

# Flow Line에서의 소팅 및 버퍼링 시스템 적용 연구

## A Study on the Design and Application of Sorting and Buffering Systems in Flow Lines

박정현 (선문대학교 기계 및 시스템 공학부), 최병규 (한국과학기술원 산업공학과)

Jeong-Hyeon Park (Sun Moon University), Byoung-Kyu Choi (KAIST)

### ABSTRACT

Presented in the paper are a review of sorting and buffering system (SBS), the design procedure of a SBS and an analytical model for the initial alternative generation. SBS is an automated material handling system in which incoming items of different part types are automatically sorted and buffered so that the processing machines can process the parts in lots. SBSs play a key role in modern manufacturing systems and are widely found in mass fabrication lines, packaging and palletizing, and distribution centers.

**Key Words** : sorting and buffering system (소팅 및 버퍼링 시스템), flow line (흐름라인), analytical model (수리적 모델), material handling system (물류처리시스템)

### 1. 서 론

다품종의 작업물이 날개단위로 혼류되어 도착되는 flow 라인에서, 작업장의 작업조건변화 및 일시적인 공정처리능력변화에 의한 blocking 현상을 줄이면서, 작업장의 공정처리능력 최대화를 달성하기 위해 도착된 작업물을 규격별로 분류하여, 같은 규격의 작업물끼리 일정 조건이 만족할 때까지 집적한 다음, 로트 단위로 공정처리장으로 이송시키는 물류시스템은 타이어 제조라인, 포장 및 palletizing 라인 등에서 많이 사용되고 있다<sup>[1][2][3][4]</sup>. 일본의 경우, 1970년경부터 mail center, distribution and transportation industry를 중심으로 소팅기능 중심의 자동화된 소터(automated sorter)의 보급이 시작되어, 1991년도까지 시간당 1,000개 item 이상의 처리능력을 갖는 약 790개 automated sorter가 설치되었으며, 계속 증가추세에 있다<sup>[5]</sup>.

국내에서도 우편집중국, 대형 가전업체 및 유통업체에서 대도시별로 배송센터를 계속 건설하고 있어 국내에서도 점차적으로 sorting 시스템의 보급이 증가하고 있다. 또한 다품종 혼류생산하는 flow 라인에서는 규모의 차이는 있더라도, 물류의 자동화 및 품질의 안정등을 위하여 소팅 및 버퍼링 시스템(sorting and buffering system, SBS) 도입을 서두르고 있으며, 대표적인 예로 타이어 성형, 가류 및 사상라인, 승용차 도장라인등을 들 수 있다.

Sorting과 buffering 기능을 동시에 갖는 시스템의 분석연구로 소개된 경우는 거의 없으며, 주로 sorting 기능을 중심으로 하여 sorting되어 이송되는 목적지의 갯수 결정과 이와 같은 라인의 효율적인 시스템 운영방안에 대한 연구로 simulation, 대기이론 및 conveyor theory를 분석도구로 이용하고 있다.

배송센터, 우편물 집중국과 같이 규격이 분류된 다음, 해당 저장장소를 지정받아 해당장소에 투입되는 물류라인(order accumulation/sortation system, OA/S)에 대한 연구들로서 시뮬레이션을 도구로 하여 각종 운영 strategy하에서의 throughput을 분석한 연구가 있다<sup>[6][7]</sup>. 또한 recirculation conveyor를 갖고 있는 sorting line에 도착된 제품들을 모두 처리하는데 소요되는 시간을 구하는 수리적 모델<sup>[8]</sup>, OA/S에서 투입되는 order들을 집적하여 truck에 loading하기 위한 lane assignment하는 방법으로 recirculation되는 회수를 최소화하는 수리적 모델<sup>[9]</sup> 등이 소개되어 있다.

Flow line의 물류시스템에 대한 연구로 국내 H사 타이어 사상 및 입고공정의 물류시스템으로 SBS를 도입하는 시뮬레이션 분석연구가 소개되어 있다<sup>[10]</sup>.

본 논문에서는 flow line에서 사용되는 SBS에 대한 시스템 특성, SBS 설계절차, SBS 초기대안생성을 위한 수리적 모델에 대하여 소개하도록 한다.

