

# Dispatching Rule based on Chromaticity and Color Sequence Priorities for the Gravure Printing Operation

Jae-Ho Bae<sup>†</sup>

Dept. of Industrial Engineering, Osan University

## 색도 및 색순에 따른 그라비아 인쇄 공정의 작업 순서 결정 규칙

배 재 호<sup>†</sup>

오산대학교 산업공학과

This paper presents a method to measure the similarity of assigned jobs in the gravure printing operation based on the chromaticity and color sequence, and order the jobs accordingly. The proposed dispatching rule can be used to fulfill diverse manufacturing site requirements because the parameters can be adjusted to prioritize chromaticity and color sequence. In general, dispatching rules either ignore the job-changing time or require that the time be clearly defined. However, in the gravure printing operation targeted in this study, it is difficult to apply the general dispatching rule because of the difficulties in quantifying the job-changing time. Therefore, we propose a method for generalizing assignment rules of the job planner, allocating relative similarity among assigned jobs, and determining the sequence of jobs accordingly. Chromaticity priority is determined by the arrangement of the color assignments in the printing operation; color sequence priority is determined by the addition, deletion, or change in a specific color sequence. Finally, the job similarity is determined by the dot product of the chromaticity and color sequence priorities. Implementation of the proposed dispatching rule at an actual manufacturing site showed the planner present the same job order as that obtained using the proposed rule. Therefore, this rule is expected to be useful in industrial sites where clear quantification of the job-changing time is not possible.

**Keywords :** Dispatching Rule, Gravure Printing Operation, Similarity, Chromaticity and Color Sequence, Adjustable Priority

### 1. 서 론

생산현장에서 작업 계획의 수립은 고객에게 제품을 납기 내에 공급하기 위하여 자재, 설비 가용성, 작업자 등의 자원 제약이 감안된 실제 생산 능력을 최대한 발휘하기 위한 매우 중요한 업무이다. 일반적으로 작업 계획은 생산효율이나 제조원가 등에 직결되는 문제로 예측 가능한 상황을 감안하여 가급적 작업 변경 시간을 줄이며,

생산 능력을 최대한 발휘할 수 있도록 작업 순서를 결정하는 것이 핵심 업무라고 할 수 있다. 작업 계획 혹은 생산계획은 흔히 계획 대상 기간에 따라 **Planning**, **Scheduling** 및 **Dispatching** 등으로 구분된다. 대개 **Planning**이나 **Scheduling**은 비교적 장기간의 작업 계획을 목표로 수립되어, 다양한 제약조건을 사전에 감안하고 최종 작업의 완료시간(**Makespan**) 등의 목적 함수에 대한 최적화 계획을 수립하는 것이 주 목적이 된다. 가급적 모든 제약조건을 반영하여 최적화된 계획의 수립을 목표로 하지만, 일반적으로 주문생산 기반의 생산계획(**JSP; Job Shop Scheduling**) 문제는 NP 완전 문제로, 최적해를 도출하기 어려운 경우가 있다[9]. 이러한 문제를 해결하기 위하여,

휴리스틱 기법을 활용한 근사해에 따라 생산 계획을 수립하는 방법이나 개략적 제약조건을 기반으로 장기계획을 수립하고 현장 작업 순서는 Dispatching 등으로 결정하는 방법 등이 흔히 사용된다. 이와 같이 Dispatching은 비교적 짧은 미래의 작업 계획 수립을 목표로 활용되어, 현장의 상황이 불확실하거나 단기적인 최적화 계획을 위하여 활용된다. Dispatching에 따른 계획 수립은 실제 현장에서 적용하기 편하며 납득할 만한 성능을 보여 지속적으로 연구되어 왔으며, 다양한 규칙들이 지속적으로 연구되어 100여 개가 넘는 방법들이 보고되었다[18].

그러나 지금까지 다양한 작업 계획 수립 방법들이 제시되고 있음에도 인쇄 작업 공정에 적합한 방법은 찾기 어려운 것이 현실이다. 대개의 Dispatching 방법들은 주로 Job Shop 기반의 생산 환경을 대상으로 진행되어 왔는데, Job Shop 환경에서 총처리 시간을 최소화 하는 문제[3]나 총지연도를 최소화하기 위한 문제[14] 등이 그것이다. 이와 같은 이유는 Job Shop 공정이 단위 공정의 연속으로 구성되어, 작업에 필요한 시간 측정이 용이하고 이를 기반으로 데이터 관리가 용이하기 때문이다. 이와는 달리 실제 인쇄 공정은 다양한 색상이 활용되고 색상의 변화에 따라 작업 준비 시간의 차이가 큰데 반해, 활용할 수 있는 데이터의 관리가 어렵기 때문에 판단된다. 실제로 인쇄 작업 공정의 색상 변경은 주문 색상(별색 인쇄) 등을 활용할 경우 인쇄 가능한 색상의 숫자는 매우 많아지고, 같은 색상 간의 변경이라도 순서에 따라 준비 시간이 다르며(A에서 B색상으로의 변경 시간과 B색상에서 A색상으로의 변경 시간이 다름), 경우에 따라 기본 색상을 활용하여 별색을 대체하는 경우 등의 요인으로 사전에 작업 변경 시간을 모두 계량화하여 관리하기 어렵다. 따라서 현장에서는 나름대로 색상 변경에 따른 우선순위를 정의하고, 이에 따라 작업 계획을 수립하는 담당자가 수작업으로 작업 순서를 조정하는 경우가 많다. 본 연구에서는 체계적인 작업 준비 시간 데이터가 준비되지 않은 그라비아 인쇄 공정의 작업 순서 결정을 위하여, 생산계획 담당자의 작업 방식을 색도 배치 선호도와 색상 배치 선호도로 정리하고, 이를 결합한 유사도에 따라 진행 중인 작업과 가장 유사한 작업을 다음 작업으로 선정하는 방법의 Dispatching 규칙을 제시한다. 또한 이 과정에서 색도 배치 선호도나 색상 배치 선호도는 사용자가 모수를 변경함으로써, 강도를 조절할 수 있도록 하였다. 마지막으로 제시한 규칙을 실제 공정에 적용하여, 제안된 규칙이 적절히 활용됨을 확인한다.

본 연구는 제 2장에서 우선순위 나열 규칙(Priority dispatching rule) 중심의 작업 계획 수립 방법에 관련된 기존 연구를 살펴보고, 제 3장에서는 현재 계획 수립 담당

자의 작업 순서 결정 원칙 및 본 연구에서 다루고자 하는 문제의 범위를 명확히 제시한다. 제 4장에서는 제시한 원칙의 모델링 방법을 제시하고, 제 5장에서 제시한 방법에 따라 실제 데이터를 활용하여 인쇄 공정의 작업 순서 결정 사례를 제시하며, 마지막 제 6장에서 본 연구의 결론 및 향후 연구과제를 제시하기로 한다.

