

단일모델 단측 조립라인 균형문제의 주경로 군집화 알고리즘

이 상 운*

A Single-model Single-sided Assembly Line Balancing Problem Using Main-path Clustering Algorithm

Sang-Un Lee *

요 약

본 논문은 NP-난제 문제로 알려진 단일모델 단방향 조립라인 균형문제에 대해 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 조립라인 균형문제는 주로 메타휴리스틱 방법들을 적용하고 있는 추세이다. 제안된 알고리즘은 최종제품이 생산될 때까지 가장 많은 공정으로 조립되는 경로를 주경로로 설정하고, 주경로를 따라가면서 각 작업자에게 순환시간 조건을 만족하는 작업량을 배정하는 군집화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 최소의 작업자수를 결정하고, 순환시간도 단축시키는 결과를 얻었다. 9개의 다양한 실험 데이터에 제안된 주경로 군집화 휴리스틱 알고리즘을 적용한 결과 메타휴리스틱 방법들에 비해 보다 좋은 성능을 갖고 있음을 보였다.

▶ Keywords : 단일모델, 단측 조립라인 균형, 주-경로, 부경로, 군집

Abstract

This paper suggests heuristic algorithm for single-model simple assembly line balancing problem that is a kind of NP-hard problem. This problem primarily can be solved metaheuristic method. This heuristic algorithm set the main-path that has a most number of operations from start to end-product. Then the clustering algorithm can be assigns operations to each workstation within cycle time follow main-path. This algorithm decides minimum number of workstations and can be reduces the cycle time. This algorithm can be better performance then metaheuristic methods.

▶ Keywords : Single-model, Single-sided Assembly Line Balancing, Main-path, Sub-path, Clustering

•제1저자 : 이상운

•투고일 : 2014. 2. 12. 심사일 : 2014. 2. 25. 게재확정일 : 2014. 3. 5.

* 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 (Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University)

I. 서론

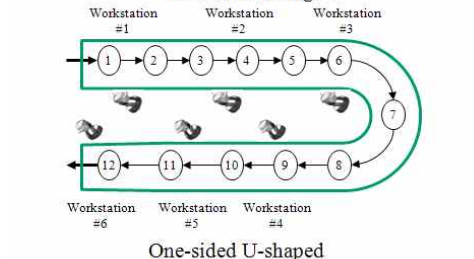
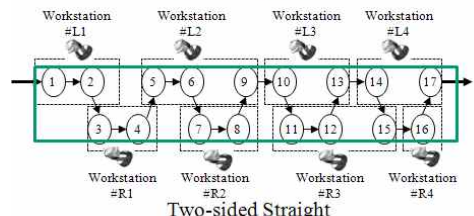
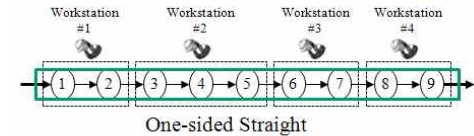
유체조분야의 조립라인 균형 (assembly line balancing, ALB) 문제는 1900년대 초부터 제기 되어온 문제로, 특정 제품을 제조하는데 있어 효율적이고 높은 생산성을 갖도록 작업자들에게 작업량을 배정하는 방법이다[1]. 조립라인은 선형으로 배치된 작업대들 (workstations)로 구성되어 있으며, 부품 (자재)은 첫 번째 작업대에 투입된 이후 컨베이어 벨트 조립라인을 통해 다음 작업대로 계속적으로 이동되면서 조립되어 최종적으로 완제품이 생산된다. 일단 제품이 작업대에 도착하면 작업자가 할당된 부품들에 대한 작업을 수행하고, 수행된 제품은 다음 공정 (operation)으로 이동된다. 이 경우, 각 작업자에게 배정된 작업들은 제품의 조립순서를 준수해야 한다. 각 공정에서 하나의 작업이 완료되는 시간을 처리 시간 (processing time)이라 한다[2]. 조립라인의 순환 시간 (cycle time)은 하나의 완제품이 생산될 때까지의 시간으로, 원하는 생산율 (production rate)에 의해 사전에 결정된다[3]. 조립라인을 확장된 생산율로 유지하기 위해서는 각 작업대에서의 처리시간들의 합은 작업대의 순환시간을 초과하면 안된다. 조립라인 균형 문제는 산업공학에서의 전형적인 문제 중 하나로 NP-hard 조합최적화 문제로 분류되고 있다[4]. 이는 다항시간으로 풀 수 있는 정확한 알고리즘이 존재하지 않기 때문에 부득이 휴리스틱 방법 (heuristic method)으로 해를 구하고 있다[5]. 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[6-12].

본 논문에서는 조립라인 균형문제를 최종 완제품이 생산될 때까지의 공정 개수가 최대인 경로를 주경로 (main path)로 설정하고, 주경로를 따라가면서 각 작업대에 균형된 작업량을 배정하는 휴리스틱 알고리즘을 제안하고, 제안된 휴리스틱 알고리즘이 메타휴리스틱 방법에 비해 보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보인다.

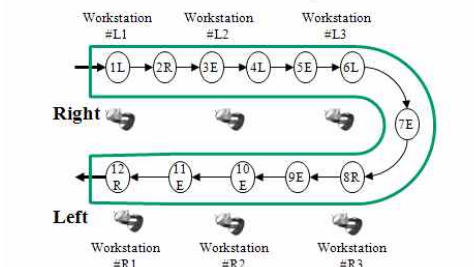
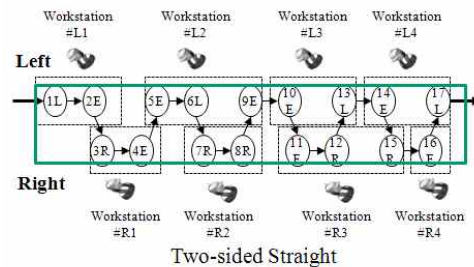
2장에서는 조립라인의 배치형태, 생산제품의 종류와 더불어 조립라인 균형 문제 성능을 평가하는 척도를 고찰해 본다. 3장에서는 주경로를 따라가면서 각 작업대에 작업량을 배정하는 군집 (clustering) 최적화 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 다양한 문제들에 제안된 알고리즘을 적용하여 기존의 메타휴리스틱 방법들과 성능 비교를 통해 알고리즘의 적합성을 검증한다.

