

# 물류창고 불출자 로드밸런스를 증대 휴리스틱 알고리즘 개발

전 옥\* · 장 정 환\* · 장 청 윤\* · 조 용 철\*\* · 이 창 호\*

\*인하대학교 산업경영공학과

\*\*한국항공우주연구원 인천연수원

## A Study on the Heuristic Algorithm Development for Load Balance Ratio Increase of Workers in Warehouse

Yu Quan\* · Jung-Hwan Jang\* · Jing-Lun Jang\* · Yong-chul Jho\*\* · Chang-Ho Lee\*

### Abstract

Companies are pursuing the management of small quantity batch production or JIT(Just-in-time) system for improving the delivery response and LOB(Line Balancing) in order to satisfy consumers' increasing demands in the current global economic recession. And in order to improve the growth of production for reducing manufacturing cost, improvements of the Load Balancing have become an important reformation factor.

Thus this paper is aimed at warehouse which procures materials on the assembly line in procurement logistics of automotive logistics and proceed with research on heuristic algorithm development which can increase the Load Balancing of workers. As a result of this study, when applied the primary target value, it was verified that the whole workers decreased from 28 to 24. Furthermore, when specified the secondary target value and applied algorithm once more, it was verified that the Load Balance Ratio was improved from 44.96% to 91.7%.

**Key words :** Load Balance, Load Balance Ratio, Automobile Assembly Line, Line Balancing

### 1. 서론

최근 글로벌 경제 침체 속에서 기업은 날로 높아져 가는 소비자들의 수요를 만족하기 위하여 납기 대응 그리고 LOB(Line Balancing, 라인편성효율) 향상을 통한 다품종 소량생산 또는 JIT(Just-in-time)시스템 운영방법을 추구하고 있다. 또한 제조원가의 절감을 위한 생산성 향상과 생산시간을 단축하기 위해 LOB 향상은 중요한 개선 항목이다. 글로벌경영연구소의 '2017년 자동차산업 전망'에 따르면 세계자동차 판매는 주요시장의 성장세가 크게 둔화되면서 금융위기 이후 가장 낮은 1.9% 증가(9,068만 대)에 그칠 전망이라고 분석하고 있다.

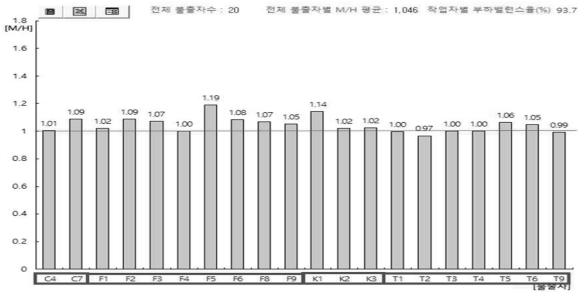
자동차는 수천 개 이상의 부품으로서 기본적인 부품과 시스템을 구성하는 장치로 구성되었다. 최근 많은

자동차 부품들이 모듈화 되면서 완성차 업체가 관리해야 할 부품의 종류는 줄어들었지만 여전히 많은 양의 부품을 조달하여 조립하고 있으며 모듈화는 크게 두 가지의 장점을 가지고 있다. 하나는 1차 조립을 통하여 모듈을 만들기에 불량률을 낮추는 것이며 다른 하나는 조립시간을 줄이는 것이다.

따라서 본 논문은 이와 같은 상황과 문제점, 또한 지난 연구결과 [Figure 1]에서와 같이 동일공정으로 이동하는 품목군으로 인하여 정확히 목표 값에 맞추기 힘든 문제점과 목표 값에 정확히 맞추다 보면 매우 작은 공수를 가진 불출자가 생길 수 있는 문제점 등을 해결하기 위한 연구로서 로드밸런스율(Load balance ratio)을 증대할 수 있는 휴리스틱 알고리즘에 대하여 연구를 진행하였다.

† Corresponding Author : Chang-Ho Lee, Industrial Engineering, INHA UNIVERSITY,  
100, inha-ro, Nam-gu, Incheon

Received January 20, 2017; Revision Received February 19, 2017; Accepted March 11, 2017.



