스템의 실험 모델을 동일한 조건 하에서 실험을 통하여 비교 평가하고자 한다. 그러므로 현재 운영되는 운송 시스템의 현황을 다음과 같이 실험 모델에 맞게 일부 내용을 변경하여 적용할 필요가 있다.

- 1) 운송 요구 Box 수 : 실제로는 1회 N박스의 운송 요구를 실험에서는 1회 1박스의 운송요구를 N회 발생
- 2) 운송 착지의 유연화 : 실제로는 발생 개소별로 착지가 고정되어 있으나 경량 스크랩(2야드, 슈트동, 미니밀 착지)에 한해 필요 시 착지 변경 기능부여
- 3) 관제원, 운전원 개입 가능성 배제 (실제 시스템의 Performance에 큰 영향을 미치지 않고 실험 모델에 적용이 곤란)

또한 변경된 현황에 맞추어 현재 고려할 Rule중 하나인 배차 우선 기준을 실험 환경에 맞게 재조정하였다. 재조정된 배차 우선 기준은 다음과 같다.

- 1) 순위 1 : 대기차량의 작업군에 해당하는 운송작업
- 2) 순위 2 : 공장 지정 순위가 1인 작업의 보유 박스 대비 운송 요구 박스가 50% 이상인 작업
- 3) 순위 3 : 등록 시간이 8시간 이상 경과한 공장 지정 순위 2의 등록 순
- 4) 순위 4 : 등록 시간이 20시간 이상 경과한 공장 지정 순위 3의 등록 순
- 5) 순위 5 : 공장 지정 순위가 1인 작업의 운송 요구 박스가 많은 작업
- 6) 순위 6 : 공장 지정 순위가 2인 작업의 운송 요구 박스가 많은 작업

이렇게 하여 현재 운영되고 있는 Rule과 새로운 방법론에서 고려할 Rule들을 실험 모델에 맞추어 변경하면 <표 3>과 같이 정의할 수 있다. 단, 본 실험에서 기존의 Rule은 Rule 1로 정의한다. <표 3>에서 보는 바와 같이 실험에 적용한 Rule은 Rule 1 ~ Rule 9까지 모두 9가지이다. Rule 1은 위에서 정의된 것과 같이 기존의 Rule을 변형한 형태이고 Rule 2 ~ Rule 9는 차량 투입 시간, 야드 물량 배분, 서비스 시간, 작업 군, 공장 지정 우선순위, 등록 시간 등의 항목을 하나 또는 2가지 이상을 혼합하여 만든 Rule들이다. 특히, 상기 Rule에 포함된

항목 중 서비스 시간, 차량 투입 소요, 야드 물량 만족은 기존의 모델에서 새로 추가된 평가 요소이다. 서비스 시간은 운송 요구 등록 이후 운송 완료까지의 소요 시간을 나타내고, 차량 투입 소요는 작업 지시 Case별 차량의 순 작업 시간을 의미한다. 그리고 야드 물량 만족은 착지 야드별 물량 배분 계획 비율과 예상 배분 비율의 근접 정도에 대한 평가 요소이

<표 3> 본 논문의 실험에 사용된 Rules

Rule No	운송 요구 중 지시 대상 작업 선정 기준
1	작업군*, 배차 우선 기준 (1)
2	작업군, 서비스 시간(3), 야드 물량 만족(2), 차량 투입 소요(1)
3	작업군, 차량 투입 소요(3), 서비스 시간(2), 야드 물량 만족(1)
4	작업군, 야드 물량 만족(3), 서비스 시간(2), 차량 투입 소요(1)
5	서비스 시간(1)
6	차량 투입 소요(1)
7	야드 물량 만족(1)
8	서비스 시간(3), 야드 물량 만족(2), 차량 투입 소요(1)
9	차량 투입 소요(3), 서비스 시간(2), 야드 물량 만족(1)

.. *는 차량 작업 지역과 운송 요구 작업군을 반드시 만족
 .. ()안의 숫자는 선택할 수 있는 작업 지시 Case의 최대 개수

다.

