

# Research Trends of Scheduling Techniques for Domestic Major Industries

Jae-yong Lee · Moonsoo Shin<sup>†</sup>

Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

## 국내 주요 산업별 스케줄링 기법의 연구동향

이재용 · 신문수<sup>†</sup>

한밭대학교 산업경영공학과

The up-to-date business environment for Korean manufacturers is very complex and rapidly changing. Especially, the companies have faced with various changes derived from small quantity batch production, diversification of customer demands, and short life cycles of products. Consequently, the Korean manufacturing companies are in need of more efficient production planning and scheduling techniques. In this paper, the research trend of scheduling techniques is investigated to provide relevant information to researchers in this field. Furthermore, some implications for future researches are presented regarding literatures published in Korea over the last 10 years. This paper presents an entire investigation into Korean research works on scheduling (2,569 papers) that are published from 2007 to 2016. Especially, detailed analysis was carried out in the following three industry : 1) semiconductor, 2) shipbuilding and 3) automobile. In this paper, approaches to scheduling presented in the literature are categorized into the following three categories : 1) application, 2) algorithm, and 3) simulation modeling. First, in the semiconductor industry, scheduling techniques related to semiconductor cleaning processes, photolithography processes, chemical processes, transport and transport equipment have been found to be dominant. Second, the shipbuilding industry is focused on assembly processes, transporter, crane and various existing production management system. On the other hand, the scheduling research of the automobile industry is mainly focused on the vehicle movement routing and procurement supply-chain planning algorithm in terms of logistics. The conclusion of this study are expected to provide many implications for various types of academic and practical follow-up studies related to scheduling in consideration of main characteristics of semiconductor, shipbuilding and automobile industries.

**Keywords** : Scheduling, Production Planning, Semiconductor, Shipbuilding, Automobile, Research Trends

### 1. 서론

최근 국내 제조 산업은 성장 둔화 및 주요국의 보호무역 강화 등의 영향으로 많은 어려움에 처해 있다[15]. 또한 4차 산업혁명이 대두됨에 따라 기업들은 치열해진 경

쟁 속에서 고객의 요구수준 다양화, 제품수명주기 단축, 다품종 소량생산체제로의 전환 등의 변화에 직면해있다 [19, 23]. 이에 국내 기업들은 외부적으로는 시장 점유율의 극대화 및 기업 이미지 강화에 초점을 맞추고, 내부적으로는 고객주문에 대한 리드타임 단축, 납기준수 및 재고의 최소화 등에 역점을 두고 있는 실정이다[29, 43, 46]. 특히 중소기업의 경우에는 내부의 작업현장 개선과 생산성 향상을 위한 생산관리 및 스케줄링 기법들의 활용이 중요한 과제로 부상하고 있다.

Received 5 December 2017; Finally Revised 23 January 2018;  
Accepted 28 February 2018

<sup>†</sup> Corresponding Author : shinms@hanbat.ac.kr

스케줄링은 주어진 작업에 대해 생산 자원 및 설비들을 하나 이상의 목적함수에 최적화할 수 있도록 할당하는 의사결정이다. 스케줄링은 효율적인 생산 프로세스를 위해 필수적인 요소이지만[28], 생산라인, 제약조건, 목적함수 종류 등에 따라 쉽게 해결할 수 없는 경우도 있다[57]. 그 동안 수행되어온 스케줄링 연구는 수학적 접근법을 활용한 로트 크기 결정, 시뮬레이션 기법을 활용한 스케줄링, 혼합정수계획법을 활용한 스케줄링 모델화, 디스패칭를 활용한 작업순서 결정, 휴리스틱 알고리즘을 활용한 스케줄링 최적화 등 매우 다양하다[45]. 그러나 최근 도래하고 있는 4차 산업혁명에 필수인 고객맞춤성(customization)과 연결성(connectivity), 협업성(collaboration)을 고려한 스마트 제조기술과의 융합연구는 아직 미흡하다[25].

본 논문에서는 국내 산업 또는 기업체 중심으로 연구되었던 생산 스케줄링 관련 문헌들을 수집 및 정리하여 중소기업은 물론 이 분야의 연구자들에게 스케줄링 관련 기법의 연구동향정보를 제공하고자 한다. 이를 위해 최근 10년 동안 국내에서 발표된 스케줄링 관련 문헌들을 산업별로 분류하고, 그 특징들을 분석함으로써 스케줄링 기법의 활용성을 높이는 한편 스케줄링 분야의 향후 연구방향에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 연구 수행방법을 제시하고, 제 3장에서는 반도체, 조선, 자동차 등 주요 산업분야별로 문헌을 분류하여 스케줄링 기법의 연구동향을 분석 제시한다. 마지막으로 제 4장에서는 본 연구의 결과를 요약하고 향후 연구방향에 대해 기술한다.

## 2. 분석방법

### 2.1 대상문헌

본 연구에서는 2007년 1월부터 2016년까지 12월까지 10년 동안 국내에서 발표된 스케줄링 관련 문헌들을 ‘DBpia.co.kr’ 문헌검색사이트를 활용하여 수집하고[8] 주요 산업별로 분류, 그 특징을 분석한다. 문헌검색키워드는 문헌정보의 정확도를 향상시키고 누락을 방지하기 위해 스케줄링, 스케줄러, scheduling, scheduler로 설정하였다. 문헌검색분야는 공학분야(건축, 기계, 산업, 전기, 전자, 정보, 컴퓨터, 토목, 환경 등)와 경제·경영학분야로 설정하였다. 검색 결과 총 2,797편의 논문이 도출되었으나 서지정보(논문제목, 초록, 키워드, 학회정보, 발행연도 및 논문의 권, 호, 페이지 정보 등)를 조사한 결과 중복문헌 141편을 제거함으로써 최종 2,656편의 문헌을 초기 분석대상으로 선정하였다. <Table 1>에서 보는 바와 같이 정보 및 컴퓨터

공학분야가 57.7%로 가장 높은 문헌 비율을 보였고, 산업공학분야는 10.3%로 나타났다.

