

두 가지 특성치를 갖는 제품의 선택적 조립 Selective Assembly for Products with Two Performance Characteristics

김선진*, 정재원*, 장중순*, 이민구**
* 아주대학교 산업공학과
** 충남대학교 수학과정보통계학부

Abstract

Selective assembly is a method to find out appropriate matching pairs to be assembled to enhance the quality of the product. This study proposes an algorithm to select and match the components with two performance characteristics: at first, the number of matchable mates are calculated for each components. A matchable mate is defined to be the one of which the values of each performance characteristics lie in a rectangular mesh originated from the component under consideration. And the highest priority is given to the item with smallest number of matchable mates. The item of highest priority is matched to the one with smallest number of matchable mates among them. To find out the mates for the unmatched items, the mesh size is enlarged at the next iteration. Beginning with a small mesh, the procedure is repeated until the mesh covers the tolerance intervals of each performance characteristics. A VCR head case is analyzed.

1. 서론

모든 제조공정에서는 제품의 산포를 줄이려는 노력을 지속적으로 수행하고 있다. 제품의 산포를 줄이기 위해서는 공정 검사나 관리 활동을 하는 것이 중요하지만, 작업방법이나 공정도 정밀하게 설계되고 운용되어야 한다. 선택적 조립 (selective assembly)은 2 개 이상의 부품을 조립하는 경우 조립품의 산포가 줄어들 수 있도록 적합한 부품들의 조합을 미리 선정하고자 하는 것이다. 예를 들어 샤프트와 슬리브를 조립하는 경우, 샤프트의 직경에 가까운 직경을 가진 슬리브를 미리 선택하여 조립하는 것이다. 이렇게 하면 조립후의 특성치 차이가 줄어들어 제품의 산포를 저감할 수 있게 된다.

선택적 조립 문제는 1940년대부터 연구가 있어 왔는데, 헝가리안 해법이 적용되어지는 할당 (assignment) 문제로 정립되어졌다. (Coullad et al.[3]) 이러한 선택적 조립문제에 대한 접근 방법은 크게 오프라인과 온라인으로 구분할 수 있다. 여기서 오프라인 접근이라는 것은 공정을 설계하는 과정에서 조립되는 부품들의 정보를 모두 알 수 있거나 최소한 확률분포를 알고 있다고 가정 하에 적합한 부품들의 조합을 선정하는 방법이다. 선택적 조립에 대한 오프라인적 접근에서는 부품을 측정후 크기에 따라 적절한 상자에 담아 놓고 짝을 이루는 상자에 있는 부품들을 조립하는 방식을 택하고 있다. (Pugh [5], Kwon et al. [4]) 그러나 이러한 오프라인적 접근

은 각 상자에 들어갈 부품의 수가 변하게 되어 로트식 생산 등에서는 각 상자별로 재고가 없으면 조립이 안될 수도 있게 된다.

온라인 방식은 배치식 방식이라고도 하는데, 현재 조립하여야 할 두 부품의 로트가 하나씩 주어졌다고 할 때, 어떤 부품들을 조합하는 것이 가장 좋은가를 다루는 문제이다. 즉 조립하고자 하는 부품들이 있을 때, 각 부품의 특성치 값을 측정하여 어떤 부품들의 조합을 조립할 것인가를 다루고자 하는 것이다. 따라서 온라인적 접근은 부품들의 특성치 값들이 얼마인지를 알 수 없는 경우라고 할 수 있다.

이 문제는 할당문제, 네트워크의 매칭 문제 등으로 다양한 해결방식이 연구되어지고 있다. 만일 모든 부품에 대하여 짝을 찾아야 하는 경우에는 헝가리안 방법이 최적의 해를 제공하는 알고리즘이다. (Alvin et al. [2], Coullard et al. [3]) 그러나 헝가리안 방식은 부품의 수가 클 때에는 해를 구하는 시간이 길어지게 된다. 이와 같은 단점을 해결하기 위하여 여러 연구들이 부품조합에 필요한 입력 값들의 특성을 분석하여 빠른 시간 내에 해를 구할 수 있는 방안을 제시하였다. Aggarwal et al [1] 은 이분 (bipartite) 네트워크에서 부품조합간의 거리가 바이토닉 (bitonic) 몽지 (Monge) 조건을 만족하는 경우 최소 거리를 보장하는 알고리즘을 제시하였으며, Coullard et al. [3], Iwata et al. [5] 는 볼베어링의 경우처럼 한 부품에 대하여 조립되어지는 상대 부품이 여러 개가 필요한 경우에 대하여 알고리즘을 제시하였다.