본 모델의 실험에서는 차량 투입 대수와 운송 방법론으로 각 경우를 나누어서 실험하였다. 우선 투입 차량 대수는 5대와 4대인 경우로 나누었고, 운송방법론은 기존의 방법론과 MPRS를 적용한 새로운 방법론으로 나누었다. 그리고 보다 정확한 정보를 얻기 위해서 각 경우마다 20회씩, 총 80회를 실험하였다. 또한 각 실험 결과에 대하여 차량의 총 투입 시간, 현장 운송 요구에 대한 서비스 시간 등을 비교 분석하였다.

4.2 실험 결과

<표 4>는 Rule 1에 대해서 차량 수를 5대로 하였을 때의 실험 결과이다. 단 차량별 평균은 각 실험에서 각 차량별 투입 시간을 구하여 이의 평균으로 설정하였고, Min과 Max는 의미하는 바와 같이 차량별 투입시간이 가장 작은 경우와 가장 큰 경우이다. 그리고 작업율은 평균 차량별 투입시간을 차량 투입시간으로 나눈 값이다. 각 Column은 각 차량별 구분이고,

맨 마지막 Column의 전체 소요시간은 실험대상 운송시스템의 전체 소요 시간이다. 즉, Min Row의 시스템 합계 Column은 각 실험 중에서 전체 운송 소요시간이 최소인 경우를 의미한다. 실험 결과 발생한 운송 요구를 모두 처리하는 데 소요되는 시간은 차량별로 큰 차이를 보이고 있다. 즉 1호차 작업 시간이 평균 20,229분인데 비해 5호차는 8,356분으로 3배 이상의 차이가 났다. 이는 작업군을 설정할 때 작업군별 작업 물량에 대한 고려가 미흡하였고, 이러한 부적절한 작업군 편성은 차량별 작업 시간의 편중의 원인이 되었다고 볼 수 있다.

〈표 4〉 Rule1을 이용하여 차량 5대 투입 시 차량 작업 시간

(단위 : 분)

실험결과	1호차	2호차	3호차	4호차	5호차	전체 소요시간
Min	19399	12331	15012	17058	7711	73980
Max	20816	14964	16290	19125	9112	76454
평균	20229	13308	15579	18051	8356	75523
표준편차	365	684	410	525	455	567
작업율	51.8%	34.0%	39.9%	46.2%	21.4%	38.7%

〈표 5〉는 Rule 1에 대해서 차량 수를 4대로 하였을 때의 실험 결과이다. 그런데 기존의 방식으로는 각 차량 별로 작업군이 설정되어 있어서 5호차가 수행해야 할 작업군의 작업을 수행할 수 없다. 그래서 5호차 담당의 작업군을 모든 차량이 작업 가능한 작업군으로 설정하여 실험하였다. 실험 결과는 우선 총 차량 작업 시간은 5대를 투입했을 때와 별 차이가 없으나, 차량 별 부하가 분산되어 있음을 알 수 있다. 즉, 5호차의 작업 대상을 특정 차량에 할당하지 않아서 5호차의 작업이 각 차량의 작업부하에 따라 골고루 분산되었음을 보여준다. 또한 가장 많은 작업율을 보이는 1호차의 경우도 51.8%에서 56.5%로 큰 변화가 없을 뿐만 아니라 각 차량별로 작업해야 할 시간 대비 작업시간이 5대를 투입했을 때보다 평균화되어서, 4대 투입으로도 작업을 수행하는 데 큰 무리가 없음을 추정할 수 있다.

MPRS를 이용한 차량 배치 방법은 〈표 6〉과 같이 총 차량 투입 시간에서 기존의 Rule을 사용하여 5대 투입한 경우의 75523분이나 4대 투입한 경우의 75711분보다 약 6000분 절감된 69268분 정도로 낮아졌다. 이는 차량을 배차할 때 고려하는 Rule이 차량 투입 소요를 최소로 하는 작업 지시 Case를 선택 사용할 수 있을 뿐만 아니라, MPRS를 통해서 차량 투입 소요가 최소인 Rule을 찾아 실제 작업에 적용한 결과로 판단된다. 그러나 차량별로는 작업 시간의 분산이 커진 것으로