## 2. 유관 연구

작업계획 수립은 생산 자원의 할당을 결정하는 문제로 Johnson의 문제 제기[12] 이후 지속적인 연구가 진행되어 왔으며, 2대 이상의 기계에 대하여 NP 완전 문제임이 밝혀졌다[9]. 그러나 주문 기반 생산에서의 작업계획 수립은 생산성과 원가절감의 측면에서 매우 중요한 문제이므로, 다양한 연구들이 지속적으로 계속되어 왔다. 이에 따라 주문 기반 작업 계획 수립 방법 또한 그 특성에 따라 다양하게 분류되고 있다. 많은 연구들[6-7, 10, 13, 15, 25]에서 주문 기반의 작업 계획 수립 방법을 생산요구의 출처(Sources of production demand)에 따라 Open loop shop과 Closed loop shop으로, 설비나 공구의 숫자(Number of machine tool)에 따라 Single machine shop과 Multi-machine shop으로, 성과 지표(Performance Index)에 따라 Based on cost와 Based on other performances로, 생산환경의 특성(Characteristics of production environment)에 따라 Determinative와 Stochastic으로, 공정의 생산 특성(Processing characteristics of the operation)에 따라 Dynamic과 Static으로, 대상 공장(Plant involved)에 따라 Single plant와 Multi-plant로, 자원 제약(Resource constraints) 등에 따라 Single resource와 Double-resource 혹은 Multi-resource 등으로 구분했다. 본 연구는 위 구분에 따라 차례로 Closed loop shop, Single machine shop, Based on other cost, Static, Single plant, Single resource 문제로 정의할 수 있다.

또한 작업 계획 수립 알고리즘 측면에서는 최적해를 구하고자하는 시도(Exact optimization method)와 근사해를 활용하는 시도(Approximation methods)로 구분할 수 있겠다. 본 연구는 근사해를 활용하는 시도 중의 하나로 우선순위 나열 규칙(Priority dispatch rule) 문제로 분류된다. 이러한 접근 방법은 연산 시간을 효과적으로 단축하여 현장에서의 사용이 매우 쉬워진다는 장점이 있는데, 일반적으로 널리 활용되고 있는 방법으로는 SPT(Shortest processing time), LPT(Longest processing time), SRT(Shortest Remaining time), LRT(Longest Remaining), FCFS(First come, first serve), EDD(Earliest operation due date) 및 minimum Slack 등이 있다[2, 8, 17]. 이와 같은 초기의 Dispat-

ching 규칙들은 작업 시간의 단축이나 대기 시간의 단축 등 비교적 단순한 기준에 따라 작업 순서를 나열하는 것으로, 경우에 따라 여러 가지 규칙들을 혼합해서 활용하는 경우에도 최적화에 적합하지 못한 경우가 빈번하다는 문제가 있었다. 따라서 이러한 문제의 해결을 위해 최근까지도 다양한 방법들이 제시되고 있다. 인공 신경망의 교차 학습을 통해 보다 나은 Dispatching 규칙을 선행하도록 선형 분류를 시행하는 방법[11]이나, 복수의 우선순위 규칙들 가운데 보다 나은 방법을 시뮬레이션으로 선택하는 연구[24], 기존의 우선순위 규칙에 MCDM(Multi-criteria decision making analysis) 기법을 적용하여 성과를 측정하고 기존 규칙을 조합하여 사용하는 연구[23], 조립 산업의 작업 계획을 위하여 선호도 선택 순위를 선정하고 이에 따라 적용할 Dispatching 규칙의 순서를 적용하는 방법[19] 등은 비교적 최근에 제시된 연구이다.

한편 많은 연구들이 작업준비시간에 대한 별도의 고려 없이 전체작업 시간만을 대상으로 진행된 것에 반해, 작업준비시간을 고려한 Dispatching은 일반적으로 스케줄링에서 가장 어려운 형태의 문제로 알려져 있다[20]. 실제 제조 현장에서 작업준비시간은 이어지는 작업으로의 변경에 반드시 수반되는 요소라고 할 수 있다. 특히 고정된 작업준비시간이 아니라, 선후 작업의 성격에 따라 작업준비시간이 가변적인 작업순서에 종속된 작업준비시간(Sequence-dependent setup time)의 고려가 필요한 경우는 더욱 어려운 문제로 간주되고 있다[5, 16]. 이와 같은 작업순서 종속적 작업준비시간 고려 문제들은 다양한 산업군에서 발견될 수 있지만, 주로 인쇄업이나 제지업, 자동차 산업, 화학 처리나 플라스틱 제조 산업 등에서는 일반적인 것으로 알려져 있다[1]. 그러나 작업순서에 종속되어 작업준비시간이 결정되는 경우의 Dispatching 규칙의 개발은, 앞서 언급한 일반적인 연구들에 비하여, 일반적인 것은 아니라고 보인다. 이러한 가운데 에너지 소비를 최소화하기 위해 1대의 기계를 대상으로 작업순서 종속적 작업준비시간이 고려된 Dispatching 규칙에 대한 연구[4]나 작업순서에 종속되어 작업준비시간이 결정되는 확률적/동적 주문기반 작업장(Stochastic dynamic job shop)의 Dispatching 규칙을 제시하는 연구[21]나 해당 연구의 성과를 보이기 위하여 가상의 작업장에 다양한 규칙들을 적용한 연구[22] 등은 본 연구와 유사한 문제의 해결을 위한 선행연구라고 할 수 있다.

그러나 앞서 언급한 대부분의 우선순위 규칙 활용에 대한 연구는 대개 단순 가공이나 조립 산업에 적합한 사례로, 하나의 공정으로 취급되지만 실제 생산 과정에서는 순서가 고려되어야 하는 복수 공정으로 다루어져 다양한 고려가 필요한 인쇄 공정에 적용하기에는 적절하지 않다. 또한 작업순서에 종속되어 작업준비시간이 결정되

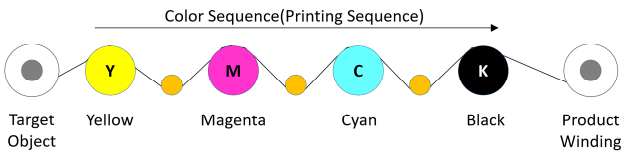
는 연구들 또한 본 연구와 큰 차이가 있는데, 제시한 연구들은 작업 순서에 따라 작업준비시간이 사전에 정의되어 있다는 것을 전제로 하고 있다는 것이다. 일반적으로 특정 설비에서 가능한 작업의 종류가 많아지면, 관리해야 할 작업준비시간 등의 기준정보가 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 인쇄공정 등과 같이 이론적으로 배치 가능한 색상의 수가 무한한 경우는 모든 경우의 작업준비시간이 관리될 수 없다는 문제가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 우선순위 결정 규칙과는 다르게, 계획 담당자가 제시하는 순위 배정 원칙을 체계적으로 모델링하여 작업 순서를 효과적으로 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