[Figure 1] The load balancing result of previous research

## 2. 이론적 배경

### 2.1 로드밸런스를

로드밸런스는 과부하상태인 작업자가 처리하여야 할 작업을 부하가 적은 작업자에게로 작업을 고루 분배하는 것을 말하며 작업 강도를 조절하여 부하를 평준화시키거나 여유 있는 작업의 완성일을 조절하여 부하를 평준화시키는 것을 말하기도 한다. 부하평준화는 직장별, 일자리별 능력과 부하를 비교하여 과부하가 아닌 경우에는 그 일자에 부하를 추가하고, 일자리별 능력에 비하여 과부하인 경우에는 그 이후 일정에 따라 과부하 부분을 감소하여 일정을 계획하며 불출 작업의 우선순위 규칙에 의거하여 자원을 할당한다.

### 2.2 라인밸런싱

라인밸런싱은 작업량의 균등 배정을 통하여 주어진 생산자원을 최대한 활용하고, 따라서 최소의 비용으로 최고의 생산성을 달성할 수 있다는 논리를 바탕으로 한다. 작업배정이 완료되면 생산자원은 모든 요소작업을 수행할 수 있는 능력이 있는 경우에도 제품의 흐름 속도에 따라 배정된 일정 부분의 작업만을 수행하게 된다. 라인밸런싱에서 각 자원에 할당하는 작업의 양을 시간으로 표현하기 위하여 표준시간이 이용된다. 조립 라인을 설계하는 당시에는 어느 작업자가 어떤 작업장을 담당하게 될지 결정되지 않는 상태가 일반적이므로 보통정도의 숙련도를 가진 작업자가 정상적인 작업환경 하에서 보통의 작업속도로 작업할 때 소요되는 시간인 표준시간을 이용하는 것을 당연히 생각할 수 있다. 하지만 현실에서 작업자는 숙련도나 개인의 능력 등에 의하여 작업속도에서 차이가 난다. 이와 같은 경우는 이론적으로 산출된 라인밸런싱 효율과는 다르게 가장 느린 작업자의 작업속도에 의하여 효율이 결정된다.

## 2.3 휴리스틱 알고리즘

휴리스틱 알고리즘(Heuristic Algorithm)은 제한적인 환경에서 최적해 혹은 경로를 탐색하는 것을 말한다. 휴리스틱 기법은 휴리스틱으로도 불리며 문제의 해결, 학습, 또는 발견을 위한 접근방법으로서 최적의 해결책을 찾기 힘들거나 어려울 때 사용하는 기법이기도 하다[7]. 휴리스틱 기법의 연구는 해결하고자 하는 문제마다 그 특성에 맞추어 개발하여야 하는 어려움이 있으며 특정문제가 갖는 정보에 구속되지 않고 다양한 문제에 적용이 가능한 기법이다. 메타 휴리스틱 기법에는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm), 군집 최적화 알고리즘(Particle Swarm Optimization), 개미집단 최적화 알고리즘(Ant Colony Optimization) 등이 있다.

## 2.4 관련연구

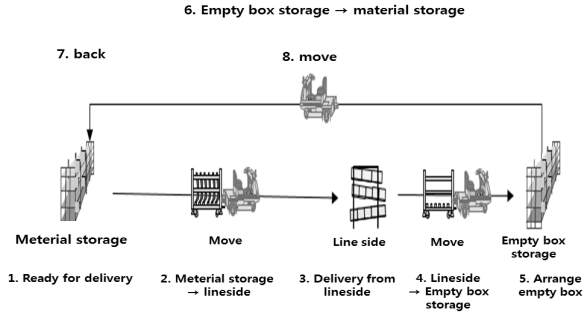
로드밸런스에 관한 연구는 주로 경영과학적 접근 방법, 작업 강도(Work Intensisy)의 조절에 의하여 부하를 평준화시키는 연구, 여유일(Slack) 있는 작업의 완성일, 부하의 상한선을 정의하고 시작일 변경하는 연구가 주를 이루고 있다. 라인밸런싱에 관한 연구는 특정한 작업장을 대상으로 작업부하를 분배하는 방향의 연구가 주를 이루고 있다. 대부분의 연구는 작업장의 사이클타임 감소, 작업자 최소화, 편성효율 증대를 목적으로 진행되었고, 또한 작업자의 작업부하를 줄이기 위한 일부 연구도 이루어졌다. 대표적으로 혼합모델 조립 라인에서 작업부하의 평활화를 위한 유전알고리즘 연구에서는 혼합모델 조립라인에서 발견된 정보를 유전 연산자와 결합시킨 새로운 유전알고리즘을 적용하여 작업 수와 작업장 수가 많은 경우에 특화하여 기존의 알고리즘보다 향상된 결과를 보여주었다. 휴리스틱 기법은 대부분 유전알고리즘, 개미집단 최적화 알고리즘에 대한 연구가 주를 이루고 있는데 유전알고리즘은 1960년대에 개발되어 1990년대에 연구되기 시작한 분야이다. 진화 알고리즘은 구조가 간단하고 방법이 일반적이므로 응용범위가 넓다. 특히 적응적 탐색과 학습 및 최적화를 통한 공학적인 문제의 해결에 많이 이용된다.