<Table 1> Literature on Scheduling by Engineering Field

Attribute	Papers	Quantity rate(%)
Electrical telecommunication/Computer engineering	1,533	57.7
Electrical/Control and measurement engineering	284	10.7
Industrial engineering	274	10.3
Mechanical engineering	242	9.1
Economics and business management	87	3.3
Architectural engineering	85	3.2
Engineering science	65	2.4
Civil/Environment engineering	47	1.8
Naval/Ocean engineering	19	0.7
Chemical/Biological engineering	12	0.5
Nuclear engineering	3	0.1
Mineral and Petroleum engineering	3	0.1
Material engineering	2	0.1
Total	2,656	100.0

### 2.2 분류기준

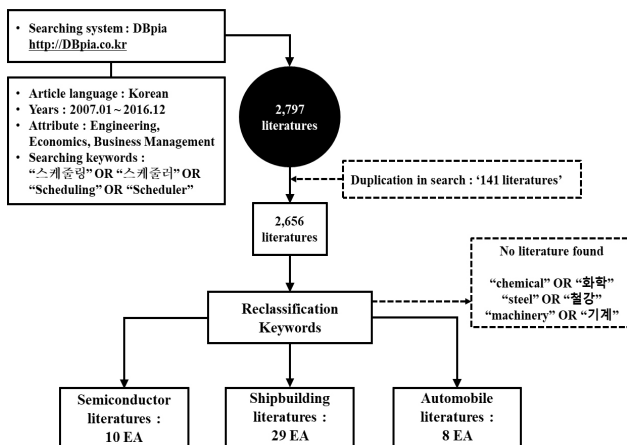
한국표준산업분류(KSIC; Korean standard industrial classification)[31] 기준에 의거, 산업연구원(KIET; Korea institute industrial economics and trade)[21]에서 설정한 주력 산업분류 체계를 기준으로 하여 도출된 스케줄링 문헌들을 주요 산업별로 분류하고 카테고리화 작업을 수행하였다. 여기서는 <Table 2>에서 가중치가 ‘400’점 이상인 자동차 산업(1076.4), 화학산업(847.5), 기계산업(803.6), 반도체산업(484.4), 철강산업(620.1), 조선산업(454.8) 등 총 6가지의 산업을 주력산업으로 설정하였다.

<Table 2> Weights of Main Industry by KIET[21]

Main Industry	Weights
Car, Automobile, Vehicle	1,076.4
Chemical	847.5
Machinery	803.6
Steel	620.1
Semiconductor	484.4
Shipbuilding	454.8
Communication, Broadcasting	354.9
Textile	160.6
Medical, Precision, Optics	148.1
Computer, Computer device	71.0

산업별 상세 분석을 위해 국문과 영문 검색키워드를 다음과 같이 조합하여 재검색하였다. 1) 기계/machinery, 2) 반도체/semiconductor, 3) 자동차/car/vehicle, automobile, 4) 조선/shipbuilding, 5) 철강/steel, 6) 화학/chemical, 재검색 결과 반도체산업 스케줄링 관련 문헌은 13편, 조선산업은 34편, 자동차산업은 33편으로 나타났다. 기계산업, 철강산업, 화학산업에서는 관련 문헌이 도출되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 1) 반도체산업, 2) 조선산업, 3) 자동차산업 만을 상세 분석 대상으로 선정하였다.

선정된 3가지(반도체, 조선, 자동차) 산업에서의 스케줄링 관련 문헌들은 분류를 위해 초록 및 본문내용 정보에 대한 상세한 조사가 이루어졌다. 그 결과, 관련문헌 중 반도체산업 10편, 조선산업 29편, 자동차산업 8편만이 생산 스케줄링 문제를 다루고 있어 이 문헌들만을 분석 대상으로 삼았다. <Figure 1>은 분석대상 문헌의 선정과정 전반을 나타내고 있다.



<Figure 1> Overall Procedure of Literature Classification

부가적으로 산업별로 분류된 문헌들의 스케줄링 문제 해결 접근법을 조사한 결과, 공통적인 것은 스케줄링 알고리즘 및 어플리케이션 개발과 그 적용이었다. 또한 시뮬레이션 기법의 활용도 많이 나타났다. 따라서 산업별 분류기준을 1) 알고리즘, 2) 시뮬레이션 및 수리모형, 3) 어플리케이션으로 설정하였다. <Figure 2>는 주요 문제해결 접근법을 이러한 기준에 따라 분류하여 나타내고 있다.

### 3. 주요 산업별 스케줄링 기법 동향

#### 3.1 반도체 산업

반도체 산업에서는 반도체 세정(clean)공정, 포토(photo)공정, 화학(chemical)공정 및 이송/반송(transporter)장비 등에 스케줄링 기법이 주로 적용되는 것으로 나타났다. 또한 세부적인 측면으로 웨이퍼(wafer)절단, IC칩(chip) 조립 및 버퍼(buffer) 관련 스케줄링 연구들이 많이 등장하였다. <Table 3>은 반도체 관련 문헌들에서 도출된 스케줄링 기법들을 제시하고 있다.

<Table 3> Literature on Semiconductor Industry

Industry	Techniques and methods	Reference
Algorithms	Dispatching algorithm	[56]
	General-purpose algorithm	[54]
	Pegging algorithm	[2]
	Probability distribution algorithm	[37]
	Weighted sum of objective functions method	[26]
Simulation and mathematical modeling	Simulation modeling	[6]
	Dispatching algorithm	[1]
	Mixed integer programming	[26, 40]
Applications	Integrated management system	[17]
	RFID system	[22]

Semiconductor	Shipbuilding	Automobile
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dispatching algorithm [56]</li> <li>● General-purpose algorithm [53]</li> <li>● Pegging algorithm [2]</li> <li>● Probability distribution algorithm [37]</li> <li>● Weighted sum of objective functions method [25]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Meta-heuristic algorithm [4, 51]</li> <li>● Heuristic algorithm [39, 41, 42]</li> <li>● Spatial scheduling [30]</li> <li>● Gaussian distribution and Euclidian distance [14]</li> <li>● Critical chain project management [5]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Minimized penalty algorithm [44]</li> <li>● Heuristic algorithm [60]</li> <li>● Vehicle planning algorithm [36]</li> <li>● Charging scheduling control algorithm [27]</li> <li>● Supply chain transportation scheduling algorithm [35]</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Simulation modeling [1, 6]</li> <li>● Dispatching algorithm [1]</li> <li>● Mixed integer programming based system [25, 40]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Simulation modeling [3, 7, 19, 32, 59]</li> <li>● DEVS [9, 54]</li> <li>● DB management system [24, 57]</li> <li>● Multi-commodity network flow [10]</li> <li>● Mean-variance model &amp; quadratic programming model [48]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Smart cruise control based real-time [38]</li> <li>● Verification simulator [11]</li> <li>● Charging scheduling simulation [18]</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Integrated management system [17]</li> <li>● RFID system [22]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ICT(internet of things) based system [16]</li> <li>● Production planning system [50]</li> <li>● Meta-heuristic algorithm [52]</li> <li>● Simulation modeling [55]</li> <li>● Integrated management system [49]</li> <li>● DB management system [34, 57]</li> <li>● Mobile monitoring system [13]</li> <li>● Job scheduling system [33]</li> <li>● Planning evaluation system [12]</li> <li>● APS system [47]</li> </ul>	

<Figure 2> Problem-Solving Approaches by Target Industries

### 3.1.1 알고리즘

서정대 외 1명[56]은 동일한 기능을 가진 장비들이 bay 단위로 그룹을 형성하는 반도체 제조환경에서 로트의 하역 및 버퍼의 적재 요청을 처리하기 위한 실시간 통합 디스패칭 로직인 RTID(real time integrated dispatching) 방법을 제안하였다. 이는 개별 반송장비의 실시간 상황과 반송시간 반영 절차를 알고리즘에 통합시킨 특징을 갖는다.

