

염색 가공 공장에서 동적 스케줄링 기법에 관한 연구

홍진빈*, 윤영석*, 오현우°

A Study of Dynamic Scheduling Method with Optaplanner in Dyeing Processing Factory

Jin-Bin Hong*, Young-Seog Yoon*, Hyun-Woo Oh°

요 약

제조 산업에서 스케줄링은 생산량과 업무 효율성에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 염색 가공 공정은 다른 제조 공정들보다 모든 여건이 복잡하고 서로 연관된 공정이 있다. 이러한 이유로 다양한 제약 조건들에 맞게 대처하는 신속하고 유연한 스케줄링이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 주문 정보와 원단 정보를 기반으로 작업 공정에 대한 스케줄링과 생산라인으로부터 수집되는 실데이터를 기반으로 최적화를 위한 재스케줄링을 고려한 동적 스케줄링 방법을 제안한다. 본 시스템 개발을 위해 동적 스케줄링 시뮬레이션은 JAVA와 Optaplanner를 사용하였다.

Key Words : Dyeing Processing Factory, Dynamic Scheduling, Optimization

ABSTRACT

The job scheduling is an important factor in production and work efficiency in the manufacturing industry. The dyeing process has more complicated and interconnected processes than all other manufacturing process. For this reason, there is a need for fast and flexible scheduling to cope with various constraints. Therefore, in this paper, we propose a dynamic scheduling method considering scheduling based on order information and fabric information and rescheduling for optimization based on actual data collected from production line. For the development of this system, dynamic scheduling simulations used JAVA and Optaplanner.

I. 서 론

1.1 배경

스케줄링은 기계 정보, 납기일, 일일 생산량, 공정 시간 등의 계획을 통해 이루어진다. 스케줄링은 이러한 계획들과 자원의 제약조건을 바탕으로 들어온 주문들에 대한 작업 순서를 계획하는 것이다. 스케줄링은 제조 산업에서 생산력과 업무 효율성 향상에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다[※].

염색 가공 공정은 다른 제조 공정들보다 모든 여건이 복잡하고 서로 영향을 미치는 연관된 공정이 많다. 염색 가공 공장은 크게 염색 공장과 후가공 공장으로 나누어진다. 염색 공장은 새 원단에 염색하는 것을 중점적으로 하는 공장이고, 후가공 공장은 원단의 광택이나 터치감과 같은 염색 후 후처리를 중점적으로 하는 공장이다.

염색 가공 공장에서는 바이어 오더나 원단의 종류에 따라 공정 전체가 달라질 수 있고, 원단의 종류와

※ 본 논문은 2019년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (20006619, “섬유산업 생산 혁신을 위한 실시간 생산 최적화 운영이 가능한 염색가공 지능형 공장 시스템 개발”)

• First Author : Future & Basic Technology Research Division, ETRI, jbhongg@naver.com, 인턴연수생, 학생회원

° Corresponding Author : Future & Basic Technology Research Division, ETRI, hyunwoo@etri.re.kr, 책임연구원, 정회원

* ETRI 선임연구원, 종신회원

논문번호 : 202003-044-C-RN, Received March 2, 2020; Revised April 9, 2020; Accepted April 16, 2020

중량에 따라 전처리 과정과 염색기 선정이 달라진다. 또한 중간 샘플 검사를 통해 원하는 염색 품질이 나오지 않았을 경우와 납기일이 급한 주문이 들어올 경우 재스케줄링이 필요하다.

1.2 기존 연구 및 문제점

이러한 다양한 상황 변화와 제약 조건들에 맞게 대응하는 신속하고 유연한 스케줄링이 필요하며 이를 해결하기 위해 휴리스틱 알고리즘, 수리적 분석 기반, 규칙 기반의 스케줄링이 연구되어왔다. 휴리스틱 알고리즘 기반의 스케줄링은 비교적 적용이 단순하지만 한 가지 문제에만 적용이 가능하고, 새로운 문제에 대한 해법을 개발하는 데 어려움을 가지고 있다. 따라서 다양한 상황 변화나 제약 조건들에 맞게 대응하며 신속하게 문제를 해결해야 하는 염색 가공 공정에는 적용하기 어렵다. 수리적 분석 기반의 스케줄링은 제약 요소가 많은 환경에 대한 스케줄링을 수학적으로 공식화하기 복잡하고 최적 해를 제공하는 데 어려움이 있다. 또한 주문량과 주문 정보의 다양성이 많아져 문제의 규모가 커질 경우 최적 해를 제공하는 데 시간이 오래 걸린다는 문제가 존재한다. 규칙 기반의 스케줄링은 단일 목적함수에 대해 하나의 기계에 대한 스케줄러를 생성하는데 좋은 성능을 보이나 다양한 상황 변화와 제약 조건들에 대응해서는 유연하게 대처할 수 없다¹⁻³⁾.