〈표 5〉 Rule 1을 이용하여 차량 4대 투입 시 차량 작업 시간

(단위 : 분)

실험결과	1호차	2호차	3호차	4호차	5호차	전체 소요시간
Min	20717	13352	16157	20060	-	74915
Max	23741	15558	18797	22830	-	77047
평균	22081	14603	17558	21468	-	75711
표준편차	741	642	574	653	-	567
작업율	56.5%	37.4%	44.9%	55.0%	-	48.4%

보아 작업 부하의 등락폭이 기존의 Rule보다 큼을 알 수 있다.

〈표 6〉 MPRS를 이용하여 차량 5대 투입 시 차량 작업 시간

(단위 : 분)

실험결과	1호차	2호차	3호차	4호차	5호차	전체 소요시간
Min	18494	15373	12593	8575	5168	67923
Max	22699	20269	15972	13357	9417	70078
평균	19946	16896	14050	11493	6883	69268
표준편차	964	1149	933	1128	1119	475
작업율	51.0%	43.2%	35.9%	29.4%	17.6%	35.4%

MPRS를 이용하고 차량을 4대 투입한 경우에도 〈표 7〉에서 보듯이 기존의 Rule을 사용하여 5대나 4대를 투입한 경우보다 각각 약 6000분 정도 차량 투입 시간이 절감되었다. 또한 Rule 1에 의한 차량 4대를 투입할 때와 마찬가지로 MPRS를 이용하고 차량을 5대 투입한 경우보다 차량 부하가 분산되었으며 작업율도 51.0%와 비교하여 크게 증가되지 않아 특정 차량에 대한 과도한 작업부하도 없는 것으로 판단된다.

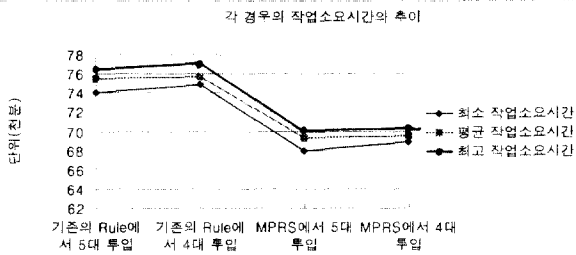
〈표 7〉 MPRS를 이용하여 차량 4대 투입 시 차량 작업 시간

(단위 : 분)

실험결과	1호차	2호차	3호차	4호차	5호차	전체 소요시간
Min	20355	17496	14415	12454	-	68886
Max	23443	20407	16896	15097	-	70409
평균	21511	18774	15821	13426	-	69532
표준편차	795	844	810	660	-	478
작업율	55.0%	48.0%	40.0%	34.4%	-	44.5%

각 경우에 따른 전반적인 작업 소요 시간의 추이는 〈그림 7〉과 같다. 기존의 Rule과 MPRS에 대하여 각각 5대 투입인

경우와 4대투입인 경우를 비교하였다. 우선 주어진 시간동안의 전체 차량의 평균 작업시간은 기존의 Rule보다 MPRS를 사용한 방법이 크게 줄어들었음을 알 수 있다. 반면 각 방법론에 있어서 5대인 경우와 4대인 경우의 차이는 미미함을 알 수 있다. 그리고 최소 작업 소요시간과 최대 작업 시간의 경우도 평균 작업 소요시간과 같은 결과를 보였다. 따라서 전체 작업 소요시간에 있어서는 기존의 Rule보다는 MPRS가 확실히 개선되었음을 알 수 있다. 이에 대한 검증은 [Appendix 1]에 있다.