송민기 외 2명[54]은 시스템 및 공정의 변화로 새로운 규칙 및 전체 운용 전략을 변경해야 하는 문제를 해결하기 위해 이송패턴이나 설비의 형태에 일반적으로 적용 가능한 동적 우선순위 기반의 기본 이송작업 선택 알고리즘을 제안하였다. 이는 반복동작을 최소화하기 위해 동시동작을 우선처리하는 단계별 우선순위 로직을 기반으로 하며, 특수한 공정에 대해서는 별도의 규칙베이스를 적용한다. 또한 운용 환경변화에 대해 일관된 스케줄링 정책 유지 및 안정성 저하를 최소화시킬 수 있는 범용 스케줄링 알고리즘을 개발하였다.

안의국 외 2명[2]은 반도체 패키지 공정에서 주요 병목을 초래하는 MCP(multichip package)를 고려하고, 테스트 공정의 binning 과정을 forward 전개하는 pegging 방안을 제안하였다. 이를 통해 개별 제품별로 납기일까지 목표한 수량을 맞추기 위해 생산요소들의 투입계획을 수립할 수 있다.

이현 외 2명[37]은 반도체 웨이퍼 제조라인에서의 개별공정이 이루어지는 여러 개의 챔버(chamber)들을 하나의 장비에 집약시킨 클러스터 툴(cluster tool)의 안정적인 생산을 위해 스케줄링과 연계된 예방보전주기 수리모형을 제안하였다. 이는 개별 챔버의 고장 간격을 확률변수로 나타내고, 챔버 내에 누적되는 오염의 정도를 재생과정(renewal process)으로 모델링함으로써 설정한 오염 누적치의 상한 값을 기준으로 클러스터 툴의 예방보전 시점을 찾는다.

김광희 외 1명[26]은 반도체 fab 생산 스케줄링에 있어 다수의 성능 지표 간의 트레이드오프 구조를 분석하였다. 혼합정수계획모형(mixed integer programming)을 통해 쓰루풋(throughput)과 생산목표량 만족의 최대화를 동시에 고려하는 가중합 방식의 다목적 최적화 모형을 제안하였다.

### 3.1.2 시뮬레이션 및 수리모형

채중인 외 1명[6]은 국내 K반도체 제조업체의 생산공정인 die sawing, 조립 및 테스트와 같은 패키지 공정들의 생산량 향상을 위해 1)병목공정에 기계 추가에 의한 라인 균형, 2)제품의 그룹 스케줄링, 3)비병목공정에서 작업자의 재배치 방안 등 3가지 방안을 제안하였다.

안의국 외 2명[1]은 반도체 웨이퍼 fab을 대상으로 납

기준수 향상을 위해 로트의 전체적인 관점에서의 납기일(due date)과 해당 스텝(step)에서의 납기일을 고려할 수 있는 FD(filtering dispatching rule)를 제안하였다. 또한 가상 fab 모델인 MIMAC6을 SEE-PLAN을 이용하여 모델링을 수행하여 시뮬레이션 기법을 통해 기존의 전통적인 디스패칭 규칙들과 비교 분석하는 연구를 수행하였다.

이상진 외 3명[40]은 TFT(thin film transistor)-LCD(liquid crystal display) fab을 대상으로 하는 생산 스케줄링 시스템을 개발하였다. 이는 혼합정수계획모형을 기반으로 하며, 네트워크 및 할당 모형을 통합하는 특징을 갖는다.

### 3.1.3 어플리케이션

강경우 외 1명[17]은 반도체 wet station 장비의 운용의 효율성을 향상시키고 원격 모니터링 및 관리를 위한 통합 관리 시스템을 제안하였고, 복수의 로트가 트랙에서 처리될 때 후행 로트의 대기시간을 감소시키는 연구를 수행하였다.

김갑용 외 2명[22]은 반도체 fab에 존재하고 있는 수많은 레티클들의 위치 추적 및 관리를 위해 RFID(radio frequency identification) 시스템을 적용하고 레티클들의 추적시간과 적중률을 측정하여 시스템의 적용성과 효율성을 평가하였다.

## 3.2 조선 산업

조선산업에서는 스케줄링 기법이 조립공정, 트랜스포터(transporter), 크레인(crane), 기존 관리시스템 등에 주로 적용되는 것으로 나타났다. 세부적으로는 소조립 공정, 갠트리 크레인, 블록 조립공정, 판넬공정, 안벽공정 등에 적용되고 있었다. <Table 4>는 조선 산업관련 문헌들에서 조사한 스케줄링 기법들을 나타내고 있다.

### 3.2.1 알고리즘

배희철 외 3명[4]은 skid conveyor 에서 이루어지는 배재(array), 취부(mounting), 용접 1(welding 1), 용접 2(welding 2), 사상/이동(finishing)과 같은 5단계의 소조립 공정에서 유전자 알고리즘을 이용하여 최종작업완료시간(makespan)이 최소가 되는 작업일정계획을 수립하는 연구를 수행하였다.

이성진 외 1명[39]은 기존의 수작업으로 수행되던 일정계획을 다양한 제약조건들을 반영할 수 있는 부하평준화 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 이는 작업의 개수를 부하지표로서 활용하고, 지역적 탐색 기법을 기반으로 제약을 만족하는 범위 내에서 작업들을 반복 이동시키면서 최적으로 작업부하를 감소시키는 스케줄을 탐색할 수 있다.

고시근 외 3명[30]은 조선소의 메가블록 조립작업장에서 작업부하의 감소 및 병목자원을 효율적으로 사용하기 위해 효율적인 공간계획(spatial scheduling) 방법론과 제약조건 및 목적함수를 고려한 새로운 모형을 개발하고 상업용 최적화 소프트웨어를 활용하여 타당성을 검증하였다.

이운식 외 2명[41, 42]은 조선산업의 생산 필드에서 많은 물류비용과 생산지연비용을 유발시키는 트랜스포터의 총 로지스틱스 시간을 최소화하는 네트워크 흐름모형 기반의 휴리스틱 알고리즘 NFA(network simplex algorithm)를 제안하였다. 특히 블록들의 요구조건(출발/도착지 pick-up and delivery 시각, 톤수, 고장, 유지보수 등)을 고려한 트랜스포터의 최소 사용을 목표로 트랜스포터 일정 계획수립과 공차운행시간, 지연시간을 최소화시키는 트랜스포터 수량과 블록간의 할당 및 우선순위결정에 중점을 두었다.

