

분해도 및 작업시간 산정을 통한 균형잡힌 조립공정계획에 관한 연구

신철균[#]

Line Balanced Assembly Sequence Generation Based on a Verification of Disassemblability and Work Time

Chul Kyun Shin[#]

ABSTRACT

This paper presents a method of a line balanced assembly sequence generation based on the verification of a disassemblability and a work time. To derive the disassemblability for a part to be disassembled, first we inference collision free assembly directions by extracting separable directions for the part. And we determine the disassemblability defined by the separability and stability cost. The separability cost represents a facility of the part disassembly operation, and the stability cost which represents a degree of the stability for the base assembly motion. Based upon the results, we propose a new approach of evaluating work time using neural networks. The proposed assembly sequence generation provides an effective means of solving the line balancing problem and gives a design guidance of planning assembly lay-out in flexible manufacturing application. Example study is given to illustrate the concepts and procedure of the proposed schemes.

Key Words : Disassemblability (분해도), Work time (작업시간), Neural networks (신경회로망), Line balance (라인균형), Assembly sequence (조립순서)

기호설명

l_{jk} = liaison between parts p_j and p_k

C_{jk} = contact connective direction

f_{jk} = fit connective direction

\overline{SU}_{jk}^+ = unit separable direction

\overline{S}_{jk} = admissible separable direction

$R_{sp}^c(p_k)$ = separability for contact connection

$R_{sp}^f(p_k)$ = separability for fit connection

$W_d(p_k)$ = disassemblability of part p_k

$C_{sp}(p_k)$ = separability cost of part p_k

$C_{st}(p_k)$ = stability cost of part p_k

WT = work time

d = balance delay

접수일: 2006년 11월 22일; 게재승인일: 2007년 4월 26일

교신저자: 한국외국어대학교 산업경영공학과 겸임교수

E-mail: shinphd@freechal.com Tel. 018-217-1419

1. 서 론

유연 자동조립 라인에 있어 조립될 대상품이 정해지면, 생산성의 효율을 높이기 위해 사전에 치밀한 작업계획 및 생산계획 수립이 선행되어야 한다. 이를 위해서는 부품을 조립하기 위한 조립로봇¹, 조립기구², 이송시스템³ 그리고 조립 치공구⁴ 등의 주변 장치선정에 필요한 사전조사가 이루어져야 한다. 그러나 이러한 모든 사항들에 대한 사전 연구가 이루어졌다 하더라도 각 조립공정에서 소요되는 작업시간을 예측할 수 없다면 실제 라인작업 시 병목현상의 발생을 피할 수 없으며, 이와 같은 현상을 극복하기 위해서는 수많은 수정, 보완을 거쳐야 하는 불합리점을 내포하게 된다.

지금까지 유연 자동조립라인의 라인밸런싱을 위한 많은 연구들이 진행되어 왔지만 이는 각 조립공정에서 소요되는 작업시간이 일단 주어졌다고 가정하고, 이들의 선행구속조건 및 조립특성을 고려하여 적절히 그룹핑함으로써 전체 라인의 균형을 맞추는데 초점을 두어 왔다. 그러나 이러한 방식은 각 조립공정에서 소요되는 작업시간을 미리 예측할 수 없어서, 일단 조립라인이 설치된 상태에서 실제 작업이 진행되는 가운데 작업시간을 측정하여 얻을 수 밖에 없었다. 이러한 취약점을 극복하기 위하여 Sharp⁵는 단위 요소 조립작업에 대한 사전정보를 데이터화 하여 작업시간을 사전 예측하는 방법을 제안하였고, Lee⁶와 Kang⁷은 시간 데이터를 바탕으로 작업시간이 순서 의존적일 경우의 동적분석과 조립계획법에 대한 기법을 제안하였다. 그러나 이 또한 실제 조립작업이 진행될 때에는 똑같은 단위 요소 조립특성을 같은 공정일지라도 조립순서에 따라 이미 조립된 타 부품들과의 간섭효과에 의해 작업시간이 달라지게 되므로 큰 실효를 거둘 수가 없었다. 따라서 보다 정확한 작업시간의 예측을 위하여서는 대상 조립품의 조립순서 변화에 따른 조립 간섭 현상을 수학적으로 모델링하여 이를 작업시간으로 환산할 수 있는 새로운 방법이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 이상과 같은 문제점들을 보완하기 위하여 대상 부품 간의 조립현상 및 조립방향을 벡터해석을 이용하여 모델링하고 이를 기초로 하여 실제 부품조립 시 발생할 수 있는 간섭현상을 조립난이도로 산출하는 기법을 검토한다. 이러한 조립난이도의 산출은 계산량이 적고 기하학적 조립구속

조건의 추출이 용이한 분해법⁸에 의한 추론방식을 이용하며, 매 분해단계에서의 대상 부품에 대한 조립난이도의 평가를 위하여 부품의 분해도를 산출하였다(여기서 분해도와 조립난이도는 서로 반비례하게 되며, 즉 분해도가 클수록 조립난이도는 낮아진다). 그리고 앞서 산출된 부품의 분해도와 조립 대상부품의 형상정보를 토대로, 신경회로망을 이용하여 각 조립공정에서의 작업시간을 추정하는 기법을 제안하였다. 이 때 신경회로망의 학습을 위한 기본 정보는 CDP(Compact Disk Player), VTR(Video Tape Recorder) 등의 총 7기종 약 160여개의 부품을 모델로 하였다. 이와 같이 산출된 작업시간과 앞서 수학적으로 모델링된 분해도를 기준으로 하여, 병목현상이 없는 밸런싱된 조립순서를 추론함으로써 전체 조립라인의 Lay-out 설계에 필요한 기초정보를 제공하였다.

