

분해도 및 조립형상 정보를 이용한 작업시간 산정에 관한 연구

신철균[†]

한국외국어대학교 산업경영공학부

Automatic Work Time Evaluation Based on a Verification of Disassemblability and Assembly Configuration

Chul Kyun Shin

Visiting Professor in industrial Management & System Engineering of HUFs

This paper presents a method of an automatic work time evaluation based on the verification of a disassemblability and assembly configuration. Even though a work time evaluation is an important field of concern for planning assembly lay-out, there are some limitations using cumbersome user query or approximated work time data without considering assembly condition. To overcome such restriction, this paper presents a method to mathematically verify assembly conditions based on the disassemblability, which is 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 method provides an effective means of solving the work time evaluation 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.

Keywords: Work Time, Disassemblability, Assembly Configuration, Neural Networks

1. 서론

신규 조립라인의 설계나 또는 기존 조립라인의 개선작업시, 라인의 생산효율을 높이기 위해서는 사전에 치밀한 작업계획 및 생산계획이 수립되어야 한다. 이를 위해서는 조립로봇, 조립기구, 이송시스템 그리고 조립 치공구 등의 주변 장치선정에 필요한 사전조사가 필요하다. 그러나 이러한 사전조사가 이루어졌다 하더라도 각 조립공정에서 소요되는 작업시간을 예측할 수 없다면 병목현상의 발생을 피할 수 없으며, 이와 같은 현상을 극복하기 위해서는 여러 차례의 Lay-out 재편 과정을 거쳐야 하는 불합리점을 내포하게 된다.

지금까지 조립라인의 최적설계를 위한 많은 연구들이 진행

되어 왔지만 이는 소요되는 작업시간이 일단 주어졌다고 가정하고, 전체 라인의 균형을 맞추는데 초점을 두어 왔다. 그러나 이러한 방식은 일단 조립라인이 설치된 후 작업시간을 직접 측정하여 얻을 수 밖에 없었다. 이러한 취약점을 극복하기 위하여 Sharp(1977)는 단위 요소 조립작업에 대한 사전정보를 데이터화 하여 작업시간을 사전 예측하는 방법을 제안하였고, Lee(1998)와 Kang(2002)은 시간 데이터를 바탕으로 작업시간이 순서 의존적일 경우의 동적분석과 조립계획법에 대한 기법을 제안하였다. 그러나 이 또한 같은 단위 요소의 조립특성을 가질지라도 타 부품들과의 조립특성 및 간섭현상에 의해 실제 작업시간이 현저하게 달라지므로 큰 실효를 거둘 수가 없었다. 따라서 보다 정확한 작업시간의 예측을 위하여서는 주변

[†] 연락처 : 신철균, 449-791 경기도 용인시 처인구 모현면 왕산리 산89 한국외국어대학교 산업경영공학부, Tel : 018-217-1419, Fax : 02-518-0159
E-mail : shinphd@freechal.com

2007년 03월 접수; 2007년 05월 수정본 접수; 2007년 07월 게재 확정.

조립품과의 조립특성 및 간섭현상을 수학적으로 모델링하여 이를 작업시간으로 환산할 수 있는 새로운 방법이 필요하게 되었다.

작업시간에 직접적인 영향을 주는 인자들을 보면 대상 조립품의 조립특성 및 간섭현상, 그리고 부품의 모양/크기/무게/치공구의 동특성 외에 여러 요소들이 사전에 고려되어야 하나, 주변 조립장치가 이미 결정된 상태에서는 작업시간이 조립 대상품의 조립형상과 조립특성으로부터 가장 큰 영향을 받게 된다(Lee, 1990). 따라서 본 논문에서는 부품의 크기와 질량을 조립형상 함수로 나타내고 또한 조립특성 및 간섭현상을 조립난이도의 함수로 도출하는 기법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 대상 부품간의 조립형상 및 조립방향을 벡터해석을 이용하여 모델링하고 이를 기초로 하여 실제 부품조립시 발생할 수 있는 간섭현상을 조립난이도로 산출하는 기법을 검토한다. 이러한 조립난이도의 산출은 계산량이 적고 기하학적 조립구속 조건의 추출이 용이한 분해법(Delchambre, 1996)에 의한 추론방식을 이용하며, 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 대상 부품의 형상정보를 토대로, 신경회로망을 이용하여 각 조립공정에서의 작업시간을 추정하는 기법을 제안하였다. 이때 신경회로망의 학습을 위한 기본 정보는 CDP(Compact Disk Player), VTR(Video Tape Recorder) 등의 총 7기종 약 160여개의 부품을 모델로 하였으며, 이를 실제 조립라인에서 획득한 작업시간과의 비교 분석을 통하여 제안된 기법의 신뢰성을 검증하여 보았다. 본 논문의 구성을 보면 제 2장에서는 Shin(1994)이 제안하였던 부품의 모델링 기법을 이용하여 부품의 분해도를 산출하고, 제 3장에서는 산출된 분해도 및 조립형상 정보를 토대로 신경회로망을 이용한 작업시간을 추정하는 기법을 제시하고, 이를 CD Generator를 사례로 들어 검증한다. 마지막으로 제 4장에서는 이들에 대한 결론을 기술하기로 하겠다.