한편 온라인문제에 대한 근사해를 빠르게 구할 수 있는 알고리즘의 연구가 최근에도 이루어지고 있다 (Wattenhofer 와 Wattenhofer [9]). Thesen[8]은 선택적 조립문제에 대한 여러 해결방식과 현실적용 등에 대하여 문헌을 정리하였다.

선택적 조립문제에 대한 또 다른 변형으로는 결혼문제 (marriage problem)을 들 수 있다. 결혼문제는 다수의 남자와 여자가 서로 선호하는 상대방의 순위를 파악할 수 있는 경우 안정된 커플을 구하는 문제이다. (Teo et al. [7]) 이러한 결혼문제는 부품조합에 필요한 부품간의 거리나 비용을 순위로 대체한 것으로 생각할 수 있어, 통계적 접근에서 모수적 방법에 비하여 모집단의 분포를 모르거나 변할 수 있는 경우에 장점을 갖는 비모수적 접근방법의 활용이라고 할 수 있다. 따라서 결혼문제는 온라인 문제에서 부품들의 특성치가 변할 수 있는 경우에 활용될 수 있다고 판단된다.

현재까지 연구되어져 온 선택적 조립문제는 모두 특성치가 하나인 경우를 대상으로 하였다. 그러나

이러한 부품의 조립문제에서는 특성치가 2개 이상인 경우가 많이 있다. 그 중 하나의 예로서 VCR 헤드 부품을 들 수 있다. VCR 헤드란 드럼실린더에 장착되어 고속으로 회전하면서 비디오 테이프에 기록된 영상 및 음성 신호를 재생 또는 기록하는 부품으로서, 녹화시에는 비디오 신호로 FM변조된 신호를 자기 신호로 바꾸어 비디오테이프에 기록하고, 재생시에는 비디오테이프에 기록된 자속신호를 읽어 들여 영상신호로 바꾸어 TV 화면에 나오게 하는 부품이다. 일반적인 VHS 방식에서는 하나의 화면을 구성하기 위하여, 제1 필드와 제2 필드가 하나의 프레임의 구성하며, 각각의 프레임을 헤드의 CH-1, CH-2의 2개 채널이 담당하게 되고, 이 두 채널의 조합으로 하나의 화면이 구성되게 된다. 이러한 CH-1, CH-2 채널의 조합 특성은 화질 특성을 좌우하게 되는데, 직접적인 기여를 하는 것이 주파수 출력이다. 따라서 VCR 헤드는 조립하기 전에 주파수출력을 측정하여 사용하게 된다. 일반적인 VCR 헤드에서는 표준모드시와 특수모드시의 사용 헤드로 각각 채널이 구분되어지는데, 이를 SP, EP 채널이라 하며, CH-1, CH-2 각각의 헤드에 SP 및 EP모드의 채널이 같이 구성되게 된다. 그렇기 때문에 VCR 헤드에서의 출력 주파수는 고객의 요구 조건에 따라 SP와 EP 채널이 모두 만족되어야 한다.

이와 같이 부품들이 두가지 이상의 특성치를 갖는 경우에 기존의 연구결과를 적용하기 위하여는 각 부품 조합간의 거리나 비용과 같이 특성치 값들을 실수(real number)로 나타낼 수 있도록 하는 적절한 변환함수가 필요하게 된다. 그러나 적절한 변환함수는 선정하는 것은 현실적으로 매우 어려울 뿐 아니라, 특정한 변환함수를 사용한다고 하더라도 각 특성치의 정밀도를 최적화 시킨다는 보장을 할 수도 없게 된다.

한편 그동안의 온라인 접근에서는 주어진 배치 또는 로트에 대하여 가능한 모든 부품들을 조립할 수 있도록 하는 것이 전제로 되어 있어 왔다. 즉 모든 부품을 조합하여야 한다는 전제하에 가능한 해를 찾거나 비용이나 거리를 최소화하는 방식의 접근을 하여 왔다. 그러나 이와 같은 부품의 조립은 지속적으로 반복되어진다는 점을 감안하면, 현재 가지고 있는 로트에 대하여 부품의 조합비율을 다소 희생하더라도 조합된 제품의 정밀도를 향상시키는 것이 필요한 경우가 많이 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 우선 기존의 알고리즘에서 부품의 조합비율을 다소 희생하여 조립품의 정밀도를 향상시킬 수 있는가를 확인하고, 다음으로 2가지 특성치를 갖는 경우에 대하여 부품 조합률과 정밀도를 함께 향상시킬 수 있는 방안을 모색하고자 한다. 본 연구에서는 이러한 결과를 VCR 헤드에 적용하여 타당성을 보이고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 우선 2절에서는 Aggarwal et al. [1] 등이 제안한 최소비용 선택적 조립 알고리즘에 대하여 알아보고, 부품의 조합률을 다소 희생하여 비용을 더욱 줄일 수 있음을 보인다. 3절에서는 2가지 특성치를 갖는 경우에 적용할 수 있는 선택적 조립 알고리즘을 제시하며, 4절에서는 이를 VCR 헤드에 적용한 결과를 제시한다. 마지막으로 5절에서는 결론과 향후 연구 주제에 대하여 알아보고자 한다.