## 3. 본론

### 3.1 조달 물류

자동차 공장의 조달물류는 크게 두 가지로 나뉘게 되는데 하나는 일반불출로 이루어지는 부품이고 다른 하나는 서열화 작업 후 불출되는 서열부품을 대상으로 하는 물류이다. 본 논문에서는 일반불출로 이루어지는 부

품 1,475가지 품목의 부품을 대상으로 연구를 진행하였으며 일반 불출 물류 작업의 프로세스는 [Figure 2]와 같이 부품창고에서 이루어지는 불출준비부터 부품을 라인사이드에 배송하고 다시 자재 창고로 복귀하는 순서로 이루어지고 있다.



[Figure 2] Material supply process in automobile factory

### 3.2 부하 평준화의 필요성

완성차 조립생산 라인의 부품 불출작업자 수는 총 28명으로 각각 C창고 7명, F창고 9명, K창고 3명, T창고 9명으로 배치되어 작업하고 있다.

<Table 1> Work load of workers

Warehouse	Number of Workers	Worker	Work load by Worker	Load Balance Ratio
Warehouse C	7	C1	0.196	0.612
		C2	0.112	
		C3	0.206	
		C4	0.494	
		C5	0.370	
		C6	0.344	
		C7	0.395	
Warehouse F	9	F1	1.653	0.572
		F2	1.222	
		F3	0.482	
		F4	0.649	
		F5	1.546	
		F6	1.664	
		F7	0.395	
		F8	0.477	
		F9	0.474	
Warehouse T	9	T1	0.733	0.503
		T2	0.910	
		T3	0.691	
		T4	0.723	
		T5	0.811	
		T6	1.562	
		T7	0.590	
		T8	0.542	
		T9	0.517	
Warehouse K	3	K1	1.490	0.714
		K2	1.270	
		K3	0.430	

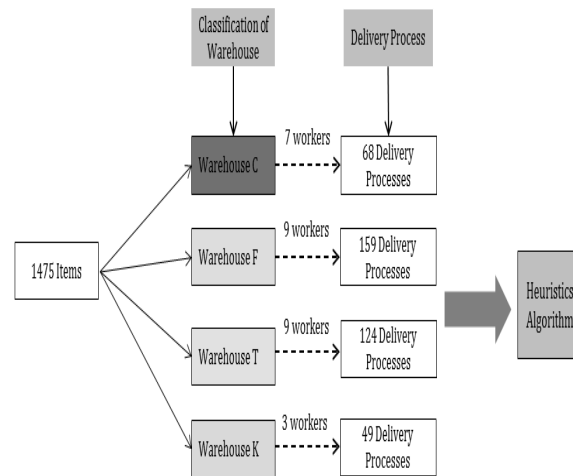
<Table 1>은 불출자별로 불출 공수를 계산한 결과 값이다. C창고의 불출자 부하율을 보면 대부분 불출자의 공수가 0.5M/H 이하로 작업 부하가 없으며 오히려 여유롭게 작업하고 있음을 알 수 있다. F창고의 경우 F1, F2, F5, F6 불출자는 공수가 1M/H 이상으로 작업 부하가 심한 반면 F3, F4, F7, F8, F9 불출자의 공수는 상대적으로 낮으며 작업의 부하가 일부 작업자에게 편중된 것을 알 수 있다. T창고에서는 T6 불출자에게 작업 부하가 편중된 것을 알 수 있으며, K창고에서는 K1, K2 불출자에게 작업 부하가 편중된 것을 알 수 있다. 전체 공장의 로드밸런스를 = 전체 불출자의 M/H 합계/(불출자수 x 최대사이클 타임)에 대하여 계산한 결과 전체 공장의 로드밸런스는 44.96%로 낮은 결과가 나왔다.

이와 같이 일부 작업자에게 작업 부하가 편중되거나 작업량이 적어 여유가 많은 불출자가 있기 때문에 작업 부하의 평준화를 위한 작업의 재분배가 필요한 것을 알 수 있다.