### 3. 인쇄 순서 결정의 개요

대상 사업장은 다양한 색상의 연포장 제품을 그라비아(gravure) 인쇄 방식으로 생산하고 있다. 그라비아 인쇄는 인쇄 패턴이 식각(蝕刻, etching)되어 있는 실린더 요판에 잉크를 묻힌 후, 칼날(doctor blade 혹은 doctor knife)로 비인쇄면의 잉크를 닦아내고 요판 속의 잉크를 압력에 의해 필름 등의 인쇄 대상에 전이시키는 방식으로 진행된다. 원통형 실린더가 연속적으로 회전하면서 롤 형태의 필름에 인쇄되는 공정의 특성상, 동일한 패턴이 연속적으로 반복되는 인쇄의 경우 속도와 품질이 우수하다는 장점이 있다. 반면 색상의 추가를 위해서는 별도의 요판 등이 필요하고, 인쇄 색상의 변경을 위해서는 잉크 세척이나 동판 변경 등의 작업이 반드시 수반되어 작업 변경 시간이 길다는 특성이 있다. 따라서 그라비아 인쇄 기반의 제조업에서는 작업 변경 시간 특히 인쇄 색상 변경 시간의 관리가 생산성에 아주 중요한 요소가 된다. 그라비아 인쇄 공정의 색상 변경 시간은 주로 동판 교체 시간과 잉크 세척/변경 시간이 포함되는데, 여건이 주어진다면 동판 교체와 잉크 세척/변경이 동시에 진행될 수도 있다. 일반적으로는 동판 교체 시간보다 잉크 세척/변경 시간이 길어, 전체 작업 교체 시간의 가장 큰 비중을 차지하게 된다. 동판 교체와 잉크 세척/변경이 동시에 진행되는 경우, 인쇄 색상의 변경이 없는 경우라면 인쇄 패턴의 변경에 따른 동판 교체 외의 잉크 세척/변경 시간이 필요 없게 되어 작업 변경 시간이 최소화 될 수 있다. 마찬가지로 진행되는 인쇄 작업에 색상이 추가되거나 삭제되는 경우도 색상이 변경되는 경우보다 작업 변경 시간이 줄어들게 된다. 이와 같이 그라비아 인쇄 공정의 제품 생산 순서 결정에 있어, 인쇄 색상의 고려가 작업 변경 시간에 미치는 영향을 고려할 때 작업 효율을 결정짓는 중요한 요소가 된다.

### 3.1 인쇄 작업 순서 배치의 원칙

인쇄 작업 순서의 결정을 위해서는 색도(色度)와 색순(色順)이 반드시 고려되어야 한다. 색도는 인쇄에 사용된 색상을 표현하기 위해 사용되는 색상의 숫자를 의미한다. 이론적으로는 3원색으로 모든 색상을 표현할 수 있지만, 보다 선명한 색상의 표현을 위해 이보다 많은 수의 색상을 사용하게 된다. 본 연구의 대상 사업장의 경우는 최대 8개의 색상(8도 인쇄)을 인쇄에 활용하고 있었다. 한편 색순은 인쇄가 진행되는 색상의 순서를 의미한다. 인쇄는 밝은 색에서 어두운 색 순서로 진행되는 것이 일반적이거나, 실제로는 명도나 채도 등의 요소가 고려되어야 하므로 제품별로 색순은 사전에 지정되어 있다.



<Figure 1> Printing Operation with 4-Color-Degree

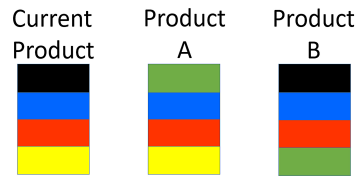
위의 <Figure 1>은 황색(Yellow)-자홍색(Magenta)-청록색(Cyan)-흑색(Black)의 색순으로 4도 인쇄하는 사례를 예시한 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이, 작업 변경 시간을 줄이기 위해서는 가급적 색도와 색순이 일치하고 디자인만 다른 작업이 후속으로 배치되어야 할 것이다. 동일 색상, 동일 색순의 후속 작업이 없는 경우라면, 가급적 기존 색상과 색도와 차이가 가장 적은 작업을 선호하게 된다. 또한 색상 교체에 소요되는 시간을 감안할 때, 색상의 변경보다는 색도의 증가나 감소가 유리하다. 또한 색도의 변경이 있는 경우에는 색도가 감소하는 것보다는 색도가 증가하는 쪽이 선호된다. 다음의 <Figure 2>는 기존의 2도 인쇄에서 색도가 감소하는 경우(A 제품)와 색도가 증가하는 경우(B)의 사례를 예시한 경우이다. 이와 같은 경우에는 언급한 바와 같이 색도의 증가가 유리하므로, 후속 작업으로 B 제품을 생산하는 것이 적절하다.



<Figure 2> Case : Adding or removing color degrees

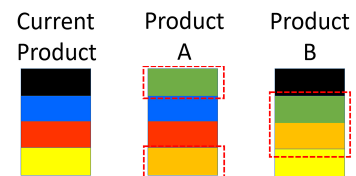
색상 변경이 필요한 동일한 색도의 후속작업이 고려되는 경우에는 변경 대상 색상의 색순에 따라 작업 교체 선호도가 달라지게 된다. 이러한 경우는 가급적 후위의 색순 변경을 선호하게 되는데, 이는 전위 색순의 인쇄가

진행 중일 경우에도 후위색순의 변경을 진행할 수 있는 여지가 있기 때문이다. 다음의 <Figure 3>은 변경 대상이 되는 A 제품과 B 제품의 색도는 같지만, A 제품은 최초 색순의 색상이 변경되고 B 제품은 마지막 색순의 색상이 변경되는 경우의 예시이다. 이러한 경우라면 후속 작업으로 B 제품이 유리하게 된다.



<Figure 3> Case : Replacing a Specific Color

같은 맥락에서 2도 이상의 색상이 변경되는 경우라면 가급적 처음 색상이 변경되는 색순이 낮은 쪽을 선호하게 된다. 다음의 <Figure 4>는 기존 작업에서 2도의 색상이 변경되는 사례의 예시이다. A 제품은 1번 색순과 4번 색순의 변경이 필요하고, B 제품의 경우는 2번 색순과 3번 색순의 변경이 필요하다. 이러한 경우라면 B 제품의 작업이 선호된다는 의미이다.



<Figure 4> Case : Replacing Two or More Colors

### 3.2 색상 변경 작업 순서 결정 문제의 범위

본 연구에서는 언급한 원칙들을 체계적으로 모델링하여 손쉽게 후속 작업을 선정하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 색상 변경 작업의 최적화를 위하여 다음의 가정을 제시하고 적용 범위를 명확히 하고자 한다.

