

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.89>

JIIBC 2022-2-13

## 양방향 군집 알고리즘을 적용한 교차혼합 U자형 조립라인 균형문제

### Balancing Problem of Cross-over U-shaped Assembly Line Using Bi-directional Clustering Algorithm

이상운\*

Sang-Un Lee\*

**요약** 본 논문은 NP-난제로 알려진 단일모델 교차혼합 조립라인 균형문제에 대해 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 조립라인 균형문제는 주로 메타휴리스틱 방법들을 적용하고 있는 추세로 다항시간의 정확한 해를 찾는 알고리즘이 제안되지 않고 있어 실무에 적용하기가 매우 어렵다. 제안된 알고리즘은 주어진 총 조립시간  $W$ 와 순환시간  $c$ 에 대해  $m' = \lceil W/c \rceil$ 의 최소 작업자수와  $c' = \lceil W/m' \rceil$ 의 목표 순환시간을 구하고,  $i=1,2,\dots,m'$ 개의 작업대에  $T_i = c' \pm \alpha \leq c$ 가 되도록 양방향의 공정들을 배정하는 양방향 군집방법을 적용하였다. 7개의 다양한 실험 데이터에 적용한 결과 제안된 양방향 군집 알고리즘은 타 방법들과 동일한 성능을 보였다.

**Abstract** This paper suggests heuristic algorithm for single-model cross-over assembly line balancing problem that is a kind of NP-hard problem. The assembly line balance problem is mainly applied with metaheuristic methods, and no algorithm has been proposed to find the exact solution of polynomial time, making it very difficult to apply in practice. The proposed bi-directional clustering algorithm computes the minimum number of worker  $m' = \lceil W/c \rceil$  and goal cycle time  $c' = \lceil W/m' \rceil$  from the given total assembling time  $W$  and cycle time  $c$ . Then we assign each workstation  $i=1,2,\dots,m'$  to  $T_i = c' \pm \alpha \leq c$  using bi-directional clustering method. For 7 experimental data, this bi-directional clustering algorithm same performance as other methods.

**Key Words** : Single-model, Cross-over Assembly Line Balancing, Bi-directional Clustering

## 1. 서론

조립라인 균형(assembly line balancing, ALB) 문제는 특정 제품을 제조(조립)하는데 있어 효율적이고 높

은 생산성을 갖도록 작업자들에게 균형된 작업량을 배정하는 방법이다.<sup>[1]</sup> 조립라인은 선형이나 U자형으로 컨베이어 벨트를 따라 배치된 작업대들(workstations)로 구성되어 있으며, 부품(자재)은 첫 번째 작업대에 투입된

\*정희원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과  
접수일자 2022년 1월 31일, 수정완료 2022년 3월 5일  
게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 31 January, 2022 / Revised: 5 March, 2022 /  
Accepted: 8 April, 2022

\*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr

Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University, Korea

이후 컨베이어 벨트 조립라인을 통해 다음 작업대로 계속적으로 이동되면서 조립되어 최종적으로 완제품이 생산된다. 부품이 특정 작업대에 도착하면 해당 작업대를 담당하는 작업자는 배정된 부품들에 대한 조립작업을 완료하고, 다음 작업대로 이동시킨다. 이 경우, 각 작업자에게 배정된 작업들은 부품의 조립순서를 준수해야 한다. 각 공정에서 하나의 작업이 완료되는 시간을 처리시간(processing time)이라 한다.<sup>[2]</sup> 조립라인의 순환 시간(cycle time)은 하나의 완제품이 생산될 때까지의 시간으로, 원하는 생산율(production rate)에 의해 사전에 결정된다.<sup>[3]</sup>

조립라인의 작업자 배치 형태는 단측(one-sided), 양측(two-sided)과 교차혼합(cross-over)으로 분류된다.<sup>[4]</sup> 단측은 전자제품과 같이 좌·우측 구분 없이 작업이 가능한 경우에 적용되며, 양측은 자동차와 같이 한 명의 작업자가 좌·우측을 오가면서 작업할 수 없는 경우 작업자를 좌측과 우측으로 분리하여 배치하는 경우에 적용된다. 교차혼합은 부품의 유입과 유출이 작업장의 한 면에 배치되어 있고, 작업자가 U자형 컨베이어 벨트 가운데에 위치하여 좌측의 유입과 우측의 유출을 오가면서 작업할 수 있는 형태에 적용된다. 따라서 단측과 양측은 완제품이 생산될 때까지의 조립순서를 위배할 수 없는 반면에, 교차혼합 조립라인은 유입부와 유출부의 양쪽을 모두 작업할 수 있는 특징을 갖고 있다.

