

Heavy-Weight Component First Placement Algorithm for Minimizing Assembly Time of Printed Circuit Board Component Placement Machine

Sang-Un Lee *

Abstract

This paper deals with the PCB assembly time minimization problem that the PAP (pick-and-placement) machine pickup the K -weighted group of N -components, loading, and place into the PCB placement location. This problem considers the rotational turret velocity according to component weight group and moving velocity of distance in two component placement locations in PCB. This paper suggest heavy-weight component group first pick-and-place strategy that the feeder sequence fit to the placement location Hamiltonian cycle sequence. This algorithm applies the quadratic assignment problem (QAP) that considers feeder sequence and location sequence, and the linear assignment problem (LAP) that considers only feeder sequence. The proposed algorithm shorten the assembly time than iATMA for QAP, and same result as iATMA that shorten the assembly time than ATMA.

▶ Keywords : Rotational turret, Rotational velocity, Placement distance, Feeder arrangement, Weight group

• First Author: Sang-Un Lee, Corresponding Author: Sang-Un Lee

*Sang-Un Lee (sulee@gwnu.ac.kr), Dept. of Multimedia Engineering, Gangneung-Wonju National University

• Received: 2015. 12. 17, Revised: 2016. 01. 05, Accepted: 2016. 01. 20.

I. Introduction

하나의 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)에 N 개의 배치 위치가 필요하며, 각 부품들은 K 개의 중량 그룹으로 분류되어 있다. 이들 부품 전체를 PCB에 배치하기 위해서는 회선포대(rotational turret)의 머리(head)가 자동송급장치 운반기(feeder carrier)의 자동송급장치 슬롯(feeder slot)으로부터 부품을 집어오기(pick)와 적재(loading)를 하고 있다가 회선포대가 회전하여 머리가 PCB의 해당 배치 위치인 내려놓기 위치(placement location)에 도달하면 내려놓기를 한다. 이 경우, 해당 PCB는 양산을 하는 관계로 하나의 PCB를 생산하는 시간을 최소화 해야 최대의 생산성을 얻을 수 있다. 이를 PCB 부품배치기계의 조립시간 최소화 문제(assembly time minimization problem, ATMP)라 한다[1].

ATMP는 하나의 부품을 배치하기 위해서는 해당 부품을 집어오기-적재-내려놓기 동안 소요되는 시간과 PCB 상의 해당 부품 배치 위치까지의 이동시간의 2가지 요인에 영향을 받는다[1]. 따라서 2차원 할당 문제(quadratic assignment problem, QAP)[2]로 볼 수 있다.

ATMP를 풀기 위해서는 먼저, 부품들을 중량 그룹 집합들로 분할한다. 다음으로, PCB의 부품 배치 위치들 간 최소 이동거리를 찾기 위해 중량 그룹별 배치순서인 해밀턴 사이클(Hamiltonian cycle)을 찾는 TSP(traveling salesperson problem)[3]를 결정해야 한다. 다음으로, TSP로 얻은 부품 배치 순서에 따라 회선포대의 머리(자동송급장치의 슬롯)에 부품들을 배정하는 자동송급장치 배열 절차(feeder arrangement procedure, FAP)를 수행해야 한다. 이 때, 회선포대의 회전 속도는 적재된 부품의 중량에 영향을 받기 때문에 FAP의 부품 배정 순서가 중요한 요인으로 작용한다.

PCB의 부품 배치 순서와 자동송급장치 슬롯에 배정된 부품 순서는 경량급에서 중량급 순으로 경량급 우선순위 방법을 ATMA(assembly time minimization algorithm)라 하며, 중량급에서 경량급 순으로 중량급 우선순위 방법을 iATMA(inverse ATMA)라 한다 [1].

만약, PCB의 부품 배치 순서에 따른 이동거리가 회선포대의 최소 회전속도보다 작을 경우에는 회선포대의 머리인 자동송급장치 슬롯에 배정된 부품의 순서만 고려하면 된다. 이는 선형 할당 문제(linear assignment problem, LAP)[4]로 취급할 수 있다.

QAP와 TSP는 NP-완전 (NP-complete)으로 최적 해를 찾는 다항시간 알고리즘이 알려져 있지 않다. 이로 인해 ATMP 또한 NP-완전 또는 NP-난제 (NP-hard)로 분류된 어려운 문제이다[5,6].