### 3.3 로드밸런스 휴리스틱 알고리즘

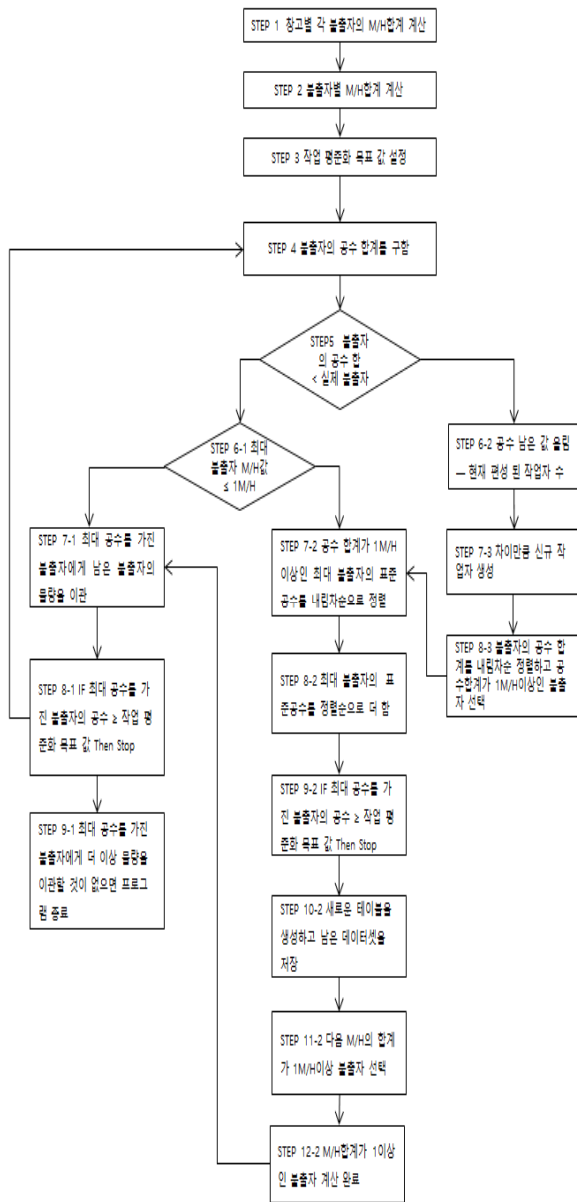
#### 3.3.1 제약조건

일반 불출 물류작업은 [Figure 3]과 같이 1,475가지 품목으로 구성되어 있으며 창고별로 분류하면 C창고, F창고, T창고, K창고로 나뉘어 보관되고 있다. 각 창고별 불출공정 기준으로 분류하면 C창고에서는 68가지 공정으로 불출되고, F창고에서는 159가지 공정으로 불출되며, T창고에서는 124가지 공정, K창고에서는 49가지 공정으로 불출된다.



[Figure 3] Storage release process

3.3.2 로드밸런스 휴리스틱 알고리즘



[Figure 4] Load balance heuristic algorithm

본 논문에서 부하 평준화 알고리즘은 [Figure 4]에서와 같이 크게 세 가지 경우의 조건에 따라 달리 적용되는데, 첫 번째 경우는 창고 내 불출자들의 공수합보다 실제 불출자가 많으며 최대 부하가 1보다 작은 경우이고 두 번째 경우는 창고 내 불출자들의 공수합보다 실제 불출자가 많으며 최대 부하가 1보다 큰 경우이다. 세 번째 경우는 창고 내 불출자들의 공수합보다 실제 불출자가 적으며 최대 부하가 1보다 큰 경우이다.

STEP 1에서는 창고별로 각 불출자의 표준 공수에 따라 M/H합계를 계산한다.

STEP 2에서는 창고별 공수평균 값을 구한다.

STEP 3에서는 작업 평준화 목표 값을 설정한다. 목표 값은 창고별 공수의 평균값을 1M/H를 기준으로 하여 판별한다. 공수 평균값이 1M/H보다 작을 경우 1M/H로 설정된다.

STEP 4에서는 창고 내 불출자들의 총 M/H합계를 구한다.

STEP 5에서는 불출자들의 M/H합이 실제 불출자 수보다 크거나 작을 때의 두 가지 경우에 따라 어떠한 알고리즘을 적용할 것인지 판별하는 단계이다.

STEP 6-1에서는 최대 불출자의 M/H값이 1보다 크거나 작은 경우에 어떠한 알고리즘을 사용할 것인지 판별하는 단계이다.