## 2. 소팅 및 버퍼링 시스템

SBS는 날개단위로 혼류되어 도착되는 작업물이 로트 단위로 공정처리기계에서 공정처리될 수 있도록, 도착된 작업물들을 자동으로 분류하고 저장하는 물류처리시스템으로 정의되며, 전형적인 SBS는 6개의 부시스템으로 구성된다[Fig. 1 참조].

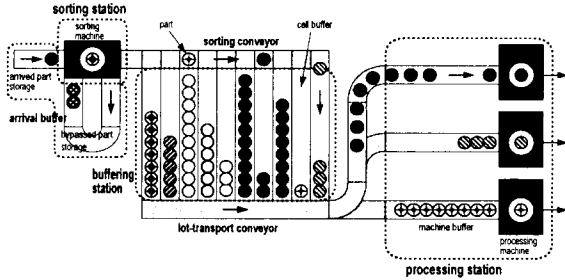


Fig. 1. Typical SBS Layout

SBS에 도착되는 작업물은 arrival buffer, sorting station, sorting conveyor, buffering station, lot-transport conveyor 및 processing station을 차례대로 지나가게 된다. 따라서 작업물의 흐름순서에 따라 관련되는 구성설비 및 정보의 흐름관계를 도식화하면, 시스템의 기본적인 작동원리를 쉽게 표현할 수 있다[Fig. 2 참조].

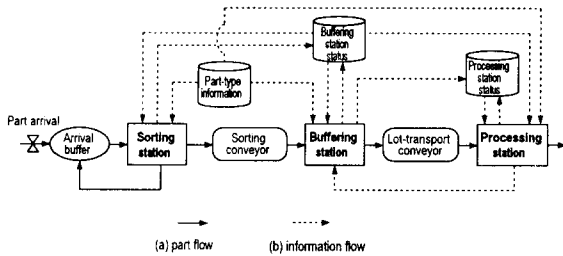


Fig. 2. Logical Structure of SBS

Fig. 2를 보면, SBS는 3개의 station을 중심으로 운영되고 있음을 알 수 있다. 작업물의 흐름은 실선 화살표로 나타내고, 정보의 흐름은 점선 화살표로 표현되어 있다. 따라서 SBS는 공정처리기계의 through-put을 최대화하기 위하여 이전 공정으로부터의 작업물 도착과정의 변동을 3종류의 buffer에서 흡수하는 3단계 버퍼링 시스템이다. Fig. 1에서 arrival buffer 및 buffering station에 가용한 자리가 없는 경우에 새로 도착하거나 우회되는 작업물들은 blocking 상태에 놓이게 되므로, 다른 작업물의 원활한 흐름을 위하여 시스템 밖으로 꺼내지게 된다.

SBS 설계 엔지니어는 제한된 공간하에서 최소의 비용으로 다음과 같은 설계목적을 달성할 수 있도록

SBS를 설계하게 된다.

- Blocking 발생을 방지 또는 최소화.
- 버퍼링되는 재고를 최소화.
- Cell buffer에 작업물의 장기간 체류 방지.

SBS 설계변수는 시스템의 처리능력, 단위설비 규격 및 운영방법으로 정의되며, 정량적인 설계변수[Tab. 1 참조], cell buffer 지정방법 등과 같이 시스템 운영방법에 관한 정성적인 설계변수로 나누어진다<sup>[11]</sup>.

Tab. 1. Quantitative Design Variables of SBS

구분	설계변수명	의미
시스템 처리능력	Tia	inter-arrival time
	Npt	작업물 규격수
sorting machine	Tsc	sorting cycle time
processing machine	Npm	기계대수
	Tmc	machine cycle time
	Tms	setup time
arrival buffer	Sab	arrival buffer 크기
cell buffer	Ncb	cell buffer 개수
	Scb	cell buffer 크기
machine buffer	Smb	machine buffer 크기
운영방법	L	최소 lot 크기
	Tto	timeover 한계값