본 논문의 구성을 보면 2장에서는 Shin⁹이 제안 하였던 부품의 모델링 기법을 이용하여 부품의 분해도를 산출하고, 3장에서는 산출된 분해도 및 조립형상 정보를 토대로 신경회로망을 이용한 작업시간을 추정하는 기법을 제시한다. 그리고 4장에서는 추론된 작업시간을 이용하여 라인밸런싱을 고려한 조립순서를 추론하는 기법을 제안하고, 이를 CD Generator를 사례로 들어 검증하며, 마지막으로 5장에서는 이들에 대한 결론을 기술한다.

2. 분해도의 산출

2.1 조립품의 모델링

조립품의 모델링(Product modeling)은 조립품의 조립상태를 표현하기 위하여 필요한 특성항목으로 나타낸다. 이때 특성항목은 각 조립부품의 조립방법과 조립방향을 결정할 수 있는 조립 특성정보와 부품간의 기하학적 위치정보를 포함하고 있어야 한다.¹⁰ n개의 부품이 서로 결합되어 이루어진 조립품 A는 n개의 부품의 집합 P와 두 부품간의 연결의 집합 L로 구성되며, A=(P,L)로 나타낸다. 즉, 집합 P와 집합 L은 각기

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\} \quad (1)$$

$$L = \{l_{jk} \mid k=1, 2, 3, \dots, n. \quad j \neq k\} \quad (2)$$

로 표현되며, 원소 l_{jk} 는 부품 p_j 와 부품 p_k 사이의 연결을 의미한다. Fig. 1은 10개의 부품으로 이

루어진 조립품의 예이며 이때 조립방향에 대한 기준좌표는 조립품의 전방을 X, 우측을 Y, 상방을 Z 로 정한다. 연결 l_{jk} 는 부품 p_j 와 부품 p_k 사이의 연결을 의미하며 부품 p_j 를 기준으로 부품 p_k 가 어느 방향에 어떤 방법으로 연결되어 있는지를 접촉연결 C_{jk} 과 삽입연결 F_{jk} 를 사용하여

$$l_{jk} = \text{Liaison}(p_j, C_{jk}, F_{jk}, p_k) \quad (3)$$

로 나타낸다. 여기서 접촉연결 C_{jk} 는 부품 p_j 와 부품 p_k 사이에 q 개의 접촉면이 존재할 때 다음과 같이 모델링 되어진다.

$$C_{jk} = [C_{jk}^i(\theta_i, \phi_i) \mid i=1,2,\dots,q] \quad (4)$$

이 때 C_{jk}^i 는 접촉연결 방법을 나타내며 기하학적 면접촉(pc) 으로 표시하고, (θ_i, ϕ_i) 는 Fig. 2(a) 에 보는 바와 같이 부품 p_j 에 대한 부품 p_k 의 i 번째 접촉면의 법선 벡터로서 \vec{c}_{jk}^i 로 나타낸다. 반면에 삽입연결 F_{jk} 는 다음과 같이 모델링 되어진다.

$$F_{jk} = [f_{jk}(\theta, \phi), m] \quad (5)$$

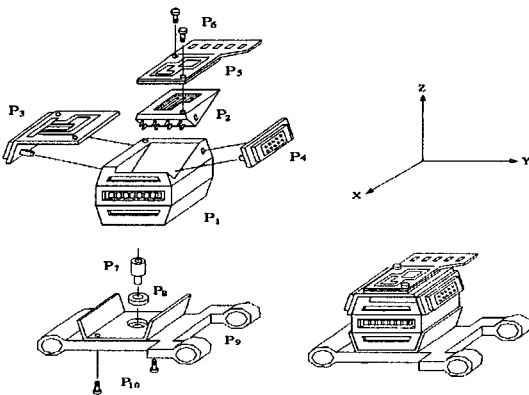


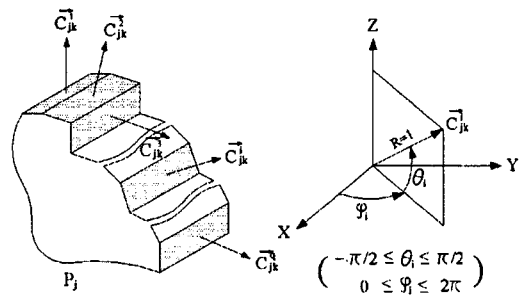
Fig. 1 An Assembly of a CD Generator

이 때 f_{jk} 는 삽입연결의 방법을 나타내며 경사 삽입(tf), 헐거운 삽입(cf), 나사삽입(sw), 강제삽입(pf), 리벳삽입(ri) 등으로 표시하고, (θ, ϕ) 는 Fig. 2(b)에 보는바와 같이 부품 p_j 에 대한 부품 p_k 의 삽입연결 방향으로서 \vec{f}_{jk} 로 나타낸다. 그리고 m 은

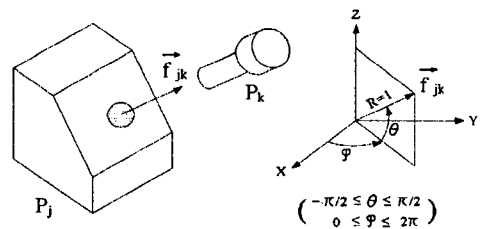
1방향 복수삽입연결을 갖는 경우의 삽입연결의 수를 표시한다.