〈그림 7〉 각 경우의 작업 소요시간 추이

추가적으로 <표 8>에서는 운송 요구 등록 이후 차량을 배차하고 운송 작업이 완료될 때까지의 운송 서비스 시간의 변화를 보여주고 있다. <표 8>에서 보는 바와 같이 MPRS를 이용하였을 때가 기존 Rule을 이용하였을 때 보다 평균 운송 서비스 시간이 차량 5대를 투입할 때는 4분, 차량 4대를 투입할 때는 7분이 단축되었음을 볼 수 있다. 이는 MPRS가 작업 Case 중 특정 작업을 선택하여 지시할 때 운송 서비스 시간을 고려한 결과라고 판단된다. 또한 MPRS를 이용할 때는 서비스 시간의 분산도 줄어들어 현장의 운송요구에 보다 더 신뢰성 있는 운송 서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

〈표 8〉 운송요구의 운송 서비스 시간 (단위 : 분)

적용 Rule	차량투입	Min	Max	평균	표준편차
기존 Rule	5대	39	43	41	0.8
	4대	43	47	45	1.2
MPRS	5대	36	38	37	0.4
	4대	37	39	38	0.5

5. 결론 및 추후 연구 방향

제철소 내에서 운영하는 운송 작업에 대한 차량 배차 방법

에 대하여 기존의 작업군 운영과 차량 배차 우선순위를 고려하는 기존의 운송시스템과 다양한 배차 Rule을 설정하고 MPRS를 사용하는 새로운 운송시스템에 대하여 실험을 통하여 그 차이를 비교 검증하였다. 실험 결과 제철소 내에서의 운송 작업에 대한 차량 배차를 할 때, 배차 방법이 획일적인 경우보다 MPRS를 이용하여 보다 유연성이 있는 다양한 Rule을 적용하는 경우가 효과적인 것으로 증명되었다. 특히, 운송 Route간에 운송 시간의 차이가 크면 클수록 그 효과는 더욱 커질 것으로 예상된다. 그리고 새로운 방법론을 통해서 차량 투입 소요 시간의 약 8%를 절감할 수 있어서 연간 433억으로 추정되는 광양제철소의 구내 운송 비용 중 34억이 절감될 것으로 예상된다. 또한 이러한 MPRS를 이용한 방법론은 기본적으로 많은 운송 시스템에 적용될 수 있어서 다른 분야로의 적용도 가능할 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 MPRS를 이용한 차량 배차 방법이 더욱 효율적이기 위해서는 다음의 몇 가지가 추가적으로 연구되어야 한다. 첫째, 현장의 운송 요구 패턴과 운송 시간 실적이 장기간 수집되어야 한다. 실험에서 활용한 Data는 1개월의 실적을 가공한 것이기 때문에 운송 요구 패턴과 운송 시간에 대한 신뢰성을 확보했다고 말하기에는 미흡하다. 둘째, 운송 관제원 또는 차량 운전자의 판단이 개입되는 상황에 대한 연구가 필요하다. 타 시스템과 마찬가지로 운송 시스템도 결국 사람의 개입이 필요없거나 최소한의 개입만이 허용되도록 만들어져야 한다. 따라서 돌발 상황의 발생이나 기존의 발착지가 변경되는 경우에 대하여도 시스템에서 반영할 수 있는 최대한의 범위까지 모델링이 되어 전산화할 필요가 있다. 셋째, 운송 시스템에서 다루어지는 과거의 Data로부터 의사 결정을 위한 Rule 선호도를 예측할 수 있는 Tool에 대한 개발이 필요하다. 지금까지 연구 및 적용된 신경망 이론 또는 전문가 시스템이 대안이 될 수 있을 것이다. 마지막으로 MPRS에서의 Window의 크기를 결정하는 방법론의 개발이 필요하다.

〔참 고 문 헌〕

[1] Cho, H., An Intelligent Workstation Controller for Computer Integrated Manufacturing, Ph. D Dissertation, Texas A&M University, 1993.

[2] Clarke, G. And Wright, J., "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," Operations Research, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581, 1964.

[3] Fisher, M. L., "Optimal Solution of Vehicle Routing Problems using Minimum K-trees," Operation Research, Vol. 42, No. 4, pp. 626-642, 1994.

[4] Ishii, N., and Talavage, J. J., "A transient-based real-time scheduling algorithm in FMS," International Journal Production Research, Vol. 29, No. 12, pp. 2501-2520, 1991.

[5] Law, A. M. and Kelton, W. D., Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, 1991.