노명일 외 1명[51]은 조선소의 도크와 블록을 탑재할 수 있는 갠트리 크레인의 공주행 거리 및 도크 점유시간을 최소화하기 위해 메타 휴리스틱 기법인 유전알고리즘을 기반으로 한 블록 리프팅 계획 알고리즘을 제안하였다.

정원일 외 6명[14]은 블록 조립장에서 크레인으로 소조립품의 중량정보를 수집하고, 중량기반의 블록들을 판별하기 위해 Gaussian distribution과 Euclidian distance를 적용한 유사도 평가 기반의 공정 진도측정 방법을 제안하였다. 이 방법은 곡블록 대조립 공정에서의 진도측정 정보를 파악하기 위하여 product, process, resource(PPR)을 사용하는데 product 부분은 조립품의 중량정보, process 부분은 정반배치계획 및 조립작업 팀 운영계획, resource 부분은 핀(pin) 지그(jig) 및 크레인(crane) 등으로 구성되어 있다.

차민배 외 1명[5]은 조선 탑재공정에서의 일정계획 수립을 위해 제약이론 기반의 크리티컬 체인 프로젝트 관리(CCPM; critical chain project management) 기법을 적용하였다. CCPM을 활용한 배치(batch) 단위의 통합 네트워크를 구성하고, 이에 대한 부하 평준화 알고리즘을 제시하였다. CCPM의 적용을 통해 작업들 간의 선후관계뿐만 아니라 자원의 제약을 동시에 고려함으로써 기존 PERT/CPM 방식에 비해 높은 신뢰성을 확보할 수 있다.

### 3.2.2 시뮬레이션 및 수리모형

이창호 외 5명[32]은 빈번한 선박의 생산계획변경 문제를 해결하기 위해 시뮬레이션 기반의 검증시스템을 개발하였다.

손명조 외 1명[53]은 프로세스형 조선선체생산설계의 특성을 반영한 DEVS(discrete event system specification)를

활용하여 모델구축 및 공개용 이산사건 시뮬레이션 엔진인 Simkit 1.4 API를 기반으로 한 Groovy로 시뮬레이션을 수행하였다.

구본근 외 1명[9]은 조선생산에 있어 일정예측의 신뢰도향상을 위한 DEVS 기반의 Layered DES(discrete event simulation) 프레임워크를 제안하고 시뮬레이션을 통해 유용성을 확인하였다.

백명기 외 5명[3]은 복잡한 공정구조를 가진 경우의 효율적으로 생산계획을 수립하기 DM(digital manufacturing)을 활용한 시나리오 기반의 시뮬레이션 시스템을 제안하였다.

김희연 외 2명[24]은 조선해양 상호검증 시뮬레이션 시스템 개발에 필요한 기능을 파악하고 조선 일정계획 데이터를 표준화 하였다.

조두연 4명[7]은 수작업으로 진행되는 조립장의 정반 배치계획 수립을 개선하기 위해 선체 모델을 3차원 형상화시키고 블록조립순서(block assembly tree)를 이용하여 통합 자료구조 구축 및 시뮬레이션 기반의 지원시스템을 개발하였다.

윤경원 외 2명[59]은 조선업에서 발생하고 있는 잦은 계획 변경과 생산계획과 관련된 데이터 입력 정보의 표준화 문제를 해결하기 위해 일정계획 정보를 동일한 표준화 포맷을 활용하여 하나의 시뮬레이션 모델로 구축하고 이를 실행하는 연구를 수행하였다.

김창근 외 1명[20]은 P제철의 원료부두를 대상으로 해상운임을 줄이기 위한 벌크(bulk)선의 대형선 배선비용 증가에 따른 재항시간 및 선적점유율 변화를 시뮬레이션 모델로 개발하여 분석하는 연구를 수행하였다.

하병현 외 3명[10]은 블록 적치장에서의 효율적인 운영을 위해 다품목 네트워크 흐름(multi-commodity network flow) 기반의 수리 모형을 제시하였다. 제시된 모형은 블록들의 재취급 가능성, 제약식 대체, 선형의 완화 등을 고려하여 최적해를 도출할 수 있다.

박나래 외 1명[48]은 로버스트한 선박운항 일정계획을 수립하기 위해 평균-분산 모형을 적용하였다. 제시된 모형은 일정 기대이익률을 만족시키고 운항 이익의 분산 및 공분산을 최소화시키는 것을 목적으로 한다. 또한 제시된 모형은 2차 계획 모형(quadratic programming model)으로 정식화 하였다.

### 3.2.3 어플리케이션

강효운 외 1명[16]은 담당자의 경험적인 일정관리에 의한 선박수리 문제를 해결하기 위해 ICT 기반의 일정관리 시스템을 제안하고, 이를 통해 수리 요구 및 투입가능 장비 및 인력상태 정보 등을 파악할 수 있는 시스템을 개발하였다.

박영미 외 6명[50]은 중소형 조선소에서 중일정 생산 계획 시스템을 구축하고, 각 조선소별 평가기초 방안을 수립하였다.

유원선 외 2명[52]은 안벽 중일정 공정계획에서 각종 제한조건들을 만족시키면서 공정부하를 평균화하는 SA(simulated annealing) 최적화 기법을 활용하여 조선 전용 GIS(graphical information system)를 구축하였다.

송영주 외 3명[55]은 조선소의 레이아웃 변경 및 부지 확장에 있어 토지, 설비 등의 고정 생산변수에 대한 최적화를 위해 유스케이스 기반 소프트웨어 아키텍처 방법론(SOA, usecase driven software architecture)에 기초하여 시물레이션을 활용하는 통합 소프트웨어에 관한 기초연구를 수행하였다.

박태수 외 6명[49]은 중일정계획 평가를 위해 시물레이션 기반의 시스템 개발을 진행하였고, 사용자 판단에 대한 의사결정 과정에서 불필요한 작업의 낭비 및 대기 시간을 감소시키는 연구를 진행하였다.

우중훈 외 2명[58]은 국내 조선소의 실제 데이터를 시

물레이션용 데이터로 변환할 수 있는 모듈을 개발하였고, 일정계획정보, 제품정보, 리소스정보 등을 통합할 수 있는 중립구조 어플리케이션을 제안하였다.

이동욱 외 6명[34]은 수주, 설계 및 생산과정에서 발생하는 데이터들을 실시간으로 공유할 수 있게 작업자 또는 관리자의 의사결정을 지원해주는 DB(data base) 프레임워크를 제안하였다.

황인혁 외 5명[13]은 판넬 공정의 계획과정을 지원하는 MES(manufacturing execution system) 기술을 적용하기 위해 모바일 기반의 작업진행현황 모니터링 시스템을 구현하였다.