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(Cho, 1993). 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

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

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

로 표현되며, 원소 l_{ik} 는 부품 p_j 와 부품 p_k 사이의 연결을 의미한다. <Figure 1>은 10개의 부품으로 이루어진 조립품의 예이며 이때 조립방향에 대한 기준좌표는 조립품의 전방을 X, 우측을 Y, 상방을 Z로 정한다. 연결 l_{ik} 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

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

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

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

이때 c_{jk}^i 는 접촉연결 방법을 나타내며 기하학적 면접촉(pc)으로 표시하고, (θ_i, ϕ_i) 는 <Figure 2(a)>에 보는 바와 같이 부품 p_j 에 대한 부품 p_k 의 i번째 접촉면의 법선 벡터로서 \bar{c}_{jk}^i 로 나타낸다. 반면에 삽입연결 F_{jk} 는 다음과 같이 모델링 되어진다.

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

이때 f_{jk} 는 삽입연결의 방법을 나타내며 경사삽입(tf), 힐거운삽입(cf), 나사삽입(sw), 강제삽입(pf), 리벳삽입(ri) 등으로 표시하고, (θ, ϕ) 는 <Figure 2(b)>에 보는바와 같이 부품 p_j 에 대한 부품 p_k 의 삽입연결 방향으로서 \bar{f}_{jk} 로 나타낸다. 그리고 m은 1방향 복수삽입연결을 갖는 경우의 삽입연결의 수를 표시한다.

2.2 분리가능도

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

2.2.1 분리가능 영역의 추론

(1) 단위 접촉방향의 분리가능영역 추론

<Figure 3>에서 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.