첫 번째 경우인 STEP 7-1에서는 최대 공수를 가진 불출자에게 남은 불출자의 공수를 오름차순/내림차순으로 더하여 최대불출자의 M/H값을 목표값에 가장 근접하게 하는 단계이다.

STEP 8-1에서는 만약 최대 공수를 가진 불출자의 공수가 평준화 목표 값보다 크면 알고리즘을 종료하고 STEP 4로 이동한다.

STEP 9-1에서는 계산의 종료 지점을 설정하는 단계이다. 최대 M/H합계 값을 가진 불출자에게 더 이상 사용할 데이터가 없으면 알고리즘을 종료한다.

두 번째 경우인 STEP 7-2에서는 공수의 합계가 1M/H 이상인 불출자들의 공수를 오름차순/내림차순으로 정렬하는 단계이다.

STEP 8-2에서는 최대 공수를 가진 불출자의 표준 공수를 내림차순 또는 오름차순으로 더하는 단계이다.

STEP 9-2에서는 최대 공수를 가진 불출자의 표준 공수를 오름차순 또는 내림차순으로 더한 다음 공수가 작업 평준화의 목표 값보다 크거나 같으면 알고리즘을 멈추는 단계이다.

STEP 10-2에서는 새로운 테이블을 생성하고 최대 공수를 가진 불출자의 남은 공수를 저장하는 단계이다.

STEP 11-2에서는 M/H합계가 1이상인 불출자를 검색하고 없으면 첫 번째 경우인 STEP 7-1로 이동한다.

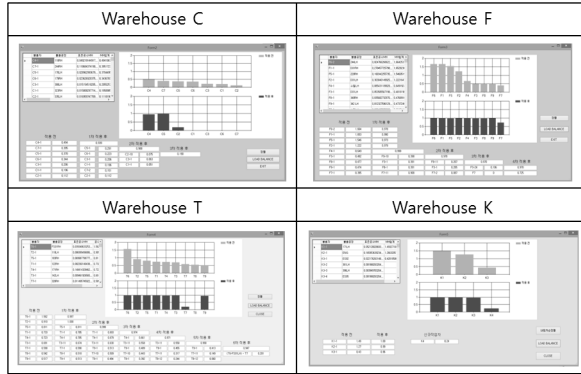
세 번째 경우인 STEP 6-2에서는 불출자들의 M/H합계를 구하고 현재 편성된 작업자 수와 차이값을 구하는 단계이다.

STEP 7-3에서는 불출자들의 M/H합계와 현재 편성된 작업자 수의 차이값만큼 신규 불출자를 생성하는 단계이다.

STEP 8-3에서는 불출자들의 공수 합계를 내림차순으로 정렬하고 공수 합계가 1M/H 이상인 최대 불출자를 선택하며 STEP 7-2로 이동하여 계산하는 단계이다.

### 3.4 로드밸런스 휴리스틱 알고리즘 적용 결과

#### 3.4.1 오름차순 적용 결과



[Figure 5] Heuristic result

프로그램은 [Figure 5]와 같이 Visual studio를 사용하였으며, 폼 객체를 위주로 하는 VB.NET코딩을 적용하였다. 여기서 오름차순은 최대 공수를 가진 선택된 불출자를 제외한 남은 불출자들의 표준공수M/H 값을 오름차순으로 정렬하여 사용하는 것을 말하며 각 공장별 1차 목표 값은 1M/H로 하여 계산하였다.

<Table 2> Work load of workers

Before Improvement					After Improvement				
Total Number	warehouse	Number of Workers	Worker	Work load by Worker	Average of Van Hour	Average of Van Hour	Work load by Worker	Number of Workers	Total Number
33	Warehouse C	7	C1	0.94	0.75M/H	0.67M/H	0	3	34
			C2	0.112			0.98		
			C3	0.26			0		
			C4	0.94			0.99		
			C5	0.370			0.98		
			C6	0.94			0.00		
			C7	0.35			0.98		
	Warehouse F	9	F1	1.63			0.98	9	
			F2	0.22			0.97		
			F3	0.42			0.97		
			F4	0.649			0.99		
			F5	1.56			0.97		
			F6	1.64			0.97		
			F7	0.35			0.75		
			F8	0.477			0.97		
			F9	0.474			0.97		
	Warehouse T	9	T1	0.73			0.94	8	
			T2	0.910			1.00		
			T3	0.691			0.99		
			T4	0.73			0.97		
			T5	0.811			0.99		
			T6	1.52			0.97		
			T7	0.590			0.91		
			T8	0.642			0		
			T9	0.517			0.97		
	Warehouse K	3	K1	1.90			1.00	4	
			K2	1.270			0.99		
			K3	0.40			0.96		
									0.94