2.2 분리가능도

조립 대상부품의 분리가능 영역은 모델링된 연결관계 데이터의 접촉 및 삽입방향 값들로부터 산출되어지며 산출된 분리가능 영역 값으로부터 대상 부품에 대한 분리가능도(separability)를 얻을 수 있게 된다.



(a)Definition of the contact connective directions, \vec{C}_{jk}^i



(b)Definition of the fit connective direction, \vec{f}_{jk}

Fig. 2 Connective directions in spherical coordinates

2.2.1 분리가능 영역의 추론

(1) 단위 접촉방향의 분리가능영역 추론

Fig. 3에서 보는 바와 같이 부품 p_k 가 부품 p_j 와 2방향의 접촉연결을 이루고 있다면 부품 p_j 가 갖는 2개의 접촉면은 각각 가상의 부품 p_j^1 과 p_j^2 가 이루는 2개의 단위 접촉면으로 분해될 수 있다. 이와 같이 다방향 접촉면을 갖는 경우의 분리가능 영역(separable directions)은 분해된 개개의 단위 접촉면에 대한 분리가능 영역의 교집합으로 얻을 수 있게 된다.

Fig. 4(a)는 부품 p_k 가 분해된 임의의 가상 부품 p_j^i 에 대하여 접촉면 법선벡터 \vec{c}_{jk}^i 의 방향으로

단위접촉연결을 이루고 있는 예를 보여 준다. 이때 부품 p_k 가 분해된 임의의 가상 부품 p_j^i 로부터 분리될 수 있는 가능한 모든 방향은 Fig. 4(b)에서와 같이 벡터 \overline{SU}_{jk}^i 로 나타낼 수 있는데 이 때 \overline{SU}_{jk}^i 는 가상 부품 p_j^i 의 접촉면상에 놓여진 반구(hemi-sphere)의 표면적 방향으로 진행되는 벡터의 집합이 되며 이를 벡터이론을 이용하여 수학적으로 나타내면 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\overline{C}_{jk}^i \cdot \overline{SU}_{jk}^i \geq 0 \quad (6)$$

즉, \overline{SU}_{jk}^i 와 접촉면에 대한 법선벡터 \overline{C}_{jk}^i 와의 벡터 내적 값이 항상 zero보다 크거나 같은 값을 가져야 하며 이들 \overline{SU}_{jk}^i 의 영역은 Fig. 4(b)에서와 같이 부품 p_j 상에 놓인 반구의 표면적으로 나타낼 수 있다.

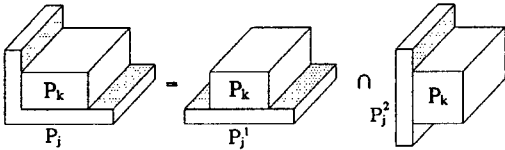


Fig. 3 An example of decomposition of multiple contact connections

(2) 실제 분리가능 영역의 추론

부품과 부품간의 연결은 일반적으로 1방향 이상의 복합연결 관계를 가지며 이와 같이 복합연결 관계를 갖는 부품의 분리가능 영역은 앞 절에서 구한 단위 접촉면에 대한 분리가능 영역들을 중첩함으로써 구할 수 있다. 즉 부품 p_k 가 접촉하고 있는 인접 부품군 p_j 로부터 분리될 수 있는 가능한 모든 방향은 벡터 \overline{S}_{jk} 로 정의하며 이때 \overline{S}_{jk} 를 실제 분리가능방향이라 한다. 이는 식 (7)과 같이 p_k 가 인접 부품군 p_j 와 갖는 모든 단위 접촉면의 분리가능방향 \overline{SU}_{jk}^i 를 AND 연산한 값으로 구해지며 Fig. 5는 본 연산원리를 간단한 예를 들어 보여주고 있다.

$$\overline{S}_{jk} = \bigcap_{i=1}^q \overline{SU}_{jk}^i \quad (7)$$

(q : p_j 와 p_k 간의 모든 접촉법선 방향의 수)

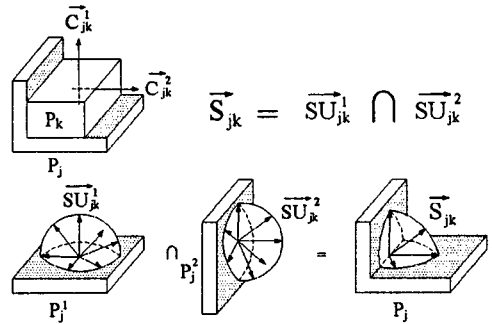


Fig. 4 Unit separable direction, \overline{SU}_{jk}^i for the given contact normal vector, \overline{C}_{jk}^i