- ① 납기 최적화 이후의 작업을 대상으로 한다.  
즉, 색상 변경 작업 최적화의 대상이 되는 작업들은 서로 순서가 변경되어도 납기 문제가 발생하지 않는다.
- ② 인쇄 공정의 최적화를 위해 작업 설비 변경을 고려하지 않는다.  
복수의 설비에서 동일한 인쇄 작업이 가능할 수 있으나, 본 연구에서는 설비 간 작업 대상의 변경은 고려하지 않는다. 즉 단일 설비에서의 색상 변경 최적화를 전제로 한다.

③ **인쇄 공정 작업 효율 최적화를 위해 작업 물량의 변경 (Merge or Split)을 고려하지 않는다.**

동일 품목이 복수의 작업 지시로 발행되어 있는 경우, 해당 작업 지시를 하나로 변경하거나 하나의 작업 지시를 복수로 나누지 않는다. 이는 모델링의 단순화를 위한 목적도 있지만, 후속 공정에서의 처리가 다른 경우도 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서 다루게 되는 색상 변경 작업 순서 문제는 전체 공정을 대상으로 한 최적 생산계획 수립 문제가 아니며, 납기와 생산 자원 제약의 고려가 선행된 작업 지시를 대상으로 수행되는 인쇄 공정의 작업 순서 결정(sequencing) 문제라고 정의할 수 있다.

## 4. 인쇄 순서 결정 방법의 모델링

### 4.1 인쇄 공정의 작업 순서 결정 방안

본 연구에서는 인쇄 공정의 작업 순서 결정을 위하여, 유사도의 개념을 사용한다. 본 연구에서 사용하는 유사도는 현재 진행 중이거나 가장 최근에 작업한 인쇄 작업을 기준으로, 색도나 색순의 변화를 평가하고 이를 종합하여 비교 대상 작업이 얼마나 유사한 지를 평가하는 개념으로 정의한다. 이를 보다 체계적으로 정리하면, 다음과 같은 단계를 거치게 된다.

#### Step 01. 기준 작업의 선정

- ① 이전 작업 이력이 있는 경우는 가장 최근에 작업하였거나, 현재 작업이 진행 중인 작업을 기준 작업으로 선정한다.
- ② 최초 작업의 경우는 현장의 작업 선호도에 따라 작업 물량이 가장 적거나, 가장 많은 작업을 임의로 선정한다.

#### Step 02. 색도 기반 우선순위 결정

최대 작업 가능 색도를 기준으로, 인쇄 작업의 배정 여부에 따라 가중치를 부여한다. 또한 선순위 색도의 작업 선호도가 높기 때문에, 선순위 색도의 가중치를 후순위 가중치보다 높게 배정한다.

#### Step 03. 색순 기반 우선순위 결정

기준 작업과 비교하여, 색순에 따른 색상 변경이나 추가/제거에 따른 페널티를 반영한다. 이 때 페널티의 크기는 작업 선호도에 따라 설정한다.

#### Step 04. 기준 작업 대비 유사도 계산

색도 기반 우선순위와 색순 기반 우선순위를 종합하여, 기준 작업과의 최종 유사도를 계산한다.

#### Step 05. 유사도에 따른 작업 순서 배정

최종 유사도 계산 결과에 따라, 내림차순으로 작업 순서를 배정한다.

#### Step 06. 동일 유사도의 경우, 작업 순서 조정

##### (Tie-breaking rule의 적용)

작업 선호도나 정책에 따라 작업 순서를 임의로 조정한다. 본 연구에서는 납기 충족률을 제고하기 위하여 인쇄 물량이 적은 작업을 먼저 작업하기로 한다. 또한 인쇄 물량이 동일할 경우에는 주문을 먼저 등록한 작업을 우선 진행하여, 동일 순서가 중복되는 경우를 원천 방지한다.

#### Step 07. Step 01로 이동한다.

동일 유사도의 가장 마지막 작업을 기준 작업으로 남은 작업 지시에 대하여, 인쇄 설비에 배정된 모든 작업이 선택될 때까지 유사도 계산 작업을 반복하여 진행한다.

### 4.2 수리적 모델링

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 기준 작업과 작업 대상 항목들과의 유사도( $S_k$ )를 평가하고, 유사도가 높은 대상을 우선 작업하도록 순서를 결정하는 방법을 제시한다. 기준 작업은 원칙적으로 해당 인쇄 설비에서 가장 최근에 작업하였거나, 현재 진행 중인 인쇄 작업으로 한다. 기준 작업이 선정된 이후 해당 설비에 배정된 작업 대상 품목들과의 유사도를 계산하고, 이의 내림차순으로 작업을 진행하게 된다. 제시하는 방법의 모델링을 위해 사용되는 기호들을 다음과 같이 정의하기로 한다.

#### Notations for the Proposed Model

##### Indices

- $k$  작업지시 순서,  $0 \leq k \leq K$
- $m$  인쇄 작업이 진행될 설비의 숫자
- $n$  작업 대상 색도,  $1 \leq n \leq N$

##### Parameters(Penalties)

- $\alpha$  특정 색순에서의 색상 추가/제거/변경 될 경우의 Penalty( $0 \leq \alpha \leq 1$ )
- $\gamma$  색도에 따른 배치 중요도( $0 \leq \gamma \leq 1$ )

##### Variables

- $w_k$  색도 기반 우선순위  
작업지시  $k$ 의 색도 변경의 평가 결과에 따른 가중치 행 벡터
- $g_k$  색순 기반 우선순위  
작업지시  $k$ 의 색도 별 색상 추가/삭제 Penalty가 반영된 가중치 행 벡터
- $S_k$  기존의 최종 작업과 작업지시  $k$ 간의 인쇄 작업 유사도

인쇄 대상 작업의 순서를  $k$ 라 할 때,  $k=0$ 은 가장 최근에 완료하여 인쇄 작업의 설정을 변경하지 않았거나 현재 진행 중인 작업으로 순서 결정의 기준이 될 작업을 의미한다. 또한  $K$ 는 순서를 결정해야 할 전체 작업 지시의 숫자를 의미한다. 이때 작업 순서 결정의 대상이 되는 설비의 숫자를  $m$ 이라고 하되, 본 연구에서는 1대의 설비 즉,  $m=1$ 의 경우만 다루도록 한다. 한편 본 연구에서  $n$ 은 작업 대상의 색도를 의미한다. 특정 인쇄 작업의 마지막 공정의 색도가  $n$ 인 경우, 해당 작업의 색도가  $n$ 임을 의미한다. 동일 작업에서  $n$ 값이 증가한다는 것은 작업의 색순이 후순으로 진행된다는 것을 의미한다.