Duman[7]은 ATMA를 제안하였다. Alkaya와 Duman[1]은 PCB의 부품 배치 순서 TSP를 사전에 결정하였다고 가정 한 경우, 자동송급장치 슬롯에 배정될 부품의 순서를 결정하는 LAP를 푸는 방법으로 휴리스틱한 iATMA를 제안하고,

ATMA와 비교하여 iATMA가 보다 좋은 성능을 나타냄을 보였다. Alkaya와 Duman[8]는 TSP를 풀기 위해 담금질 기법(simulated annealing, SA)과 AFPP(adjust first point procedure), PRTLEM(record-to-record travel with local exchange moves), EPD(extended postpone deviant)들을 ATMA와 iATMA와 결합한 하이브리드 형을 제안하였다.

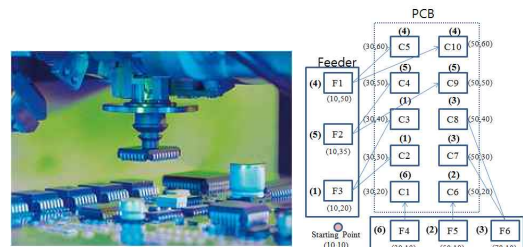
ATMA는 NP-완전으로 최적 해를 구하는 다항시간 알고리즘이 존재하지 않는다는 가정하에 다양한 메타휴리스틱 기법들을 적용하고 있다. 예를 들면, Ho et al.[9]은 하이브리드형 유전자 알고리즘(hybrid genetic algorithm, HGA)을 적용하였으며, Demirkale et al.[10]은 봉군(artificial bee colony, ABC)과 SA를 적용하였다. Chang et al.[11]은 GA와 ESMA(external self-evolving multiple archives)를, Chen과 Lin[12]은 입자군집 최적화 기법(particle swarm optimization, PSO)을, Chen과 Lin[13]은 이산 PSO(discrete PSO, DPSO)를, Zue와 Zhang[14]은 ISFLA(improved shuffled frog-learning algorithm)를 적용하였다.

일반 조립라인이나 PCB 조립라인에 대한 순환시간(cycle time) 최소화 문제에 대해서는 Lee[15,16]가 연구하였지만, ATMP에 대해서는 연구가 진행되지 않고 있다.

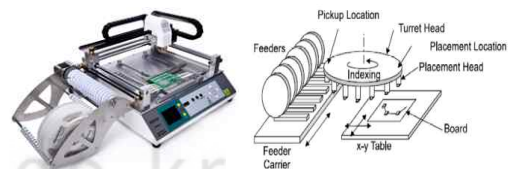
본 논문에서는 NP-완전인 ATMP에 대해 $O(N^2)$ 의 다항시간으로 해를 구할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 ATMP를 고찰한다. 3장에서는 ATMP의 해를 다항시간으로 구할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 다양한 사례들에 적용하여 본다.

II. Description and Related Works

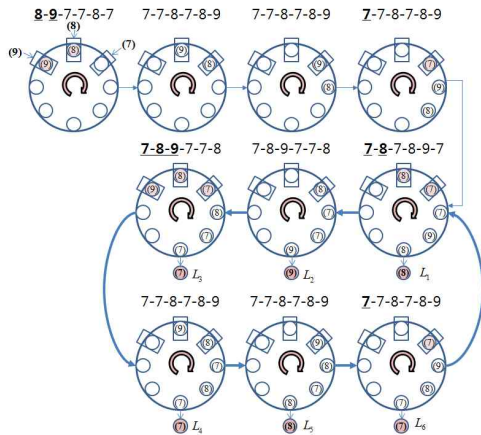
전형적인 PAP 장비는 그림 1과 같은 형상을 갖고 있다. (a)는 하나의 팔을 가진 로봇이 하나의 부품을 집어와 해당 위치에 내려놓는 과정을 반복수행하는 장비[17]이며, (b)는 자동송급장치 운반기에서 회선포대 머리가 한 번에 하나의 부품을 집어와 회전 중에 적재하다가 머리가 #0 위치에 도달하면 PCB의 해당 위치에 내려놓는다[18].