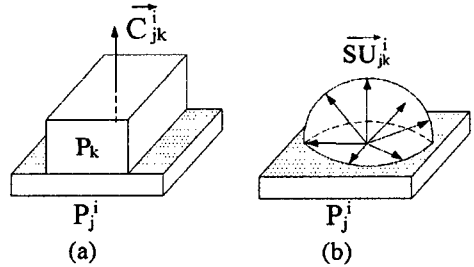


Fig. 5 Principle of the algorithm for extracting admissible separable direction

2.2.2 분리가능도의 정의

임의 대상부품의 분리가능 영역은 모델링된 연결 관계 데이터의 접촉 및 삽입방향 값들로부터 산출되어지며 산출된 분리가능 영역 값으로부터 대상 부품에 대한 분리가능도를 얻을 수 있게 된다. 앞에서 부품 p_k 가 분리될 수 있는 영역을 구(sphere)좌표평면으로 나타내었으며 이를 통하여 mapping된 영역이 클수록 분리가 용이하다는 것을 알 수 있었다. 이때 부품 p_k 가 분리되기 쉬운 정도를 수치화한 것이 부품 p_k 의 분리가능도이며 접촉연결에 대한 분리가능도 $R_{sp}^c(p_k)$ 와 삽입연결에 대한 분리가능도 $R_{sp}^f(p_k)$ 로 각각 정의된다.

$$R_{sp}^c(p_k) = \frac{A_{sp}^c}{\max(A_{sp})} = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \cos\theta \, d\theta \, d\phi}{4\pi} \quad (8)$$

$$R_{sp}^f(p_k) = \frac{r^2}{\max(A_{sp})} = 2.424 \times 10^{-5} \quad (9)$$

여기서 A_{sp}^c 는 접촉연결에 대한 분리가능 면적이다. 또한 r^2 은 삽입연결에 대한 분리가능 면적이며 구 표면적 상의 1개 점을 의미하고 이때 r 은 모델링 입력좌표의 resolution과 일치한다. $\max(A_{sp})$ 는 부품간의 간섭이 전혀 없는 경우, 즉 모든 방향으로 분리가 가능한 상태이며 이때 분리가능 영역은 단위 구(unit sphere)의 전체 표면적 4π 로 나타낼 수 있다.

2.3 분해도의 정의

조립 대상 부품의 조립우선도는 부품의 조립형상과 이미 조립된 베이스 조립체와의 간섭상태 및 조립특성에 따라 결정되어지며 이러한 조립우선도는 분해법에 의한 추론방식에서는 대상부품이 얼마나 쉽게 분해될 수 있는가를 나타내는 분해도(disassemblability)로 표현할 수 있다. 분해 가능한 부품 p_k 의 분해도 $W_d(p_k)$ 는 (1) 대상부품 p_k 가 얼마나 용이하게 분리될 수 있는가를 나타내는 Separability cost, $C_{sp}(p_k)$ 와, (2) 대상부품 p_k 가 분해됨으로써 잔여 조립부품들의 안정도에 미치는 영향을 나타내는 Stability cost, $C_{st}(p_k)$ 와의 관계식으로 나타낼 수 있다. 즉 분해도가 클수록 조립난이도는 낮아지게 된다.

$$W_d(p_k) = \gamma_1 [\alpha C_{sp}(p_k) + (1-\alpha)C_{st}(p_k)] \quad (10)$$

($0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq W_d(p_k), C_{sp}(p_k), C_{st}(p_k) \leq 1$)

$$\gamma_1 = \begin{cases} 0 & \text{if } C_{sp}(p_k) = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 $C_{sp}(p_k)$ 와 $C_{st}(p_k)$ 는 앞장에서 구한 분리가능도 R_{sp} 의 함수로 이루어지며 이에 대한 각각의 정의는 다음과 같다.

2.3.1 Separability cost, $C_{sp}(p_k)$

Separability cost, $C_{sp}(p_k)$ 는 분리가능한 후보부품 p_k 가 현재 조립되어 있는 부품의 집합으로부터 얼마나 용이하게 분리될 수 있는가를 나타낸다. 분리가능한 후보부품 p_k 의 Separability cost, $C_{sp}(p_k)$ 는 후보부품 p_k 의 분리가능도, $R_{sp}(p_k)$ 및 삽입연결의 결합방법¹¹에 대한 인자들의 함수로 정의된다.

$$C_{sp}(p_k) = \gamma_2(R_{sp}^c(p_k) + R_{sp}^f(p_k)) \cdot C_M^m \quad (11)$$

$$\gamma_2 = \begin{cases} 0 & \text{if } R_{sp}(p_k) = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$R_{sp}^c(p_k)$: 부품 p_k 의 접촉연결에 대한 분리가능도

$R_{sp}^f(p_k)$: 부품 p_k 의 삽입연결에 대한 분리가능도

m : 1방향 복수 삽입연결일 경우 삽입연결의 수

C_M : 삽입결합 방법에 따른 분리 용이도 계수

(Table 1 참조)

2.3.2 Stability cost, $C_{st}(p_k)$

Stability cost, $C_{st}(p_k)$ 는 임의의 부품 p_k 가 베이스 조립체 BA_i 로부터 분리될 때 조립 전후에 발생되는 베이스 조립체간의 상대적 안정도이다. 즉 분리가능한 후보부품의 Stability cost, $C_{st}(p_k)$ 는 (1) 임의의 후보부품 p_k 가 분해되기 전, 부품 p_k 를 포함한 베이스 조립체 BA_i 가 갖는 총 불안정도 E_i 와, (2) p_k 가 분해되고 난 후, 베이스 조립체 BA_{i-1} 이 갖는 총 불안정도 E_{i-1} 과의 상대적 안정도로 나타낼 수 있으며 이를 normalizing하기 위해 modified sigmoid 함수¹¹로 수식화하면 다음과 같다.