2. 하나의 특성치에 대한 선택적 조립 알고리즘

지금 조립하고자 하는 부품 X와 Y가 각각 n, m 개 주어졌다고 하자. 그리고 X의 i 번째 부품을 x_i , Y의 j 번째 부품을 y_j 라고 하자. x_i 와 y_j 는 경우에 따라서는 해당 부품의 특성치를 나타낸다고 하자. 그리고 편의상 $m \geq n$ 이라고 하자. 그리고 τ 를 목표 클리어런스, Δ 를 조립 허용공차라고 하자. 즉 (x_i, y_j) 조합을 조립하였을 때 $|x_i - y_j - \tau| \leq \Delta$ 를 만족하여야 한다. 이와 같은 조건하에 (x_i, y_j) 조합을 조립하였을 때 나타나는 비용을 $h(x_i, y_j)$ 라고 하자. $h(x_i, y_j)$ 는

$$\begin{aligned} (a) \quad h(x_i, y_j) &= \begin{cases} 0, & |x_i - y_j - \tau| \leq \Delta, \\ \infty, & \text{o/w} \end{cases} \\ (b) \quad h(x_i, y_j) &= \begin{cases} |x_i - y_j|, & |x_i - y_j - \tau| \leq \Delta, \\ \infty, & \text{o/w} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

과 같은 함수들을 고려할 수도 있다. 선택적 조립문제는 총비용인 $\sum_i \sum_j h(x_i, y_j)$ 를 최소화하고자 하는 것인데, 여기서 (a)의 경우는 이분 네트워크의 max cardinality 문제를 나타내고, (b)는 조립 후 거리가 최소가 되도록 하고자 하는 것이다. 다른 $h(x_i, y_j)$ 로는 $(x_i - y_j)^2$ 이라던가 비대칭 이차함수 등도 연구되어지고 있다.

지금까지 총비용 $\sum_i \sum_j h(x_i, y_j)$ 을 최소화하기

위하여 많은 연구들이 있어 왔다. 앞에서 설명한 바와 같이 할당문제, 선형계획, 수송계획, 네트워크 매칭 등 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그런데 Aggarwal et al. [1]은 x_i 와 y_j 를 크기순서대로 정렬하는 경우 나타나는 특성을 이용하여 최소비용을 빠른 시간내에 구할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 그러한 특성들은 바로 비용배열이 몽지배열이어야 하며, 바이토닉이어야 한다는 것이다.

바이토닉이라 함은 비용배열의 한 행의 값(비용)이 비증가(non-increasing)를 하다 어느 지점부터 비감소(non-decreasing)하거나, 처음부터 끝까지 비감소를 하는 경우이다. 이는 x_i 와 y_j 를 크기 순서대로 정렬한 경우 (a)와 (b)와 같은 비용함수를 사용하면 만족되는 성질이다.

한편 몽지 배열은 배열 $A = \{a[i, j]\}$ 가 $1 \leq i_1 < i_2 \leq n, 1 \leq j_1 < j_2 \leq m$ 인 경우,

$$a[i_1, j_1] + a[i_2, j_2] \leq a[i_1, j_2] + a[i_2, j_1], \quad (2)$$

를 만족하는 경우를 말한다. 이는 결국 최소비용을 만족하는 조합은 비대각선쪽보다 대각선쪽으로 나타난다는 것을 말하는데, (b)와 같이 부품간의 특성치의 차이를 비용으로 하면 만족되는 성질이다.

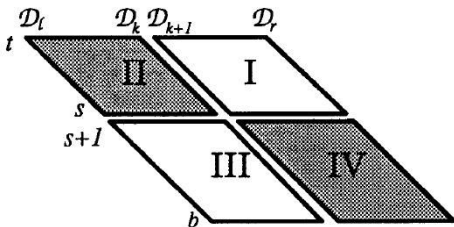
Aggarwal et al. [1]은 이러한 특성을 갖는 비용배열에 대하여 다음과 같이 해를 찾을 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

알고리즘 1. 단일 특성치에 대한 최소비용 선택적

조립 (Aggarwal et al. [1])

$n \times m$ 바이토닉 봉지 비용배열을 A라고 하자. ($A = \{a[i, j]\}$, $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq m$) 그리고 D_j , $1 \leq j \leq m-n+1$ 는 A 배열의 대각선요소로, $a[1, j]$, $a[2, j+1]$, ..., $a[n, j+n-1]$ 라고 정의한다. 즉 $D_j(i) = a[i, j+i-1]$ 이고, $D_j(t, b) = a[t, j+t-1]$, $a[t+1, j+t]$, ..., $a[b, j+b-1]$ 이다. 이 경우 A 배열의 최소비용 조합은 대각선 집합 $\{D_1, D_2, \dots, D_{m-n+1}\}$ 안에서 모두 얻어진다. 그러므로 우리는 배열전체가 아닌 이 대각선 집합들에 포함된 비용만을 고려하여 최소비용을 구할 수 있다.