<Figure 4(a)>는 부품 p_k 가 분해된 임의의 가상 부품 p_j^i 에 대

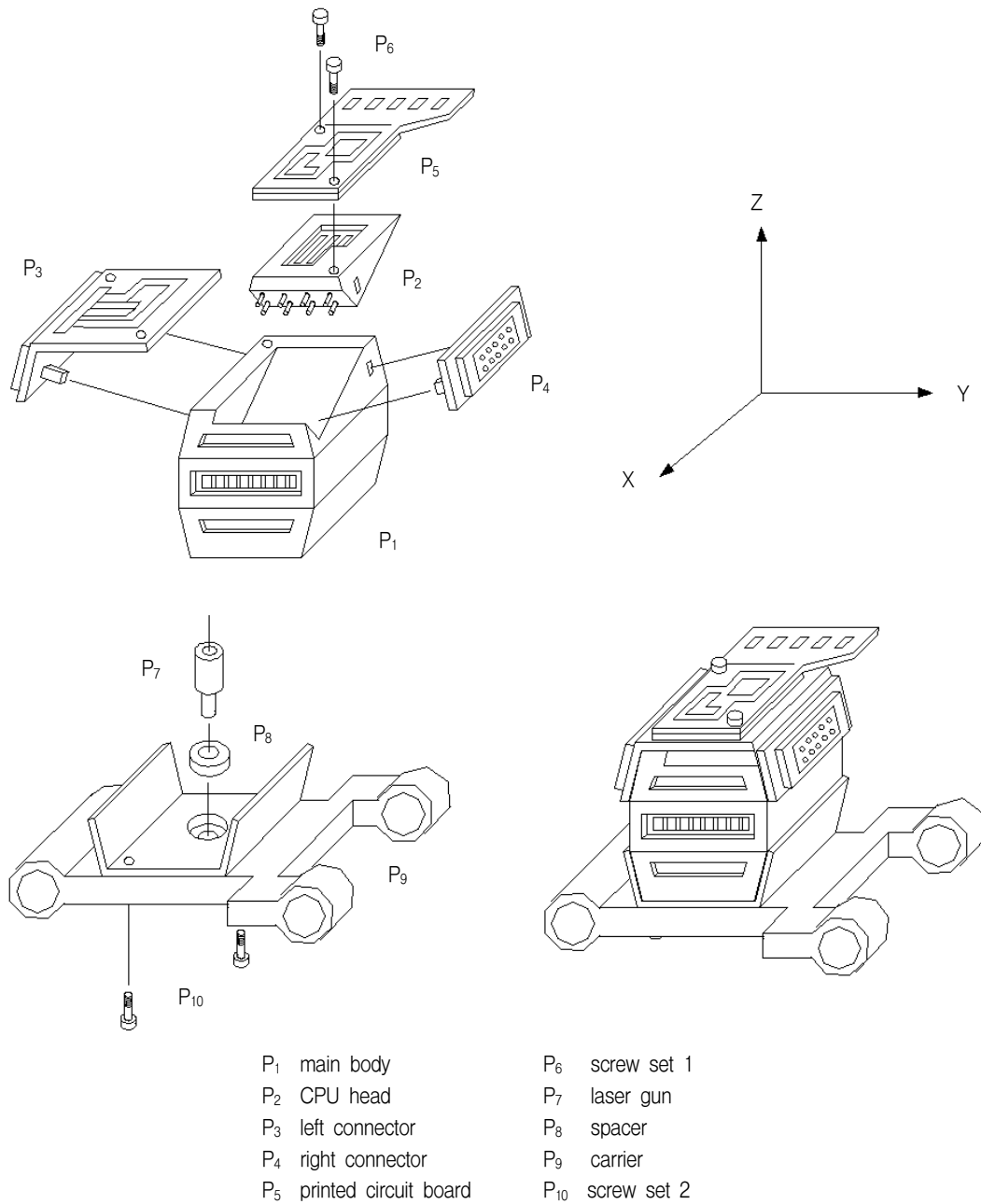


Figure 1. An Assembly of a CD Generator

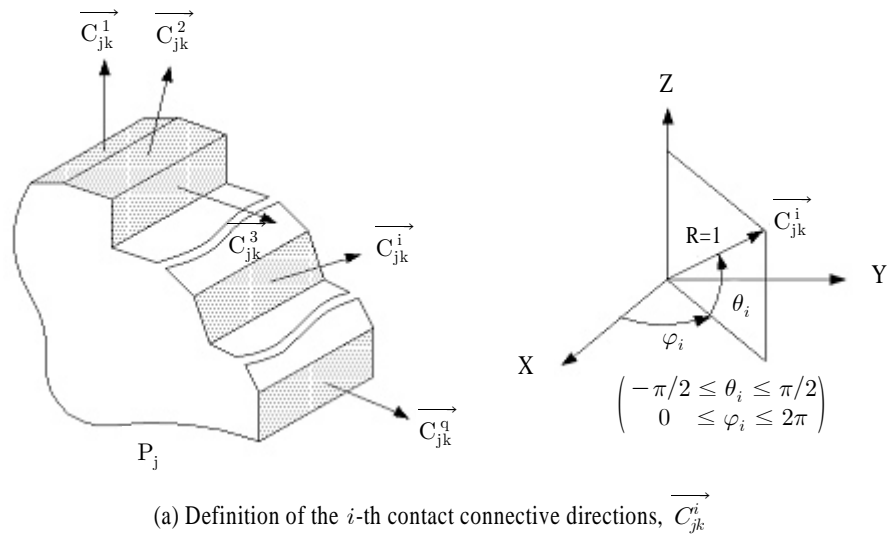
하여 접촉면 법선벡터 $\overline{c_{jk}^i}$ 의 방향으로 단위접촉연결을 이루고 있는 예를 보여 준다. 이때 부품 p_k 가 p_j^i 로부터 분리될 수 있는 가능한 모든 방향은 <Figure 4(b)>에서와 같이 벡터 $\overline{SU_{jk}^i}$ 로 나타낼 수 있는데 이때 $\overline{SU_{jk}^i}$ 는 가상 부품 p_j^i 의 접촉면상에 놓여진 반구(hemi-sphere)의 표면적 방향으로 진행되는 벡터의 집합이 된다. 이를 벡터의 내적을 구하는 공식을 이용하여 수학적으로 나타내면 다음과 같은 관계를 갖는다($\overline{c_{jk}^i}$ 와 $\overline{SU_{jk}^i}$ 가 수직일 때 내적값은 0, $\overline{c_{jk}^i}$ 와 $\overline{SU_{jk}^i}$ 가 평행일 때 내적값은 1).