조립라인 균형 문제는 산업공학에서의 전형적인 문제 중 하나로 NP-hard 조합최적화 문제로 분류되고 있다.<sup>[5]</sup> 이는 다항시간으로 풀 수 있는 정확한 알고리즘이 존재하지 않기 때문에 부득이 휴리스틱 방법(heuristic method)으로 해를 구하고 있다.<sup>[6]</sup> 최근 들어서는 휴리스틱 방법보다 유전자 알고리즘(GA), 담금질기법(SA), 신경망(NN), 개미집단최적화(ACO), 개체군집최적화(PSO), Tabu 탐색(TS) 등의 메타휴리스틱 방법(metaheuristic method)을 대안으로 적용하는 추세이다.<sup>[6-11]</sup> 반면에 다항시간의 휴리스틱 알고리즘으로는 단측 조립라인 균형 문제에 대해서는 Lee<sup>[12]</sup>, PCB 조립라인의 균형 문제에 대해서는 Lee<sup>[13]</sup>의 연구 결과가 있다.

본 논문에서는 교차혼합 조립라인 균형문제에 대한 휴리스틱 알고리즘을 제안한다. 제안되는 알고리즘은 최종 완제품이 생산될 때까지의 공정 개수가 최대한 경로를 주경로(main path)로 설정하고, 주경로의 좌측(순방향)과 우측(역방향)을 따라가면서 각 작업대에 균형된 작업량을 배정하는 군집 방법(clustering method)을 적용하였다.

2장에서는 교차혼합 조립라인의 배치형태와 조립라인 균형 문제 성능을 평가하는 척도를 고찰해 본다. 3장에서는 교차혼합 조립라인에 대해 각 작업대에 균형된 작업량을 배정하는 군집 최적화 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 다양한 문제들에 제안된 알고리즘을 적용하여 기존의 메타휴리스틱 방법들과 성능 비교를 통해 알고리즘의 적합성을 검증한다.

## II. 교차혼합 조립라인 문제 정의

교차혼합 조립라인 작업장의 작업자 배치는 그림 1과 같은 형태를 취한다.<sup>[4,14]</sup>

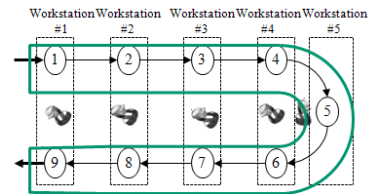


그림 1. 전형적인 교차혼합 작업장 형태

Fig. 1. Typical Cross-over U-shaped Workstation Layout

교차혼합 조립라인은 작업장의 한 면에 부품의 유입과 유출이 되도록 U-자형의 컨베이어 벨트를 설치하고, 작업자는 컨베이어 벨트 내부에 위치하도록 하는 것이 특징이다. 이는 단측 제품인 경우에 적용되며, 1명의 작업자가 좌측의 유입과 우측의 유출을 왕복하면서 작업을 수행하는 경우이다.

조립라인의 제품 생산방식은 그림 2와 같이 3가지 형태를 취한다.<sup>[15,16]</sup> (a)는 단일 제품을 전용으로 조립하는 라인이며, (b)는 여러 제품을 혼용하여 동시에 생산하는 방식, (c)는 여러 제품을 연속하여 생산하는 방식이다.

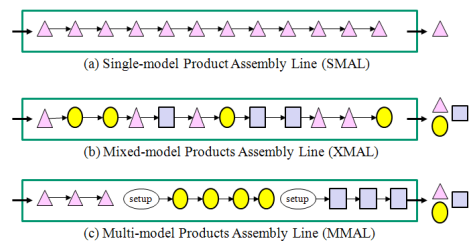


그림 2. 전형적인 제품 생산방식

Fig. 2. Typical Production Types of Products

본 논문에서는 단일 제품의 교차혼합 생산 조립라인에 한정한다.