처음에는 B를 $\{D_1, D_2, \dots, D_{m-n+1}\}$ 로 하고, 매 단계마다 입력을 집합 $\{D_t(t, b), \dots, D_t(t, b)\}$ 을 갖는 $(b-t+1) \times (r-l+1)$ 인 배열 B라고 하자. 그리고 k 를 B의 중간 대각선(middle diagonal)의 지표라고 하자. 즉 $k = \lfloor \frac{r+l}{2} \rfloor$ 로 계산한다. 각 단계마다의 출력은 입력된 배열을 분리하는 행의 번호 s, $t \leq s \leq b$, 이다. 이 s를 이용하여 B를 중간 대각선과 함께 4분면으로 나눈다.



<그림 1> Aggarwal 알고리즘

그런데 이중 좌측상단분면과 우측하단분면에 최소비용 부품조합이 존재한다. 다시 말해, t, ..., s 열의 경우 대각선 배열 $B' = \{D_t(t, s), \dots, D_k(t, s)\}$ 에 최소비용 부품조합이 존재하고, s+1, ..., b 열의 경우 대각선 배열 $B'' = \{D_{k+1}(s+1, b), \dots, D_r(s+1, b)\}$ 에 최소비용 부품조합이 존재한다. 이렇게 둘로 나누어진 각각의 배열은 나누어진 배열의 대각선 요소가 하나가 될 때까지, 즉 행과 열의 수가 같아질 때까지 배열을 4분면으로 나누는 것을 반복한다. 이렇게 나누어진 각 분면의 대각선에 포함되는 부분이 최소비용이 된다.

분리행 번호 s 를 구하는 방식은 $(b-t+1)$ 단계를 거친다. 단계 $x \geq 1$ 에서는 $(t-1+x)$ 행의 분리행 s_x 결정한다. 초기의 분리행 s_0 는 t-1 이고 마지막 분리행 s 는 s_{b-t+1} 이다. 단계 $x \geq 1$ 에서 분리행 s_x 는 아래의 조건에 따라 t-1+x 또는 s_{x-1} 가 된다.

$$V(i_1, i_2) = \sum_{i=i_1}^{i_2} D_k(i), \quad W(i_1, i_2) = \sum_{i=i_1}^{i_2} D_{k+1}(i)$$

라고 하자. 그러면 분리행 s_x 는

$$s_x \leftarrow \begin{cases} t-1+x, & \text{if } V(s_{x-1}+1, t-1+x) < W(s_{x-1}+1, t-1+x) \\ s_{x-1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

(3)이다.

<예 1> 앞에서 설명한 VCR 헤드를 채널 CH-1과 CH-2 에 사용될 수 있는 것으로 각각 100 개씩을 구

하여 출력을 측정하고 최적의 부품 조합을 구하였다. 그런데 Aggarwal et al. [1] 의 알고리즘은 단일 특성치의 경우에만 적용이 가능하므로, 여기에서는 EP 출력만을 고려하여 부품 조합을 구하였다. 또한 측정된 부품의 출력이 규정된 기준에 미치지 못하는 경우에는 불량으로 사전에 제거하였다. 다음은 이 실험을 10 회 실시한 결과이다.

<표 1> VCR 헤드에 대한 부품조합 - EP 특성만 고려하는 경우

| 로트 | 부품수 | 조합수 | 조합률 | EP |
|-----|------|------|--------|--------|
| 1 | 100 | 99 | 99.00% | 0.8011 |
| 2 | 97 | 97 | 100.0% | 0.2297 |
| 3 | 100 | 100 | 100.0% | 0.8979 |
| 4 | 95 | 93 | 97.89% | 1.0099 |
| 5 | 96 | 96 | 100.0% | 0.3614 |
| 6 | 78 | 70 | 89.74% | 0.7955 |
| 7 | 96 | 95 | 98.96% | 0.3530 |
| 8 | 96 | 96 | 100.0% | 0.5287 |
| 9 | 95 | 95 | 100.0% | 0.4329 |
| 10 | 95 | 95 | 100.0% | 0.2016 |
| AVE | 94.8 | 93.6 | 98.56% | 0.5612 |