특정 작업지시  $k$ 에서 배정된 인쇄 색도가  $n(k)$ 이고  $n(m)$ 이 설비  $m$ 에서의 작업 가능 색도라 할 때, 작업 색도의 최대값  $N$ 은 다음의 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$N = \min \left\{ \max_{m=1} \{n(m)\}, \max_{k=0, 1, \dots, K} \{n(k)\} \right\} \quad (1)$$

이론적으로는 특정 설비에서 작업 가능한 색도를 넘는 작업의 경우, 해당 설비에서 여러 번 반복하여 인쇄를 진행하면 작업이 가능할 수도 있다. 그러나 실제 생산현장에서는 설비에서 작업 가능한 색도를 넘어 작업 지시가 배정되는 경우가 없으므로, 언제나  $\max_{k=0, 1, \dots, K} \{n(k)\} \leq \max_{m=1} \{n(m)\}$ 를 만족하게 된다. 따라서 위의 식 (1)은 다음의 식 (2)로 대체할 수 있다.

$$N = \max_{k=0, 1, \dots, K} \{n(k)\} \quad (2)$$

본 연구에서는 기준 작업과의 색도 및 색상의 유사도 측정을 위하여, 순서 배정의 대상이 되는 작업지시 별로 다음과 같은 평가를 진행한다.

### ① 색도 기반 우선순위( $w_k$ )의 평가

작업 가능 색도 별 인쇄 배정 여부의 평가

### ② 색순 기반 우선순위( $g_k$ )의 평가

색순 별 색상의 추가/제거 및 변경 여부 평가

색도 기반 우선순위의 평가는 앞의 <Figure 2>와 관련된 제약을 평가하기 위하여 사용된다. 즉 색도의 증가가 감소에 비해 선호된다. 작업지시  $k$ 의 색도 기반 우선순위( $w_k$ )는 색도 별 색상 배정 여부에 따라 결정 되므로, 색도에 따라 다음의 식 (3)과 같이 정의된다고 하자.

$$w_k = (w_{k1} \ w_{k2} \ \dots \ w_{kn} \ \dots \ w_{kN}) \quad (3)$$

이때 특정 색도  $n$ 에서, 색상이 배정되었을 때의 배치 중요도를  $\gamma(n)^*$ 이라 하고, 배정되지 않았을 때의 배치

중요도를  $\gamma(n)$ 라 할 때, 둘 사이의 관계는 다음의 식 (4)를 만족해야 한다. 또한 특정 색도에 색상이 배정되어 있더라도, 색도가 증가하면서 중요도가 낮아져야 한다. 특정 색도  $n$ 에서의 중요도를  $\gamma(n)$ ,  $n+1$ 에서의 중요도를  $\gamma(n+1)$ 라 할 때, 다음의 식 (5)를 만족해야 한다.

$$\gamma(n)^* > \gamma(n) \quad (4)$$

$$\gamma(n) > \gamma(n+1) \quad (5)$$

따라서 본 연구에서는 위의 식 (4), 식 (5)를 만족하고 계산의 편의성을 확보하기 위하여,  $w_{kn}$ 의 값을 다음의 식 (6)과 같이 정의하기로 한다.

$$\begin{cases} w_{kn} = \gamma^n & \text{if gravure operation is assigned} \\ w_{kn} = \gamma^{n+2} & \text{o/w} \end{cases} \quad (6)$$

where,  $0 \leq \gamma \leq 1$

한편 인쇄 작업의 순서는 인쇄 색상의 배치 순서도 매우 중요하다. 앞에서 제시한 <Figure 3>과 <Figure 4>의 사례와 같이 기존 색상의 변경이 있을 경우 가급적 후순위의 색상 변경이 선호되고, 2도 이상의 색상이 변경되는 경우에도 가급적 처음 변경되는 색순이 낮은 쪽을 선호하게 된다. 이와 같이 작업지시  $k$ 의 색순에 따른 배치 선호도( $g_k$ ) 또한 색도 별 색상 배정 여부에 따라 결정 되므로, 다음의 식 (7)과 같이 정의된다고 하자.

$$g_k = (g_{k1} \ g_{k2} \ \dots \ g_{kn} \ \dots \ g_{kN}) \quad (7)$$

색상의 변경이 없거나 색도의 변화가 없는 경우에 비하여, 색상이 추가되는 경우나 색상 배정이 되지 않아 색도가 감소하는 경우, 색상이 변경되는 경우는 후속 작업으로의 선호도가 낮아지게 되므로 패널티를 부여하여 해당 색순에서의 선호도가 낮아지도록 산정하는 방식으로 평가를 진행하게 된다. 이와 같이 특정 색순에서 인쇄 색상이 추가/삭제되거나 변경되는 경우의 패널티를  $\alpha$ 라고 하자. 이때 색상의 변경이 없는 경우( $\alpha_0$ )와 색상이 제거될 경우( $\alpha_1$ ), 색상이 추가될 경우( $\alpha_2$ ), 색상이 변경될 경우( $\alpha_3$ )는 후속 작업으로의 배치 선호도가 달라지므로, 앞서 언급한 인쇄 작업 배치 순서의 원칙에 따라 패널티는 다음의 식 (8)과 같이 배정되어야 할 것이다.

$$\alpha_0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 \quad (8)$$

따라서 임의의 작업지시  $k$ 의 특정 색순  $n$ 에서의 색순에 따른 선호도는 다음의 식 (9)와 같이 정의할 수 있다.

$$g_{kn} = 1 - \alpha, \text{ where, } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (9)$$

기준 작업의 인쇄 작업 후에 진행될 작업은 앞의 식 (3) 과 식 (7)을 모두 반영하여, 선호도가 가장 높은 작업을 우선 진행하게 된다. 따라서 작업 우선순위 결정의 지표가 되는 작업유사도  $S_k$ 는 다음의 식 (10)과 같이 결정한다.

$$S_k = w_k \cdot g_k^T \quad (10)$$

작업 유사도 계산 후, 동일한 경우가 다수일 경우는 작업 물량이 적거나 많은 등의 임의 원칙에 따라 작업 순서를 배치한다. 유사도가 가장 높은 작업들이 배치된 이후, 이상의 과정을 반복하여 작업 우선순위를 계속 진행하여, 마지막 작업의 배치가 완료된 후 계산을 종료한다.

### 5. 적용 사례

본 연구에서는 색도 배치 상황과 색순 변경 여부를 반영한 우선순위를 산정하고, 이에 따라 인쇄 작업 순서를 결정하는 방법을 제시하였다. 다음의 <Table 1>과 같은 실제 작업 현장의 8도 인쇄(g01~g08)가 가능한 그라비아 인쇄기에 배정된 작업 내용을 기반으로 작업 순서를 결정해 보고자 한다. 작업 순서 배정 대상 작업은 총 19개(W00~W18)이며, 18개 품목(Item01~Item18)의 28개 색상(C001~C028) 작업으로 구성되어 있다. 작업지시번호(Work Order) 나 품번(Item Code), 색상코드(C001~C028)는 실제 현장의 코드를 임의로 수정한 것이다. 또한 회색으로 표시된 셀의 NULL은 해당 색도의 색상 배정이 없는 경우를 의미한다.