그림 3의 (a)는 11개의 작업으로 구성된  $P_{11}$  조립라인에서 하나의 제품을 생산하기 위해 각 부품들이 조립되는 순서를 나타낸 우선순위도(precedent diagram)이다. 여기서  $W=51$ 이며,  $c=10$ 으로 설정하면  $m = \lceil 51/10 \rceil = 6$ 으로 6명의 작업자가 필요하다.

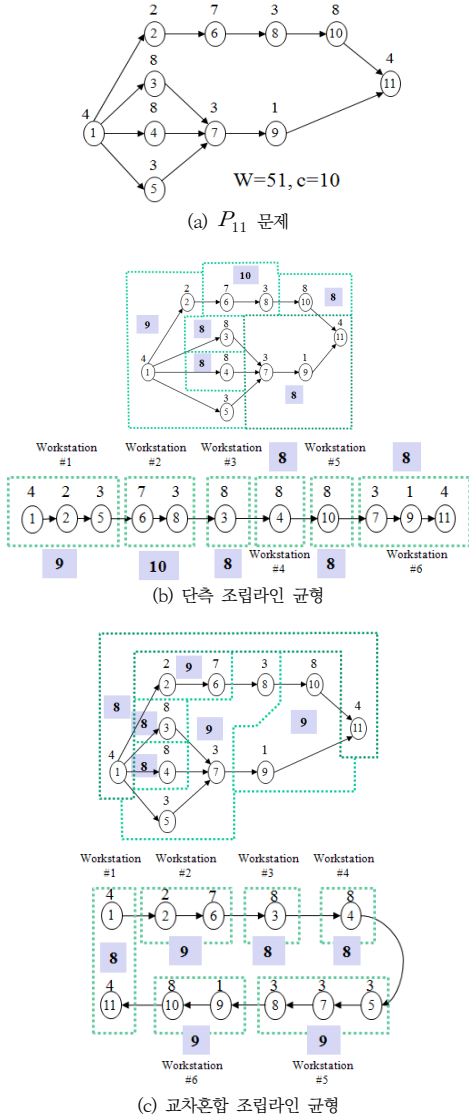


그림 3. 단순조립라인의 우선순위도와 작업 할당  
 Fig. 3. Precedence Diagram and Work Assignment for Simple Assembly Line

각 작업자의 작업 소요시간이  $c=10$ 을 초과하지 않으면서, 부품이 조립되는 순서를 준수하도록 각 작업자에게 작업을 분배해야 하며, 각 작업자에게 배정된 작업시간들과의 편차가 가능한 적도록 균형 (balance)을 맞추어야 한다. 단순(단축) 조립라인 균형문제인 경우 이와 같은 조건을 만족시키는 결과는 (b)에 제시되어 있다. 교차혼합 조립라인인 경우 (c)에 제시되어 있으며, 6명의 작업자가 필요하지만  $c=10$ 을  $c=9$ 로 순환시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있다.

Suwannarongsri와 Puangdownreong<sup>[1,17]</sup>와 Grzechca<sup>[18]</sup>에 따르면 알고리즘 성능은  $\leq$ ,  $SI$ ,  $LT$ ,  $WV$ 로 평가한다. 여기서 라인 효율성(line efficiency,  $\leq$ )는 식 (1)로, 평활도 지수(smoothness index,  $SI$ )는 식 (2)로, 조립라인에서 작업을 완료하는데 필요한 라인 시간 (time of the line,  $LT$ )는 식 (3)으로, 작업부하 분산 (workload variance,  $WV$ )은 식 (4)로 계산된다.

$$\leq = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{mc} \times 100\% \quad (1)$$

where  $m$ - 총 작업대 (작업자) 수  
 $c$  - 순환시간 (cycle time) =  $T_{max}$   
 $T_{max}$  - 최대 작업대 작업시간  
 $T_i$  -  $i$ 번째 작업대의 작업시간