II. 관련연구

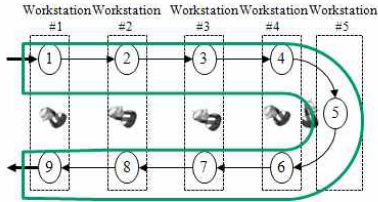
조립라인 작업장의 작업자 배치는 그림 1과 같이 3가지 형태를 취한다[13].



(a) One-sided Product Assembly Line (OPAL)



(b) Two-sided Product Assembly Line (TPAL)



(c) Cross-over U-shaped Assembly Line (CUAL)

그림 1. 전형적인 작업장 형식
Fig. 1. Typical Workstation Layout Scheme

여기서 (a)의 단측제품 (one-sided product)은 제품 조립시 좌우측의 부품 조립 위치와 무관한 일반적인 모바일 폰이나 전자제품 같은 경우에 적용되며, 자동차와 같이 좌우측 조립위치를 준수해야 하는 경우 (b)의 양측제품 (two-sided product) 조립방식을 선택한다. (c)는 단측제품이지만 1명의 작업자가 좌우측을 왕복하면서 작업을 수행하는 경우이다.

조립라인의 제품 생산방식은 그림 2와 같이 3가지 형태를 취한다[14-15]. (a)는 단일 제품만을 전용으로 조립하는 라인이며, (b)는 여러 제품을 혼용하여 동시에 생산하는 방식이며, (c)는 여러 제품을 생산하지만 하나의 제품을 생산하고, 다른 제품을 이어서 생산하는 방식이다.

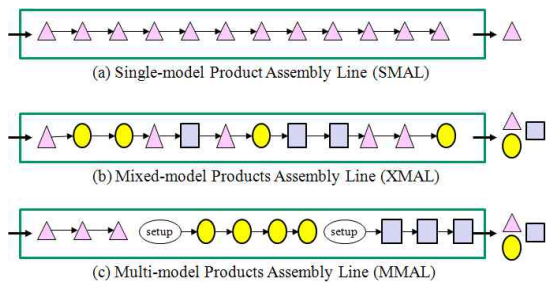


그림 2. 전형적인 생산방식

Fig. 2. Typical Production Types

본 논문에서는 단일제품의 단측 생산 조립라인인 경우만을 고려한다.

그림 3은 11개의 작업으로 구성된 단순 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. 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. 이와 같은 조건을 만족시키는 결과는 우측에 제시되어 있다.

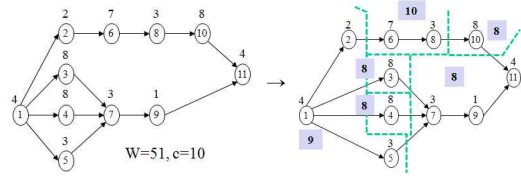


그림 3. 단순조립라인의 우선순위도와 작업 할당
Fig. 3. Precedence Diagram and Work Assignment for Simple Assembly Line

Suwanarongsri와 Puangdownreong[1,16]와 Grzechca[17]에 따르면 알고리즘 성능은 LE, SI, LT, WV 로 평가한다. 여기서 라인 효율성 (line efficiency, LE)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.

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

where m - 총 작업대 (작업자) 수
 c - 순환시간 (cycle time)
 T_i - i 번째 작업대의 작업시간

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

where T_{\max} - 최대 작업대 작업시간

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

where T_m - 마지막 작업대의 작업시간

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

식 (1)의 라인 효율성은 전체 작업 시간을 작업대 수와 순환 시간의 곱으로 나눈 결과로 100%에 가까울 수록 좋은 결과를 얻는다. 식 (2)의 평활도 지수는 최대 작업시간 소요 작업대와 각 작업대의 작업시간과의 편차이며, 식 (3)의 LT 는 하나의 제품이 생산되는 작업 소요시간을 의미한다. 식 (4)의 작업부하 분산은 작업자들의 작업시간 편차를 알기위한 기준이다. 따라서, 식 (2)와 식 (4)는 적은 값일 수록 좋은 모델이 된다.

III. 주경로 균집화 알고리즘

본 장에서는 계획된 완제품을 생산하는데 소요되는 총 작

업소요시간 W 와 한 작업대 (workstation, $S_i, i=1,2, \dots, m$)에서 머무르는 시간인 순환시간 (cycle time) c 가 주어졌을 때, 최소 작업대 수 즉, 최소로 필요한 작업자 수 m^* 와 한 명의 작업자가 작업하는 시간을 c 보다 작은 T_{max} 를 찾는 휴리스틱 알고리즘을 제안한다. 최자측 레벨부터 최우측 레벨까지 작업 공정수가 가장 많은 경로를 주 경로 (main path), 나머지 공정 경로들을 부 경로 (sub path)라 하자. 여기서 제안된 방법은 주경로 군집화 알고리즘 (main-path clustering algorithm, MPCA)으로 다음과 같이 수행된다.

