

Constraints Satisfaction Problem기법을 이용한 조종패널 설계방법

박성준, 조항준, 정의승, 장수영
포항공과대학교 산업공학과

ABSTRACT

A control panel layout method based on the constraint satisfaction problem (CSP) technique was developed to generate an ergonomically sound panel design. This control panel layout method attempts to incorporate a variety of relevant ergonomic principles and design constraints, and generate an optimal or, at least, a "satisfactory" solution through the efficient search algorithm. The problem of seeking an ergonomically sound panel design should be viewed as a multiple criteria problem, and most of the design objectives should be understood as constraints. Hence, a CSP technique was employed in this study for dealing with the multi-constraints layout problem. The efficient search algorithm using "preprocess" and "look_ahead" procedures was developed to handle the vast amount of computational effort. In order to apply the CSP technique to the panel layout procedure, the ergonomic principles such as spatial compatibility, frequency-of-use, importance, functional grouping, and sequence-of-use were formalized as CSP terms. The effectiveness of the developed panel layout method was evaluated by example problems, and the results clearly showed that the generated layouts took various ergonomic design principles into account.

1. 서론

산업현장에서 작업자들에 의해 운용되고 있는 각종기기들의 수가 증가함에 따라 조종패널 디자인의 중요성이 점차 증대되고 있다. 제조공정들은 중앙집중식으로 처리되고 있으며, 현대의 설비들은 단순한 기능으로부터 점차 복잡하고 정교한 기능들을 수행할 수 있도록 설계되고 있다. 반면, 경영진에서는 작업자의 작업부하에 대한 적절한 평가없이 작업인원의 축소 및 정예화를 추진하고 있다.

조종패널의 설계문제는 인간-기계 시스템(Man-Machine System)의 대표적인 예로서 작업효율을 높이기 위하여 많은 수의 조종장치들과 표시장치들을 적절히 설계, 배치해 나가는 과정을 말한다. 그러나 그동안의 인간공학 연구들의 대부분은 조종장치와 표시장치 자체의 설계에 관한 것이 대부분이었으며, 이러한 기기들의 적절한 배치에 관해서는 상대적으로 연구가 미진하였다. 이는 2차배정문제(Quadratic Assignment Problem)의 일종인 조종패널 배치문제의 최적해를 실질적으로 구하기 어렵다는데 기인하고 있다. 현재까지 이러한 배치문제를 해결하기 위하여 OR기법의 응용, 설비배치 프로그램의 적용, 그리고 조종패널 전용 시스템의 개발 등의 방법이 시도되었으나, 대부분 배치되어야 할 기기의 수가 적어야 적용 가능하거나, 단일 배치기준(Single Criteria)만을 사용하는 등의 단점을 가지고 있다.

조종패널의 배치문제에는 일반적으로 여러개의 배치기준(Multi-criteria)이 적용되고 있으며, 정성적인 배치기준과 정량적인 배치기준을 모두 고려해야 하는 특징을 가지고 있다. 조종패널의 사용성 향상을 위하여 공간적 양립성, 사용빈도의 원칙, 중요성의 원칙, 기능적 분류의 원칙, 그리고 사용순서의 원칙등과 같은 많은 인간공학 지침들이 배치기준으로 제시되고

있으며, 효율적인 조종패널 배치란 이와같은 정성적, 정량적 배치기준들을 모두 만족하는 배치안을 도출하는 문제로 귀결된다. 즉, 이러한 배치기준들은 조종패널 배치안의 적합성(Goodness)를 향상시키기 위하여 만족되어야 할 일종의 제약식(Constraints)으로 인식될 수 있으며, 따라서 Constraints Satisfaction Problem(CSP)의 개념이 배치문제의 해결을 위하여 적용될 수 있다.