(a) Single pick-and-place robot



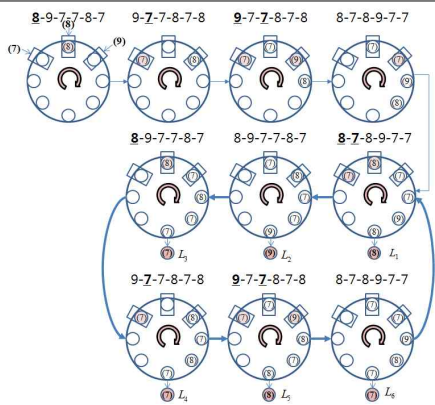
(b) Single pick-and-single place machine



(a) Light-weight first assignment (ATMA)

- Traveling Sequence : 1-2-3-4-5-6
- Component Placement Sequencing : 8-9-7-7-8-7
- Component Feeder Assignment : 3(9)-4(8)-5(7)

구분	Rotational Turret					Turret 회전순서	Turret 회전속도			거리	부품 배치 위치	Time	
Feeder Slot	5	4	3	2	1	P	7,8	9	Max				
부품	7	8	9				0.20	0.40					
배치 준비	7	8											
	7	7	9	8									
1 st 배치 사이클	7	8	7	7	9	8	0.20	0.40	0.40		1		
	7	8	7	7	9	1	0.20		0.20	0.50	2	0.50	
	8	7	8	7	7	2	0.20		0.20	0.30	3	0.30	
	7	7	8	7	8	3	0.20		0.20	0.25	4	0.25	
	7	7	9	8	7	4	0.20		0.20	0.30	5	0.30	
	7	7	9	8	7	5	0.20	0.40	0.40	0.50	6	0.50	
계	7	8	7	7	9	8	6	0.20	0.40	0.40	0.25	1	2.25



(b) Heavy-weight first assignment (iATMA)

Fig. 3. Solution of P_1 assembly time problem

Alkaya와 Duman[8]은 그림 3의 (a)와 같이 경량급 부품 우선 배정 방식(assembly time minimization algorithm, ATMA)으로 자동송급장치 #3, #4, #5에 부품번호 7,8,9를 배치하고, PCB의 위치 1-2-3-4-5-6 순으로 배치하는 계획을 수립하여 2.50초의 결과를 얻었으며, (b)와 같이 중량급 부품 우선 배정 방식(inverse ATMA, iATMA)으로 자동송급장치 #3, #4, #5에 부품번호 9,8,7을 배치하고, PCB의 위치 1-2-3-4-5-6 순으로 배치하는 계획을 수립하여 2.25초의 결과를 얻었다.

III. Heavy-Weight Component First Placement Algorithm

본 장에서는 PCB의 부품 위치들을 중량급에서 경량급 순서로 이동하는 경로를 따라 회전포대의 배치 위치 (placement location)에 가장 근접한 슬롯부터 가장 먼 슬롯으로 중량급부터 경량급 부품순서로 배치하는 iATMA 전략을 적용한다. 왜냐하면, 회전포대의 회전 속도는 적재된 부품들 중 최대 중량 부품에 영향을 받기 때문에, 모든 부품들을 배치하는 시간을 가장 적게 하기 위해서는 중량급 부품의 이동거리를 가장 적게 해야 되기 때문이다. 제안된 알고리즘을 중량급 부품 우선 배치 알고리즘(heavy-weight component first placement algorithm, HCFPA)이라 하며, 다음과 같이 수행된다.

Step 1. PCB에 배치될 부품들을 중량 그룹으로 분할

for $i=1$ to N

K 개 중량 그룹 중 해당 중량 그룹에 저장

end

Step 2. PCB의 배치 위치를 중량급부터 경량급 순서로 부품의 일련 순서 (cycle) 결정

PCB의 부품 배치 위치별로 부품들의 중량 그룹으로 분할하고, TSP(traveling salesperson problem)의 해밀턴 사이클(Hamiltonian cycle) 결정

Step 3. 해밀턴 사이클에 기반하여 중량급 그룹 부품부터 내림차순으로 각 그룹의 출현 순서에 따라 회전포대의 슬롯에 배정

for $i=1$ to N

회전포대의 Pick-up zone 슬롯에 중량급 부품부터 경량급 순서로 해밀턴 사이클 순서로 출현하는 부품 순서로 슬롯에 배정

end

Step 4. 배치준비부터 1 사이클 PAP 종료까지 배치 수행

- (1) 회전포대의 부품들을 pick-up, Loading, Placement를 1 사이클 동안 수행
- (2) 첫 번째 부품이 배치되는 시점부터 마지막 부품이 배치되는 1 사이클 동안의 회전포대 속도와 PCB의 부품 배치 위치간의 거리에 따른 시간을 계산하여 최대 값으로 작업종료시간(makespan) 또는 회전시간 (cycle time) 계산

그림 2의 P_1 데이터에 제안된 HCFPA를 적용한 결과는 그림 4와 같다.