- Step 1. 주어진 우선순위 그래프 (precedence graph)에 대해 작업시간은 무관하게 작업 개수에 대해서만 가능한 우측으로 이동시켜 레벨단위로 재구성한다.
- Step 2. $m^* = \lceil W/c \rceil$ 의 최소로 필요한 작업대 수를 결정한다. $c^* = \lceil W/m^* \rceil$ 로 목표로 하는 순환 시간을 결정한다.
- Step 3. 주경로의 시작 작업공정부터 시작하여 주경로를 순방향으로 가면서 상한 값 (upper limit) $c_i^* = [c^*, c]$ 가 되도록 군집을 형성한다. 이 때 주 경로의 i 번째 레벨 작업에 대해 부 경로에서의 $i-1$ 번째 레벨 작업으로 부터의 유입이 있으면 이 부 경로 작업들도 함께 군집을 형성한다. 또한, 주경로로 유입되지 않는 부 경로의 작업들도 후보 (candidate)로 군집에 참여시킬 수 있다. 군집은 m^* 개를 가능한 c^* 가 되도록 하며, 부득이 c^* 를 초과하면 c 를 초과하지 않도록 한다.
- Step 4. 만약, 순방향의 군집 형성 결과 최종 군집이 c 를 초과하면 역방향으로 Step 3을 재수행한다.

제안된 주경로 군집 알고리즘은 휴리스틱 방법으로 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- (1) c^* 를 목표로 군집을 형성하여 주어진 순환 시간 c 를 T_{max} 로 단축시킬 수 있다.
- (2) m^* 개의 작업대 (작업자)를 목표로 군집을 형성하여 최소로 필요한 작업자를 결정할 수 있다.
- (3) 각 작업자의 순환 시간 편차가 최소가 되도록 하여 유휴 시간 (idle time)을 최소화 시킬 뿐 아니라 작업자 간 가능한 작업시간의 균형 (최소 편차)을 맞출 수 있다.

그림 3의 데이터에 대해 제안된 MPCA를 수행한 과정은 그림 4와 같다.

그림 3의 데이터에 대해 제안된 MPCA는 첫 번째로 가장 작업수가 많은 주경로로 1-2-6-8-10-11을 결정하였다. 이 주경로에 대해 $c=10$ 을 초과하지 않도록 작업들을

선정한 결과 주 경로상의 1,2와 부경로의 5로 {1,2,5}를 결정하였으며, 다음으로, 주 경로상의 {6,8}, 주 경로상의 {10}, 부 경로상의 {3},{4}가 결정되고, 마지막으로 {11, 7,9}가 결정되었다.

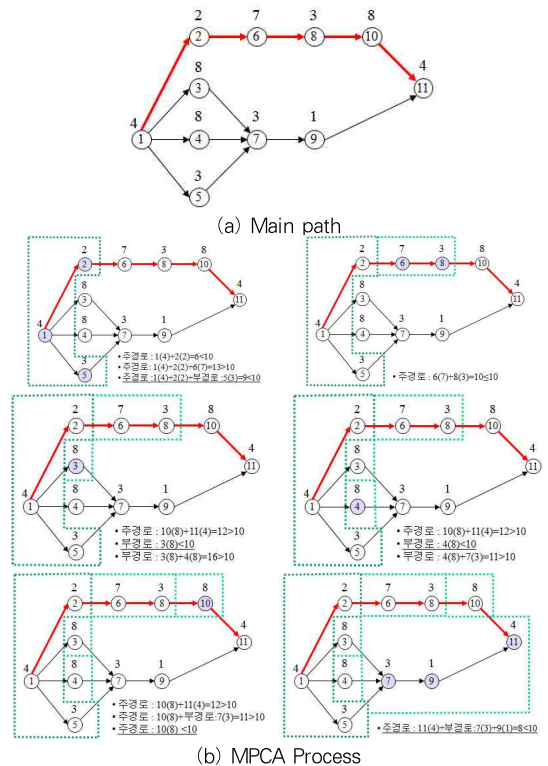
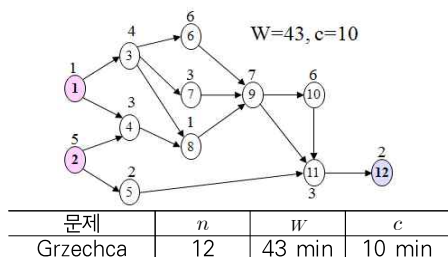


그림 4. $W=51, c=10$ 데이터에 대한 MPCA
Fig. MPCA for $W=51, c=10$ data

IV. 실험 및 결과 분석

본 장에서는 그림 5의 9개 실험 데이터(1,16-20)에 제안된 MPCA를 적용하여 본다. 그림 5에 대해 MPCA를 적용하여 m^* 명에게 작업을 배정한 결과는 그림 6에 제시되어 있다.