<Table 1> Job Assignment

Work Order	Item No	g01	g02	g03	g04	g05	g06	g07	g08
W00	Item01	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022
W01	Item02	C001	C002	C012	C017	C019	C021	C022	NULL
W02	Item01	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022
W03	Item03	C001	C003	C013	C012	C017	C019	C026	C022
W04	Item04	C001	C004	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W05	Item05	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W06	Item06	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W07	Item07	C001	C006	C012	C017	C019	C023	C022	NULL
W08	Item08	C001	C007	C012	C017	C019	C024	C022	NULL
W09	Item09	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022
W10	Item10	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022
W11	Item11	C001	C009	C012	C017	C019	C025	C022	NULL
W12	Item12	C001	C010	C015	C012	C017	C019	C028	C022
W13	Item13	C001	C011	C016	C012	C017	C019	C022	NULL
W14	Item14	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W15	Item15	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W16	Item16	C001	C002	NULL	C017	C019	C021	C022	NULL
W17	Item17	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022
W18	Item18	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022

#### Step 01. 기준 작업의 선정

인쇄 작업 순서의 결정을 위한 선호도 계산을 위한 기준 작업은 가장 최근에 작업을 진행한 경우나, 현재 작업장에 준비가 완료된 임의의 작업을 선택하면 된다. 본 연구에서는 가장 최근에 해당 공정에서 작업이 진행되었던, W00을 기준 작업으로 선정하기로 한다.

#### Step 02. 색도 기반 우선순위 결정

색도 기반 우선순위( $w_k$ )의 결정을 위해서는 앞의 식 (4)와 (5)를 만족하는  $\gamma$ 값을 결정해야 한다. 색도 기반 우선순위  $\gamma$ 는 색도가 증가되면서, 그 값이 점차 감소하는 특성을 지녀야한다. 이는 앞의 <Figure 2>와 <Figure 3>에서 언급한 바와 같이, 가급적 앞쪽 색도의 작업을 선호하는 특성을 반영하고자 하기 때문이다. 따라서 색도가 증가하면서 우선순위는 감소해야 하는데, 이를 위한 우선순위 값은 일정한 값을 빼가면서 조정하는 방법과 제공하는 방법(단, 밑은 0보다 크고 1보다 작은 값)을 모두 사용할 수 있다. 그러나 일정한 값을 빼는 방식은 색도의 수가 증가하면서, 음수가 될 가능성이 있으므로, 본 연구에서는 제공하여 색도의 우선순위를 조정하도록 한다. 따라서 본 연구에서는 임의의 값으로  $\gamma=0.9$ 를 배정하고, 식 (6)에 따라 우선순위를 결정하였다. 결정된 결과는 다음의 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Priorities based on Color Degrees

$w_k$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$
$w_0$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_1$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.35
$w_2$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_3$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_4$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.39	0.35
$w_5$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.39	0.35
$w_6$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.39	0.35
$w_7$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.35
$w_8$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.35
$w_9$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_{10}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_{11}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.35
$w_{12}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_{13}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.35
$w_{14}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.39	0.35
$w_{15}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.39	0.35
$w_{16}$	0.90	0.81	0.59	0.66	0.59	0.53	0.48	0.35
$w_{17}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43
$w_{18}$	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43

**Step 03. 색순 기반 우선순위 결정**

색순 기반 우선순위( $g_k$ )의 결정을 위해서는 앞의 식 (8)의 페널티 값을 결정하고, 이에 따라 식 (9)에 따라 우선순위를 결정해야 한다. 해당 값은 실제 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 진행한 후, 의도한 바와 일치하는 결과를 보이는 임의의 값을 선정하였다. 본 연구에서는 앞의 식 (8)의 페널티 값을 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{cases} \alpha_0 = 0.0 & \text{color is not changed} \\ \alpha_1 = 0.1 & \text{color is removed} \\ \alpha_2 = 0.3 & \text{color is added} \\ \alpha_3 = 0.6 & \text{color is changed} \end{cases} \quad (11)$$

이상의 식 (11)을 활용하여, 식 (9)에 따라 계산된 색순 기반의 우선순위는 다음의 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Priorities based on Color Sequences

$g_k$	$g_{.1}$	$g_{.2}$	$g_{.3}$	$g_{.4}$	$g_{.5}$	$g_{.6}$	$g_{.7}$	$g_{.8}$
$g_0$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$g_1$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.40	0.90
$g_2$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$g_3$	1.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.00
$g_4$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.90	0.90
$g_5$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.90	0.90
$g_6$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.90	0.90
$g_7$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.40	0.90
$g_8$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.40	0.90
$g_9$	1.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.00
$g_{10}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$g_{11}$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.40	0.90
$g_{12}$	1.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.00
$g_{13}$	1.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.90
$g_{14}$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.90	0.90
$g_{15}$	1.00	0.40	1.00	1.00	0.40	0.40	0.90	0.90
$g_{16}$	1.00	0.40	0.90	1.00	0.40	0.40	0.40	0.90
$g_{17}$	1.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.00
$g_{18}$	1.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.00

**Step 04. 기준 작업 대비 유사도 계산**

작업 유사도( $S_k$ )는 앞의 식 (10)과 같이 색도 기반의 우선순위( $w_k$ )와 색순 기반의 우선순위( $g_k$ )의 내적 곱으로 결정된다. 따라서 앞에서 제시한 <Table 2>와 <Table 3>의 수치를 내적 곱으로 계산한 작업 우선순위의 결과는 다음의 <Table 4>와 같다. 기준 작업으로 선정된 W00과 동일한 품목의 작업인 W02는 동일한 유사도를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 또한 제품은 다르지만 동일한 색도와 색순을 가지고 있는 W10 또한 동일한 유사도를 보이고 있다.

<Table 4> Job Similarities based on  $w_k$  and  $g_k$

Work Order	Similarity	Rank	Work Order	Similarity	Rank
W00	5.13	1	W10	5.13	1
W01	3.56	9	W11	3.56	9
W02	5.13	1	W12	2.85	14
W03	2.85	14	W13	2.73	19
W04	3.72	4	W14	3.72	4
W05	3.72	4	W15	3.72	4
W06	3.72	4	W16	3.37	13
W07	3.56	9	W17	2.85	14
W08	3.56	9	W18	2.85	14
W09	2.85	14			

**Step 05. 유사도에 따른 작업 순서 배정**

앞의 <Table 4>에서 정리된 유사도의 내림차순으로 정리한 W00 기준의 초기 작업 순서 정렬 결과는 다음의 <Table 5>와 같이 정리된다. 이 과정에서 계산된 유사도는 W00을 기준으로 계산된 것으로, 색상 변경만을 감안한 것으로, 인쇄 도안 등의 작업 효율에 영향을 미치는 요소에 따라 작업 순서를 조정할 필요가 있다.