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^m (T_{max} - T_i)^2} \quad (2)$$

$$LT = c(m-1) + T_m \quad (3)$$

where  $T_m$  - 마지막 작업대의 작업시간

$$WV = \sum_{i=1}^m [T_i - (W/m)]^2 / m \quad (4)$$

### III. 교차혼합 조립라인의 양방향 균집

#### 알고리즘

본 장에서는 계획된 완제품을 교차혼합 작업대 형태로 생산하는데 소요되는 총 작업소요시간  $W$ 와 하나의 작업대에서 머무르는 시간인 순환시간  $c$ 가 주어졌을 때, 최소 작업대 수 즉, 최소로 필요한 작업자 수  $m$ 와 한 명의 작업자가 작업하는 순환시간을  $c$ 보다 작은  $T_{max}$ 를 찾는 양방향 균집 휴리스틱 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은  $i$ 번째 작업대의 작업시간  $T_i$ 는  $c \pm \alpha \leq c$ 로

최소의  $\alpha$  값을 갖도록 작업들에 대해 군집을 좌에서 우로의 순방향과 우에서 좌로의 역방향인 양방향 공정들을 대상으로 양방향 군집을 형성한다. 이 알고리즘을 양방향 군집 알고리즘(bi-directional clustering algorithm, BCA)이라하며, 다음과 같이 수행된다.

Step 1. 사전처리 (preprocessing)

- (1) 주어진 우선순위 그래프 (precedence graph)에 대해 작업들의 공정 순서를 고려하여 가능한 우측으로 이동시켜 단계 (레벨)별로 정렬시킨다.
- (2)  $m' = \lceil W/c \rceil$  의 최소 작업대 수를 결정한다.
- (3)  $c' = \lceil W/m' \rceil$  의 순환시간 목표를 설정한다.

Step 2. 주 처리 (main processing)

최좌측 시작 작업공정부터 우측으로의 순방향과 최우측 종료공정부터 좌측으로의 역방향으로 중간지점 공정으로 동시에 향하면서  $T_i = c' \pm \alpha \leq c$  ( $\alpha$ 는 최솟값)가 되도록  $i = 1, 2, \dots, m'$  인  $m'$  개의 작업대에 작업량  $T_i$ 를 배정한다. 단,  $c'/2$ 보다 큰 작업시간이 많은 제품에 대해서는 이들 공정을 각 작업대에 선 배정하는 방법을 적용한다.

제안된 BCA는 휴리스틱 방법으로 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- (1)  $m'$  개의 작업대(작업자)로 군집을 형성하여 최소로 필요한 작업자를 결정할 수 있다.
- (2)  $T_i = c' \pm \alpha < c$ 를 목표로 군집을 형성하여 주어진 순환 시간  $c$ 를  $T_{max}$ 로 단축시킬 수 있다.
- (3) 각 작업자의 작업수행시간 편차 ( $T_{max} - T_{min}$ )가 최소가 되도록 하여  $SI$ 와  $WW$ 가 최소인 작업시간 균형을 맞추고, 조립라인 효율성  $LE$ 도 극대화시킬 수 있다.

IV. 알고리즘 적용 및 결과 분석

그림 4의 6개 데이터<sup>[19-21]</sup>에 대해 제안된 BCA를 적용하여  $m'$  명에게 작업을 배정한 결과는 그림 5에 제시되어 있다.