$$C_{st}(p_k) = \frac{1}{1 + \exp(\Delta E/T)} \quad (12)$$

$$\Delta E = E_{i-1} - E_i \quad (2 \leq i \leq n) \quad (13)$$

$$= \sum_{j=1}^{i-1} R_{sp}(p_j) - \sum_{j=1}^i R_{sp}(p_j)$$

$\sum_{j=1}^{i-1} R_{sp}(p_j)$ 는 p_k 가 분해되고 난 후, 베이스조립체 BA_{i-1} 내의 부품들 중 p_k 와 인접관계를 가졌던 부품 p_j 들의 분리가능도(R_{sp}) 총합이고, $\sum_{j=1}^i R_{sp}(p_j)$ 는 p_k 가 분해되기 전, 베이스 조립체 BA_i 내의 부품들 중 p_k 와 인접관계를 가지고 있는 부품 p_j 들의 분리가능도(R_{sp}) 총합이다.

여기서 T 는 Jig/Fixture의 quality에 비례하는 상수로서 T 의 값이 클수록 ΔE 의 값에 대해 Stability cost, $C_{st}(p_k)$ 가 민감하게 변화하게 된다. 즉 T 값의 증가는 베이스조립체 BA_i 의 불안정도에 대한 가중치를 증가시킴으로써 식 (10)의 분해도에서 Stability cost의 비중을 높이게 된다.

Table 1 Cost for interconnection type, C_M

Type	no fit	tf	cf	sw	pf	ri
C_M	1.0	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01

3. 분해도를 이용한 작업시간의 도출

본 장에서는 앞에서 산출된 부품의 분해도와 조립 대상부품의 형상정보를 토대로, 신경회로망을 이용하여 각 조립공정에서의 작업시간을 추정하는 기법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 기존 조립라인의 작업조건과 작업시간과의 상관관계 pattern을 신경회로망 기법을 통하여 학습시키고 이때 신경회로망의 학습을 위한 기본 정보는 CDP (Compact Disk Player), VTR(Video Tape Recorder) 등의 총 7기종 약 160여개의 부품을 모델로 하였다.

3.1 작업시간의 결정 인자

조립라인에서 작업시간에 직접적인 영향을 주는 인자들을 보면 조립위치의 결정 및 부품 취급시의 난이도 그리고 조립작업 시 발생하는 조립간섭 및 치공구 동작의 복잡도 등을 들 수 있다.¹¹ 이러한 인자들은 주변 조립장치의 작업조건과 작업성능이 이미 결정된 상태에서는 조립 대상품의 조립특성과 조립형상으로부터 가장 큰 영향을 받게 된다. 이때 작업시간은 부품을 취급하는데 필요한 handling 시간과 부품의 조립 시에 필요한 processing 시간의 합으로 이루어지며 이는 부품의 형상을 나타내는 부품의 크기와 질량 그리고 부품의 조립특성을 나타내는 조립난이도(분해도와 반비례)의 함수로 나타낼 수가 있게 된다.

작업시간(WT)

$$\begin{aligned}
 &= \text{handling 시간(HT)} + \text{processing 시간(PT)} \\
 &= f(\text{부품의 크기, 부품의 질량, 분해도}) \\
 &= f(a_1, a_2, a_3) \tag{14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{여기서 } a_1 &= 1 - \exp(-\text{part volume} / f_v) \\
 a_2 &= 1 - \exp(-\text{part weight} / f_w) \\
 a_3 &= 1 - W_d(p_k),
 \end{aligned}$$

$W_d(p_k)$: 분해도, f_v, f_w : normalization factor

식 (14)에서 보는 바와 같이 부품의 크기와 질

량에 대한 인자인 a_1, a_2 는 0에서 1사이의 값을 갖게 하기 위하여 normalizing 시켰다. 이 때 각 조립공정에서의 작업시간은 조립형상에 대한 인자 a_1, a_2 보다는 대상부품의 조립난이도 a_3 에 의해 보다 큰 영향을 받게 되며, 즉 분해도가 크면 클수록 작업이 용이해져 작업시간이 짧아지게 된다. 또한 f_v, f_w 는 적용대상 제품의 형상 및 조립특성에 따라 설계자가 결정하며 보통 평균부피와 평균질량을 취하게 된다.

본 연구에서 신경회로망의 학습표본으로 사용된 대상제품은 CDP(Compact Disk Player) 1기종 및 VTR(Video Tape Recorder) 6기종 등이며, 이중 조립 자동화가 가능한 총 160여개의 부품들로부터 부품의 형상정보 인자 a_1, a_2 및 분해도에 대한 인자를 계산하여 신경회로망의 학습정보로 활용하였다. 이들 부품들에 대한 계산값으로부터 표본 대상품들의 평균부피와 평균질량 값인 f_v 와 f_w 는 다음과 같이 얻을 수 있었다($f_v = 5\text{cm}^3, f_w = 10\text{g}$). 또한 대상부품의 부피 계산 시에는 과도한 계산시간을 줄이기 위하여 CSG(Constructive Solid Geometry) 기법¹²을 이용하여 부품형상의 단순화를 기하였다.