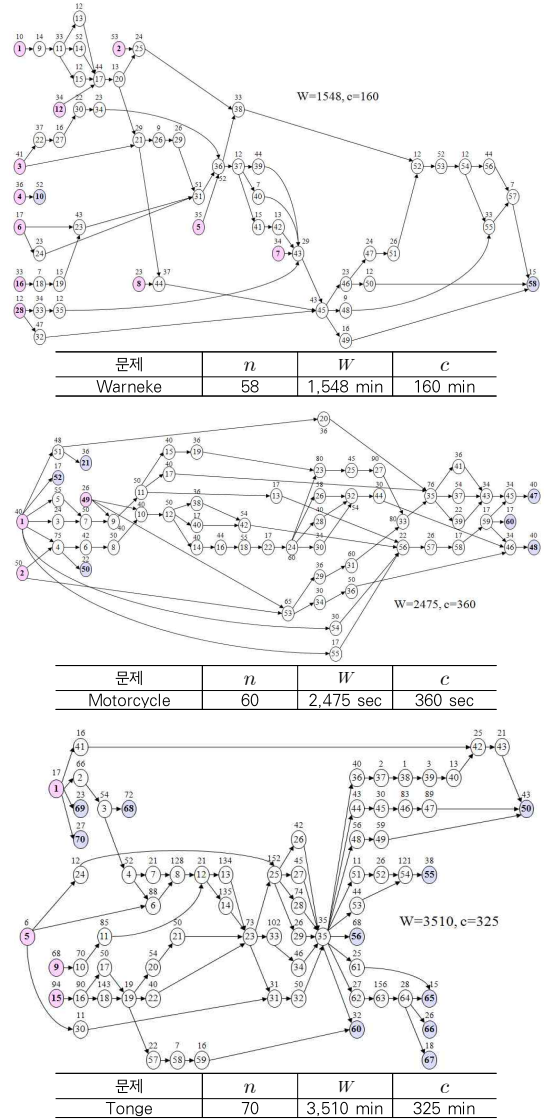
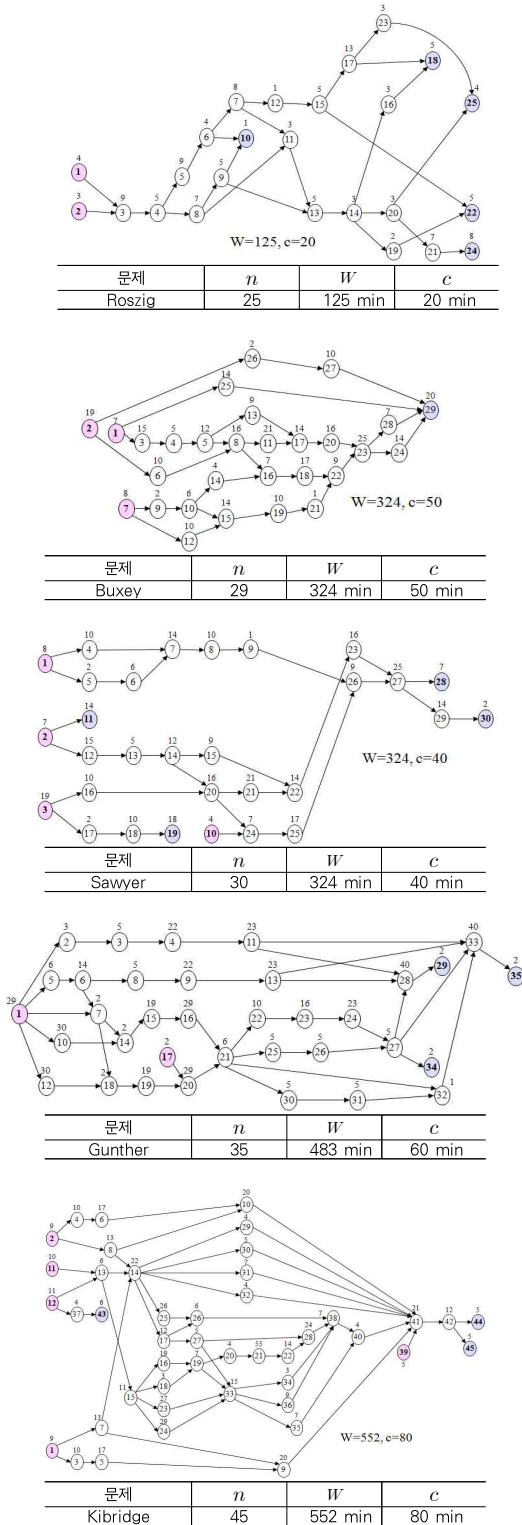
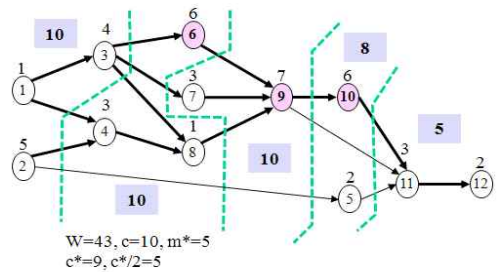


그림 5. 단순 조립라인 우선순위도 실험 데이터
Fig. 5. Experimental Data for Precedence Diagram of Simple Assembly Line