- Traveling Sequence : 2-3-4-5-6-1
- Component Placement Sequencing : 9-7-7-8-7-8
- Component Feeder Assignment : 3(9)-4(7)-5(8)

구분	Rotational Turret					Turret 회전순서	Turret 회전속도			거리	부품 배치 위치	Time
Feeder Slot	5	4	3	2	1	P	7,8	9	Max			
부품	8	7	9				0.20	0.40				
배치 준비	8	7	9									
	8	7	7	9								
1 st 배치 사이클	8	7	8	7	7	9	0.20		0.20		2	
	8	7	8	7	7	1	0.20		0.20	0.30	3	0.30
	8	7	8	7	7	2	0.20		0.20	0.25	4	0.25
	7	9	8	7	8	3	0.20		0.20	0.30	5	0.30
	8	7	7	9	8	4	0.20	0.40	0.40	0.50	6	0.50
	8	7	7	9	8	5	0.20	0.40	0.20	0.25	1	0.25
2 nd 배치 사이클	8	7	8	7	7	9	6	0.20	0.20	0.50	2	0.50
	8	7	8	7	7							
계	8	7	8	7	8	7						2.10

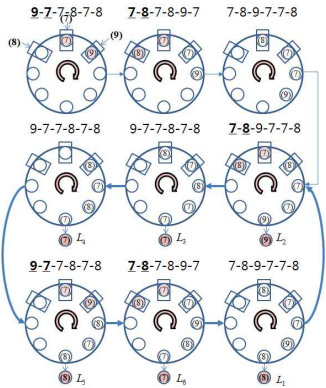


Fig. 4. Solution of HCFPA for P_1 problem

제안된 알고리즘은 부품들을 중량별로 $G_1 = \{7,8\}, G_4 = \{9\}$ 로 분할하고, PCB의 부품 배치 위치들 중 $G_4 = \{9\}$ 를 가진 위치부터 2-3-4-5-6-1-2 사이클로 부품을 배치하고자 하였다. 이 위치들에 배치될 부품의 사이클 순서는 9-7-7-8 -7-8-9로 부품은 9,7,8의 순서로 회선포대 슬롯에 배정할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 회선포대 슬롯 #3, #4와 #5에는 각각 9,7,8의 부품이 배정되었다. 이 결과에 기반하여 알고리즘을 수행한 결과 2.10초의 결과를 얻어, Alkaya와 Duman[8]의 iATMA의 2.25초에 비해 0.15초를 단축시켰음을 알 수 있다.

IV. Applications and Evaluation

- Traveling Sequence : X-Y-Z-T-T-Z-Y-X-P-Q-R-P-Q-R-P-K-K-L-M-L-M-K-A-B-B-A-C-A
- Component Feeder Assignment : #4(X)-#5(Y)-#6(Z)-#7(T)-#8(P)-#9(Q)-#10(R)-#11(K)-#12(L)-#13(M)-#14(A)-#15(B)-#16(C)