<Table 2>에서와 같이 작업 평준화 전과 후를 비교하여 보면 C창고 불출자 수는 7명에서 3명으로, K창고는 3명에서 4명으로 인원수가 늘어났으며, T창고는 9명에서 8명으로 감소한 것을 알 수 있고 F창고만 인원수가 9명으로 유지한 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 각 공장별 현재 Load 로드밸런스를 계산하여 보면 <Table 3>과 같이 C창고 0.714, T창고 0.885, H창고 0.952, K창고 0.798을 얻을 수 있으며 각 공장별 Load 로드밸런스를 = 각 공장별 M/H 합계/(인원수x최종적으로 나온 사이클타임)에 의하여 구하였다.

<Table 3> Load balance ratio for warehouse

Warehouse	Total M/H	Number of labor	Cycle time	Load balance ratio
Warehouse C	2.117	3	0.988	$2.117/(3 \times 0.988) = 0.714$
Warehouse F	8.562	9	0.999	$8.562/(9 \times 0.999) = 0.952$
Warehouse T	7.079	8	1.0	$7.079/(8 \times 1.0) = 0.885$
Warehouse K	3.19	4	1.0	$3.19/(4 \times 1.0) = 0.798$

<Table 3>에서와 같이 각 공장별 로드밸런스를 계산한 결과 F창고 0.952를 제외한 C, T, K창고는 사이클 목표 값을 2차적으로 조절하여 로드밸런스를 더욱 높일 수 있다는 것을 알 수 있다. 각 공장별 M/H 상한 값은 현재 MH합계/최소 필요 인원수로 하여 계산하였다.

<Table 4> Target cycle time for warehouse

Warehouse	Total M/H	Number of labor	Average of MH	Target Cycle Time
Warehouse C	2.117	3	$2.117/3 = 0.71$	0.75
Warehouse T	7.079	8	$7.079/8 = 0.88$	0.90
Warehouse K	3.19	4	$3.19/4 = 0.80$	0.85

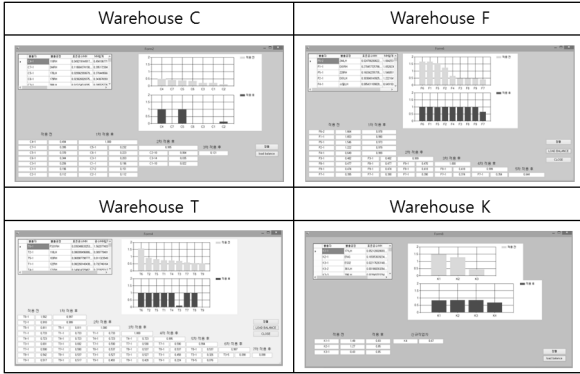
계산 결과 <Table 4>에서와 같이 2차 창고별 목표 사이클타임을 C창고 0.75, T창고 0.90, K창고 0.85로 상한 값을 결정하고 C창고, T창고, K창고의 로드밸런스에 대하여 재계산하였다.

<Table 5>Load balance ratio for warehouse

Warehouse	Total M/H	Number of labor	Cycle time	Load balance ratio
Warehouse C	2.117	3	0.744	$2.117/(3 \times 0.744) = 0.948$
Warehouse T	7.079	8	0.899	$7.079/(8 \times 0.899) = 0.984$
Warehouse K	3.19	4	0.846	$3.19/(4 \times 0.846) = 0.943$

결과 <Table 5>에서와 같이 C창고는 0.948, T창고는 0.984, K창고는 0.943으로 로드밸런스가 높아지는 것을 확인할 수 있다.

3.4.2 내림차순 적용 결과



[Figure 6] Heuristic result

[Figure 6]은 불출자의 표준공수를 내림차순으로 정렬하여 각 창고별 목표 값을 1M/H로 적용하여 얻은 결과이다. 내림차순은 최대 공수를 가진 선택된 불출자를 제외한 남은 불출자들의 표준공수 M/H값을 내림차순으로 정렬하여 사용하는 것을 말하며 각 공장별 1차 목표 값은 1M/H로 하여 계산하였다.