그런데 이 알고리즘은 입력된 모든 부품을 조합하고자 하는 것이다. (위 표에서 조합률이 100%가 아닌 것은 조합된 부품의 거리차가 규격을 벗어나 조합이 깨지는 경우가 생기기 때문이다.) 즉 부품의 조합률 또는 조합률을 최대로 한다는 전제가 있는 것이다. 그런데 현실적으로는 부품조합률을 다소 희생하더라도 조립부품 사이의 거리 차를 줄이는 것이 품질을 좋게 하는 경우가 많이 있다. 사실 선택적 조립의 의의는 제품의 품질 산포를 줄이고자 하는데 있으므로 이러한 거리 차이를 줄이는 것은 매우 중요한 것으로 생각된다. 물론 부품의 조합률이 너무 낮아지게 되면 생산성이 많이 떨어지게 되므로, 부품의 조합률이 어느 정도 수준 이상 유지되는 상태에서 거리 차를 줄이는 것이 필요하다.

본 연구에서는 X 와 Y의 값을 크기 순서로 정렬한 후, $\max\{\min\{X\}, \min\{Y\}\}$ 를 구하고, 이 부품과 가장 짧은 거리를 갖는 상대부품보다 작은 값을 갖는 부품들은 제외시키는 방법을 적용하였다. 다음은 <예 1> 의 데이터에 대하여 이와 같은 조치를 취한 후 부품 조합을 구한 것이다.

<표 2> 작은 값을 제거한 부품 조합

| 로트 | 부품수 | 작은값 제거 | | 제거전 | |
|-----|------|--------|--------|------|--------|
| | | 조합수 | 거리차 | 조합수 | 거리차 |
| 1 | 100 | 77 | 0.3173 | 99 | 0.8011 |
| 2 | 97 | 97 | 0.2027 | 97 | 0.2297 |
| 3 | 100 | 97 | 0.8362 | 100 | 0.8979 |
| 4 | 95 | 87 | 0.7781 | 93 | 1.0099 |
| 5 | 96 | 91 | 0.4584 | 96 | 0.3614 |
| 6 | 78 | 76 | 0.5816 | 70 | 0.7955 |
| 7 | 96 | 92 | 0.2080 | 95 | 0.3530 |
| 8 | 96 | 94 | 0.6211 | 96 | 0.5287 |
| 9 | 95 | 95 | 0.3615 | 95 | 0.4329 |
| 10 | 95 | 95 | 0.2101 | 95 | 0.2016 |
| AVE | 94.8 | 90.1 | 0.4575 | 93.6 | 0.5612 |

<표 2>에서 보면 작은 값들을 제거하게 되면 부품조합물은 다소 작아지게 되나 평균거리는 매우 향상됨을 알 수 있다. 1번 로트의 경우는 좀 예외적으로 부품조합물이 크게 떨어졌는데 이는 두 채널의 특성치 분포의 차가 커서 한쪽 채널의 최소값보다 작은 특성치가 다른 한쪽 채널에 많은 수 존재하기 때문이다. 6번 로트의 경우는 조합물이 오히려 상승했다. 이는 작은 값을 제거하지 않았을 때 조합이 된 부품 중 규격을 벗어나는 수가 많아 조합물이 떨어졌으나, 작은 값을 제거한 후의 조합에서 거리차가 줄어 규격을 벗어나는 부품의 수가 줄었기 때문이다.

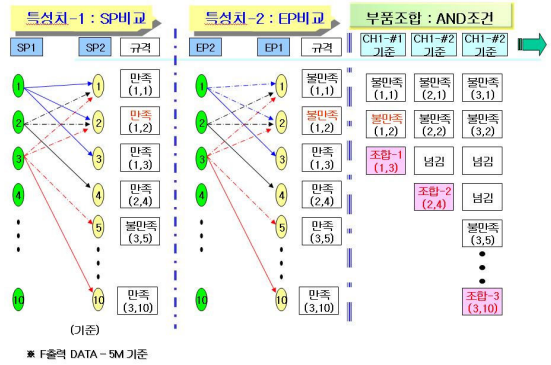
3. 두가지 특성치에 대한 선택적 조립 알고리즘

앞에서는 한가지 특성치를 갖는 경우의 온라인 선택적 조립 알고리즘에 대하여 알아보았다. 이 절에서는 특성치가 2가지인 경우의 선택적 조립 문제를 다루고자 한다. 지금 조립하고자 하는 부품 X와 Y가 각각 n, m (n≤m) 개 주어졌다고 하자. 그리고 X의 i 번째 부품의 특성치를 $x_i = (x_{i1}, x_{i2})$, Y의 j 번째 부품의 특성치를 $y_j = (y_{j1}, y_{j2})$ 라고 하자. 또한 (τ_1, Δ_1) 을 각각 첫 번째 특성치의 목표 클리어런스와 조립허용공차, (τ_2, Δ_2) 를 각각 두 번째 특성치의 목표 클리어런스와 조립허용공차라고 하자. 즉 (x_i, y_j) 조합을 조립하였을 때 다음의 조립조건을 만족하여야 한다.