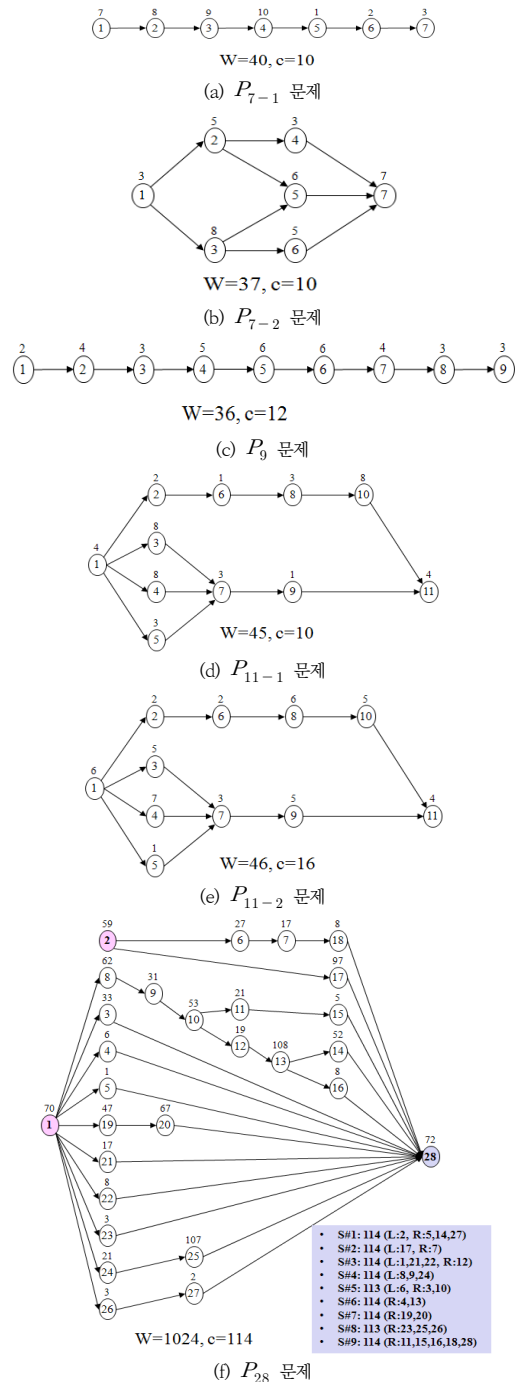
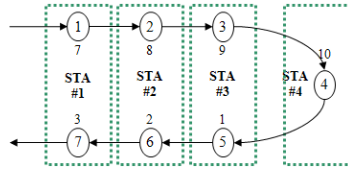
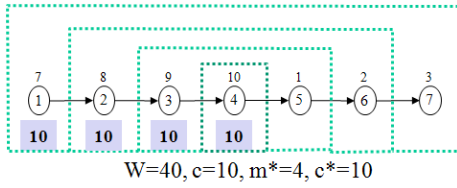
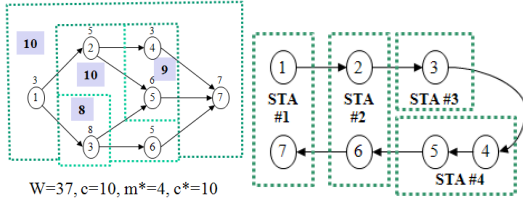


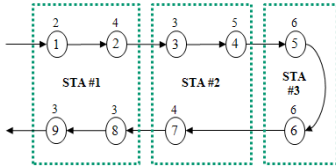
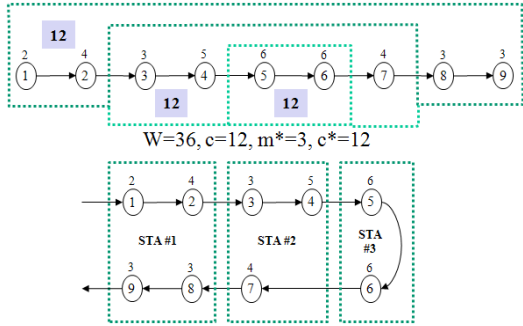
그림 4. 교차혼합 조립라인 균형 실험 데이터  
Fig. 4. Experimental Data for Cross-over Assembly Line Balancing



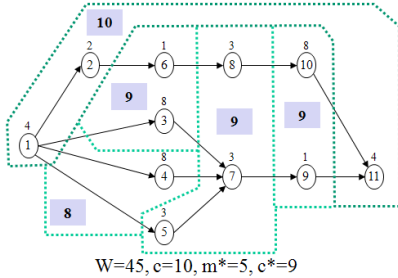
(a)  $P_{7-1}$  문제



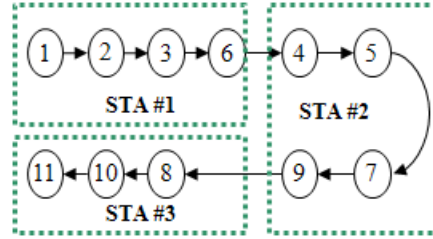
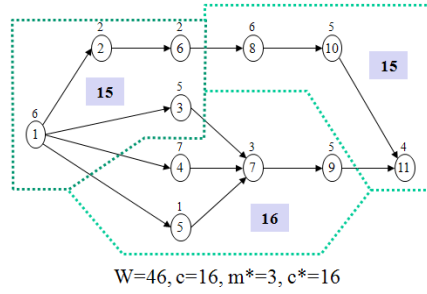
(b)  $P_{7-2}$  문제