$$\overline{c_{jk}^i} \cdot \overline{SU_{jk}^i} \geq 0 \tag{6}$$

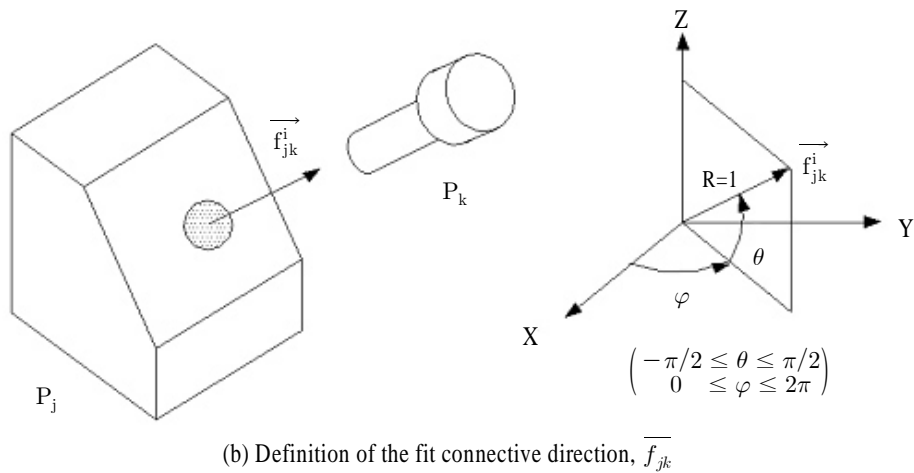
즉, $\overline{SU_{jk}^i}$ 와 접촉면에 대한 법선벡터 $\overline{c_{jk}^i}$ 와의 벡터 내적값이 항상 zero보다 크거나 같은 값을 가져야 하며 이들 $\overline{SU_{jk}^i}$ 의 영역은 <Figure 4(b)>에서와 같이 부품 p_j 상에 놓인 반구의 표면적으로 나타낼 수 있다.

(2) 실제 분리가능 영역의 추론

부품과 부품간의 연결은 일반적으로 1방향 이상의 복합연



(a) Definition of the i -th contact connective directions, $\overrightarrow{C}_{jk}^i$



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

Figure 2. Connective directions in spherical coordinates

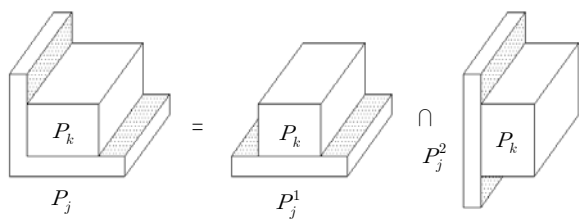


Figure 3. An example of decomposition of multiple contact connections

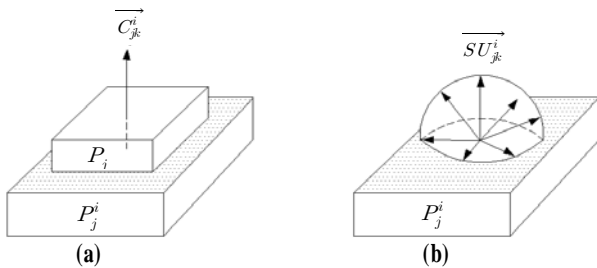


Figure 4. Unit separable direction, $\overrightarrow{SU}_{jk}^i$ for the given contact normal vector, $\overrightarrow{C}_{jk}^i$

결관계를 가지며 이와 같이 복합연결관계를 갖는 부품의 분리 가능한 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 \overrightarrow{S}_{jk} 로 정의하며 이때 \overrightarrow{S}_{jk} 를 실제 분리가능방향이라 한다. 이는 식 (7)과 같이 p_k 가 인접 부품군 p_j 와 갖는 모든 단위 접촉면의 분리가능방향 $\overrightarrow{SU}_{jk}^i$ 를 AND 연산한 값으로 구해지며 <Figure 5>는 본 연산원리를 간단한 예를 들어 보여주고 있다.

$$\overrightarrow{S}_{jk} = \bigcap_{i=1}^q \overrightarrow{SU}_{jk}^i \tag{7}$$

(q : p_j 와 p_k 간의 모든 접촉법선 방향의 수)