3.2 신경회로망을 이용한 작업시간 추정

신경회로망을 구성하여 운용하는 방법은 크게 학습단계(training stage)와 생산단계(production stage)로 나뉘어지며, 학습단계에서는 일련의 출력패턴이 계산된 후 실제 주어진 출력패턴과의 오차에 따라 각각의 함수에 대한 가중치가 training algorithm에 따라 조절되어 가며 학습이 계속 진행된다. 오차가 허용범위 내에 들어오면 학습이 종료되고 신경회로는 현재 입출력간의 함수관계를 기억한다. 생산단계에서는 위에서 계산된 mapping characteristics를 이용하여 새로 유입된 입력 pattern으로부터 원하는 출력 pattern이 계산된다. 본 연구에서는 기존 제품(CDP, VTR)에 대한 조립형상 및 특성정보로부터 얻어진 대상 부품들의 형상 및 조립 난이도 인자 a_1, a_2, a_3 등을 입력 pattern으로 하고, 각 경우에 해당하는 실제 작업시간을 출력 pattern으로 하여 신경회로망의 관계오차가 줄어드는 방향으로 mapping했다. 이렇게 학습단계가 끝나면 신경회로망의 각 node에는 고유의 weight가 최종적으로 결정되며, 이는 컴퓨터의 기억장치에 기억된다. 생산단계에서는 실제 대상 조립부품의 부피 및 질량에 대한 인자 a_1, a_2 와 조립 난이도에 대한 인자 a_3 를

입력함으로써 각 조립공정상에서 필요로 하는 작업 시간(WT)을 추정하였다. 그리고 입출력 pattern에 대한 학습기법은 학습단계에서 오차가 줄어드는 방향으로 반복학습이 가능한 generalized delta rule¹³을 사용하였다.

본 연구에서는 Fig. 1의 콤팩트 디스크 카세트 데크용 레이저 발생기를 대상제품으로 하여 작업시간 추정 과정을 검토하였다. 본 대상제품은 총 10개의 부품으로 구성되어 있으며, 신경회로망의 학습단계에서 사용하였던 CDP 그룹 내 타모델로서 그 중 일부분인 부조립체이다. 이때 추정된 작업시간의 결과를 보면 조립 난이도 인자 a_3 로부터 가장 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있었고 이로 인해 조립순서의 변화에 따라 다양한 결과치가 도출되었다. 이에 대한 도출결과는 다음 장의 조립순서 추론 결과에서 함께 다루기로 하겠다.

4. 작업시간을 고려한 조립순서의 추론

공정 lay-out을 결정하기 위해서는 먼저 조립대상 부품의 조립형태 및 조립특성을 분석하여 이에 대한 적절한 조립순서의 결정이 선결되어야 한다. 즉 조립공정의 순서에 따라서 조립공정의 난이도, 고정구의 복잡도 그리고 불량품의 발생을 및 생산

량 등이 직·간접으로 영향을 받게 되고 이에 따라 제품의 생산단가가 좌우되기 때문이다. 본 논문에서는 매 분해 단계마다 분해가 가장 용이한 최적조건의 부품을 구하기 위하여 2장에서 separability cost와 stability cost를 고려한 분해도를 산출하였다. 또한 3장에서는 산출된 분해도와 조립 대상부품의 형상정보를 토대로, 신경회로망을 이용하여 각 조립공정에서의 소요 작업시간을 추정하였고 본 4장에서는 산출된 분해도와 작업시간을 토대로 공정 lay-out의 효율 및 생산성에 큰 영향을 주는 라인밸런싱을 고려한 조립순서를 추론하고자 한다.

이를 위하여 각 작업 Cell에서의 제한 작업시간 (limit cycle time)이 주어지면 기준 시간 내에 묶을 수 있는 부품들 중 가장 큰 값의 분해도를 갖는 부품을 분해대상 부품으로 선정하였다. 이때 가장 큰 분해도를 가지는 부품이라 할지라도 그 부품을 분해함으로써 주어진 제한 작업시간을 초과하게 될 때에는 분해대상 부품에서 제외되게 된다. 분해도 및 라인밸런싱을 고려하여 조립순서를 추론하는 알고리즘을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

<step 1> 주어진 조립품 A에 대한 n개의 구성 부품 중에서 separability cost, $C_{sp}(P_k) > 0$ 인 분해 가능한 후보부품들을 선정한다.

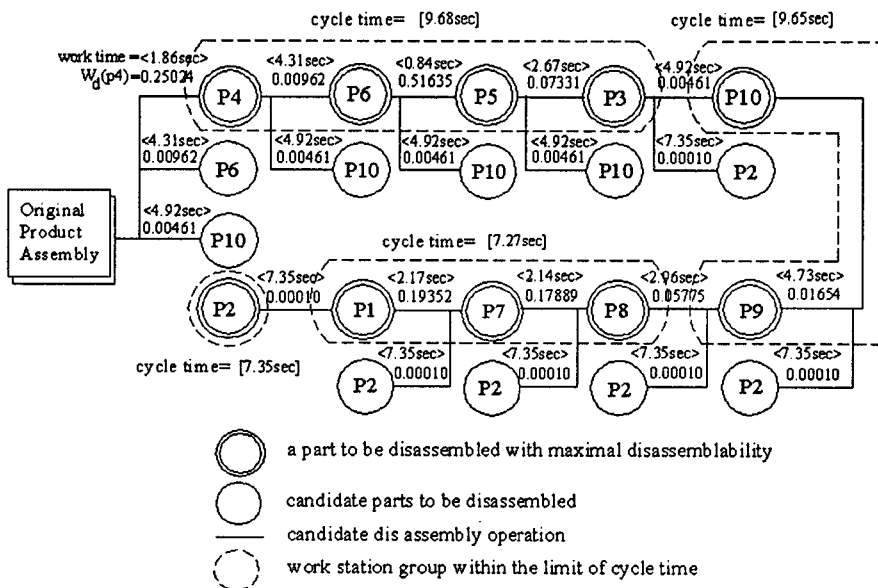


Fig. 6 Hierarchical disassembly partial order diagram considering only disassemblability