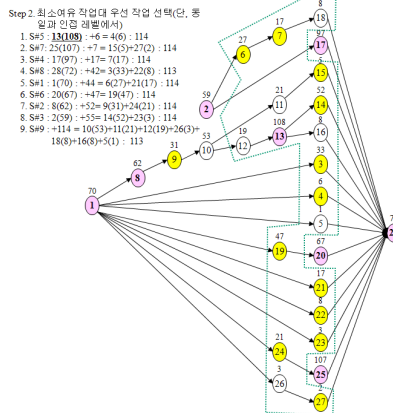
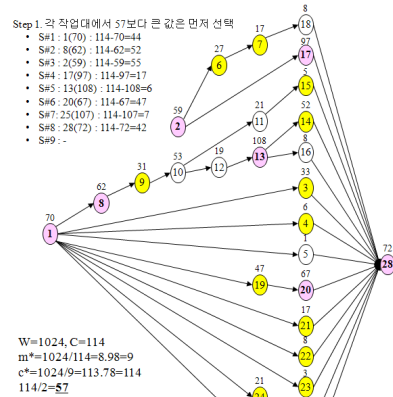
(c)  $P_9$  문제

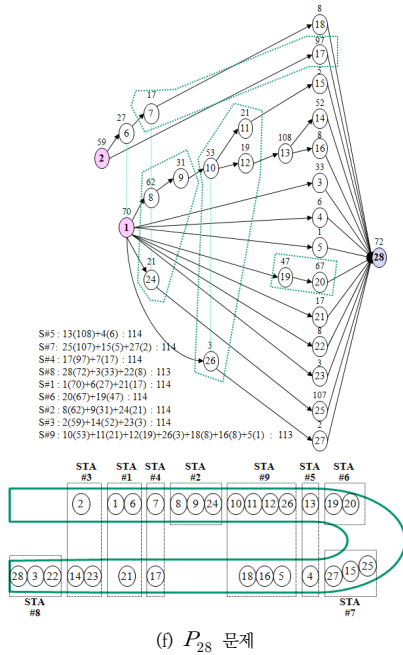


(d)  $P_{11-1}$  문제



(e)  $P_{11-2}$  문제





(f)  $P_{28}$  문제

그림 5. BCA의 작업 할당  
Fig. 5. Work Assignment Using BCA

그림 5의 결과를 기준에 제시된 방법들과 비교한 결과는 표 1에 제시되어 있다.

표 1. 작업대 배정  
Table 1. Assignment of Workstations

문제	Zhang & Cheng	BCA
$P_{7-1}$	S1={1,7}=10	S1={1,7}=10
	S2={2,6}=10	S2={2,6}=10
	S3={3,5}=10	S3={3,5}=10
	S4={4}=10	S4={4}=10
문제	Kriengkorakot & Pianthong	BCA
$P_{7-2}$	S1={1,7}=10	S1={1,7}=10
	S2={2,6}=10	S2={2,6}=10
	S3={3}=8	S3={3}=8
	S4={4,5}=9	S4={4,5}=9
문제	Gökçen & Ağpak	BCA
$P_9$	S1={1,2,8,9}=12	S1={1,2,8,9}=12
	S2={3,4,7}=12	S2={3,4,7}=12
	S3={5,6}=12	S3={5,6}=12
문제	Kriengkorakot & Pianthong	BCA
$P_{11-1}$	S1={1,2,11}=10	S1={1,2,11}=10
	S2={3,9}=9	S2={3,6}=9
	S3={5,6,7,8}=10	S3={4}=8
	S4={4}=8	S4={5,7,8}=9
	S5={10}=8	S5={9,10}=9

문제	Gökçen & Ağpak	BCA
$P_{11-2}$	S1={1,10,11}=15	S1={1,2,3,6}=15
	S2={2,5,6,8,9}=16	S2={4,5,7,9}=16
	S3={3,4,7}=15	S3={8,10,11}=15

문제	Zhang & Cheng	BCA
$P_{28}$	S1={2,5,14,27}=114	S3={2,14,23}=114
	S2={7,17}=114	S1={1,6,21}=114
	S3={1,12,21,22}=114	S4={7,17}=114
	S4={8,9,24}=114	S2={8,9,24}=114
	S5={3,6,10}=113	S9={5,10,11,12,16,18,26}=113
	S6={4,13}=114	S5={4,13}=114
	S7={19,20}=114	S8={19,20}=114
	S8={23,25,26}=113	S7={15,25,27}=114
	S9={11,15,16,18,28}=114	S8={3,22,28}=114
	14	