이동하 외 3명[33]은 블록 탑재 및 크레인 작업에서 요구되는 제약 자원(크레인, 작업장, 작업자 등)의 데이터를 ERP(enterprise resource planning) 시스템에서 수신 가능하게 하고 자원들의 부하분석을 수행할 수 있는 시스템 체계를 구축하였다.

황인혁 외 4명[12]은 전문가의 경험으로 진행되는 선편계획을 개선하기 위해 계획 평가 시스템을 재구성하고 실제 선편계획 평가를 적용하는 방안에 대해 연구를 수행하였다.

남승훈 외 3명[47]은 공급망 관리의 개선을 위해 조선 전용 APS(advanced planning and scheduling) 시스템 개발의 필요성 및 연구방향을 제안하였고, 관리 프로세스에서 요구되는 작업과 데이터를 반영한 조선 전용 SCP-matrix를 제안하였다.

<Table 4> Literature on Shipbuilding Industry

Industry	Techniques and methods	Reference
Algorithms	Meta-heuristic algorithm	[4]
	Heuristic algorithm	[39]
	Spatial scheduling	[30]
	Heuristic algorithm	[41, 42]
	Meta-heuristic algorithm	[51]
	Gaussian distribution and Euclidian distance	[14]
	Critical chain project management	[5]
Simulation and mathematical modeling	DEVS simulation	[9, 59]
	Digital manufacturing simulation	[3]
	Automation simulation	[7]
	Standardization data simulation model	[24, 32, 59]
	Case based simulation	[20]
	Multi-commodity network flow	[10]
	Mean-variance model and Quadratic programming model	[48]
Applications	ICT(internet of things) based system	[16]
	Production planning system	[50]
	Meta-heuristic algorithm	[52]
	Simulation modeling	[55]
	Integrated management system	[49]
	DB management system	[34, 58]
	Mobile monitoring system	[13]
	Job scheduling system	[33]
	Planning evaluation system	[12]
	APS system	[47]

### 3.3 자동차 산업

자동차 산업에서는 물류 관점에서의 차량 이동경로 스케줄링 및 조달 공급망 계획 알고리즘 연구 등이 많았다. 부가적으로 IT(information technology) 기술이 접목된 차량 제어 연구와 전기자동차 기반의 충전 스케줄링 연구 등이 주로 등장하는 것으로 나타났다(단, 본 절에서는 어플리케이션과 시물레이션 모형화 기준을 함께 묶어서 제시하고자 한다). <Table 5>는 자동차 산업관련 문헌들에서 조사한 스케줄링 기법들을 나타내고 있다.

#### 3.3.1 알고리즘

문기주 외 1명[44]은 차량이동계획에서 지점 및 시간 대별 도로 상황의 동적인 환경을 고려하여 경로 탐색 연구를 수행하였고, 각 이동경로의 손실 패널티(penalty)를 계산하여 손실 패널티가 최소가 되는 경로 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 밀집지역을 포함하고 있는 수요지점들에서 시간별 운반차량의 이동속도의 차이점 및 시간별 차량경로문제를 해결하고 제품의 전달시간이 가장 적게 발생되는 경로를 탐색할 수 있다.

유영훈 외 2명[60]은 시간제약 및 요구량을 만족하는 최소이동비용의 차량경로 스케줄을 찾기 위해 VRSPWTW (vehicle routing and scheduling problem with time window) 문제의 기회시간과 비용평가 함수를 반영한 하이브리드 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 고객이 요구하는 제품을 전달하고 남아 있는 기회시간(여유시간)에 대해 제약조건 및 비용평가함수를 적용, 다양한 데이터들에 대해 지리적, 시간적, 용량적으로 비교 분석하여 최적의 해를 도출할 수 있다.

이기열 외 1명[35]은 조달 공급망을 효율적으로 관리하기 위해 조달 공급망의 고유한 특성 및 생산계획과 제조 환경의 다양한 제한 조건들을 고려한 차량계획 방법론을 제시하였다.

김명수 외 1명[26]은 전기자동차의 충전스케줄링을 위해 충전기 설치 대수 별 수용률과 확률이론을 적용한 변압기 설치 용량을 감소시킬 수 있는 스케줄링 제어 방법론을 제안하였다.

이기열 외 2명[36]은 조달 공급망의 배송계획 및 생산계획을 다양한 시간 단위로 나누고, 각 기간들의 운송 작업들을 통합하여 효율적으로 할당할 수 있는 방법론을 제안하였다.

### 3.3.2 시뮬레이션 모형화 및 어플리케이션

이재면 외 2명[38]은 지능형 자동차 설계 및 구현 과정에서 발생하는 제약 조건들을 만족시키기 위해 무인 자율주행과 스마트 크루즈 컨트롤 기능을 모형차량에 직접 적용하였고, 시뮬레이션 기반의 간단한 순환실행체제를 활용하여 시스템의 적용 가능성을 입증하였다.

한인재 외 3명[11]은 차량 주행의 안정성 향상을 위해 2WD in-wheel motor 차량의 속도 및 yaw motion 제어기의 스케줄러 모델을 구상하였고, 시뮬레이션 기법을 활용한 검증 연구를 수행하였다.

금도엽 외 2명[18]은 전기자동차 충전 시스템 보급 시 공동주택에서 발생 가능한 시나리오를 기반으로 충전 스케줄링 시스템을 제안하였고, 시뮬레이션을 통한 성능 분석 연구를 수행하였다.

## 4. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 2007년에서 2016년까지 발표되었던 스케줄링 관련 문헌들을 반도체, 조선 및 자동차 산업별로 분류하고, 문제해결 접근법에 대한 3가지 기준(어플리케이션, 알고리즘, 시뮬레이션 모형화)을 통해 스케줄링 문헌들을 조사하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다(<Table 6> 참조).

<Table 6> Main Techniques and Methods Examined in the Literature by Industry

Techniques and methods	Industries		
	Semi-conductor	Ship-building	Auto-mobile
APS system		[47]	
Automation simulation		[7]	
Case based simulation		[20]	
Charging scheduling control algorithm			[27]
Charging scheduling simulation			[18]
Critical chain project management		[5]	
DB management system		[34, 58]	
DEVS simulation		[9, 53]	
Digital manufacturing simulation		[3]	
Dispatching algorithm	[1, 56]		
Gaussian distribution and Euclidian distance		[14]	
General-purpose algorithm	[54]		
Heuristic algorithm		[39, 41, 42]	[60]
ICT(internet of things) based system		[16]	
Integrated management system	[17]	[49]	
Job scheduling system		[33]	
Mean-variance model and Quadratic programming model		[48]	
Meta-heuristic algorithm		[4, 51, 52]	
Minimized penalty algorithm			[44]
Mixed integer programming	[26, 40]		
Mobile monitoring system		[13]	
Multi-commodity network flow		[10]	
Pegging algorithm	[2]		
Planning evaluation system		[12]	
Probability distribution algorithm	[37]		
Production planning system		[50]	
Quadratic programming model			
RFID system	[22]		
Simulation modeling	[6]	[55]	
Smart cruise control based real-time			[38]
Spatial scheduling		[30]	
Standardization data simulation model		[24, 32, 59]	
Vehicle planning algorithm			[35, 36]
Verification simulator			[11]
Weighted sum of objective functions method	[26]		