2.2.2 분리가능도의 정의

임의 대상부품의 분리가능 영역은 모델링된 연결관계 데이터의 접촉 및 삽입방향 값들로부터 산출되어지며 산출된 분리

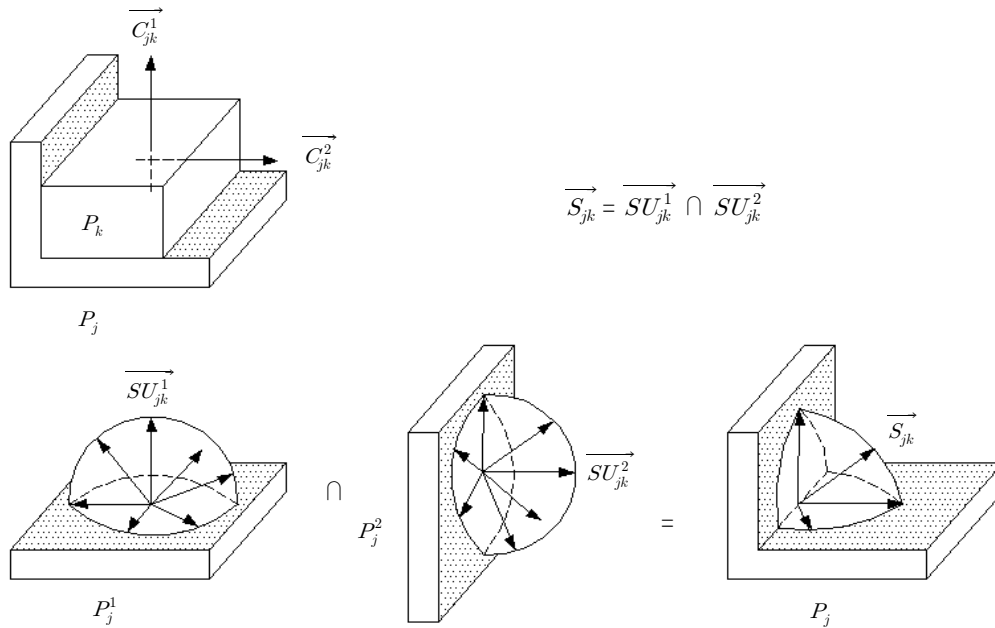


Figure 5. Principle of the algorithm for extracting admissible separable direction

가능 영역값으로부터 대상부품에 대한 분리가능도를 얻을 수 있게 된다. 앞 장에서 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 대상부품의 조립우선도는 부품의 조립형상과 이미 조립된 베이스조립체와의 간섭상태 및 조립특성에 따라 결정되어지며 이러한 조립우선도는 분해법에 의한 추론방식에서는 대상부품이 얼마나 쉽게 분해될 수 있는가를 나타내는 분해도

(disassemblability)로 표현할 수 있다. 즉 분해도가 크다는 것은 대상부품이 간섭없이 쉽게 분해될 뿐만 아니라 동시에 남은 잔여 조립체의 안정도에도 큰 영향을 주지 않음을 의미한다. 따라서 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.

$$W_d(p_k) = r_1[\alpha C_{sp}(p_k) + (1-\alpha) C_{st}(p_k)] \quad (10)$$

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

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

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 조립체부터 얼마나 용이하게 분리될 수 있는가를 나타낸다. 즉 Separability cost가 크다는 것은 분리 가능영역이 넓고 연결방법이 상대적으로 견고하지 않아 쉽게 분리됨을 의미한다. 따라서 분리가능한 후보부품 p_k 의 Separability cost, $C_{sp}(p_k)$ 는 후보부품 p_k 의 분리가능도, $R_{sp}(p_k)$ 및 부품간 연결의 결합방법(Lee, 1990)에 대한 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 : 결합 방법에 따른 분리 용이도 계수

Table 1. Cost for interconnection type, C_M

Type	No fit	taper fit	clearance fit	screw fit	pressure fit	rivet fit
C_M	1.0	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01

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

Stability cost, $C_{st}(p_k)$ 는 임의의 부품 p_k 가 베이스조립체 BA_i 로부터 분리될 때 조립 전후에 발생하는 베이스조립체간의 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 베이스조립체 BA_i 가 갖는 총 불안정도 E_i 와, (2) p_k 가 분해되고 난 후, 베이스조립체 BA_{i-1} 이 갖는 총 불안정도 E_{i-1} 과의 상대적 안정도로 나타낼 수 있으며 이를 normalizing 하기 위해 modified sigmoid 함수로 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, 베이스조립체 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 높게 된다.