구분	Rotational turret													Turret 회전 step	Pick-up	Place	Turret rotation speed								
	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4				3	2	1	A,B,C	K,L,M	P,Q,R	X,Y,Z,T	Max	
부품	C	B	A	M	L	K	R	Q	P	T	Z	Y	X				0.40	0.33	0.23	0.20					
배치 준비											T	Z	Y	X			0	X,Y,Z,T							0.20
											T	Z	Y	X			1	T							0.20
											T	Z	Y	X			2								0.20
											Z	T	Z	Y	X		3	Z	1						0.20 0.20
							R	Q	P			Z	T	T	Z	Y	4	P,Q,R	2		0.23	0.20	0.23		
								R	Q	P		Y	Z	T	T	Z	5	Y	3		0.23	0.20	0.23		
									R	Q	P	Y	Z	T	T	Z	6		4		0.23	0.20	0.23		
								R	Q	P	R	Q	P	X	Y	Z	7	P,Q,R,X	5		0.23	0.20	0.23		
									R	Q	P	R	Q	P	X	Y	8	K	6		0.33	0.23	0.20	0.33	
					M	L	K	K	R	Q	P	R	Q	P	X	Y	9	K,L,M	7		0.33	0.23	0.20	0.33	
					M	L	K	K	P	R	Q	P	R	Q	P	X	10	P	8		0.33	0.23	0.20	0.33	
					M	L	M	L	K	K	P	R	Q	P	R	Q	11	LM	9		0.33	0.23		0.33	
			B	A	M	L	M	L	K	K	P	R	Q	P	R	Q	12	AB	10	0.40	0.33	0.23		0.40	
			B	A	M	L	M	L	K	K	P	R	Q	P	R	Q	13	B	11	0.40	0.33	0.23		0.40	
		C	B	B	A	K	M	L	M	L	K	K	P	R	Q	P	14	KC	12	0.40	0.33	0.23		0.40	
		C	A	B	B	A	K	M	L	M	L	K	K	P	R	Q	15	A	13	0.40	0.33	0.23		0.40	
			A	C	A	B	B	A	K	M	L	M	L	K	K	P	16		14	0.40	0.33	0.23		0.40	
			A	C	A	B	B	A	K	M	L	M	L	K	K	P	17	A	15	0.40	0.33	0.23		0.40	
				A	C	A	B	B	A	K	M	L	M	L	K	K	18		16	0.40	0.33			0.40	
					A	C	A	B	B	A	K	M	L	M	L	K	19		17	0.40	0.33			0.40	
						A	C	A	B	B	A	K	M	L	M	L	20		18	0.40	0.33			0.40	
							A	C	A	B	B	A	K	M	L	M	21		19	0.40	0.33			0.40	
								A	C	A	B	B	A	K	M	L	22		20	0.40	0.33			0.40	
									A	C	A	B	B	A	K	M	23		21	0.40	0.33			0.40	
										A	C	A	B	B	A	K	24		22	0.40	0.33			0.40	
											A	C	A	B	B	A	25		23	0.40				0.40	
												A	C	A	B	B	26		24	0.40				0.40	
													A	C	A	B	27		25	0.40				0.40	
														T	Z	Y	28	X,Y,Z,T	26	0.40				0.20	0.40
															T	Z	29	T	27	0.40				0.20	0.40
															X	30		28	0.40				0.20	0.40	
																계									10.04

(a) ATMA

- Traveling Sequence : A-B-B-A-C-A-K-K-L-M-L-M-K-P-Q-R-P-Q-R-P-X-Y-Z-T-T-Z-Y-X
- Component Feeder Assignment : #4(A)-#5(B)-#6(C)-#7(K)-#8(L)-#9(M)-#10(P)-#11(Q)-#12(R)-#13(X)-#14(Y)-#15(Z)-#16(T)

본 장에서는 그림 5의 P_2 문제에 대해 제안된 HCFPA를 적용하여 본다. P_2 는 Alkaya et al.[1]에서 인용되었다. 4가지 중량 그룹 부품 28개를 PCB에 배치하는 경우이다. 여기서, 회선포대의 슬롯은 #4부터 #16까지 13개를 사용하며, PCB의 부품 배치 순서는 TSP나 2-OPT를 적용하여 사전에 결정되었다고 가정하였으며, 부품 배치 위치들 간의 이동시간은 회선포대의 최대 속도 보다 작아 고려 대상에서 제외시켰다. 따라서 회선포대 슬롯의 #4부터 #16에 어느 부품을 배정할 것인가만 결정하면 되는 LAP이다.

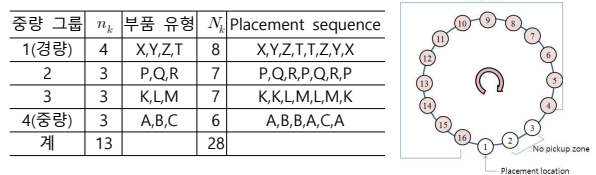


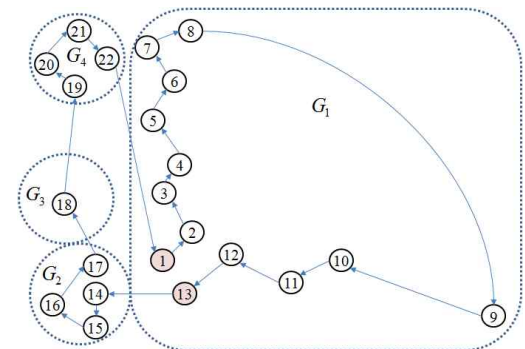
Fig. 5. P_2 assembly time problem

Alkaya et al.[1]은 집어오기와 내려놓기 시간도 해당 부품의 중량에 따른 적재시간과 동일한 값을 적용하였고, 배치 준비시간도 고려하여 ATMA는 10.20초, IATMA는 9.72초를 제시하였다. 그림 4의 P_2 문제에 대해 그림 6과 같이 검증 결과 ATMA는 10.64초, iATMA와 HCFPA는 9.72초이다. 배치 준비시간을 제외한 사이클에 대해 계산한 결과 ATMA는 10.04초, iATMA와 HCFPA는 8.52초를 얻었다.