표 1의 결과에 대해 알고리즘 성능인  $\leq$ ,  $SI$ ,  $WV$ 를 비교하여 표 2에 제시하였다.  $P_{11-1}$ 을 제외한 5개 데이터에 대해 제안된 BCA는 기존의 알고리즘들과 동일한  $\leq$ ,  $SI$ ,  $WV$ 를 얻었다.  $P_{11-1}$ 의 경우 Kriengkorakot와 Pianthong<sup>[18]</sup>에 비해  $\leq$ ,  $SI$ 는 동일하지만  $WV$ 는 감소된 결과를 얻었다.

표 2. 알고리즘 성능 비교  
Table 2. Compare with Performance of Algorithms

문제	$c$	모델	$T_{max}$	$m$	$LE$	$SI$	$WV$
$P_{7-1}$	10	Zhang & Cheng	10	4	100.00%	0.00	0.00
		BCA	10	4	100.00%	0.00	0.00
$P_{7-2}$	10	Kriengkorakot & Pianthong	10	4	92.50%	1.73	0.69
		BCA	10	4	92.50%	1.73	0.69
$P_9$	12	Gökçen & Ağpak	12	3	100.00%	0.00	0.00
		BCA	12	3	100.00%	0.00	0.00
$P_{11-1}$	10	Kriengkorakot & Pianthong	10	5	90.00%	2.24	0.80
		BCA	10	5	90.00%	2.24	0.40
$P_{11-2}$	16	Gökçen & Ağpak	16	3	95.83%	1.41	0.22
		BCA	16	3	95.83%	1.41	0.22
$P_{28}$	114	Zhang & Cheng	114	9	99.81%	1.41	0.17
		BCA	114	9	99.81%	1.41	0.17

## V. 결론

본 논문은 NP-난제로 알려진 단일모델 교차혼합 조립 라인 균형문제에 대해 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은  $m' = \lceil W/c \rceil$ 로 최소 작업자수를 결정하고,  $c' = \lceil W/m' \rceil$ 의 목표로 하는 순환시간을

결정한 후  $i=1,2,\dots,m'$  개의 작업대에  $T_i = c' \pm \alpha \leq c$  ( $\alpha$ 는 최소치)를 갖도록 좌에서 우로의 순방향과 우에서 좌로의 역방향인 양방향 공정들을 대상으로 군집을 형성하는 양방향 군집 방법을 적용하였다. 또한,  $t_i \geq c'/2$ 를 갖는 공정들이 존재하면 이 공정들 각각을 별도의 작업대에 선 배정하는 방법을 적용하였다.

6개의 다양한 실험 데이터에 제안된 양방향 군집 알고리즘을 적용한 결과 기존의 연구결과와 동일하게  $m$ 개의 작업대를 구하였으며, 5개 데이터에 대해서는  $\leq SI, WV$ 는 동일한 값을 얻었으며,  $P_{11-1}$  데이터에 대해서는  $WV$ 를 감소시키는 결과를 얻었다.