<Table 5> Initial Job Sequence

Work Order	g01	g02	g03	g04	g05	g06	g07	g08	$S_k$
W00	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022	5.13
W02	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022	5.13
W10	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022	5.13
W04	C001	C004	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL	3.72
W05	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL	3.72
W06	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL	3.72
W14	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL	3.72
W15	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL	3.72
W01	C001	C002	C012	C017	C019	C021	C022	NULL	3.56
W07	C001	C006	C012	C017	C019	C023	C022	NULL	3.56
W08	C001	C007	C012	C017	C019	C024	C022	NULL	3.56
W11	C001	C009	C012	C017	C019	C025	C022	NULL	3.56
W16	C001	C002	NULL	C017	C019	C021	C022	NULL	3.37
W03	C001	C003	C013	C012	C017	C019	C026	C022	2.85
W09	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022	2.85
W12	C001	C010	C015	C012	C017	C019	C028	C022	2.85
W17	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022	2.85
W18	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022	2.85
W13	C001	C011	C016	C012	C017	C019	C022	NULL	2.73



**Step 06. 동일 유사도의 경우, 작업 순서 조정**

**(Tie-breaking rule의 적용)**

유사도 점수가 가장 높은 W00, W02, W10은 모두 동일 색상의 인쇄가 진행되는 것을 확인할 수 있다. 앞의 <Table 1>을 참조해 보면, W00과 W02는 동일한 품목(Item01)으로 색상은 물론 인쇄 도안 또한 동일할 것으로 예측할 수 있다. 반면 W10은 다른 품목(Item10)으로 인쇄 도안 등의 추가적인 작업 조건 조정이 필요할 수도 있다. 따라서 가급적 동일 품목의 작업은 연속하여 진행하는 것이 적절하다. 본 연구에서는 기준 작업과 동일한 작업을 우선 진행하되, 가급적 작업 물량이 많은 작업을 먼저 진행하는 것을 원칙으로 작업 순서를 결정하기로 한다. 이에 따라 앞의 <Table 5>의 경우와 같이, W00(기준 작업)과 동일하여 추가적인 작업 조건 변경이 전혀 필요 없는 W02를 우선 진행하고, 이후 W10의 작업을 진행하기로 한다. 한편 다음 단계의 유사도를 보이는 W04, W05, W06, W14, W15의 작업 순서 결정은 가급적 색상조합이 동일한 물량을 몰아서 먼저 하는 방법으로 동일 유사도에서의 작업 순서를 결정하기로 한다. 이에 따르면 다음의 <Table 6>에서 제시하는 것과 같이, g02의 색상이 C005도 동일한 W05, W06, W14, W15를 우선 작업한 후 마지막으로 W04의 작업하는 순서로 작업 순위가 결정된다.

**Step 07. Step 01로 이동한다.**

이상의 Step 06까지의 과정을 통해, W00, W02, W10의 작업 순서는 물론 다음 단계의 유사도를 가지는 W05, W06, W14, W15, W04까지의 작업이 결정되었다. 기준 작업 W00과의 유사도 평가에서 차순위 값(본 사례에서는 3.72)을 가지는 가장 마지막에 작업을 진행하게 되는 W04를 기준으로 전체 작업의 유사도를 평가하는 Step 01~Step 06의 과정을 다시 진행하면 된다. 작업지시 W04를 기준으로 미확정된 작업지시들의 유사도를 평가하면, W07, W08, W11, W01의 순서로 작업순서가 결정된다. 이때 우선순위 선정 대상 작업들은 g02와 g06을 제외하고 모든 색상이 동일함을 알 수 있다. 이때의 작업 순서는 본 연구에서는 별도로 제시되지 않는 작업지시 별 작업 수량을 기준으로 순서를 결정하였다. 이후 W01을 기준으로 Step 01~Step06을 반복하여 진행하면 된다. 이러한 과정을 끝까지 진행하면, 다음의 <Table 6>과 같은 결과를 얻을 수 있다. 제시된 표에서 굵은 글씨로 표기한 W00, W10, W04, W01, W16은 유사도 산정의 기준으로 사용된 작업지시 번호이다.

<Table 6> Final Job Sequence

Work Order	Item No	g01	g02	g03	g04	g05	g06	g07	g08
W00	Item01	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022
W02	Item01	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022
W10	Item10	C001	C001	C012	C017	C018	C020	C019	C022
W05	Item05	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W06	Item06	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W14	Item14	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W15	Item15	C001	C005	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W04	Item04	C001	C004	C012	C017	C019	C022	NULL	NULL
W07	Item07	C001	C006	C012	C017	C019	C023	C022	NULL
W08	Item08	C001	C007	C012	C017	C019	C024	C022	NULL
W11	Item11	C001	C009	C012	C017	C019	C025	C022	NULL
W01	Item02	C001	C002	C012	C017	C019	C021	C022	NULL
W16	Item16	C001	C002	NULL	C017	C019	C021	C022	NULL
W13	Item13	C001	C011	C016	C012	C017	C019	C022	NULL
W09	Item09	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022
W17	Item17	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022
W18	Item18	C001	C008	C014	C012	C017	C019	C027	C022
W03	Item03	C001	C003	C013	C012	C017	C019	C026	C022
W12	Item12	C001	C010	C015	C012	C017	C019	C028	C022

**6. 결론 및 향후 연구과제**

본 연구에서는 납기와 자재, 설비, 작업자 등의 생산관련 제약이 검토된 그라비아 인쇄공정에 배정된 인쇄 작업 순서를 결정하는 방법을 제시하였다. 인쇄 작업의 순서 결정에는 색도 및 색순의 선호도를 평가하고 이를 종합하여 계산된 작업 유사도의 내림차순에 따라 작업의 순서를 결정하는 방법을 제시하였다. 색도 배치 선호도는 가급적 모든 인쇄기에 작업이 배치되는 것을 높게 평가했으며, 낮은 색도의 작업 배치가 더 높게 평가된다. 색순 배치 선호도는 해당 색순의 인쇄 색상이 일치하는 경우가 가장 선호되며, 단순히 추가되거나 제거되는 경우에 비하여 색상이 변경되는 경우가 가장 비선호되는 것으로 평가된다. 또한 선호도가 동일한 작업이 다수 존재할 경우에는 작업의 효율이나 납기 충족률 등의 임의 목적에 따라 작업 순서를 재배정하는 방법으로 최종 작업 순서를 결정하도록 하였다. 기존의 연구들이 대부분 명확한 작업 준비 시간을 기준으로 작업 순서를 결정하는 데 반해, 본 연구는 작업 변경에 따른 상대적 우선순위에 따라 작업 순서를 결정하는 방법을 제시했다는 데 의의가 있다. 일반적으로 Dispatching 문제에서, 작업준비 시간의 고려가 필요한 경우는 보다 어려운 문제로 분류되어 있다. 또한 생산계획 플래너의 경험과 선호도에 따른 상대적 우선순위를 기준으로

작업 순서를 결정하기 때문에, 적용되는 산업의 특성에 따라 적용 방법이 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서 제시한 색도 및 색상 기반의 작업 순서 결정은 작업 변경에 따른 작업 준비 시간 데이터가 명확히 수치화되지 않고, 우선순위 중심으로 작업계획 담당자의 경험에 따라 작업 순서가 결정되는 경우에 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 실제 본 연구의 결과는 대상 기업의 작업계획 담당자가 기존의 작업 배치 방법과 정확히 일치하여, 높은 만족도를 보였다.