<Table 6> Work load of workers

		Before Improvement				After Improvement			
Total Number	warehouse	Number of Workers	Worker	Work load by Worker	Average of 1/hour	Average of 1/hour	Work load by Worker	Number of Workers	Total Number
28	Warehouse C	7	C1	0.84	0.75M/H	0.675M/H	0	3	24
			C2	0.12			0.12		
			C3	0.26			0		
			C4	0.84			1.00		
			C5	0.70			0.95		
			C6	0.44			0		
			C7	0.95			0		
	Warehouse F	9	F1	1.63			0.99		
			F2	1.22			0.97		
			F3	0.82			0.99		
			F4	0.89			0.99		
			F5	1.56			0.97		
			F6	1.64			0.97		
			F7	0.95			0.94		
			F8	0.47			0.99		
			F9	0.74			1.00		
	Warehouse T	9	T1	0.33			1.00		
			T2	0.00			0.99		
			T3	0.67			0.97		
			T4	0.23			0.95		
			T5	0.01			1.00		
			T6	1.52			0.97		
			T7	0.94			0.94		
			T8	0.42			0.97		
			T9	0.17			0		
	Warehouse K	3	K1	1.80			1.00		
			K2	1.20			0.99		
			K3	0.80			1.00		

<Table 6>은 불출자의 표준공수를 내림차순으로 정렬하여 계산한 결과이며 오름차순으로 정렬하였을 때와 같이 인원수에 대하여 변화가 없는 것으로 나타났다.

<Table 7>Load balance ratio for warehouse

Warehouse	Total M/H	Number of labor	Cycle time	Load balance ratio
Warehouse C	2.116	3	1.0	2.116/(3x1.0)= 0.705
Warehouse F	8.561	9	1.0	8.561/(9x1.0)= 0.951
Warehouse T	7.861	8	1.0	7.861/(8x1.0)= 0.983
Warehouse K	3.19	4	1.0	3.19/(4x1.0)= 0.798

로드밸런스를 = 각 공장별 M/H 합계/(인원수x최종적으로 나온 사이클타임)에 근거하여 각 공장별 현재 로드밸런스를 계산한 결과 <Table 7>과 같이 C창고는 0.705, T창고는 0.983, F창고는 0.951, K창고는 0.798을 얻을 수 있다. 그리고 C창고와 K창고에 대해서는 로드밸런스를 더 높일 수 있다는 것을 알 수 있기 때문에 사이클 목표 값의 상한 값을 2차적으로 0.75와 0.85로 지정하고 두 창고의 로드밸런스에 대하여 재계산하였다.

<Table 8>Load balance ratio for warehouse

Warehouse	Total M/H	Number of labor	Cycle time	Load balance ratio
Warehouse C	2.116	3	0.749	2.116/(3x0.749)= 0.942
Warehouse K	3.19	4	0.85	3.19/(4x0.85)= 0.938

계산 결과 <Table 8>에서와 같이 C창고는 0.942, K창고는 0.938로 로드밸런스가 높아지는 것을 확인할 수 있으며 각 공장의 로드밸런스를 오름차순으로 적용하였을 때와 비교하면 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 자동차 공장의 사내물류인 조달물류에서 조립라인으로 자재를 조달하는 불출자 로드밸런스를 증대할 휴리스틱 알고리즘을 개발함으로써 지난 연구에서 존재하는 동일공정으로 이동하는 품목군으로 인하여 목표 값에 정확히 맞추기 힘든 문제점을 개선하였다.

알고리즘에서는 표준공수의 목표 값을 설정하고 창고 내 불출자들의 공수합보다 실제 불출자가 많으며 불출자의 최대 부하가 1보다 작은 경우와 최대 부하가 1보다 큰 경우, 그리고 창고 내 불출자들의 공수합보다 실제 불출자가 적으며 최대 부하가 1보다 큰 경우 등

세 가지에 대하여 분석하였다. 그 결과 알고리즘 적용 후 불출자가 줄어들었고, 각 창고별 불출자들의 사이클 타임에 대하여 2차 목표 값을 지정하고 다시 한 번 알고리즘을 적용한 결과 불출자의 로드밸런스율이 개선된 것을 확인할 수 있다.

향후 연구로는 더욱 최적화된 로드밸런스율 계산을 위하여 각 창고별 사이클타임을 더 줄일 수 있는 방안이 필요하다.