SBS 초기설계단계에서 주된 관심사는 Tab. 1의 정량적인 설계변수를 결정하는 것이다. Npt는 SBS 내에 동시에 존재할 수 있는 작업물 규격수의 최대값을 의미한다. Tms는 작업물 규격변경에 따라 processing machine의 setup 변경소요시간이다. Sab, Scb 및 Smb는 각 buffer에 저장될 수 있는 작업물의 최대개수를 의미한다. 단, 작업물 규격에 관계없는 모든 규격들은 동일한 buffer 면적을 점유하는 것으로 한다. Lot 크기(L)는 cell buffer에서 lot을 구성하기 위해 필요한 최소의 작업물 개수를 의미하며, 실제로 이송되는 lot 크기는 L과 Scb 사이의 값이다. 단, timeover 발생된 cell buffer에서는 버퍼링되고 있는 작업물의 개수와 관계없이 이송이 이루어진다. 각각의 cell buffer에 Tto 시간동안 추가적으로 작업물이 도착되지 않으면 해당 cell buffer의 상태는 timeover 발생상태로 변경되고, processing station으로 이송될 수 있는 조건이 성립된다. 따라서 정량적인 설계변수들간에는 다음과 같은 관계식이 성립된다.

- $Tsc < Tia$ ,
- $Tmc < Npm \times Tia$ ,
- $L \leq Scb \leq Smb$ ,
- $Ncb \geq Npt$ ,
- $Sab + Ncb \times Scb + Npm \times Smb$

< 가용한 버퍼 공간.

Tab. 2의 정성적인 설계변수들의 값 선정은 작업물의 도착 특성 및 정량적인 설계변수, 성능평가 척도에 따라 결정된다.

### 3. 소팅 및 버퍼링 시스템 설계 절차

SBS 기능적 요구조건을 만족하기 위해 필요한 설계변수들 중에서 초기설계대안에서 결정될 설계변수들은 Tab. 1에서 정의된 12개의 설계변수들이다. 잔여 설계변수들은 운영방법(작업물의 cell buffer 지정방법, lot 단위로 이송될 작업물 선정방법, 이송 설비의 제어방법)에 관련된 정성적인 설계변수 및 작업물 이송기능을 담당하는 설비 규격에 대한 설계변수들이다. 이러한 설계변수들은 SBS의 기본사양을 결정한 초기설계대안을 기반으로 작성되는 상세 설계대안에서 포함된다. 따라서 초기설계대안에 포함될 12개의 설계변수 결정을 위한 접근방법을 살펴 보도록 한다.

SBS는 processing machine의 through-put을 최대화하기 위하여 3종류의 buffer를 이용하여 작업물 도착과정의 변동을 포함한 시스템 변동을 흡수하는 "three-stage buffering system"이다.

그러나 보통 through-put의 최대값은 제약조건으로 주어지는 것이므로, SBS 설계를 위한 분석은 작업물 처리능력, 가용한 공장면적 및 비용 등의 제약 조건하에서 blocking 및 재공재고를 최소화하고, 장기 체류되는 작업물을 방지할 수 있도록 하는 설계변수들의 최적값을 찾는 것이다. 이러한 분석과정에서 결정되어야 할 주요 설계변수들은 다음과 같다.

- Processing machine 대수 (Npm).
- Cell buffer 크기(Scb), cell buffer 개수 (Ncb).
- Arrival buffer 크기 (Sab).
- 최소 로트 크기 (L).

다른 설계변수 machine cycle time(Tmc), setup time(Tms) 및 timeover 한계값(Tto)들은 기술자료로 제공되는 설계변수들이다. 나머지 설계변수들은 시스템 성능변화에 아주 큰 영향을 주지 않는 것들이므로, 우선 가능한 값으로 먼저 결정한다. 작업물 도착간격(Tia)이 주어지면, sorting cycle time(Tsc)는 Tia보다 작은 값으로 결정되어야 하므로, 쉽게 결정할 수 있다. 비슷한 관계로 machine buffer 크기(Smb)는 cell buffer 크기보다 작지 않는 값을 사용한다. 따라서 SBS 설계과정은 다음과 같이 3단계로 이루어진다.

- 1) 시스템 처리 요구능력의 결정
- 2) 설계변수들의 가용한 값 조합인 대안 생성

### 3) 설계변수들의 최적화

첫 번째 단계에서는 시스템의 최대처리능력을 결정하는 과정이다. 즉, 외부로부터의 작업물 도착 과정에 대한 설계변수(Npt, Tia)를 결정하는 것이다.