그러나 본 연구는 작업지시 별 색도 및 색상 변경에 소요되는 작업 변경시간이 명확히 제시할 수 없어, 그 효과를 보다 객관적으로 제시하지 않았다는 한계가 있다. 또한 보다 근본적인 제약 조건, 즉 납기나 자재, 설비, 작업자 등의 제약이 검토되지 않아 단기 최적화만을 모색한다는 한계가 있다. 그러나 단기 생산계획(Dispatching)의 측면에서는 일반적으로 적용되는 SPT(Shortest processing time), LPT(Longest processing time), SRT(Shortest Remaining time), LRT(Longest Remaining), FCFS(First come, first serve), EDD(Earliest operation due date) 및 minimum Slack 등의 단순 우선순위 규칙을 적용할 수 없는 특수 공정의 작업 순서 결정에는 매우 효율적으로 활용될 수 있다는 장점이 있다. 또한 본 연구에서 제시한 유사도 기반의 작업 순서 결정 방법은 생산현장에서 작업계획 수립 담당자가 나름의 우선순위 규칙을 제시할 수 있는 경우에 참고할 수 있는 기반 연구로 가치가 있다고 판단된다.

## Acknowledgement

This research was supported by the 2020 Osan University research fund.

## References

- [1] Allahverdi, A. and Soroush, H.M., The significance of reducing setup time/setup costs, *European Journal of Operational Research*, 2008, Vol. 187, No. 3, pp. 978-984.
- [2] Barker, J.R. and McMahon, G.B., Scheduling the general jobshop, *Management Science*, 1985, Vol. 31, No. 5, pp. 594 - 598.
- [3] Choi, J.S., Kang, I.S., and Park, C.W., Dispatching rule of automated guided vehicle to minimize makespan under jobshop condition, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2001, Vol. 24, No. 62, pp. 97-109.
- [4] Choi, Y.C., Dispatching rule-based scheduling algorithms in a single machine with sequence-dependent setup times and energy requirements, *Procedia CIRP*, 2016, Vol. 41, pp. 135-140.
- [5] Defersha, F.M. and Chen, M.Y., Jobshop lot streaming with routing flexibility, sequence-dependent setups, machine release dates and lag time, *International Journal of Production Research*, 2012, Vol. 50, No. 8, pp. 2331-2352.
- [6] Floudas, C.A. and Lin, X., Continuous-time versus discrete-time approaches for scheduling of chemical processes : A review, *Computers and Chemical Engineering*, 2004, Vol. 28, No. 11, pp. 2109-2129.
- [7] Floudas, C.A. and Lin, X., Mixed integer linear programming in process scheduling : modeling, algorithms, and applications, *Annals of Operations Research*, 2005, Vol. 139, No. 1, pp. 131-162.
- [8] French, S., Sequencing and scheduling : An introduction to the mathematics of the job-shop, New York : Ellis Horwood, 1982.
- [9] Garey, M.R., Johnson, D.S., and Sethi, R.R., The complexity of flowshop and jobshop scheduling, *Mathematics of Operations Research*, 1976, Vol. 1, No. 2, pp. 117-129.
- [10] Graves, S.C., A review of production scheduling, *Operations Research*, 1981, Vol. 29, No. 4, pp. 646-675.
- [11] Ingimundardottir, H. and Runarsson, T.P., Supervised learning linear priority dispatch rules for job-shop scheduling, *International Conference on Learning and Intelligent Optimization*, 2011, Berlin : Springer, pp. 263-277 ([http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-25566-3\\_20](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-25566-3_20)).
- [12] Johnson, S.M., Optimal two and three stage production schedules with setup times included, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1954, Vol. 1, No. 1, pp. 61-68.
- [13] Ju, Q.Y., Planning and scheduling optimization of jobshop in intelligent manufacturing system [dissertation], [Nanjing, China] : Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [14] Kim, J.K. and Bang J.Y., Dispatching rule based jobshop scheduling algorithm with delay schedule for minimizing total tardiness, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2019, Vol. 42, No. 1, pp. 33-40.
- [15] Lin et al., Network modeling and evolutionary optimization for scheduling in manufacturing, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2012, Vol. 23, No. 6, pp. 2237-

- 2253.
- [16] Manikas, A. and Chang, Y.L., Multi-criteria sequence-dependent job shop scheduling using genetic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 2009, Vol. 56, No. 1, pp. 179-185.
- [17] Morton, T. and Pentico, D.W., *Heuristic scheduling systems : With applications to production systems and project management*, London : Wiley, 1993.
- [18] Panwalker, S.S. and Iskander, W., A survey of scheduling rules, *Operations Research*, 1977, Vol. 25, No.1, pp. 45-61.
- [19] Paul, M., Sridharan, R., and Ramanan, T.R., A multi-objective decision-making framework using preference selection index for assembly job shop scheduling problem, *International Journal of Management Concepts and Philosophy*, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 362-387.
- [20] Pinedo, M., *Scheduling : Theory, Algorithms and Systems*, Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1995.
- [21] Sharma, P. and Jain, A., Analysis of dispatching rules in a stochastic dynamic job shop manufacturing system with sequence-dependent setup times, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2014, Vol. 9, No. 4, pp. 380-389.
- [22] Sharma, P. and Jain, A., New setup-oriented dispatching rules for a stochastic dynamic job shop manufacturing system with sequence-dependent setup times, *Concurrent Engineering Research Applications*, 2016, Vol. 24, No. 1, pp. 58-68.
- [23] Thenarasu, M., Rameshkumar, K., Anbuudayasankar, S. P., Arjunbarath, G., and Ashok, P., Development and selection of hybrid dispatching rule for dynamic job scheduling using multi-criteria decision making analysis (MCDMA), *IJQR*, 2020, Vol. 14, No. 2, pp. 340-364.
- [24] Zahmani et al., Multiple priority dispatching rules for the job shop scheduling problem, *In 2015 3rd international conference on control, engineering and information technology (CEIT) IEEE*, 2015, pp. 1-6.
- [25] Zhang, J., Ding, G., Zou, Y., Qin, S., and Fu, J., Review of job shop scheduling research and its new perspectives under Industry 4.0, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2017, Vol. 30, No. 4, pp. 1809-1830.

**ORCID**

Jae-Ho Bae

| <http://orcid.org/0000-0002-6874-7034>