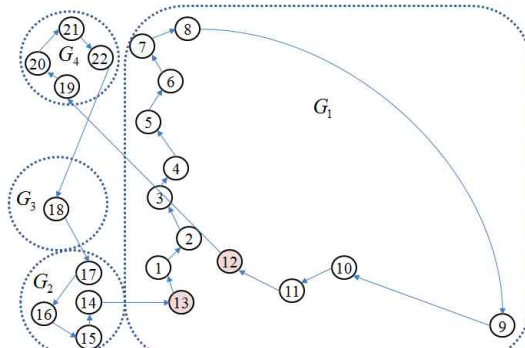
구분 Feeder Slot 부품	Rotational turret										Turret 회전 step	Pick-up	Place	Turret rotation speed															
	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7				6	5	4	3	2	1	A	B	C	K	L	M	P	Q	R	X
배치 준비	0.20		0.23			0.33			0.40						0.40	0.33	0.23	0.20											
1 st 배치 사이클												B	A					0	AB										
												B	B	A				1	B										
												C			A	B	A	2	C										
												K	C	A	B	B	A	3	AK	1			0.40	0.33					0.40
											M	L	K	K	C	A	B	4	KLM	2			0.40	0.33					0.40
											M	L	K	K	A	C	A	5	A	3			0.40	0.33					0.40
											M	L	M	L	K	K	A	6	LM	4			0.40	0.33					0.40
										R	Q	P	M	L	M	L	K	7	PQR	5			0.40	0.33	0.23				0.40
										R	Q	P	M	L	M	L	K	8		6			0.40	0.33	0.23				0.40
										R	Q	P	K	M	L	M	L	9	K	7			0.33	0.23					0.33
										R	Q	P	K	M	L	M	L	10	PQR	8			0.33	0.23					0.33
		T	Z	Y	X					R	Q	P	K	M	L	M	L	11	XYZT	9			0.33	0.23	0.20				0.33
		T	T	Z	Y	X				R	Q	P	R	Q	P	K	M	12	T	10			0.33	0.23	0.20				0.33
		T	T	Z	Y	X				P	R	Q	P	R	Q	P	K	13	P	11			0.33	0.23	0.20				0.33
			Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	Q	P	K	14	Z	12			0.33	0.23	0.20				0.33
			Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	Q	P	K	15		13			0.33	0.23	0.20				0.33
			Y	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	Q	P	16	Y	14			0.23	0.20	0.20				0.23
			Y	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	Q	P	17		15			0.23	0.20	0.20				0.23
			X	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	Q	P	18	X	16			0.23	0.20	0.20				0.23
				X	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	Q	19		17			0.23	0.20	0.20				0.23
					X	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	R	20		18			0.23	0.20	0.20				0.23
						X	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	P	21		19			0.23	0.20	0.20				0.23
							X	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	Q	22		20			0.23	0.20	0.20				0.23
								X	Z	T	T	Z	Y	X		P	R	23		21			0.20	0.20	0.20				0.20
									X	Z	T	T	Z	Y	X		P	24		22			0.20	0.20	0.20				0.20
										X	Z	T	T	Z	Y	X		25		23			0.20	0.20	0.20				0.20
											X	Z	T	T	Z	Y	X	26		24			0.20	0.20	0.20				0.20
												X	Z	T	T	Z	Y	27		25			0.20	0.20	0.20				0.20
													B	A	X	Y	Z	28	AB	26	0.40				0.20	0.40			0.40
													B	A	X	Y	Z	29	B	27	0.40				0.20	0.40			0.40
												C	B	B	A	X	30	C	28	0.40				0.20	0.40			0.40	
계																												8.52	