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

일반적으로 작업시간은 부품을 취급하는데 필요한 handling 시간과 실제 조립시에 필요한 processing 시간의 합으로 이루어진다. 이들 작업시간에 직접적인 영향을 주는 인자들을 보면 (1)부품의 크기/무게 등을 나타내는 조립형상 함수와 (2)대상 조립품의 조립특성 및 간섭현상 등을 나타내는 조립특성 함수로 구성되며(Lee, 1990), 이 때 조립특성 함수는 앞 장에서 구한 분해도의 함수로 나타낼 수 있다.

작업시간(WT)

$$= \text{handling 시간(HT)} + \text{processing 시간(PT)}$$

$$= f(\text{조립형상 함수, 조립특성 함수})$$

$$= f(\text{부품의 크기, 부품의 질량, 분해도})$$

$$= f(a_1, a_2, a_3) \quad (14)$$

여기서 $a_1 = 1 - \exp(-\text{part volume}/f_v)$

$$a_2 = 1 - \exp(-\text{part weight}/f_w)$$

$$a_3 = 1 - W_d(p_k),$$

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

식 (14)에서 보는 바와 같이 부품의 크기와 질량에 대한 인자 a_1, a_2 는 0에서 1사이의 값을 갖게 하기 위하여 normalizing 시켰다. 이때 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 평균질량값을 취하게 된다.

본 연구에서 신경회로망의 학습표본으로 사용된 대상제품은 CDP(Compact Disk Player) 1기종 및 VTR(Video Tape Recorder) 6기종 등이며, 이중 조립자동화가 가능한 총 160여개의 부품들로부터 부품의 형상정보 인자 a_1, a_2 및 분해도에 대한 인자를 계산하여 신경회로망의 학습정보로 활용하였다. 이들 부품들에 대한 계산값으로부터 표본 대상제품들의 평균부피와 평균질량값인 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 계산시에는 과도한 계산시간을 줄이기 위하여 CSG(Constructive Solid Geometry) 기법(Delchambre, 1988, 1990)을 이용하여 부품형상의 단순화를

기하였다.

3.2 신경회로망을 이용한 작업시간 추론학습

신경회로망을 구성하여 운용하는 방법은 크게 학습단계(training stage)와 생산단계(production stage)로 나누어진다. 본 연구에서는 기존 제품(CDP, VTR)에 대한 조립형상 및 특성정보로부터 얻어진 대상 부품들의 조립형상 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 학습단계를 mapping 했다(<Figure 6> 참조). 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 작업시간(WT)을 추정하였다. 그리고 입출력 pattern에 대한 학습기법은 학습단계

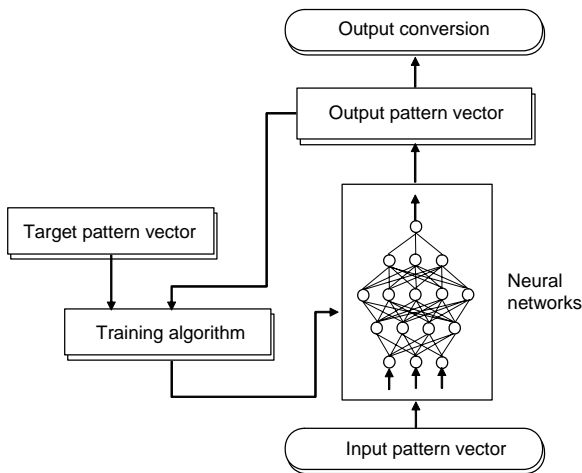


Figure 6. Block diagram of the training and estimation procedure for assembly work time using neural networks

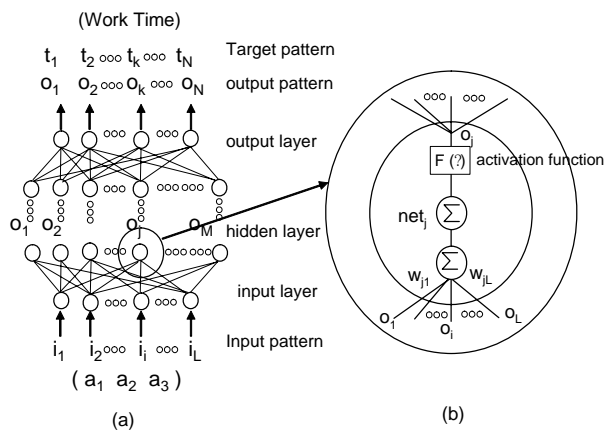


Figure 7. Schematic diagram of neural networks estimator

에서 오차가 줄어드는 방향으로 반복학습이 가능한 generalized delta rule(Pao, 1989)을 사용하였다.