<Table 5> Literature on Vehicle Industry

Industry	Techniques and methods	Reference
Algorithms	Minimized penalty algorithm	[44]
	Heuristic algorithm	[60]
	Vehicle planning algorithm	[35, 36]
	Charging scheduling control algorithm	[27]
Applications & Simulation modeling	Smart cruise control based real-time	[38]
	Verification simulator	[11]
	Charging scheduling simulation	[18]

첫째, 반도체 산업에서는 공정관리를 위한 통합 관리 시스템 개발 및 RFID 시스템을 활용한 추적관리 시스템 적용 연구, 실시간 기반과 디스패칭 규칙을 통한 스케줄링 알고리즘 개발 연구들이 주를 이루고 있다. 이는 반도체 공정의 특성상 집적도 향상 및 차세대 메모리 등의 여러 공정기술 개발, 공정설비 투자를 통한 생산성 제고, 경쟁력 향상이 중요하기 때문으로 분석된다. 또한 반도체 제품은 신속한 제품 출시와 동시에 불량률 감소가 매우 중요하다는 점에서 최근 반도체 산업의 호황에 따라 반도체 회사들이 생산성 향상을 위한 스케줄링 기법 개선에 깊은 관심을 보인 것으로 판단할 수 있다.

둘째, 조선 산업에서는 어플리케이션 개발 연구의 비중이 높았는데, ICT 기술이 융합된 조선소 생산계획시스템 개발, 기존 ERP 시스템과 연계한 일정계획 시스템 구축 및 중소조선소 맞춤형 생산계획시스템 개발 연구 등이 보고되었다. 또한 휴리스틱 알고리즘과 유전자 알고리즘을 활용한 일정계획 최적화, 이산사건 기반의 시물레이션 시스템 개발, 디지털 제조기반의 시뮬레이터 제안 등의 연구가 이루어졌다. 이러한 연구추세는 조선산업의 다음과 같은 특징과 무관하지 않다. 조선산업은 선박의 크기와 중량의 제약 조건 때문에 고정위치 배치의 형태로 생산이 진행되며, 기본적으로 절판을 절단 및 벤딩하는 가공작업, 블록을 조립하는 선각작업, 의장, 도장작업 그리고 탑재작업 순으로 진행된다. 특히 선박수주에서 선박인도까지 소요되는 기간이 타 산업에 비해 매우 길고 공정이 복잡하기 때문에 필수적으로 높은 기술 수준이 부가된 첨단 IT기술의 적용이 요구되고 있다. 따라서 조선산업의 효율적인 공정관리를 위한 연구들이 많았다고 판단된다.

셋째, 자동차 산업에서는 자동차 내부 관리 시스템, 차량을 이용한 운송계획, 최적의 차량경로 수립, 운송상황에서의 효율적인 작업할당계획, 조달 공급계획 알고리즘 개발, IT기술이 접목된 차량 제어, 친환경 전기자동차의 충전 스케줄링 등의 연구가 주로 등장하였다. 이러한 경향은 다음과 같은 산업 특성과 연계하여 살펴볼 수 있다. 최근 자동차 산업이 IT기술과 빠르게 융합되고 있으며, 시장의 변동성과 불확실성, 복잡성의 증가에 따라 제품 모델 종류는 다양해지는 반면 제품수명주기가 갈수록 단축되고 있다. 이로 인해 IT기술이 접목된 차량제어 및 효율적인 자동차 생산계획 수립과 운영전반에 걸친 비용절감을 모색하는 스케줄링 연구가 활발히 이루어지는 것으로 판단된다.

본 논문에서는 다음과 같이 스케줄링 관련 발전과정과 연구경향을 파악함으로써 향후 연구방향에 대한 시사점을 제공할 뿐만 아니라 산업의 특징을 고려한 적용연구에 도움이 될 것으로 기대하고 있다. 향후 스케줄링 관련 연

구추세로는 급변하고 있는 국내 산업 환경에서 고객의 요구를 보다 유연하게 대응하기 위한 수평적 수직적 통합의 생산관리시스템개발과 CPS(cyber physical system) 적용 연구가 주류를 이룰 것으로 예상된다. 또한 실시간 모니터링, 스마트 센싱, 그리고 빅데이터 분석 등의 기술에 기반하는 APS(advanced planning and scheduling) 시스템의 정확도 개선 연구, 클라우드 시스템 기반의 데이터 관리 체계 수립 연구, 사물인터넷(IoT; internet of things)과 모바일(mobile) 기술을 활용한 공정 자동화 시스템 구축 연구 등이 활발하게 이루어질 것으로 사료된다.

본 연구를 기반으로 다음과 같은 추가 연구가 필요하다. 첫째, 외국의 스케줄링관련 연구동향을 파악하여 국내 연구와의 비교분석을 수행한다. 둘째, 문헌데이터의 정확도 향상과 다방면의 분석을 위해 사회연결망분석(social network analysis) 기법 기반의 분석 연구를 수행한다. 셋째, 본 논문에서 스케줄링 연구들을 산업별로 분류하였지만, 향후 연구에서는 스케줄링 기법을 중심으로 분류 및 분석하는 연구를 수행한다. 넷째, 다양한 키워드(일정관리, 일정계획, 공정계획 등)를 추가하고, 2017년 이후에 발표된 최신 문헌을 포함하는 분석 연구를 수행한다. 이러한 추후 연구를 통해 궁극적으로는 효율적인 스케줄링 기법 기반의 생산계획 관리시스템을 개발하고자 한다.

## Acknowledgement

This study was supported by the financial accounting research fund of Hanbat National University in 2015.