두 번째 단계에서는 시스템 처리능력을 만족하는 주요 설계변수의 초기값을 결정하고, 잔여 설계변수들은 결정된 설계변수와의 관계를 이용하여 가능한 값을 초기값으로 지정한 다음, 조합의 종류에 따라 각각 설계대안을 작성한다.

세 번째 단계는 작성된 설계대안에 대한 성능평가를 통하여, 가장 적합한 대안을 선정하는 과정이다.

지금까지 살펴 본 설계과정에서 사용될 수 있는 분석도구로는 개략적인 분석도구와 상세분석을 할 수 있는 시뮬레이션 도구가 필요함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 시스템의 처리능력을 좌우하는 중요한 설계변수인 buffering station의 능력을 표시하는 설계변수 (Ncb, Scb)의 값을 구하는 수리적 모델을 작성한다.

### 4. 소팅 및 버퍼링 시스템의 수리적 모델

SBS buffering station 능력계산을 위한 수리적 모델은 시스템의 처리능력(Npt, Tia) 및 part mix rate, 기계처리능력(Npm, Tmc, Tms), machine buffer 크기(Smb) 및 cell buffer 크기(Scb)가 주어진 경우에 요구되는 cell buffer 개수(Ncb)를 계산하는 모델이며, 제약사항 및 구체적 절차는 참고문헌 [11]을 참조하도록 한다.

Cell buffer 개수를 구하는 방법은 다음과 같이 3단계로 구성된다.

1) 도착되는 작업물 규격들을 기계별 작업부하가 비슷하도록 배당한다.

2) 각 기계에 배당된 작업물 규격들을 순차적으로 처리할 때, 가장 많은 작업물이 작업을 대기하는 시점을 기준으로 규격별 대기중인 작업물 개수를 계산한다.

3) 작업물 규격별로 필요한 cell buffer 개수를 계산한 다음, 총 필요한 cell buffer 개수를 계산한다.

#### 4.1 기계별 작업물 규격 배당

도착되는 작업물 규격들을 기계별로 부하가 비슷하도록 배당하는 과정이다. 배당작업은 기계별로 작업물을 지그재그 방식으로 1차 배당한 다음[Fig. 3 참조], 기계별 부하를 좀 더 균등하게 배당하는 2

차 작업[Fig. 4 참조]으로 나누어진다.

$$k = Npt / Npm$$

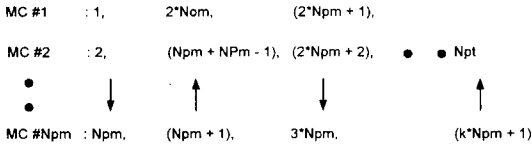


Fig. 3. Load Assignment per Processing Machine

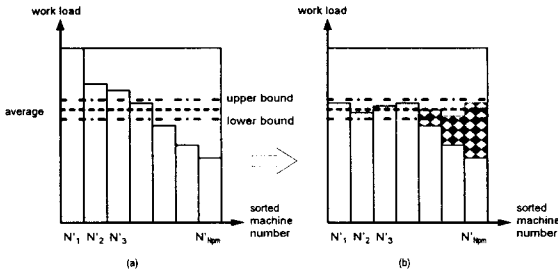


Fig. 4. Load Balancing of Processing Machines

#### 4.2 작업물 규격별로 대기중인 작업물 개수 계산

먼저 각 기계별로 배당된 작업물들을 cyclic scheduling과 exhaustive service로 처리하므로, k번째 기계의 cycle time  $T_{cycle_k}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_{cycle_k} = \sum_{i=1}^{n_k} T_{mk}(i)$$

$$= \sum_{i=1}^{n_k} (T_{msk}(i) + \lambda_k(i) * T_{cycle_k} * T_{mc_k}(i)).$$

$$T_{cycle_k} = \sum_{i=1}^{n_k} T_{msk}(i) / \{1 - \sum_{i=1}^{n_k} (\lambda_k(i) * T_{mc_k}(i))\}.$$

단,  $n_k$  : k번째 기계에 배당된 규격수,

$T_{mk}(i)$  : k번째 기계에 배당된 i번째 규격의 setup time 및 공정처리시간,

$T_{msk}(i)$  : k번째 기계에 배당된 i번째 규격의 setup time,

$T_{mc_k}(i)$  : k번째 기계에 배당된 i번째 규격의 공정 cycle time,

$\lambda_k(i)$  : k번째 기계에 배당된 i번째 규격의 arrival rate.