$$|x_{ik} - y_{jk} - \tau_k| \leq \Delta_k, \quad k=1, 2 \quad (4)$$

이와 같은 두 가지 특성치에 대한 선택적 조립문제를 해결하기 위한 접근 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 한가지 방법은 2차원의 특성치를 적절한 변환함수를 이용하여 실수의 값으로 변환하는 것이다. 예를 들어 2 부품 사이의 가중평균을 이용하면 2차원의 특성치를 1차원으로 바꿀 수 있고, 변환된 자료를 이용하여 2절에서 설명한 방법을 적용할 수 있다.

또 다른 방법으로는 축차 탐색법을 생각할 수 있다. 이 방법은 생산순서나 또는 한가지 특성치에 대하여 크기를 기준으로 정렬시킨 순서를 기준으로 조합이 가능한 즉 조립 후 양품이 될 수 있는 상대 부품을 찾는 방법이다. 다음 <그림 2> 는 VCR 헤드의 경우를 나타낸 것이다. 즉 먼저 순서대로 SP와 같이 특성치 하나에 대하여 가능한 상대부품, 즉 (4) 의 조립조건을 만족하는 부품을 찾은 상태에서 다른 특성치 EP를 조사하여 조립 조건을 만족한다면 거리에 관계없이 조합을 시키는 방법이다.



<그림 2> 축차 탐색법

위의 방법들은 그러나 부품조합물이나 평균비용이나 거리를 최적화할 수 있다는 보장이 없다. 이를 위하여는 X와Y의 특성치들을 분석하여 그 성질을 활용하여야 한다. 그러한 방법 중에 하나는 오프라인 접근법인 부품 상자를 이용하는 것이다. 그러나 이 방법은 반드시 조합부품이 있다는 보증을 할 수 없어 재고를 필요로 하게 될 뿐 아니라, 특성치의 분포가 달라지는 경우에는 적용하기가 어려울 수밖에 없게 된다.

본 연구에서는 이와 같은 점을 감안하여 결혼문제의 특성을 활용하는 그물눈확대법 (mesh scaling) 법을 제안하고자 한다. 이 방법은 다음과 같다. 먼저 적절한 자연수 p, q를 선정하고, $\delta_1 = \frac{\Delta_1}{p}$, $\delta_2 = \frac{\Delta_2}{q}$ 라고 하자. 편의상 $p \leq q$ 라고 가정하자.

그물눈확대법 알고리즘

단계 1. k=1로 하고, 그물눈의 크기를 다음과 같이 정한다.

$$\begin{aligned} \text{특성치 1: } \alpha_1 &= k\delta_1 \\ \text{특성치 2: } \alpha_2 &= \left\lfloor k \frac{p}{q} \right\rfloor \delta_2. \end{aligned}$$

단계 2. 조합가능 후보 짝의 수 계산

각 부품마다 조합가능한 후보짝의 수를 구한다. 여기서 (x_i, y_j) 가 조합이 가능하다는 것은

$$|x_{il} - y_{jl} - \tau_l| \leq \alpha_l, \quad l = 1, 2,$$

를 만족함을 의미한다.

단계 3. 후보선정 및 조합

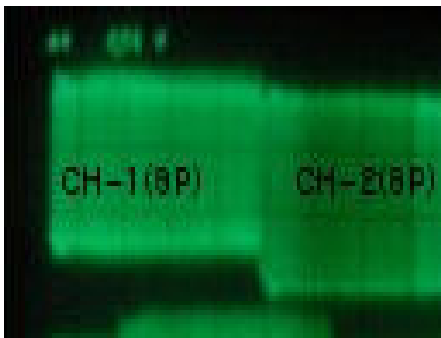
- ① X, Y 모두에 대하여 조합가능한 후보 짝의 수가 가장 작은 부품을 선정한다.
- ② 선택된 부품의 후보짝들 중에서 가장 적은 수의 후보 짝을 가지고 있는 부품을 선정하여 조합시킨다.
- ③ 선정된 부품조합을 등록시키고, 부품리스트에서 제거한다. 이때 제거된 부품을 후보로 가진 부품들은 후보짝의 수를 조정한다.
- ④ 다른 부품들에 대하여 ①, ②, ③을 반복한다. 만일 후보짝을 가지고 있지 않을 때는 현 단계에서의 조합은 불가능하다.

단계 4. $k < q$ 이면 $k = k+1$ 로 하고, 단계 1부터 반복한다.