[6] Solomon, M. M. and Desrosiers, J. F., "Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems," Transportation Science, Vol. 22, pp. 1-13, 1988.

[7] Williams, B. W., "Vehicle Scheduling: Proximity Priority Searching," Journal of Operational Research Society, Vol. 33, pp. 961-966, 1982.

[8] Wu, S. D., and Wysk, R. A., "An application of discrete-event simulation to on-line control and scheduling in flexible manufacturing," International Journal Production Research, Vol. 27, No. 9, pp. 1603-1623, 1989.

【부록】

1. 실험 결과에 대한 검증

위에서 얻어진 실험결과가 추출된 표본에 따라서 다르게 나올 수도 있기 때문에 확률적으로 의미가 있는지에 대한 검정을 할 필요가 있다. 검정을 하기 위한 방법으로는 각각의 실험 방법에 대하여 20회씩 실험을 실시한 후, 각 방법에 대한 평균과 분산을 구하여 검정을 실시한다. 평균과 분산의 검정 통계량 (t_0, f_0)은 <표 8>과 같다. 유의 수준 95%에 대한 평균과 분산의 기각역은 <표 9>와 같다.

- 1) 귀무가설 : 기존과 새로운 방법에는 차이가 없다.
($H_0 : \mu_1 = \mu_2, \sigma_1^2 = \sigma_2^2$)
- 2) 대립가설 : 기존과 새로운 방법에는 차이가 있다.
($H_1 : \mu_1 \neq \mu_2, \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$)

<표 8>과 <표 9>에서 보듯이 각 경우의 t_0 는 기각역인 2.02 ~ 2.04보다 크다. 따라서 각 경우의 평균에 대한 귀무가설은 기각됨을 알 수 있다. 즉, 기존의 방법과 MPRS를 이용한 방법에 대한 검정결과는 운송 서비스 시간과 차량 투입 시간에

<표 8> 검정 통계량

(단위 : 분)

평가 항목	차량 대수	기존의 방법		새로운 방법		검정 통계량	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균(t_0)	분산(f_0)
차량 투입	5대	75523	567	69268	475	37.8	1.42
	4대	75711	567	69532	479	37.2	1.41
서비스 시간	5대	41	0.797	37	0.425	31.0	3.51
	4대	45	1.212	38	0.465	26.3	6.78

<표 9> 유의 수준 95%의 평균, 분산의 기각역

유의 수준	평균	분산
95%	$t_0 > t(n_1+n_2-2; 0.05)$ $t(30; 0.05)=2.04,$ $t(40; 0.05)=2.02$	$f_0 > f(n_1-1, n_2-1; 0.05/2)$ $f(15, 19; 0.025)=2.62,$ $f(20, 19; 0.025)=2.51$

대한 평균에서 분명한 차이가 있음을 보여주고 있다. 반면에 서비스 시간의 f_0 만 기각역보다 크다. 따라서 서비스 시간의 분산은 귀무가설을 기각하지만 차량 투입 시간의 경우는 귀무가설을 채택함을 알 수 있다. 그러므로 기존의 방법론에 비해 새로운 방법론이 평균값, 즉 평균 서비스 시간을 향상시키고 평균 차량 투입 시간 또한 절감시킨다고 확신할 수 있다. 또한 서비스 시간의 경우 분산이 줄어들어 서비스 만족도가 높아짐을 알 수 있다.



이태하

1988년 건국대학교 산업공학과 졸업 (학사)

1998년 포항공대 철강대학원 졸업 (석사)

1988~현재 포항제철 IE 물류분야에서 근무 중

관심분야 철강 물류관리 부문



박성식

1997년 포항공과대학교 수학과
졸업(학사)

1997~현재 포항공과대학교 산업공
학과 석사과정

관심분야 Shop Floor Control, Ra-
pid S/W Generation
Technology, Manufac-
turing Systems Design
and Analysis, Modeling
Technology



조현보

1993년 Texas A&M 대학 산업
공학과 (박사)

현재 포항공대 산업공학과
교수

관심분야 Shop Floor Control,
CAPP, Manufacturing
Systems Design and An-
alysis, Modeling Tech-
nology