## 5. References

- [1] Hyundai motor group 글로벌경영연구소, “2017년 자동차산업 전망(수정)”, <http://gbic.hyundai.com/publish/publishDetail.do?masterId=5&no=74&fromPath=10>
- [2] Jung-Hwan Jang, Jing-Lun Jang, Yu-Quan, Yong-chul Jho, Yu-Seong Kim, Sang-Dong Bae, Du-Seok Kang, Jae-Woong Lee, Chang-Ho Lee(2016), “A Study on the Improvement of Load Balance for Materials Supply Worker in Automobile Assembly Line”, *Journal of the Korea Safety Management & Science*.
- [3] Jae dong, Lee, Yu shin, Hong(1994), “A Production Schedule for Load Leveling in a Block Assembly Shop”, *IE Interfaces* 7(2).
- [4] Myung-Dal Kong(1998), “A Heuristic Algorithm for Resource-Constrained Multi-Project Scheduling” Ph.D Thesis, Dong-A University.
- [5] Pyong-Hoe Ku, Hee-Yong Kang(2006), “Application of Bucket Brigade in Manufacturing and Logistics Systems”, *Collection of Dissertations in Spring Conference, Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.2006 No.5.
- [6] Pyong-Hoe Ku(2009), “Application of Bucket Brigades in Assembly Cells for Self Work Balancing”, *IE Interfaces*, Vol.22 No.2.
- [7] Moon-Soo Kwon(2015), “Comparison of SA, HS, and New Meta-heuristic Algorithm for Solving NP-hard problems in Bivariate Polynomial”, *Graduate School Kumoh National Institute of Technology Master's Thesis*.
- [8] Lovbjerg, M.; Krink, T.(2002), “Extending Particle Swarm Optimisers with Self-Organized Criticality”, *Proceedings of the Fourth Congress on Evolutionary Computation (CEC)*.
- [9] D.E Goldberg(1989), “Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning”, Addison Wesley.isbn 978-0-201-15767-3.
- [10] Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A(1996), “The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents,” *IEEE trans. Syst. Man Cybern B* 26, pp.29-41.
- [11] J.De Vicente, J.Lanchares, R.Hermida(2003), “Placement by Thermodynamic Simulated Annealing,” *Physics Letters A*, Vol. 317.
- [12] Talbot, F.B.(1984), “Resource - Constrained Project Scheduling with Time - Resource Tradeoff - The Non preemptive Case”, *Management Science*, Vol.28, No.10, pp 1197.
- [13] Levy, F.K., Thompson(1962), “Multiship, Multishop, Workload Smoothing Program”, *Naval Research LoGistics Quarterly*, Vol.9, pp37.
- [14] D.E Goldberg(2002), “The Design of Innovation (Genetic Algorithms and Evolutionary Computation)”, Springer. ISBN 978-1-4020-7098-3.
- [15] Jung-Hwan Jang, Jing-Lun Jang, Yu-Quan, Yong-chul Jho, Yu-Seong Kim, Sang-Dong Bae, Du-Seok Kang, Jae-Woong Lee, Chang-Ho Lee(2016), “A Study on the Material Supply Man-Hour Computation based on MODAPTS in Automobile Assembly Line”, *Journal of the Korea Safety Management & Science*.

## 저자 소개

전 옥



중국 길림건축공정대학교 공학사 취득. 중국 연변대학교 석사 취득. 현재 인하대학교 산업경영공학과 박사과정 중.  
관심분야 : 물류, SCM, ERP 등

조용철



인하대학교 산업공학과 공학사, 공학석사 취득. 동 대학원에서 공학박사 취득. 현재 한국항공우주연구원 인천연수원 교수로 재직 중.  
관심분야 : ERP, SCM, 항만물류, RFID, EPCglobal Network

장정환



한라대학교 산업경영공학과 공학사 취득. 인하대학교 산업공학과 석사 취득. 현재 인하대학교 산업공학과 박사과정 중.  
관심분야 : RFID 관련 물류 관리 시스템 개발, 항공물류 RFID 시스템 개발 등

이창호



인하대학교 산업공학과 학사 취득. 한국과학기술원 산업공학과 석사, 경영과학과 공학박사 취득. 현재 인하대학교 교수로 재직 중.  
관심분야 : 물류, RFID, SCM 등

장청윤



남서울대학교 산업경영공학과 공학사 취득. 인하대학교 산업공학과 석사 및 박사취득.  
관심분야 : SCM, ERP, RFID 관련 물류관리 시스템 개발 등