여기서 조합이 가능한 상대 부품의 수가 적은 부품부터 조합을 실시하는 것은 부품조합률을 극대화하기 위함이다. 선택적 조립의 경우 한 부품이 상대 부품과 조합되게 되면 다른 부품들은 그 만큼 조합의 기회가 줄어들게 되므로, 부품조합률 즉 조합률을 크게 하기 위하여는 가능한 상대가 적은 부품부터 기회를 부여하는 것이 바람직하기 때문이다. 그리고 작은 그물눈에서 시작하여 큰 그물눈으로 확대하여 가는 것은 가급적 거리차가 적은 부품끼리 조합될 수 있는 기회를 높혀 정밀도를 향상하기 위함이다.

4. 사례

본 연구에서는 앞서 제안한 그물눈 확대법을 VCR 헤드 부품에 적용하였다. VCR 헤드는 VCR 세트에서 기록과 재생을 담당하는 가장 중요한 핵심 부품인데, 기록과 재생과정에서 주파수 출력파형을 최종 세트에서 측정할 것을 엔벨로프 파형이라고 한다. 실제 TV에서 CH-1, CH-2 채널의 엔벨로프 파형의 크기 차에 따라 화면의 화질 특성을 좌우하게 된다. 다음 <그림 3>은 엔벨로프 파형을 나타낸 것이다.



<그림 3> 엔벨로프 파형

이러한 엔벨로프 파형의 크기에 직접적인 기여를 하는 것이 VCR 헤드의 주파수 출력이다. 물론 정해진 규격내 헤드의 두 채널의 주파수 출력이 조합되지 않을 시는 화질 저하 및 잡음을 유발하여 화면 떨림, 색 번짐 불량, 오디오 출력 단차 불량 등의 치명적 불량을 유발하게 된다. 이러한 주파수출력 측정은 전용설비인 Fr-마스터 설비를 사용하여 측정하게 되며, 측정 방법은 설비내의 드럼에 VCR 테이프를 사용 실제 세트에서의 주행속도와 동일한 조건에서 VCR 헤드를 접촉시켜 각 채널별 주파수 출력을 측정하게 된다. 측정에 사용하는 주파수는 방송방식에 따라 색도신호와 휘도신호의 사용 주파수대가 차이가 있으며, VCR 헤드의 단품 주파수출력 측정 시는 이 두 주파수대의 대표치인 0.5MHz, 5MHz 에서 출력 특성을 측정하게 된다. 이들 중 현재 출력크기 및 민감도를 고려하여, 조합시에는 SP, EP 채널의 5Mhz 출력을 기준으로 한다. 두 채널간의 거리차가 커지게 되면, 세트에서 작은 주변 잡음성분 간섭에도 요구 성능 기준을 벗어나게 되며, 이는 바로 화질특성에 영향을 미치게 된다. VCR 헤드의 조합에 있어서 가장 중요한 사항은 두 채널간의 출력 단차, 즉 거리가 가능한 작아야 하며, 이에 반해 라인의 생산성을 감안 부품조합률은 어느 정도, 예를 들어 85% 이상은 유지가 되어야 한다는 데 있다.

본 연구에서는 적절한 VCR 헤드의 조합을 구하기 위하여 제안된 그물눈확대법을 적용하였다. 실험을 위하여 크기 100 개씩의 로트를 채널 당 10 개씩 구하였으며, 불량으로 판정된 부품은 사전에 제거하였다. <표 3>은 p와 q의 조합을 변경시켜 가며 조합률과 특성치의 평균 거리를 구한 것이다. 실험에서는 SP를 특성치 1로, EP를 특성치 2로 간주하였다.

<표 3> 그물눈확대법의 조합 결과

| q \ p | 1 | 2 | 4 |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 97.57% 0.8324 0.8446 | 95.78% 0.5320 0.8464 | 91.42% 0.3724 0.8224 |
| 2 | 96.50% 0.8789 0.5663 | 93.86% 0.5663 0.5991 | 91.29% 0.4001 0.6106 |
| 4 | 92.35% 0.8671 0.4055 | 91.87% 0.6090 0.4472 | 90.55% 0.4684 0.4842 |
| 8 | 90.45% 0.8613 0.3629 | 89.92% 0.6535 0.3778 | 88.81% 0.4874 0.4055 |