1.3 제안 아이디어

본 논문에서는 주문 정보와 원단 정보를 기반으로 작업 공정에 대한 스케줄링과 생산라인으로부터 수집되는 실패데이터를 기반으로 최적화를 위한 재스케줄링을 고려한 동적 스케줄링 방법을 제안한다. 즉 동적 스케줄링을 통해 예상치 못한 상황 변화와 서로 연관된 공정에 따른 제약 조건들에 맞게 유연하고 신속하게 실시간 작업 계획을 시뮬레이션하는데 목적이 있다^{4,5)}.

II. 본 론

2.1 공정 구성도

그림 1은 염색 공장의 공정 구성도를 나타낸다. 공정 구성은 원단이 입고되면 배색 공정을 거치고 B/T 테스트 공정에서 바이어가 원하는 색상이 나올 때까지 공정을 반복 진행한다. 그 후 원단을 한 번에 염색할 수 있도록 미싱 작업을 통해 원단을 준비한다. 원단의 재질에 따라 전처리 방법이 전처리를 사용하

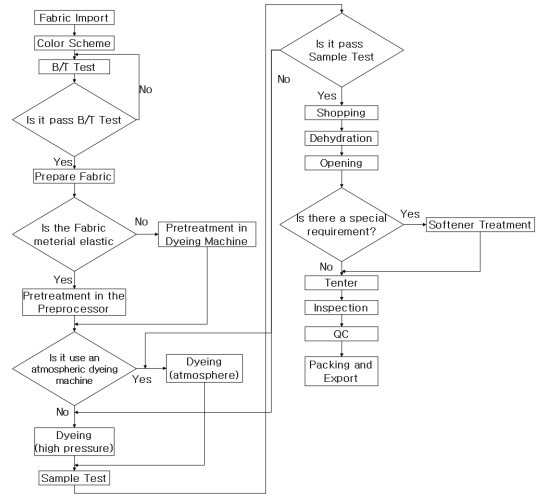


그림 1. 염색 공장 공정 구성도
Fig. 1. Dyeing Factory Process Diagram

는 것과 염색기에서 전처리하는 방법으로 나누어 전처리 공정을 진행한다. 원단의 재질과 양에 따라 상압과 고압 염색기로 나누어져 염색 공정을 진행한다. 염색 후 샘플 검사 과정에서 불량률이 발생하면 재염색이 진행된다. 샘플 검사에서 불량률이 발생하지 않았으면 수세, 탈수, 개폭 공정을 차례로 진행한다. 바이어의 광택이나 터치감과 같은 특수 요구 사항이 있으면 그에 맞는 유연제 처리 공정 단계가 추가된다. 그 후 텐터, 검단, QC 공정을 차례로 진행한 뒤 포장 및 출고를 한다.

그림 2는 후가공 공장의 공정 구성도를 나타낸다. 후가공 공정 구성은 크게 R/W(Rotary Washing) 공정, 텐터링 공정, 침장 공정, 선염 공정으로 나누어지지만, 큰 공정에서의 세부 공정이 다를 수 있다. R/W 공정 같은 경우 에어로워싱(A/W) 작업 필요 여부에 따라 세부 공정이 달라진다. 원단의 재질과 바이어 오더에 따라 각각의 필요 공정의 작업을 순차적으로 진행한다.

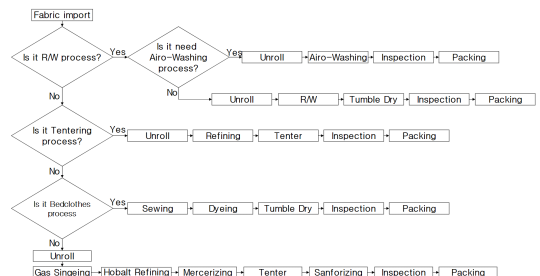


그림 2. 후가공 공장 공정 구성도
Fig. 2. Postprocess Factory Process Diagram

2.2 개발 시스템 구조

그림 3은 개발 소프트웨어의 전체 흐름도를 나타낸다. 주문 데이터와 생산라인 실데이터, 작업 계획 데이터를 데이터베이스에서 읽어온다. 읽어온 데이터들을 바탕으로 필요한 객체들을 구성한다. 구성된 객체들을 사용자 인터페이스를 통해 보여준다. 사용자 인터페이스에서 solve 버튼을 누르게 되면 5분이 지나거나 solve 버튼을 다시 누르기 전까지 스케줄링하게 된다. 스케줄링에 고려해야 할 제약 조건들을 불러오고 그에 맞는 동적 스케줄링 알고리즘을 사용하여 신속하고 유연한 작업 계획을 생성한다. 스케줄링 된 작업의 데이터를 데이터베이스에 저장하고 결과를 표출해 준다.