신경회로망은 <Figure 7(a)>에 표시된 것처럼 layer내에 배열된 수많은 node들로 구성된다. <Figure 7(b)>에서 볼 수 있는 바와 같이 입력 layer의 node를 제외하고는 모든 node로의 입력은 전단계 node출력의 가중치 합임을 알 수 있다. j layer의 어떤 node에 유입되는 net 입력은

$$net_j = \sum W_{ji} O_i \quad (15)$$

여기서, W_{ji} 는 i layer 사이의 가중치이다. j node의 출력은

$$O_j = f(net_j) \quad (16)$$

여기서 f 는 activation function이다. 본 연구에서 사용된 activation function은 sigmoid function이다. 일반적으로 학습도중 생성된 출력 vector $\{O_{pk}\}$ 와 원하는 출력 vector $\{t_{pk}\}$ 와의 사이에 학습오차가 발생 하는데 이는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_N (t_{pk} - O_{pk})^2 \quad (17)$$

여기서, N 은 출력 Pattern의 갯수이다. Training algorithm인 Generalized Delta Rule은 각 pattern 학습에서의 오차 E_p 가 가장 빠르게 감소되도록 가중치 증가량 ΔW_{kj} 를 변화시키는데, 수렴성을 보장하기 위하여 보통 다음과 같이 learning rate, η 를 도입한다.

$$\Delta W_{kj} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial W_{kj}} \quad (18)$$

그리고 다음과 같이 δ_k 와 ΔW_{kj} 를 정의한다.

$$\delta_k = -\frac{\partial E}{\partial net_k} \quad (19)$$

$$\Delta W_{kj} = \eta \delta_k O_j \quad (20)$$

각각의 pattern에서 식 (20)에 의해 가중치 증가량이 계산된다. 이때 iteration을 수행시 식 (18)의 learning rate, η 가 크면 학습이 신속히 이루어지나 진동을 수반하게 되므로 이를 방지하고자 momentum rate, α 를 도입하면 다음과 같다.

$$\Delta W_{ji}(n+1) = \eta(\delta_j O_j) + \alpha \Delta W_{ji}(n) \quad (21)$$

여기서 n 은 반복계산회수를 의미한다.

본 연구의 계산과정에서 최적치로 선정되어 사용된 식 (21)의 파라미터는 다음과 같다.

Learning rate, $\eta = 0.6$
 Momentum rate, $\alpha = 0.3$
 Number of hidden layer = 3
 Number of node in hidden layer 1 = 4
 Number of node in hidden layer 2 = 5
 Number of node in hidden layer 3 = 3
 Number of maximum iteration = 100,000
 Maximum total error = 0.00001

이상의 과정을 거쳐서 신경회로망의 학습단계가 종료되면 최종적으로 실제 구하고자 하는 대상 조립부품의 부피 및 질량에 대한 인자 a_1 , a_2 와 조립 난이도에 대한 인자 a_3 를 입력함으로써 각 조립공정상에서 필요로 하는 조립 작업시간을 곧바로 추정할 수 있다. 이때 <Table 2>에서 보듯이 작업시간에 영향을 주는 3개의 결정인자 a_1 , a_2 , a_3 중 조립 난이도 인자 a_3 가 87%의 비율로 작업시간의 결정에 가장 큰 영향을 주고 있다. 즉 본 논문에서 정의한 분해도 $W_d(p_k)$ 가 조립작업 시간을 산정하는 결정적 인자가 됨을 알 수 있다.