(b) iATMAvs. HCFPA
Fig. 6. Solution of P_2 assembly time problem

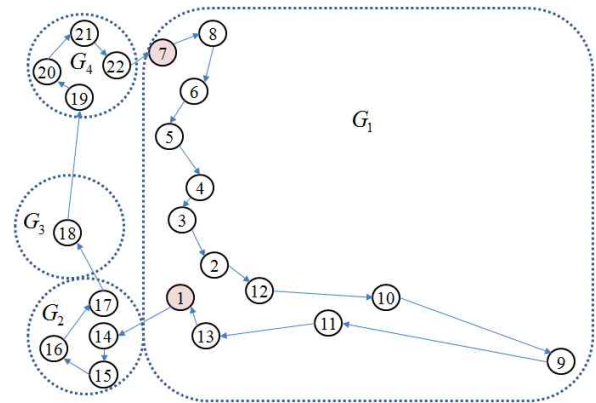
제안된 HCFPA를 Duman[7]의 ATMA, Alkaya와 Duman[8]의 iATMA와 차이점을 그림 7에 제시하였다. 여기서의 G 는 중량 그룹을 의미한다. 이들 알고리즘으로부터 회전포대에 배치되는 부품의 순서가 차이점이 있음을 알 수 있다.



(a) Duman's ATMA



(b) Alkaya and Duman's iATMA



(c) HCFPA

Fig. 7. Difference of algorithms

본 논문에서 거론된 2개의 실험 데이터에 대해 ATMA, iATMA와 HCFPA의 성능을 비교한 결과는 표 1과 같다.

Table 1. Compare with Algorithm Performance

문제	문제 수준	조립시간 (초)		
		ATMA	iATMA	HCFPA
P_1	QAP	2.50	2.25	2.10
P_2	LAP	10.04	8.52	8.52

QAP인 P_1 에 대해서는 HCFPA가 iATMA와 동일하게 중량 급 부품 우선 배치 전략을 적용하였으나 PCB의 배치 위치의 사이클 시작 시점 차이로 인해 HCFPA가 0.15초를 단축시킬 수 있었다. LAP인 P_2 에 대해서는 HCFPA가 iATMA와 동일하게 PCB의 배치 위치 시작시점이 동일하여 동일한 8.52초를 얻

었다. 결론적으로, HCFPA의 실험 결과 ATMP는 PCB의 부품 배치 위치 사이클을 중량급에서 시작하여 경량급 순으로 내림차순으로 이동하며, 이 이동순서에 따른 중량그룹내의 부품 출현 순서로 회선포대의 자동송급장치 슬롯에 순서대로 배정하는 것이 최소의 조립시간을 얻을 수 있다는 결론을 얻었다.

V. Conclusions and Future Research

본 논문은 다중 집어오기-적재-단일 내려놓기를 수행하는 PCB 부품 배치기계 (PAP 기계)로 K 개의 중량 그룹으로 분할된 N 개의 부품들을 PCB에 배치하는 경우 조립시간을 최소화하는 문제를 다루었다. 이 문제는 자동송급장치 슬롯에 배정된 부품들의 중량에 따라 PAP 장비의 회선포대 회전속도가 차이가 있으며, 또한, PCB의 부품 배치 위치간의 거리를 이동하는 속도도 고려해야 하는 난제이다.

본 논문은 N 개의 부품들을 K 개의 중량 그룹으로 분할하고, 중량급 부품 그룹부터 경량급 부품 그룹 순으로 중량 내림차순으로 PCB의 부품 배치 위치인 해밀턴 사이클 순서와 자동송급장치 슬롯의 배정 순서가 일치하도록 부품들을 배정하는 전략을 제안하였다.

제안된 알고리즘을 자동송급장치 슬롯의 부품 배정 순서만을 고려하는 LAP와 자동송급장치 슬롯의 부품 배정 순서와 PCB의 부품 배치 위치에 대한 해밀턴 사이클 순서도 고려하는 QAP의 실험 데이터들에 적용한 결과 QAP에 대해서는 iATMA에 비해 조립시간을 보다 단축시킬 수 있었으며, LAP에 대해서는 ATMA에 비해 조립시간을 단축시킨 iATMA와 동일한 결과를 얻었다.

본 논문에서는 벤치마킹 데이터의 수집 어려움으로 인해 소량의 실험 데이터들에 대해서만 제안된 알고리즘의 적합성을 검증하였다. 추후, 보다 많은 데이터들에 적용하여 제안된 알고리즘을 보다 일반화된 알고리즘으로 적용할 수 있음을 검증할 예정이다.