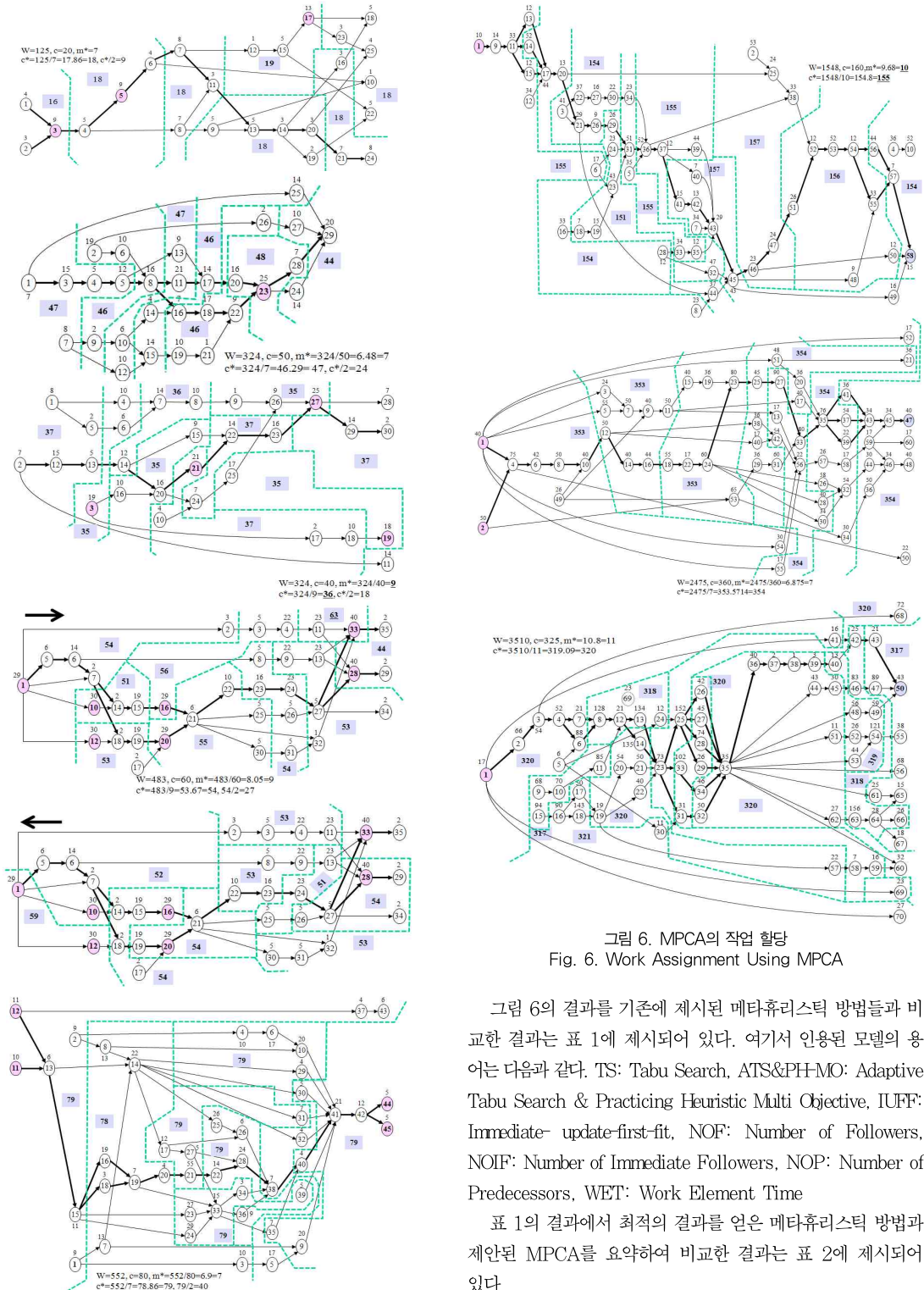


그림 6. MPCA의 작업 할당
Fig. 6. Work Assignment Using MPCA

그림 6의 결과를 기준에 제시된 메타휴리스틱 방법들과 비교한 결과는 표 1에 제시되어 있다. 여기서 인용된 모델의 용어는 다음과 같다. TS: Tabu Search, ATS&PH-MO: Adaptive Tabu Search & Practicing Heuristic Multi Objective, IUUF: Immediate- update-first-fit, NOF: Number of Followers, NOIF: Number of Immediate Followers, NOP: Number of Predecessors, WET: Work Element Time

표 1의 결과에서 최적의 결과를 얻은 메타휴리스틱 방법과 제안된 MPCA를 요약하여 비교한 결과는 표 2에 제시되어 있다.

표 1. 알고리즘 성능
Table 1. Performance of Algorithms

문제		<i>n</i>	<i>W</i>		<i>c</i>		
Grzechca		12	43 min		10 min		
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
IUFF-RPW IUFF-NOF	5	S1={1,3,2} S2={6,4,8} S3={7,9} S4={10,5} S5={11,12}	10 10 10 8 5	10	2.65	86.00 %	3.84
IUFF-NOIF IUFF-NOP	6	S1={1,2,3} S2={5,4,7,8} S3={6} S4={9} S5={10,11} S6={12}	10 9 6 7 9 2	10	4.12	71.67 %	7.14
IUFF-WET	6	S1={2,5,1} S2={3,6} S3={4,7,8} S4={9} S5={10,11} S6={12}	8 10 7 7 9 2	10	4.12	71.67 %	6.47
MPCA	5	S1={1,2,3} S2={4,6,8} S3={7,9} S4={5,10} S5={11,12}	10 10 10 8 5	10	2.65	86.00 %	3.84
문제		<i>n</i>	<i>W</i>		<i>c</i>		
Roszig		25	125 min		20 min		
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
ATS&PH-MO	7	S1={1,2,3} S2={4,5,6} S3={7,8,11} S4={9,10,12,13,14,16} S5={15,17} S6={18,20,21,23} S7={19,22,24,25}	16 18 18 18 18 18 19	19	2.88	93.98 %	0.69
MPCA	7	S1={1,2,3} S2={4,5,6} S3={7,8,11} S4={12,15,17} S5={9,13,14,19,20} S6={16,21,24} S7={18,23,25,10,22}	16 18 18 19 18 18 18	18	2.88	93.98 %	0.69
문제		<i>n</i>	<i>W</i>		<i>c</i>		
Buxey		29	324 min		50 min		
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
COMSOAL	8	S1={1,2,7,9,25} S2={3,6,12,26,4,10} S3={27,5,14,15} S4={8,13,19,16,21} S5={11,18} S6={17,20,22} S7={23,24,28} S8={29}	50 48 40 43 38 39 46 20	50	8.72	81.00 %	76.50
TS	8	S1={1,7,2,12} S2={3,25,6,26} S3={9,4,10,27,5,14} S4={15,13,8} S5={19,11,16,21} S6={18,17,22} S7={20,23} S8={24,28,29}	44 41 39 39 39 40 41 41	44	5.79	92.05 %	2.50
ATS&PH-MO	7	S1={1,3,4,5,7} S2={2,6,8,9} S3={10,11,12,13} S4={14,15,17,20} S5={16,18,19,21,22,26} S6={23,24,28} S7={25,27,29}	47 47 46 46 46 46 44	48	3.46	96.43 %	1.35
MPCA	7	S1={1,3,4,5,7} S2={2,6,8,9} S3={10,11,12,13} S4={14,15,17,25} S5={16,18,19,21,22,26} S6={20,23,28} S7={24,27,29}	47 47 46 46 46 44 48	48	3.46	96.43 %	1.35
문제		<i>n</i>	<i>W</i>		<i>c</i>		
Sawyer		30	324 min		40 min		