위에서부터 조합률, SP 거리, EP 거리를 나타냄

<표 3>을 보면 p나 q의 값이 커질수록 조합률은 떨어지는 경향을 보이고 있다. 이는 p와 q의 값이 커지면서 보다 정밀한 부품조합을 요구하게 되어 비롯된 현상이라고 해석할 수 있다. 그러나 이러한 조합률의 둔화에도 불구하고 SP 나 EP의 거리차는 매우 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다. p가 주어진 경우에는 q가 증가할수록 EP의 거리가 줄어들며, q가 주어진 경우에는 p의 값이 커질수록 SP의 값이 줄어들고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과들을 비교하기 위하여 현재 라인에서 채택되어지고 있는 축차탐색법의 적용결과를 구하였으며, 또한 두가지 특성치를 1차원으로 변환하기 위한 변환함수를 사용하였다. 변환함수를 구하기 위해서는 가중평균 등을 고려할 수 있으나, 가중치를 정하는 방법이 용이하지 않기 때문에, 본 연구에서는 SP, EP 채널의 출력 값을 상관계수나 공분산을 기준으로 주성분분석(principal component analysis) 하여 나오는 제1차 주성분 값들, 판별분석(discriminant analysis)의 판별함수 값 등을 기준으로 2절의 최소비용 부품조합법을 활용한 결과를 구하였다. <표 4>는 그물눈확대법과 다른 방법을 비교한 것이다. 현재 라인의 특성에 맞게 조합률을 현재 이상으로 유지하고 SP 보다는 EP 거리 차를 줄여주는 (p,q) = (2,4)인 경우와 비교를 하였다.

<표 4> 타 조합방법과의 비교

| 방법 | 조합률 | SP 거리 | EP 거리 |
|--------------|--------|--------|--------|
| 축차탐색법 | 90.26% | 0.7826 | 0.5111 |
| 주성분분석 (상관계수) | 92.58% | 0.6306 | 0.8061 |
| 주성분분석 (공분산) | 94.25% | 0.5169 | 0.8202 |
| 판별분석 | 86.17% | 0.7917 | 0.6290 |

| | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|
| 그물눈확대법 (p,q)=(2,4) | 91.87% | 0.6090 | 0.4472 |
|--------------------|--------|--------|--------|

<표 4>를 보면 그물눈확대법의 조합률은 다른 방법과 큰 차이를 보이지 않으나, SP 나 EP 거리에 있어서는 상당히 우수한 성과를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그런데 이러한 부품의 조합은 한번만 발생하는 것이 아니라 지속적으로 이루어질 수 있음을 감안하면, 그물눈확대법과 같이 조합률을 다소 작게 하더라도 특성치의 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법의 효용성을 파악할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 두가지 특성치를 갖는 경우의 선 택적 조합문제를 온라인 접근방식으로 다루었다. 이를 위하여 매 단계마다 조합가능한 후보쪽을 찾기위한 그물눈크기의 크기를 확대하는 그물눈확대법을 제안하였으며, 이를 VCR 헤드의 경우에 적용하였다. 다른 조합방법들과 비교를 통하여 제안된 방법이 부품조합률은 다소 감소시키나, 특성치의 정밀도를 많이 향상시킬 수 있음을 보였다. 향후 특성치간의 클러스터링 방법을 이용한 조합법이나 온라인의 결과를 오프라인식으로 평가하여 최적여부를 판정하는 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] Aggarwal, A., Bar-Noy, A., Khuller, S., Kravets, D. and Schieber, B. (1992). "Efficient Minimum Cost Matching Using Quadrangle Inequality," *Proceedings of 33rd Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, IEEE, 583-592.

[2] Alvin, A. E., Rithblum, U.G. and Vande Vate, J. H. (1993). "Stable Matchings, Optimal Assignments, and Linear Programming," *Mathematics of Operations Research*, Vol. 18, No. 4, 803-828.

[3] Coullard, C.R., Gamble, A.B. and Jones, P.C. (1998). "Matching Problems in Selective Assembly Operations," *Annals of Operations Research*, Vol. 76, 95-107.

[4] Kwon, H.M., Kim, K. J. and Chandra, M.J. (1999). "An Economic Selective Assembly Procedure for Two Mating Components with Equal Variance," *Naval Logistics Quarterly*, Vol. 46, 809-821.

[5] Iwata, S., Matsui, T. and McCormick, S.T. (1998). "A Fast Bipartite Network Flow Algorithm for Selective Assembly," *Operations Research Letters*, Vol. 22, 137-143.

[6] Pugh, G.A. (1992). "Partitioning for Selective Assembly," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. , 175-179.

[7] Teo, C.P., Sethuraman, J. and Tan W.P. (2001). "Gale-Shapley Stable Marriage Problem Revisited: Strategic Issues and Applications," *Management Science*, Vol. 47, No. 9, 1252-1267.

[8] Thesen, A. (1999). "Design and Evaluation of a Selective Assembly Station for High Precision Scroll Compressor Shells," *Proceedings of the 1999 Winter*

Simulation Conference, 694-700.

[9] Wattenhofer, M. and Wattenhofer, R. (2004). "Fast and Simple Algorithms for Weighted Perfect Matching," *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, Vol. 17, 285-291.