REFERENCES

- [1] A. F. Alkaya, E. Duman, and A. Eyler, "Assembly Time Minimization for an Electronic Component Placement Machine," *WSEAS Transactions on Computers*, Vol. 4, No. 7, pp. 326-340, Apr. 2008.
- [2] R. K. Ahuja, J. B. Orlin, and A. Tiwaric, "A Greedy Genetic Algorithm for the Quadratic Assignment Problem" *Computers and Operations Research*, Vol. 27, No. 10, pp. 917-934, Sep. 2000.
- [3] C. Rego, D. Gamboa, F. Glover, and C. Osterman, "Traveling Salesman Problem Heuristics: Leading Methods, Implementations and Latest Advances," *European Journal of Operational Research*, Vol. 211, No. 3, pp. 427-441, Jun. 2011.
- [4] R. E. Burkard and E. Çela, "Linear Assignment Problems and Extensions," *Handbook of Combinatorial Optimization*, pp. 75-149, 1999.
- [5] M. Ayob and G. Kendall, "A Survey of Surface Mount Device Placement Machine Optimisation: Machine Classification," *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, No. 3, pp. 893-914, May 2008.
- [6] M. Grunow, H. O. Günther, M. Schleusener, and I. O. Yilmaz, "Operations Planning for Collect-and-Place Machines in PCB Assembly," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 47, No. 4, pp. 409-429, Dec. 2004.
- [7] D. Duman, "Modeling the Operations of a Component Placement Machine with Rotational Turret and Stationary Component Magazine," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, No. 3, pp. 317-325, Mar. 2007.
- [8] A. F. Alkaya, E. Duman, "Application of Sequence-Dependent Traveling Salesman Problem in Printed Circuit Board Assembly," *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, Vol. 3, No. 6, pp. 1063-1076, Jun. 2013.
- [9] W. Ho, P. Ji, and P. K. Dey, "Optimization of PCB Component Placements for the Collect-and-Place Machines," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 37, No. 7-8, pp. 828-836, Jun. 2008.
- [10] H. Demirkale, A. F. Alkaya, and E. Duman, "Exact and Metaheuristic Approaches for Optimizing the Operations of Chip Mounter Machines," *Proceedings of CISIM2010, Cracow, Poland*, pp. 120-125, Oct. 2010.
- [11] P. C. Chang, W. H. Huang, and C. J. Ting, "Developing a Varietal GA with ESMA Strategy for Solving the Pick and Place Problem in Printed Circuit Board Assembly Line," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 23, No. 5, pp. 1589-1602, Oct. 2012.
- [12] Y. M. Chen and C. T. Lin, "A Particle Swarm Optimization Approach to Optimize Component Placement in Printed Circuit Board Assembly," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

- Vol. 35, No. 5-6, pp. 610-620, Dec., 2007.
- [13] Y. M. Chen and C. T. Lin, "Optimizing the Operation Sequence of Multihead Surface Mounting Machine Using a Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm," *Journal of Artificial Evolution and Applications*, Vol. 2008, No. 1, Article No. 7, pp. 1-8, Jan. 2008.
- [14] Z. Y. Zhu and W. B. Zhang, "An Improved Shuffled Frog-Leaping Algorithm to Optimize Component Pick-and-Place Sequencing Optimization Problem," *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, No. 15, pp. 6818-6829, Nov. 2014.
- [15] S. U. Lee, "A Single-model Single-sided Assembly Line Balancing Problem Using Main-path Clustering Algorithm," *Journal of KSCI*, Vol. 19, No. 5, pp. 89-98, May 2014.
- [16] S. U. Lee, "An Assignment-Balance-Optimization Algorithm for Minimizing Production Cycle Time of a Printed Circuit Board Assembly Line," *Journal of KSCI*, Vol. 21, No. 2, pp. 000-000, Feb. 2016. (publication acceptance)
- [17] W. Ho and P. Ji, "An Integrated Scheduling Problem of PCB Components on Sequential Pick-and-Place Machines: Mathematical Models and Heuristic Solutions," *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 3, pp. 7002-7010, Apr. 2009.
- [18] M. Alssager and Z. A. Othman, "Simulated Annealing Algorithm Using Iterative Component Scheduling Approach for Chip Shooter Machines," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 65, No. 2, pp. 480-490, Jul. 2014.

Authors



Sang Un Lee received the B. Sc. degree in avionics from the Korea Aerospace University in 1997. He received the M. Sc. and Ph. D. degrees in Computer Science from Gyeongsang National University, Korea, in 1997 and 2001, respectively.

He is currently Professor with the Department of Multimedia Science, Gangneung-Wonju National University, Korea. He is interested in software quality assurance and reliability modeling, software engineering, software project management, neural networks, and algorithm.