<step 2> 분해 가능한 후보부품 중 주어진 제한 작업시간(limit cycle time)내에서 분해도, $W_d(P_k)$ 의 값이 가장 큰 부품을 선정하여 분해한다. 분해 후 부품의 개수 i 는 $n-1$ 이 된다.

<step 3> i 개의 부품으로 구성된 베이스 조립체 BA_i 의 구성 부품 중에서 분해도 $W_d(P_k) > 0$ 인 분해 가능한 후보부품들을 선정한다.

<step 4> 분해 가능한 후보부품 중 주어진 제한 작업시간(limit cycle time)내에서 분해도, $W_d(P_k)$ 의 값이 가장 큰 부품을 선정하여 분해한다. 분해 후 부품의 개수 $I = i-1$ 이 되고 이때 $i > 1$ 이면 step 3으로 돌아간다.

<step 5> 부품의 개수가 $i=1$ 이 되면 마지막 남은 부품이 분해되고 최종적으로 대상조립품의 조립순서는 위에서 구한 분해순서의 역순이 된다.

본 장에서는 앞장에서 제시한 Fig. 1의 콤팩트 디스크 카세트 테크용 레이저 발생기를 대상제품으로 하여 위에서 제시한 라인밸런싱을 고려한 조립순서 추론알고리즘에 대하여 적용성을 검토하였다. 라인밸런싱 효율을 수치적으로 검증하는 이론은 balance delay 계산기법¹⁴을 이용하였으며 이때 balance delay를 d 라고 하면 이를 백분율로 구하는 식은 다음과 같다.

$$d = \frac{nT_c - T_{wc}}{nT_c} \times 100 (\%) \quad (15)$$

여기서 T_c : 제한 작업시간 (limit cycle time)
 T_{wc} : 총 작업시간
 n : 그룹핑될 수 있는 cell의 수

식 (15)에서 알 수 있듯이 balanced delay, d 의 값이 작을수록 각 조립 cell에서의 idle time은 줄어들게 되며 따라서 해당 조립라인은 라인밸런싱 효율이 보다 좋은 lay-out을 이루게 된다.

Fig. 6은 라인 밸런싱을 고려하지 않은 경우의 분해순서도이며 매 분해단계에서 분해가능 부품 중 분해도가 가장 큰 부품을 우선으로 분해한 결과이다. 이렇게 하여 추론된 분해순서는 P4-P6-P5-P3-P10-P9-P8-P7-P1-P2의 순이 되고 조립순서는 분해순서의 역순인 P2-P1-P7-P8-P9-P10-P3-P5-P6-P4 이 된다. 이 때 제한 작업시간, T_c 를 12sec로 주었을 경우 그룹핑되는 총 작업 cell의 수, n 은 4개가 되고 전체 조립라인의 작업시간, T_{wc} 는 33.95sec가 되며 이 경우의 balance delay, d 는 식 (15)으로부터 29% 라는 결과를 얻는다.