모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
ATS&PH-MO	9	S1={1,3,4} S2={2,5,12,16,17} S3={10,13,14,20} S4={6,7,18,24} S5={8,9,15,25} S6={21,22} S7={19,23} S8={26,27} S9={11,28,29,30}	37 36 37 37 37 35 34 37 34	37	3.00	97.30 %	1.56
MPCA	9	S1={1,2,5,12,13} S2={3,4,6} S3={7,8,14} S4={15,16,20} S5={10,17,18,21} S6={22,23,24} S7={19,25} S8={9,26,27} S9={11,28,29,30}	37 35 36 35 37 37 35 35 37	37	3.00	97.30 %	0.89
문제		<i>n</i>	<i>W</i>		<i>c</i>		
Gunther		35	483 min		60 min		
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
COMSOAL	10	S1={1,17,2,5} S2={10,12} S3={3,6,4,7,8,14,18} S4={9,11} S5={13,15} S6={19,16} S7={20,21,22,25,30} S8={23,26,31,24,27,32,34} S9={28} S10={33,29,35}	40 60 52 45 42 48 55 57 44 40	60	10.82	80.50 %	47.81
TS	10	S1={1,17,5,2} S2={10,12} S3={6,3,4,7,8,18} S4={9,11} S5={14,19,13} S6={15,20} S7={16,21,30,22} S8={25,26,23,31,24,32} S9={27,28} S10={34,33,29,35}	40 60 50 45 44 50 50 55 45 46	60	10.82	80.50 %	30.21
MPCA	9	S1={1,12} S2={5,6,7,10} S3={14,15,16,17,18} S4={19,20,21} S5={2,3,4,11} S6={8,9,22,23} S7={13,24,25} S8={26,27,28,29,34} S9={30,31,32,3,35}	59 52 54 54 53 53 51 54 53	59	6.93	90.96 %	4.44
문제		<i>n</i>	<i>W</i>		<i>c</i>		
Kbridge		45	332 min		80 min		
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
COMSOAL	8	S1={1,2,12,39,3,4,37,7} S2={8,5,6,11,43,13} S3={9,10,14,15} S4={16,17,18,23,29,30,31} S5={24,25,32,19,26,27} S6={20,33,21,34} S7={35,36,22,28,38,40} S8={41,42,44,45}	71 69 73 77 77 77 65 43	77	8.00	89.61 %	113.00
TS	8	S1={39,1,2,11,12,37,4,7} S2={8,3,5,6,43,13} S3={10,9,15,14,29} S4={31,30,24,17,18,16} S5={23,25,32,19,26,27} S6={33,20,21} S7={35,34,36,22,28,38} S8={40,41,42,45,44}	71 69 77 75 75 74 64 47	77	8.00	89.61 %	84.25
ATS&PH-MO	7	S1={1,2,4,6,8,11,12} S2={3,5,7,13,14,15} S3={9,10,16,18,19,30,39} S4={17,20,21,32,37} S5={22,23,25,27,31} S6={24,26,28,29,33} S7={34,35,36,38,40,41,42,43,44,45}	79 79 79 79 79 78 79	79	1.00	99.82 %	0.12
MPCA	7	S1={1,2,11,12,13,15,37,43} S2={3,7,8,14,16,18,19,20} S3={17,21,27,31} S4={23,24,33,34,39} S5={22,25,26,28,36} S6={15,4,6,10,29,32,38} S7={19,30,35,40,41,42,44,45}	79 78 79 79 79 79 79	79	1.00	99.82 %	0.12

문제		<i>n</i>	<i>W</i>	<i>c</i>			
Warneke		58	1,548 min	160 min			
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
ATS&PH-MO	10	S1={1, 2, 3, 4, 6}	157	159	6.48	97.36%	6.56
		S2={5, 7, 8, 12, 16}	159				
		S3={28, 9, 11, 13, 14, 15, 24}	158				
		S4={17, 18, 19, 20, 21, 22, 26}	154				
		S5={23, 25, 27, 29, 30, 34}	154				
		S6={31, 33, 36, 37, 40}	156				
		S7={32, 35, 38, 39, 41}	151				
		S8={42, 43, 44, 45, 46, 48}	154				
		S9={47, 49, 50, 51, 52, 53, 54}	154				
		S10={10, 55, 56, 57, 58}	151				
MPCA	10	S1={1, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 15}	155	157	4.69	98.60%	2.76
		S2={14, 16, 17, 20, 28}	154				
		S3={3, 21, 21, 26, 27, 30}	154				
		S4={18, 19, 23, 24, 29, 44}	151				
		S5={5, 31, 33, 34, 35}	155				
		S6={32, 36, 37, 39}	155				
		S7={17, 40, 41, 42, 43, 45, 49}	157				
		S8={2, 25, 38, 46, 47}	157				
		S9={48, 50, 51, 52, 53, 54, 55}	156				
		S10={4, 10, 56, 57, 58}	154				