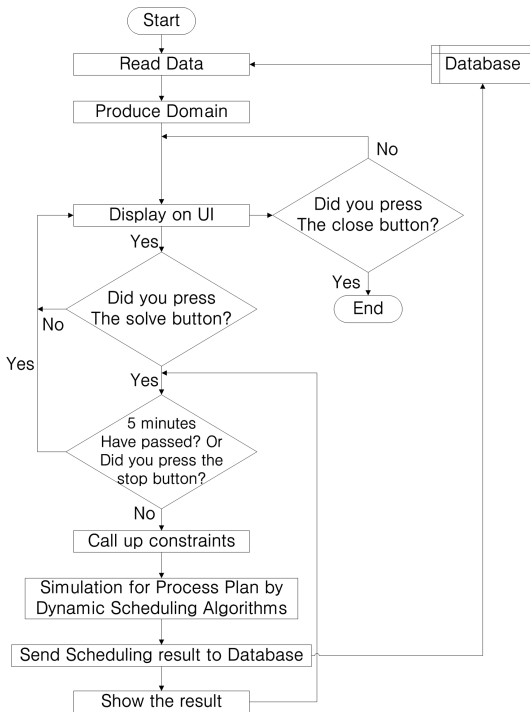


그림 3. 소프트웨어 구성도
Fig. 3. S/W Block Diagram

III. 실험

3.1 시뮬레이션 환경

개발된 시스템은 동적 스케줄링 시뮬레이션을 포함한 사용자 인터페이스로 구성되었다.

주문 정보와 생산라인 실데이터를 기반으로 하여 동적 스케줄링을 시뮬레이션하는 부분은 자바 프로그래밍 언어와 오픈소스인 Optaplanner를 사용하였다.

시스템 시뮬레이션 데이터는 표 1, 표 2, 표 3과 같은 데이터 구조로 구성되어있다. 데이터베이스에는 표 1, 표 2, 표 3과 같은 구조로 구성된 주문 정보와 생산라인 정보와 작업 정보가 저장되어 있으며 여러 개의 데이터를 바탕으로 시뮬레이션하여 진행한다.

염색기 8대와 주문 24개를 무작위로 만들어 시뮬레이션을 진행하였다.

염색기의 종류로는 상압 염색기와 고압 염색기, 상압과 고압을 모두 사용 가능한 염색기로 구분하였고, 용량은 250kg, 500kg, 750kg, 1,000kg으로 구분하였다. 주문의 원단 종류는 면과 스판으로 구분하였고, 납기일은 크게 급함, 중간, 느림으로 구분하였다. 색상 역시 밝음, 중간, 어두움으로 구분하였고 요구되는 기술로는 원단의 종류에 따라 사용해야 하는 염색기의 종류를 할당하였다.

표 4는 염색기 8대의 정보를 나타낸 것이고, 표 5는 주문 24의 정보를 나타낸 것이다. 이후 시뮬레이션

표 1. 주문 데이터 구조
Table 1. Order Data Structure

Order_num	Order number
Fabric_type	Fabric material
Fabric_amount	Fabric amount
Due_date	Due date
Color	Color
Special_Requirements	Special Requirements

표 2. 생산라인 데이터 구조
Table 2. Production Line Data Structure

Machiner_num	Machine number
Type	Machine type
Processing_time	Processing time
Remaining_Process_time	Remaining process time
Volume	Volume
Last_Job_Info	Last job information

표 3. 작업 데이터 구조
Table 3. Job Data Structure

Job_num	Job number
Required_skill	Required machine type
Quality_inspection	Quality inspection
B/T_test_result	B/T test result
Weight	Weight
Order_num	Order number

표 4. 시뮬레이션 염색기 데이터 정보
Table 4. Simulation Dyeing Machine Data Information

Machine number	Type	Volume
machine1	Atmospheric, High pressure	1,000kg
machine2	Atmospheric	1,000kg
machine3	High pressure	1,000kg
machine4	High pressure	750kg
machine5	Atmospheric, High pressure	500kg
machine6	Atmospheric, High pressure	250kg
machine7	Atmospheric	750kg
machine8	High pressure	750kg

을 위해 스케줄링 도중 추가로 주문을 생성할 시에는 무작위로 데이터가 할당되도록 진행하였다.