그러나 실제 조립작업 시에는 시스템의 idle

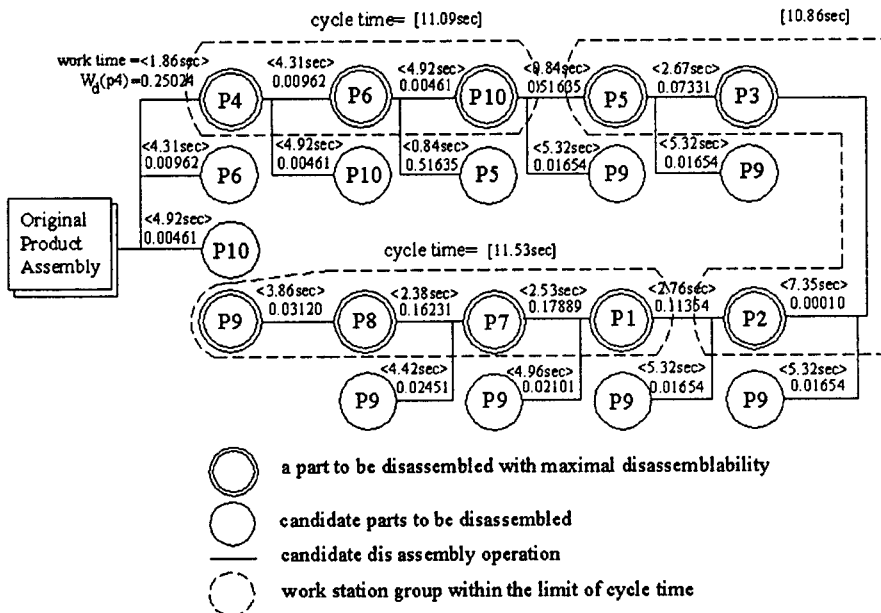


Fig. 7 Hierarchical disassembly partial order diagram considering line balancing

time을 줄이고 병목현상을 피하기 위해서 라인 밸런싱을 고려해야 한다. Fig. 7은 산출된 작업시간을 토대로 라인밸런싱을 고려하여 추론된 분해순서도이다. 그림에서 보는 바와 같이 분해순서는 P4-P6-P10-P5-P3-P2-P1-P7-P8-P9의 순이 되고 조립순서는 분해순서의 역순인 P9-P8-P7-P1-P2-P3-P5-P10-P6-P4이 된다. 라인 밸런싱을 고려하지 않은 경우와는 달리 제한 조립 작업시간, T_c 가 12sec인 동일 조건 하에서도 그룹핑되는 총 작업 cell의 수, n 은 3개가 되고 전체 조립라인의 작업시간, T_{wc} 는 33.48sec가 되며 이 경우의 balance delay, d 는 식 (15)으로부터 7% 라는 결과를 얻었다. 이와 같이 본 연구에서 제안한 라인 밸런싱을 고려한 조립순서 추론기법을 활용함으로써 실제 조립라인의 lay-out 설계 시 시스템의 idle time을 줄이고 병목현상을 피할 수 있는 등, 팔목할만한 생산성 향상을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

5. 결 론

실제 조립작업이 진행될 때에는 똑 같은 단위 요소 조립특성을 같은 공정일지라도 조립순서에 따라 이미 조립된 타 부품들과의 간섭효과에 의해 시간이 달라지게 된다. 따라서 보다 정확한 작업시간의 예측을 위하여서는 대상 조립품의 조립순서 변화에 따른 조립간섭 현상을 수학적으로 모델링하여 이를 작업시간으로 환산할 수 있는 새로운 방법이 필요하였다. 이를 위하여 먼저 대상부품의 모델링 기법과 이를 이용한 분해도 산출 기법에 대해 기술하였고, 추론된 분해도와 부품의 형상정보로부터 신경회로망을 이용하여 대상조립품의 작업시간을 도출하였다. 이때 신경회로망의 학습을 위한 기본 정보는 CDP(Compact Disk Player), VTR(Video Tape Recorder) 등의 총 7기종 약 160여개의 부품을 모델로 하였다. 이와 같이 조립대상 부품의 조립특성 및 형상정보만을 가지고 각 조립공정에서의 작업시간 산출이 가능하게 됨에 따라 실제 조립시스템 설치 이전에 사전 simulation을 통한 작업계획 및 생산계획 수립의 가능성을 제시하였다. 또한 산출된 작업시간을 기 준으로 라인밸런싱을 고려한 조립순서를 추론함으로써 전체 조립라인에 대한 lay-out 설계의 기본 정보를 제공할 수 있게 하였다.

참고 문헌

1. Park, T. H. and Lee, B. H., "An Approach to Robot Motion Analysis and Planning," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, sacramento, CA, pp. 70-75, 1991.
2. Maekawa, H., Yokoi, K., Tanie, K. and Kaneko, M., "Position/Stiffness based Manipulation by Three-fingered Robot Hand," Proceedings of ISART, March 5-7, pp. 597-603, 1991.
3. Wilhelm, W. E., "Conveyor Tracking," Int. Encyclopedia of Robotics: Applications and Automation, R.C. Dorf, Ed., New York: John Wiley & Sons, Inc., pp. 283-298, 1988.
4. Huang, Y. F. and Lee, C. S. G., "A Framework of Knowledge-based Assembly Planning," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, sacramento, CA, pp. 599-604, 1991.
5. Sharp, W. I., "Assembly Line Balancing Techniques," Technical Paper Ms77-313, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Mich, 1977.
6. Lee, M. K. and Lee, S. J., "Dynamic Programming Algorithms for Scheduling Jobs with Sequence-Dependant Processing Times," Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 24, No. 3, pp. 431-440, 1998.
7. Kang, J. K. and Lee, D. H., "Optimal Disassembly Sequencing with Sequence-Dependant Operation Times Based on the Directed Graph of Assembly States," Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 28, No. 3, pp. 264-273, 2002.
8. Delchambre, A., "CAD Method for industrial Assembly," John Wiley & Sons, Inc., 1996.
9. Shin, C. K. and Cho, H. S., "On The Generation of Robotic Assembly planning based on Separability and Assembly Motion Stability," Robotica, Vol. 12, No. 1, pp. 7-15, 1994.
10. Cho, D. Y. and Cho, H. S., "Inference on Robotic Assembly Precedence Constraints Using Part Contact Level Graph," Robotica, Vol. 11, No. 1, pp. 173-183, 1993.
11. Lee, S. H., "Assembly Planning based on

- Subassembly Extraction," IEEE Transaction on Robotics and Automation, Special Issue on Manufacturing Systems: Design, Planning, Scheduling and Real-Time Control, pp.1-30, 1990.
12. Delchambre, A., "A Pragmatic Approach to Computer-Aided Assembly Planning," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1600-1605, 1990.
 13. Pao, Y. H., "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks," Addison wisely Publishing Company, Inc. N.Y., 1989.
 14. Mikell, P. G., "Automation, Production Systems and Computer Integarted Manufacturing," Prentice-Hall International. Inc., pp.143-149, 1987.