다음에는 기계별로 배당된 작업물 규격들을 순차적으로 처리할 때, 기계별로 가장 많은 작업물들이 대기하고 있는 시점을 계산한다. 각 기계별로 도착량의 처리시간 및 setup 시간의 합이 가장 큰 값순으로 정렬하고, 가장 부하량이 큰 규격에 대한 setup

이 완료되어 공정처리가 시작될려는 시점이 바로 기계별로 작업대기중인 작업물이 가장 많은 시점이다. 따라서 이 시점을 기준으로 작업물 규격별로 작업대기중인 작업물 개수를 계산한다[Fig. 5 참조].

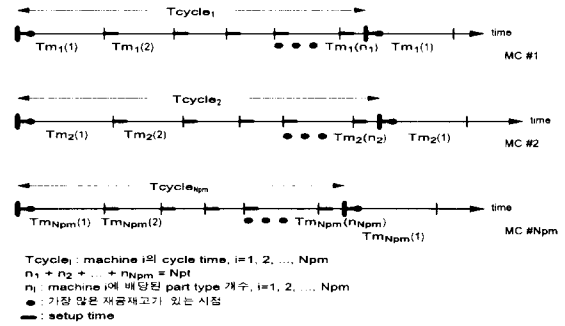


Fig. 5. Maximum Queue Length per Machine

따라서 k번째 기계에 속하는 i번째 작업물 규격의 작업대기량  $Q_k(i)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$Q_k(i) = \lambda_k(i) * [T_{mk}(i+1) + T_{mk}(i+2) + \dots + T_{mk}(n_k) + T_{msk}(1)].$$

$$\text{단, } k=1, 2, \dots, Npm, \quad i=1, 2, \dots, n_k,$$

$$Npt = n_1 + n_2 + \dots + n_{Npm}.$$

#### 4.3 Cell buffer 총개수 계산

먼저 작업물 규격별로 작업대기중인 작업물들을 모두 저장하기위해 필요한 cell buffer 개수를 계산한다. 각 규격별로 작업대기량을 cell buffer 개수로 나눈 다음, 소숫점 이하는 무조건 절상하면, 규격별 필요한 cell buffer 개수가 계산된다[Fig. 6 참조].

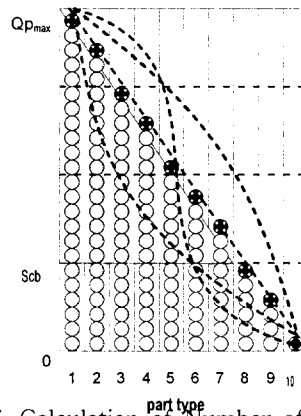


Fig. 6. Calculation of Number of Cell Buffers

계산된 cell buffer 개수를 모두 더한 다음, machine buffer 총크기를 cell buffer 크기로 나눈 값을 빼면, 다음과 같이 cell buffer 개수(Ncb)를 구할 수 있다.

$$Ncb = \sum_{k=1}^{Npm} Ncb_k - \{[(Smb * Npm) / Scb] + \alpha\}$$

$$= \sum_{k=1}^{Npm} \sum_{i=1}^{n_k} \{[Q_k(i) / Scb] + \beta_{k(i)}\} - \{[(Smb * Npm) / Scb] + \alpha\}.$$

단,  $Ncb_k$  : k번째 기계에 배당된 작업물 대기량에 대한 cell buffer 개수,

[ ] : Gaussian operator,

$\alpha = 1$  if  $\{[(Smb * Npm) / Scb] < ((Smb * Npm) / Scb)\}$ ,  
0 else.

$\beta_{k(i)} = 1$  if  $[Q_k(i) / Scb] < \{Q_k(i) / Scb\}$ ,  
0 else.

또한 이러한 수리적 모델을 이용하여 설계된 SBS의 개략적인 through-put을 계산할 수 있다[11].