## References

- [1] Ahn, E.G., Chang, D.S., and Park, S.C., A Study for Improve on Time Delivery in Wafer FAB, *Proceedings of the Winter Society of CAD/CAM Conference*, 2015, pp. 691-695.
- [2] Ahn, E.G., Seo, J.C., and Park, S.C., Semiconductor Backend Scheduling Using the Backward Pegging, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 2014, Vol. 19, No. 4, pp. 402-409.
- [3] Back, M.G., Kim, Y.M., Hwang, I.H., Lee, K.K., Ryu, C.H., and Shin, J.G., Design and Development of Scenario-Based Simulation System to Improve Shipbuilding Execution Scheduling Assessment—A Case Study on Panel Line—, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 2013, Vol. 18, No. 3, pp. 211-223.
- [4] Bae, H.C., Park, K.C., Cha, B.C., and Moon, I.K., Scheduling of Shipyard Sub-assembly Process using Genetic



- Algorithms, *Journal of Industrial Engineering Magazine*, 2007, Vol. 20, No. 1, pp. 33-40.
- [5] Cha, M.B. and Choi, W.J., A Study on Application of the CCPM in Pre-Erection Scheduling and Erection Scheduling of Shipbuilding, *Proceeding of Korean Operations Research And Management Society*, 2009, Vol. 2009, No. 10, pp. 594-599.
- [6] Chai, J.I. and Park, Y.B., A Study on Throughput Increase in Semiconductor Package Process of K Manufacturing Company Using a Simulation Model, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2010, Vol. 19, No. 1, pp. 1-11.
- [7] Cho, D.Y., Song, H.C., Cha, J.H., Choi, H.S., and Hwang, H.J., Simulation Layout of the Control Ground Using 3D Hull Model and Assembly Tree, *Proceedings of the Annual Autumn Meeting*, 2011, pp. 144-147.
- [8] Choi, S.I., DBpia, <http://dbpia.co.kr>, Copyright© 1997~2016 NURIMEDIA all rights reserved.
- [9] Goo, B.G. and Chung, H., A Layered DES Framework for Simulation Based Ship Production Scheduling, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, 2012, pp. 363-370.
- [10] Ha, B.H., Son, J.R., Cho, K.K., and Choi, B.C., A Mathematical Programming Approach for Block Storage Problem in Shipbuilding Process, *Journal of Korean Management Science Review*, 2013, Vol. 30, No. 3, pp. 99-111.
- [11] Han, I.J., Kim, J.S., Kwon, O.S., and Heo, H., Scheduler Design for Yaw Stability Improvement of In-wheel Motor Vehicle, *Proceeding of Synthesize Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 2011, Vol. 2011, No. 4, pp. 212-217.
- [12] Hwang, I.H., Lee, S.M., Nam, S.H., Back, M.G., and Shin, J.G., A Study on the Application of Assessment System based AHP for Shipyard Production Planning : Focusing on H Company, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, 2014, pp. 451-453.
- [13] Hwang, I.H., Song, J.K., Baek, M.K., Ryu, C.H., Lee, G.K. and Shin, J.K., Development of Shipbuilding Execution Scheduling Support System using Mobile Device- A Case Study for a Panel Block Assembly Shop, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2013, Vol. 50, No. 4, pp. 262-271.
- [14] Jeong, W.I., Oh, H.Y., Park, J.W., Kim, D.Y., Lee, S.H., Choi, T.H., and Ha, S.J., Block Assembly Monitoring in Shipbuilding Using Overhead Crane Operation Data, *Proceeding of Winter Society for Computational Design and Engineering*, 2016, Vol. 2016, No. 1, pp. 652-655.
- [15] Jeun, J.H. and Park, J.E., Industry Outlook 2017, *Korea Institute for Industrial Economics and Trade*, 2017. 04.
- [16] Kang, H.Y. and Kim, J.D., A Design and Implementation of Bidding and Scheduling System for Ship Repair, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 2015, Vol. 19, No. 7, pp. 1585-1592.
- [17] Kang, K.Y. and Kang, Y.H., Wet station A Development of the Total Management System of the Wet Station, *Journal of Korean Institute of Information Technology*, 2008, Vol. 6, No. 5, pp. 19-27.
- [18] Keum, D.Y., Seo, S.O., and Cho, C.H., Study on Scheduling of an Apartment for the Electric Vehicle Charging, *Proceeding of Synthesize Korean Society of Automotive Engineers*, 2013, Vol. 2013, No. 5, pp. 1151-1151.
- [19] Kim, B.J. and Kim, C.S., A Case Study of Production Scheduling for Core Products, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2003, Vol. 4, No. 3, pp. 252-256.
- [20] Kim, C.G. and Jang, S.Y., A Study on the Relationship Between Berth Occupancy Rate and Ship Size at Exclusive Bulk Terminal, *Journal of The Korea Society for Simulation*, 2008, Vol. 17, No. 3, pp. 63-73.
- [21] Kim, D.H., Choi Y.G., and Cho, G.H., Industrial Economy Information 12<sup>th</sup> Industry Outlook 2016, *Korea Institute for Industrial Economics and Trade*, 2015.
- [22] Kim, G.Y., Chae, M.S., and Yoo, J.A., Case Study on Location Tracking System using RFID Active Tag and Improvement of Scheduling System in Semiconductor Manufacturing, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 2008, Vol. 21, No. 2, pp. 229-236.
- [23] Kim, H.C., Doh, H.H., Yu, J.M., Kim, J.G., and Lee, D.H., A Case Study on Capacitated Lot-sizing and Scheduling in a Paper Remanufacturing System, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 3, pp. 77-86.
- [24] Kim, H.Y., Nam, J.H., and Lee, P.L., Analysis of Production Management System for Simulation of Shipbuilding Scheduling, *Proceeding of Autumn Society of Naval Architects of Korea*, 2011, Vol. 2011, pp. 133-136.
- [25] Kim, J.S., Production Scheduling of Distributed Flexible Manufacturing Environment [master's thesis], [Seoul,