문제		<i>n</i>	<i>W</i>	<i>c</i>			
Motorcycle		60	2,475 sec	360 sec			
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
COMSOAL	8	S1={1, 2, 49, 5, 56, 3, 4, 51, 52}	352	360	20.12	86.94%	10,474.48
		S2={53, 54, 6, 7, 20, 21, 29, 34, 50}	347				
		S3={8, 9, 36, 10, 11, 12, 15, 17}	360				
		S4={13, 14, 16, 19, 38, 40, 18, 42, 31}	359				
		S5={22, 56, 24, 57, 23, 26, 28, 30, 58}	354				
		S6={25, 32, 59, 27, 44, 60, 33}	333				
		S7={35, 37, 39, 41, 43, 45, 46, 47}	330				
		S8={48}	40				
TS	8	S1={1, 49, 2, 5, 56, 3, 4, 52, 54}	334	343	16.40	90.20%	3784.48
		S2={51, 53, 50, 21, 34, 29, 7, 6}	329				
		S3={20, 8, 9, 36, 10, 11, 12}	316				
		S4={17, 13, 15, 19, 14, 38, 40, 16, 31}	330				
		S5={18, 42, 22, 56, 57, 24, 58, 26, 30}	343				
		S6={28, 23, 32, 59, 25, 60, 27}	343				
		S7={44, 33, 35, 37, 41, 39, 43}	332				
		S8={46, 45, 47, 48}	148				
ATS&PH-MO	7	S1={1, 2, 4, 5, 6, 49, 53}	363	359	6.16	98.49%	17.67
		S2={3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 51}	369				
		S3={12, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 54}	348				
		S4={24, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 52}	369				
		S5={19, 23, 25, 27, 33, 55}	348				
		S6={34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43}	365				
		S7={42, 44, 50, 56, 57, 58, 59, 60, 45, 46, 47, 48}	363				
MPCA	7	S1={1, 2, 4, 6, 8, 10, 49, 54}	363	354	1.73	99.88%	0.24
		S2={3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16}	363				
		S3={15, 18, 19, 22, 23, 24, 53}	363				
		S4={17, 20, 21, 25, 29, 31, 38, 40, 51}	354				
		S5={13, 27, 28, 30, 33, 42, 55, 56}	354				
		S6={26, 32, 34, 35, 37, 39, 52, 57, 58}	354				
		S7={36, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 59, 60}	354				

문제		<i>n</i>	<i>W</i>	<i>c</i>			
Tonge		70	3,510 min	325 min			
모델	<i>m</i>	<i>S_i</i>	<i>T_i</i>	<i>T_{max}</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
ATS&PH-MO	11	S1={1, 2, 3, 5, 9, 15, 24}	317	321	4.58	99.41%	1.17
		S2={4, 6, 7, 10, 41, 68}	319				
		S3={11, 16, 18}	318				
		S4={8, 12, 14, 30, 69}	318				
		S5={13, 17, 19, 20, 22, 57}	319				
		S6={21, 23, 25, 27}	320				
		S7={26, 29, 31, 32, 33, 34, 58, 59}	320				
		S8={28, 35, 36, 37, 38, 44, 45, 48, 51, 70}	319				
		S9={39, 40, 56, 61, 62, 63, 64}	320				
		S10={42, 43, 46, 47, 49, 52, 67}	321				
S11={50, 53, 54, 55, 60, 65, 66}	319						
MPCA	11	S1={1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 41}	320	321	4.58	99.41%	1.36
		S2={9, 10, 11, 15}	317				
		S3={16, 17, 18, 30, 70}	321				
		S4={8, 12, 13, 24, 69}	318				
		S5={14, 19, 20, 21, 22, 57}	320				
		S6={23, 25, 58, 59, 68}	320				
		S7={26, 27, 28, 29, 31, 33}	320				
		S8={32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 45, 51, 60, 61}	318				
		S9={40, 48, 49, 52, 53, 54}	319				
		S10={42, 55, 62, 63, 64, 66, 67}	318				
		S11={43, 46, 47, 50, 56, 65}	319				

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

문제	<i>c</i>	모델	<i>T_{max}</i>	<i>m</i>	<i>SI</i>	<i>LE</i>	<i>WV</i>
Grzechca	10	IUFF-RPW	10	5	2.65	86.00%	3.84
		MPCA	10	5	2.65	86.00%	3.84
Roszig	20	ATS&PH-MO	19	7	2.83	93.98%	0.69
		MPCA	18	7	2.83	93.98%	0.69
Buxey	50	ATS&PH-MO	48	7	3.46	96.43%	1.35
		MPCA	48	7	3.46	96.43%	1.35
Sawyer	40	ATS&PH-MO	37	9	3.00	97.30%	1.56
		MPCA	37	9	3.00	97.30%	0.89
Gunter	60	TS	60	10	10.82	80.50%	30.21
		MPCA	59	9	6.93	90.96%	4.44
Kibridge	80	ATS&PH-MO	79	7	1.00	99.82%	0.12
		MPCA	79	7	1.00	99.82%	0.12
Warneke	160	ATS&PH-MO	159	10	5.48	97.36%	6.56
		MPCA	157	10	4.69	98.60%	2.76
Motorcycle	360	ATS&PH-MO	359	7	6.16	98.49%	17.67
		MPCA	354	7	1.73	99.88%	0.24
Tonge	325	ATS&PH-MO	321	11	4.58	99.41%	1.17
		MPCA	321	11	4.58	99.41%	1.36

각 문제에서 주어진 순환시간 *c*와 모델로부터 얻은 T_{max} 를 비교한 결과, $T_{max} = c$ 인 Grzechca를 제외한 8개 데이터에서 $T_{max} < c$ 로 순환시간을 감소시킬 수 있었다. 또한 MPCA는 9개 데이터 모두에서 *m*을 최소의 작업자수로 결정하여 최대의 생산성을 얻도록 하였으며, Gunter 데이터에 대해서는 기존의 TS에 비해 작업자 수를 1명 감소시킬 수 있었다. *SI*와 *LE*를 비교하면 Gunter, Warneke와 Motorcycle 데이터에서 MPCA가 메타휴리스틱 방법에 비해 좋은 결과를 나타내었으며, 나머지 6개 데이터에 대해서는 동일한 결과를 얻었다.