#### 4.4 수리적 모델과 시뮬레이션 실험결과 비교

Cell buffer 개수 계산을 위한 수리적 모델에 의한 계산결과와 시뮬레이션 결과간의 비교를 위하여 다음과 같은 식을 이용한다.

$$\frac{(Ncb_{cal} - Ncb)}{Ncb} \times 100 (\%).$$

여기서  $Ncb_{cal}$ 은 수리적 모델에서 구한 cell buffer 개수이며,  $Ncb$ 는 시뮬레이션 실험에서 구해진 결과이다.

실험한 독립변수들의 값들은 다음과 같다.

- 작업물 규격수 (Npt): 20, 30, 40.
- 도착시간간격 (Tia): 최대처리능력 90%.
- 기계대수 (Npm): 3, 5, 7.
- Machine cycle time (Tmc): 1 time unit.
- Setup time (Tms) : 10, 15, 20 time units.
- Part mix rate : 최대 5배까지의 uniform 분포
- Cell buffer 크기 (Scb): 11, 15

시뮬레이션 실험에서는 cell buffer 개수 (Ncb)를 규격수의 1.0, 1.6, 2.2배로 하여 수행되었다. 값의 차이가 5퍼센트 이내인 경우가 전체의 절반정도이며, 차이가 10퍼센트 이내인 경우가 전체의 약 80퍼센트이다[Tab. 2 참조]. 따라서 본 수리적 모델은 시스템 초기대안생성단계에서 개략적인 cell buffer 개수를 구하는 방법으로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 날개 단위의 다품종 혼류 flow line에서 많이 도입되는 SBS에 대한 시스템 특성, SBS 설계절차, SBS 초기대안 생성을 위한 수리적 모델을 다루었다.

Tab. 2. Comparison Results

차이 구간	개수	비율
0 ~  5  %	82	51 %
5  ~  10  %	47	29 %
10  ~  15  %	20	12 %
15  ~  20  %	12	7 %
기 타	1	0 %
합 계	162	

제시된 수리적 모델은 초기대안작성을 위한 개략적 분석도구 및 시뮬레이션 분석시의 설계변수들의 초기값 계산에 매우 유용하게 활용될 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Hiyama, H., Joe, Y., Kubota, S., Tanaka, T., and Kameda, T., Tyre handling system, *European Patent No. EP 0 288 590 A1*, 1988.
2. Lambert, D. R., New technology in warehousing and distribution. *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Automated Materials Handling*, 15-17 May, Birmingham, UK, pp.131-143, 1985.
3. Murphy, A., and Martin, S., Using custom software to optimize benefits of automated carton. *Proc. of the 2nd Int. Conf. Automated Materials Handling*, 15-17 May, Birmingham, UK, pp.119-123, 1985.
4. 流通研究社, 自動仕分けシステムハンドブック, 東京, 日本, 1991.
5. 物流プランナー, 自動仕分機導入・納入実績一覽, 物流プランナー, 20(12), 36-47 (일본), 1992.
6. Bozer, Yavuz A. and Sharp, Gunter P., An empirical evaluation of a general purpose automated order accumulation and sortation system used in batch picking. *Material Flow*, 2, 111-131, 1985.
7. Bozer, Yavuz A., Quiroz, Marco A. and Sharp, Gunter P., An evaluation of alternative control strategies and design issues for automated order accumulation and sortation systems. *Material Flow*, 4, 265-282, 1988.
8. Johnson, M. E., On analysis of sortation systems for automated distribution. *2nd Industrial Engineering Research Conference Proceedings*, pp.498-503, 1993.
9. Meller, R. D., Order accumulation/sortation system: an intelligentlane-assignment algorithm for the two-level problem. *3rd Industrial Engineering Research Conference Proceedings*, Atlanta, GA, pp.588-593, 1994.
10. 최병규, 박정현, 류옥현, 박철홍, 한창희, 한관희 및 이준용, PCR 사상라인 시뮬레이션 분석연구, 프로젝트 최종보고서, 한국과학기술원, 1992.
11. 박정현, 이벤트 그래프 기반의 AMS 시뮬레이션 모델 개발 및 래더 다이어그램 생성 - 소팅 및 버퍼링 시스템을 중심으로-, 박사학위논문, 한국과학기술원, 1996.