- Korea] : Yonsei University, 2017.
- [26] Kim, K.H. and Chung, J.W., A Study on Multi-criteria Trade-off Structure between Throughput and WIP Balancing for Semiconductor Scheduling, *Journal of Korean Management Science Review*, 2015, Vol. 32, No. 4, pp. 69-80.
- [27] Kim, M.S. and Hong, S.C., Set up a Demand Factor of EV Chargers and Its Control Method in Apartments, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 2014, Vol. 28, No. 8, pp. 98-105.
- [28] Kim, S.B., Development of a Job Scheduling System for an Order [master's thesis], [Seoul, Korea] : Hongik University, 2002.
- [29] Kim, S.H., Tak, S.S., Jeun, Y.B., and Kim, Y.H., Semiconductor Industry Sector Council, *Korea Semiconductor Industry Association Trends and Research Report*, 2013.
- [30] Koh, S.G., Jang, J.H., Choi, D.W., and Woo, S.B., Spatial Scheduling for Mega-block Assembly Yard in Shipbuilding Company, *IE Interfaces*, 2011, Vol. 24, No. 1, pp. 78-86.
- [31] Korea Standard Industry Classification (10<sup>th</sup> revision) 2017, <http://kssc.kostat.go.kr/>, Copyright Statistics Korea All rights reserved.
- [32] Lee, C.H., Koo, L.J., Lee, H.Y., Park, S.K., Wang, G.N., and Park, S.C., Research of Input Information Structure Method for Verification of Shipbuilding Block Assembly Shop Scheduling, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, 2010, pp. 324-330.
- [33] Lee, D.H., Kim, H.S., Bang, K.U., and Jeon, H.K., An Operation Scheduling System for Pre-Erection and Erection of Shipbuilding, 2009, *Proceeding of Autumn Korean Institute of Industrial Engineers*, pp. 8-11.
- [34] Lee, D.U., Park, T.S., Koo, L.J., Lee, C.H., Park, S.K., Park, S.C., and Wang, G.N., An Efficient DB Framework for Scheduling in Ship-building, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, 2011, pp. 92-98.
- [35] Lee, G.Y. and Jung, M.Y., Vehicle Scheduling for Inbound Supply Chain, *Proceeding of Spring Korean Institute of Industrial Engineers*, 2013, pp. 1535-1540.
- [36] Lee, G.Y., Cho, H.B., and Jung, M.Y., Period-based Delivery Scheduling Method for Inbound Logistics, *Proceeding of Spring Korean Institute of Industrial Engineers*, 2014, pp. 76-81.
- [37] Lee, H., Park, Y.J., and Hur, S., A Preventive Maintenance Scheduling Model of the Cluster Tool, *IE Interfaces*, 2012, Vol. 25, No. 1, pp. 127-133.
- [38] Lee, J.M., Kang, K.T., and Noh, D.K., Cyclic Executive for Autonomous Driving with Real-Time Smart Cruise Control, *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 2014, Vol. 19, No. 1, pp. 1-8.
- [39] Lee, S.J. and Kim, S.H., Heuristic Method of Load Leveling for Optimal Production in Shipyard, *Proceeding of Autumn Korean Institute of Industrial Engineers*, 2011, pp. 183-189.
- [40] Lee, S.J., Park, S.Y., Park, M.H., and T.U., and Chung, J.W., A Mixed Integer Programming Model for Real-Time Scheduling System in TFT-LCD Fab, *Proceeding of Korean Operations Research And Management Society*, 2010, Vol. 2010, No. 10, pp. 663-668.
- [41] Lee, W.S., Lim, W.I., and Koo, P.H., Dynamic Transporter Scheduling for Block Transportation in Shipbuilding, *Proceeding of Spring Korean Institute of Industrial Engineers*, 2008, Vol. 2008, pp. 766-773.
- [42] Lee, W.S., Lim, W.I., and Koo, P.H., Transporter Scheduling Based on a Network Flow Model for Dynamic Block Transportation Environment, *IE Interface*, 2009, Vol. 22, No. 1, pp. 63-73.
- [43] Lee, Y.B. and Kim, T.C., 2.5 Development Plan of Automobile Industry, *Report of Market Economic Research Institute*, 2008.
- [44] Moon, G.J. and Hur, J.H., Development of an Efficient Vehicle Routing Heuristic using Closely Located Delivery Points and Penalties, *Journal of The Korea Society for Simulation*, 2007, Vol. 16, No. 3, pp. 1-9.
- [45] Na, H.B., Multi-level Job Scheduling in a Flexible Discrete-part Production Environment [dissertation], [Seoul, Korea] : Seoul University, 2014.
- [46] Na, H.B., Seo, J.W., Park, C.K., and Park, J.W., A Study on Developing Scheduling Software According to Industrial Characteristics, *Proceeding of Spring Korean Society of Precision Engineering*, 2008, Vol. 2008, pp. 917-918.
- [47] Nam, S.H., Ju, S.H., Ryu, C.H., and Shin, J.G., The Designing of Production Planning Module for Advanced Planning System with Respect to Supply Chain of the Shipbuilding Industry, *Journal of Computational Design and Engineering*, 2016, Vol. 21, No. 3, pp. 353-362.
- [48] Park, N.R. and Kim, S.H., A Robust Ship Scheduling Based on Mean-Variance Optimization Model, *Journal of the Korean Operations Research and Management*

- Science Society*, 2016, Vol. 41, No. 2, pp. 129-139.
- [49] Park, T.S., Lee, D.U., Lee, C.H., Koo, L.J., Lee, H.Y., Park, S.C., and Wang, G.N., A Human Centered Decision Support System for Mid-Schedule Planning of Shipbuilding, *Proceeding Winter of Society of CAD/CAM Engineers*, 2011, pp. 225-230.
- [50] Park, Y.M., Park, D.H., Lee, P.L., Nam, S.H., Jeong, Y.K., Ryu, C.H., and Choi, Y.R., A Study about the System Structure of Master Plan for Manufacturing Scheduling of Mid-size Shipyard, *Proceedings of Winter the Society of CAD/CAM Conference*, 2016, pp. 906-909.
- [51] Roh, M.I. and Lee, K.Y., Optimal Block Lifting Scheduling Considering the Minimization of Travel Distance at an Idle State and Wire Replacement of a Goliath Crane, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 2010, Vol. 15, No. 1, pp. 1-10.
- [52] Ryu, W.S., Hwang, H.C., and Park, C.K., An Optimization of Process Planning around Quays based on the Yard Customized GIS and the Simulator, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2015, Vol. 52, No. 2, pp. 97-103.
- [53] Son, M.J. and Kim, T.W., Job Assignment Simulation of Ship Hull Production Design in Consideration of Mid-Term Schedule, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2013, Vol. 50, No. 5, pp. 334-342.
- [54] Song, M.G., Jung, C.H., and Ji, S.D., A study of Cluster Tool Scheduler Algorithm which is Support Various Transfer Patterns and Improved Productivity, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2010, Vol. 19, No. 4, pp. 99-109.
- [55] Song, Y.J., Lee, D.K., Woo, J.H., and Shin, J.G., A Shipyard Layout Design System by Simulation, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2008, Vol. 45, No. 4, pp. 441-454.
- [56] Suh, J.D. and Bruce, F.L., A Real Time Integrated Dispatching Logic for Semiconductor Material Flow Control Considering Multi-load Automated Material Handling System, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2008, Vol. 34, No. 3, pp. 296-307.
- [57] Won, S.J., Production Scheduling Considering Task Splitting and Merging using Genetic Algorithm [master's thesis], [Pusan, Korea] : Pusan University, 2017
- [58] Woo, J.H., Hwang, Y.S., and Nam, J.H., An Approach for Construction of Shipyard Simulation Environment based on Neutral File Format, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2016, Vol. 53, No. 1, pp. 18-28.
- [59] Yoon, K.W., Lee, P.L., and Woo, J.H., An Data Integration of Manufacturing Plans of Heterogeneous Shipyard by Designing the Architecture of Standard Data Structure, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, 2014, pp. 1177-1182.
- [60] Yu, Y.H., Cha, S.J., and Jo, G.S., Hybrid Heuristic Applied by the Opportunity Time to Solve the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window, *Journal of Korea Intelligent Information Systems Society*, 2009, Vol. 15, No. 3, pp. 137-150.

#### ORCID

Jae-yong Lee | <http://orcid.org/0000-0002-7981-5282>

Moonsoo Shin | <http://orcid.org/0000-0001-6318-9662>