다음과 같은 제약 조건들을 고려하여 스케줄링하게 된다.

- (1) 샘플 검사에 따라 다음 작업이 지연될 수 있다.
- (2) 염색 색상별로 어떤 염색기가 최적일지 고려해야 한다.
- (3) 후가공 공장의 경우 납기일에 따라 우선순위가 달라진다.

표 5. 시뮬레이션 주문 데이터 정보
Table 5. Simulation Order Data Information

Order number	Fabric material	Due date	Color	Required skill	Fabric amount
Cotton -1	Cotton	Slow	Light	Atmospheric	750kg
Cotton -2	Cotton	Haste	Medium	Atmospheric	1,000kg
Cotton -3	Cotton	Slow	Light	Atmospheric	500kg
Cotton -4	Cotton	Slow	Medium	Atmospheric	750kg
Cotton -5	Cotton	Medium	Dark	Atmospheric	250kg
Cotton -6	Cotton	Medium	Medium	Atmospheric	250kg
Cotton -7	Cotton	Medium	Medium	Atmospheric	500kg
Cotton -8	Cotton	Slow	Light	Atmospheric	750kg
Cotton -9	Cotton	Medium	Medium	Atmospheric	500kg

Order number	Fabric material	Due date	Color	Required skill	Fabric amount
Cotton -10	Cotton	Haste	Dark	Atmospheric	250kg
Cotton -11	Cotton	Medium	Medium	Atmospheric	1,000kg
Cotton -12	Cotton	Slow	Light	Atmospheric	250kg
Span -1	Span	Medium	Dark	High pressure	750kg
Span -2	Span	Medium	Light	High pressure	1,000kg
Span -3	Span	Slow	Dark	High pressure	500kg
Span -4	Span	Slow	Light	High pressure	250kg
Span -5	Span	Slow	Light	High pressure	500kg
Span -6	Span	Slow	Light	High pressure	500kg
Span -7	Span	Slow	Light	High pressure	1,000kg
Span -8	Span	Haste	Dark	High pressure	250kg
Span -9	Span	Medium	Medium	High pressure	500kg
Span -10	Span	Medium	Medium	High pressure	250kg
Span -11	Span	Slow	Light	High pressure	500kg
Span -12	Span	Haste	Dark	High pressure	500kg

3.2 시뮬레이션 결과

제약 사항 여부에 따라 작업 계획이 어떻게 생성되는지를 비교해보았다. 그림 4는 데이터베이스를 바탕으로 구성된 객체들에 제약 사항을 추가하지 않고 시뮬레이션을 통해 생성된 작업 계획을 나타낸 것이다. 그림 5는 구성된 객체에 실제 제약 사항들을 추가하여 시뮬레이션을 통해 생성된 작업 계획을 나타낸 것이다.

재스케줄링을 고려한 유연한 작업 계획이 생성되는지를 확인하기 위해 표 5의 시뮬레이션 주문 데이터가 한번 스케줄링 완료되어 공정이 진행되는 중간에 새로운 주문을 무작위로 생성시켜보았다. 그림 4는 새로운 주문이 추가되었을 때 기존의 작업 계획이 추가 주문 정보에 따른 다양한 제약 조건들이나 상황 변화에 맞게 동적으로 재스케줄링이 되지 않고 기존 작업

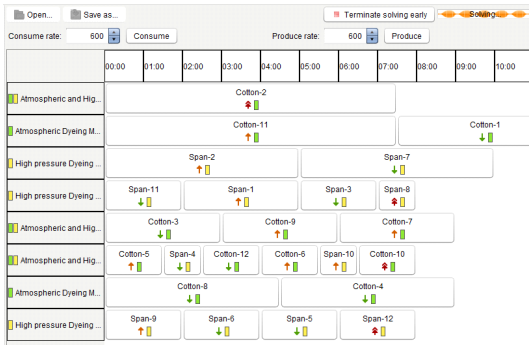


그림 4. 제약 사항 미추가 시뮬레이션 데이터 작업 계획
Fig. 4. Unconstrained Simulation Data Task Operations