표 2의 데이터를 기준 알고리즘 대비 MPCA의 평가기준별 증감을 표현한 결과는 그림 7에 제시되어 있다. 여기서, *m*, *SI*, *WV*는 기준 알고리즘 값 대비 얼마나 감소하였는지를, *LE*는 얼마나 증가하였는지를 보여 주고 있다.

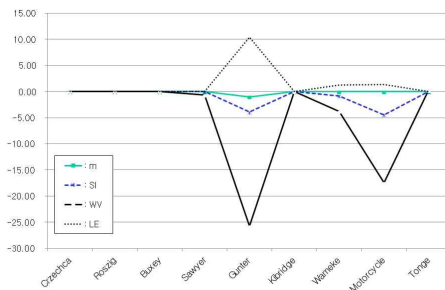


그림 7. 메타휴리스틱 알고리즘 대비 MPCA 성능 비교
Fig. 7. Performance of MPCA compare with metaheuristic algorithm

본 그림으로부터 제안된 MPCA는 휴리스틱 알고리즘임에도 불구하고, 메타 휴리스틱 알고리즘들에 비해 성능을 향상

시킨 결과를 얻었음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 NP-난제로 알려진 단일모델 단방향 조립라인 균형문제에 대해 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 단순히 최종제품이 생산될 때까지 가장 많은 공정으로 조립되는 경로를 주경로로 설정하고, 주경로를 따라가면서 각 작업자에게 작업량을 배정하는 군집화 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 주 경로 개념을 도입하여 단순히 주경로 상의 작업을 우선하여 부경로 상의 작업들을 추가하면서 c 를 충족하도록 작업들을 분할하였다. 이와 같은 단순한 휴리스틱 규칙을 적용하였음에도 불구하고, 9개의 다양한 실험 데이터에 제안된 주경로 군집화 휴리스틱 알고리즘을 적용한 결과 메타휴리스틱 방법들에 비해 보다 좋은 성능을 갖고 있음을 보였다.

결론적으로, 제안된 알고리즘은 단일모델 단측 조립라인 균형문제가 NP-난제가 아닌 다항시간 알고리즘이 존재하는 P-문제가 될 수 있음을 보였다.

참고문헌

[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.

[2] R. Sury, "Aspects of Assembly Line Balancing," *International Journal of Production Research*, Vol. 9, No. 4, pp. 501-512, Feb, 1971.

[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.

[4] A. Gutjahr and G. Nemhauser, "An Algorithm for the Balancing Problem," *Management Science*, Vol. 11, No. 2, pp. 308-315, Nov, 1964.

[5] W. Helgeson and D. Birnie, "Assembly Line

Balancing using the Ranked Positional Weighting Technique," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 12, pp. 394-397, 1961.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] W. Grzechca, "Assembly Line Balancing Problem Single and Two-Sided Structures, Automation and Control - Theory and Practice," ISBN 978-953-307-039-1, Intech China, Aug. 2011.

[11] E. E. Porsteinsson, G. Baldursson, and H. Ingimundardóttir, "Assembly Line Balancing," *Háskóli Íslands*, pp. 1-17, <https://notendur.hi.is/eth31/AGGRV02.pdf>, 2011.

[12] K. E. Chong, M. K. Omar, and N. A. Bakar, "Solving Assembly Line Balancing Problem using Genetic Algorithm with Heuristics-Treated Initial Population," *Proceedings of the World Congress on Engineering 2008*, Vol. II, London, U.K., pp. 1273-1277, Jul, 2008.

[13] 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.

- [14] N. Kriengkorakot and N. Pianthong, "The Assembly Line Balancing Problem: Review Articles," *KKU Engineering Journal*, Vol. 34, No. 2, pp. 133-140, Apr. 2007.
- [15] 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.
- [16] S. Suwannarongsi and D. Puangdownreong, "Metaheuristic Approach to Assembly Line Balancing," *WSEAS Transactions on Systems*, Vol. 8, No. 2, pp. 200-209, Feb. 2009.
- [17] W. Grazechca, "Assembly Line Balancing Problem Single and Two-sided Structures," *Automation and Control - Theory and Practice*, ISBN 978-953-307-039-1, Intech China, Aug. 2011.
- [18] A. Scholl, "Data of Assembly Line Balancing Problems," Technische Universität Darmstadt, Institut für Betriebswirtschaftslehre Hochschulstraße 1, D-64289 Darmstadt, Germany, Sep. 1997.
- [19] A. Scholl, "Balancing and Sequencing of Assembly Lines," Physica, Heidelberg, 1999.
- [20] Kawasaki Motor Enterprise (Thailand) Ltd., "Data Sheet of the Motorcycle Assembly Line," 119/10 GK Land Industrial Estate, Rayong, Thailand, 2003.

저 자 소 개



이 상 운

1983년~1987년 :
한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
1995년~1997년 :
경상대학교 컴퓨터공학과 (석사)
1998년~2001년 :
경상대학교 컴퓨터공학과 (박사)
2003.3~현재 :
강릉원주대학교
멀티미디어공학과 부교수
관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리,
소프트웨어 개발 방법론,
소프트웨어 신뢰성,
그래프 알고리즘
e-mail : sulee@gwnu.ac.kr