Table 2. Affective ratio for determining work time

작업시간 결정인자	부품의 크기 (a_1)	부품의 질량 (a_2)	분해도 (a_3)
Affective ratio	9%	4%	87%

3.3 작업시간의 산정

본 연구에서는 <Figure 1>의 콤팩트 디스크 카세트 테크용 레이저 발생기를 대상제품으로 하여 신경회로망기법을 이용한 조립 작업시간 산정 과정을 검토하였다. 10개의 부품으로 구성된 대상제품은 실제 조립라인에서는 P9-P8-P7-P1-P2-P3-P5-P10-P6-P4의 순서로 조립이 되어진다. 이때 각 조립공정에서 주어진 실제 작업시간과 본 논문에서 제안한 산정기법을 통하여 추론한 작업시간 결과를 비교하여 보면 <Table 3>과 같다. 10개 부품의 실제 총 작업시간이 31.72sec인데 반하여 추론된 총 작업시간은 31.40sec로 약 1%의 오차를 나타내었고, 각 공정에서의 절대오차를 누적하여 구해본 결과에서도 약 2.91%의 차이밖에 나지 않아 상당히 신뢰성 있는 추론값을 얻을 수 있었다. 이 때 첫 조립대상 부품인 P9의 경우 Base가 되는 고정기구의 기능에 따라 조립용이도가 결정되므로 본 비교대상에서는 제외하였다. 그리고 식 (10)의 분해도 계산식에서 부품의 조립용이도를 나타내는 separability cost, $C_{sp}(p_k)$ 와 베이스조립체의 안정도를 나타내는 stability cost, $C_{st}(p_k)$ 의 상대적 비율값인 α 의 영향을 분석해 보았는데, 실제 작업시간은 Jig/Fixture의 기능보다는 조립기구의 기능에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. <Table 4>는 α 값의 변화에 따른 총 작업시

Table 3. Evaluating work time vs. standard work time

Part No.	Evaluating work time (sec)	Standard work time (sec)	Difference (%)
P9	Base	Base	-
P8	2.38	2.30	3.5
P7	2.53	2.50	1.2
P1	2.76	2.80	-1.4
P2	7.35	7.00	5.0
P3	4.67	4.50	3.8
P5	1.84	1.80	2.2
P10	2.92	3.00	-2.7
P6	2.41	2.50	-3.6
P4	4.86	5.00	-2.8
Total	31.72	31.40	1.0
Accumulated absolute difference (%)			2.91

Table 4. Work time differences according to variation of α

Variation of α	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Accumulated absolute differences (%)	5.72	4.26	3.54	2.91	3.75

간의 누적 절대오차 값의 변화량을 나타낸 것이며 위에서 언급한대로 $\alpha = 0.6$ 일 때 가장 작은 오차값을 가짐을 보여준다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 설계하고자 하는 조립라인의 특성 및 대상조립품의 조립형상 정보를 토대로 매우 신뢰할만한 작업시간 추론 결과를 얻을 수 있었다. 지금까지 조립라인의 최적설계를 위한 많은 연구들이 진행되어 왔지만 이는 각 조립공정에서 소요되는 작업시간이 일단 주어졌다고 가정하고, 선행 조립조건 및 조립특성을 고려하여 전체 라인의 균형을 맞추는데만 초점을 두어 왔다. 그러나 본 논문에서 제안한 기법을 통하여 예상 작업시간을 효과적으로 추론함으로써 라인밸런싱을 고려한 효율적인 Lay-out 설계가 가능할 것으로 보인다.

4. 결론

실제 조립작업이 진행될 때에는 똑 같은 단위 요소 조립특성을 갖는 공정일지라도 이미 조립된 타 부품들의 조립특성 및 간섭현상에 의해 작업시간이 현저하게 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 기준으로 라인밸런싱을 고려한 lay-out 설계의 기본 정보를 제공할 수 있게 하였다.

참고문헌

- Cho D. Y. and Cho H. S. (1993), "Inference on Robotic Assembly Precedence Constraints Using Part Contact Level Graph", *Robotica*, **11**, 173-183.
- Delchambre, A., Gaspart, P., and Wafflard, A. (1988), "An Automatic Assembly Planning Approach", *Proceedings of the 10th international Conference of Assembly Automation*, 1600-1605.
- Delchambre, A. (1990), "A Pragmatic Approach to Computer-Aided Assembly Planning", *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1600-1605.
- Delchambre A. (1996), *CAD Method for industrial Assembly*, John Wiley & Sons, Inc.
- Kang J. K. and Lee D. H. (2002), "Optimal Disassembly Sequencing with Sequence-Dependant Operation Times Based on the Directed Graph of Assembly States", *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **28**(3), 264-273.
- Lee M. K. and Lee S. J. (1998), "Dynamic Programming Algorithms for Scheduling Jobs with Sequence-Dependant Processing Times", *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **24**(3), 431-440.
- Lee S. H. (1990), "Assembly Planning based on Subassembly Extraction", *IEEE Transaction on Robotics and Automation, Special Issue on Manufacturing Systems : Design, Planning, Scheduling and Real-Time Control*, 1-30.
- Pao Yoh-han (1989), "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks", *Addison wisely Publishing Company, Inc. N. Y.*
- Sharp, W. I. (1977), "Assembly Line Balancing Techniques" *Technical Paper Ms77-313, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Mich.*
- Shin C. K. and Cho H. S. (1994), "On The Generation of Robotic Assembly planning based on Separability and Assembly Motion Stability", *Robotica*, **12**, 7-15.