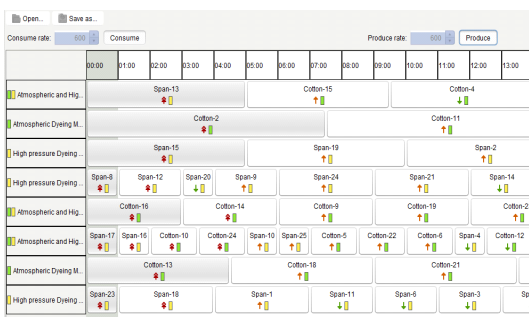


그림 5. 제약 사항 추가 시뮬레이션 데이터 작업 계획
Fig. 5. Add Constraints Plan Simulation Data Task Operations

계획 이후에 스케줄링되었다. 이에 반해 그림 5는 이미 진행 완료되었거나 진행 중인 작업을 제외하고 기존의 기다리고 있던 작업이 추가 주문 정보에 따른 상황 변화에 맞게 재스케줄링 되는 것을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 주문 정보와 원단 정보에 따른 공정 단계 및 생산라인 실데이터를 기반으로 재스케줄링을 고려한 동적 스케줄링 방법을 제안하였다.

제안한 방법을 통해 염색 가공 공장의 제품 생산성과 품질이 향상될 것이라고 기대하고 생산라인 실데이터를 바탕으로 얻어지는 작업의 특징에 따라 상황 변화에 맞게 재스케줄링을 하며 대응하는 신속하고 유연한 작업 계획을 생성할 수 있다.

향후 연구에서는 더욱 복잡한 원단의 종류나 다양한 작업 특징과 외부 요인 변화에 대응하여 실시간으로 스케줄링하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

References

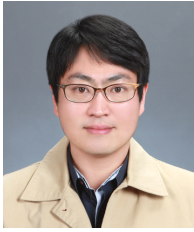
- [1] S. J. Lee, H. R. Choi, and H. C. Lee, "Develop an adaptive scheduling platform to improve production system efficiency," *J. Korea Ind. Info. Syst. Soc.*, vol. 16, no. 2, pp. 73-82, Jun. 2011.
- [2] G. H. Go and C. S. Mok, "Distributed arrival time control algorithm improvement," *J. Korea Ind. Info.*, vol. 38, no. 1, pp. 31-40, Mar. 2012.
- [3] S. W. Jung and J. W. Kim, "Solve task sequencing problem with constraints using candidate ranking based other search," *Info. Syst. Res.*, vol. 25, no. 1, pp. 159-182, Mar. 2016.
- [4] S. W. Lee, H. S. Kim, and S. Y. Jo, "A study on dynamic scheduling in flexible manufacturing system environment," *J. Soc. Korea Ind. and Syst. Eng.*, vol. 27, no. 2, pp. 17-23, 2004.
- [5] J. I. Lee and Y. B. Shin, "Development of knowledge-base system for scheduling considering work assignment," *J. Soc. Korea Ind. and Syst. Eng.*, vol. 20, no. 44, Nov. 1997.

홍진빈 (Jin-Bin Hong)



2020년 2월 : 한국전자통신연구원 인턴 수료
2015년 3월~현재 : 충북대학교 소프트웨어학과 학사과정
<관심분야> 스마트 팩토리
[ORCID:0000-0003-2723-5478]

윤 영 석 (Young-Seog Yoon)



2003년 2월 : 부산대학교 산업공학 졸업 (학사)

2005년 2월 : 한국과학기술원 IT 경영학 석사

2018년 2월 : 한국과학기술원 IT 경영학 박사

2015~현재 : 한국전자통신연구원 미래원천연구본부 선임연구원

<관심분야> 빅데이터 분석, 소비자 행동론, 소비자 행동 예측, 토픽 분석

[ORCID:0000-0003-3796-8480]

오 현 우 (Hyun-Woo Oh)



1999년 2월 : 아주대학교 정보통신공학부 학사

2001년 2월 : 아주대학교 정보통신대학원 컴퓨터공학과 석사

2011년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사

2001년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 ICT창의연구소 미래원천연구본부 책임연구원, Project Leader

<관심분야> 웨어러블 스마트디바이스, 스마트제조, 소프트웨어, 상황인지 플랫폼, 실감미디어 서비스 플랫폼, Giga Korea 서비스 플랫폼, 홈네트워크 시스템, 임베디드 시스템

[ORCID:0000-0002-4887-2356]