## References

- [1] S. Suwannarongsi and D. Puangdownreong, "Optimal Assembly Line Balancing Using Tabu Search with Partial Random Permutation Technique," *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 3, No. 1, pp. 3-18, Jan, 2008, <https://doi.org/10.1080/17509653.2008.10671032>
- [2] R. Sury, "Aspects of Assembly Line Balancing," *International Journal of Production Research*, Vol. 9, No. 4, pp. 501-512, Feb, 1971, <https://doi.org/10.1080/00207547108929898>
- [3] I. Baybars, "A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem," *Management Science*, Vol. 32, No. 8, pp. 900-932, Aug, 1986, <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.8.909>
- [4] M. F. Yegul, K. Agpak, and M. Yavuz, "A New Algorithm for U-shaped Two-sided Assembly Line Balancing," *Transactions of Canadian Society for Mechanical Engineering*, Vol. 34, No. 2, pp. 225-241, May, 2010, <https://doi.org/10.1139/tcsme-2010-0014>
- [5] A. Gutjahr and G. Nemhauser, "An Algorithm for the Balancing Problem," *Management Science*, Vol. 11, No. 2, pp. 308-315, Nov, 1964, <https://doi.org/10.1287/mnsc.11.2.308>
- [6] W. Helgeson and D. Birnie, "Assembly Line Balancing using the Ranked Positional Weighting Technique," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 12, pp. 394-397, 1961, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.824.568>
- [7] J. Rubinovitz and G. Levitin, "Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing," *International Journal of Production Economics*, Vol. 41, No. 1-3, pp. 343-354, Oct, 1995.
- [8] P. McMullen and G. Frazier, "Using Simulated Annealing to solve a Multi-objective Assembly Line Balancing Problem with Parallel Work Stations," *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 10, pp. 2717-2741, Oct, 1998, <https://doi.org/10.1080/002075498192454>
- [9] E. Murat, K. Ozgur, and U. Fusun, "An Agent based Supply Chain System with Neural Network Controlled Processes," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3314, pp. 837-846, 2004, [https://doi.org/10.1007/978-3-540-30497-5\\_130](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30497-5_130)
- [10] P. McMullen and P. Tarasewich, "Multi-objective Assembly Line Balancing via a Modified Ant-colony Optimization Technique," *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 27-42, Jan, 2006, <https://doi.org/10.1080/00207540500216748>
- [11] W. Grzechca, "Assembly Line Balancing Problem Single and Two-Sided Structures, Automation and Control - Theory and Practice," *Intech China*, Aug, 2011, <https://doi.org/10.5772/7894>
- [12] S. U. Lee, "A Single-model Single-sided Assembly Line Balancing Problem Using Main-path Clustering Algorithm," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 19, No. 5, pp. 89-98, May 2014, <https://doi.org/10.9708/jksci.2014.19.5.089>
- [13] S. U. Lee, "An Assignment-Balance-Optimization Algorithm for Minimizing Production Cycle Time of a Printed Circuit Board Assembly Line," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 21 No. 2, pp. 97-103, Feb. 2016, <https://doi.org/10.9708/jksci.2016.21.2.097>
- [14] J. Miltenburg, "U-shaped Production Lines: A Review of Theory and Practice," *International Journal of Production Economics*, Vol. 70, No. 3, pp. 201-214, Apr 2001, [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00064-5)
- [15] N. Kriengkarakot and N. Pianthong, "The Assembly Line Balancing Problem: Review Articles," *KKU Engineering Journal*, Vol. 34, No. 2, pp. 133-140, Apr. 2007.
- [16] C. Becker and A. Scholl, "A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing," *European Journal of Operational Research*, Vol. 168, No. 3, pp. 694-715, Feb, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
- [17] S. Suwannarongsi and D. Puangdownreong, "Metaheuristic Approach to Assembly Line Balancing," *WSEAS Transactions on Systems*, Vol. 8, No. 2, pp. 200-209, Feb, 2009.
- [18] W. Grazechca, "Assembly Line Balancing Problem Single and Two-sided Structures," *Automation and Control - Theory and Practice*, *Intech China*, Aug, 2011, <https://doi.org/10.5772/22990>
- [19] Z. Zhang and W. Cheng, "An Exact Method for U-shaped Assembly Line Balancing Problem," *International Workshop on Intelligent Systems and Applications (ISA)*, School of Mechanical Engineering,

Southwest Jiaotong Univ., Chengdu, China, pp. 1-4,  
May 2010.

- [20] N. Kriengkarakot and N. Pianthong, "The U-line Assembly Line Balancing Problem," *KKU Engineering Journal*, Vol. 34, No. 3, pp. 267-274, May 2007, <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.10.1378>
- [21] H. Gökçen and K. Ağpak, "A Goal Programming Approach to Simple U-line Balancing Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 1, pp. 577-585, Jun 2006, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.09.021>

### 저 자 소 개

#### 이 상 운(정회원)



- 1987년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
- 1997년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
- 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
- 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
- 2004년 ~ 2007년 2월 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
- 2007년 3월 ~ 2015년 3월 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
- 2015년 4월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
- 관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 인공지능과 빅데이터분석, 최적화 알고리즘
- e-mail : [sulee@gwnu.ac.kr](mailto:sulee@gwnu.ac.kr)