작업효율을 향상시킬 수 있는 배치안을 도출하기 위하여는 위에서 언급한 각종 제약식들을 모두 만족하는 배치안을 구할 수 있어야 하며, 이를 위하여는 여러개의 기준을 함께 고려할 수 있는 알고리즘의 개발이 선행되어야 한다. 배치기준간의 상충(Confliction)을 설계자가 조정할 수 있으며, 많은 수의 기기들을 여러 제약 조건하에서 효율적으로 고려할 수 있는 기법의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 복수기준이 적용되는 조종패널의 배치문제를 효율적으로 해결할 수 있는 배치 알고리즘을 CSP기법에 기초하여 개발하였으며, 정량적 배치기준 뿐만아니라 인간공학 원리들과 같은 정성적 배치기준을 Computer Algorithm 상에서의 구현가능한 제약식들로 표현(Constraint Formalization)할 수 있도록 하였다.

2. 기존의 배치방법

조종패널 배치문제를 해결하기 위한 기존의 연구는 크게 세가지로 분류할 수 있다. 첫째, Operations Research 기법을 이용하는 방법으로서 Freund와 Sadosky(1967)는 비행기 조종석의 계기배치 문제에 Linear Programming기법을 적용하였다. 또한 40개 미만의 기기들에 대하여 Heuristic기법을 이용한 배치 방법에 대한 연구도 수행되었다(Hitchings, 1969). 그러나 이와같은 배치방법은 단일 배치기준(주로, 사용빈도)만을 고려하였을 뿐만아니라, 배치되어야 할 기기의 갯수가 적을 때만 적용가능한 단점을 가지고 있다. 더우기 이와같은 수리적 기법을 적용하지 않더라도 가장 빈도가 높은 기기를 중앙에, 그리고 그다음으로 빈도가 높은 기기를 그 다음 위치에 배치하는 식으로 배치해 나가도 유사한 결과를 얻게 되는 초보적 수준의 배치기법이라고 할 수 있다(Sanders and McCormick, 1987).

이와는 다른 유형의 접근방법으로는 일반적으로 설비배치문제를 해결하기 위하여 개발된 CRAFT, CORELAP과 같은 프로그램을 조종패널의 배치문제에 적용한 경우로서, 비행기 조종석 설계에 CRAFT를 이용한 연구가 발표되었다(Bartlett and Smith, 1973). 그러나 설비배치 프로그램을 조종패널의 설계에 적용하는데는 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째, 일반적으로 설비배치 프로그램들은 사용빈도만을 고려하거나(CRAFT), 기기간 연관관계의 중요도만을 고려(CORELAP)하는등 단일 배치기준을 사용하여 배치를 해나가나, 조종패널의 설계에는 위에서 언급한 인간공학적 배치기준과 같이 여러가지 고려되어야 할 기준들이 많으며 따라서 단일 배치기준에 의한 배치로는 이러한 여러 원칙을 충족시킬수 있는 배치안을 도출하기가 어렵다. 둘째, 설비배치문제는 기본적으로 설비와 설비간의 배치를 다루는 것인데 반하여 조종패널의 배치문제는 작업자와 기기간의 관계에 따른 배치가 이루어져야 하므로 그 성격이 서로 다르며, 따라서 설비배치 프로그램의 조종패널문제에의 적용에는 많은 제약이 따른다고 하겠다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 조종패널 배치문제를 위한 전용 시스템 개발에 관한 연구가 시도되었다. Rabideau와 Luk(1975)은 Monte-Carlo기법을 이용하여 최적배치안을 도출하려는 시도를 하였으며, 착석작업을 위한 CAPABLE 시스템(Bonney and Williams, 1977), 그

리고 입식작업에 대한 조종패널 배치를 위하여 LAYGEN 시스템이 개발되었다(Pulat and Ayoub, 1985). 이와같은 전용 시스템들은 작업자의 Anthropometry를 고려하는등 인간공학적 원리들을 적용하고자 하였으나, 이러한 시스템 역시 사전에 결정된 단일 목적함수에 의한 배치를 실시하는등의 문제점을 가지고 있다. 배치문제는 적용대상에 따른 고유성이 강한 성격의 문제이므로 이러한 특성(Domain-specific Knowledge)을 배치에 고려해야 함에도 불구하고 사전에 배치기준을 결정하므로써 적용의 효율성이 떨어지고 있다.

3. 배치 알고리즘

3.1. 복수배치기준과 효율적 배치기법 개발의 필요성

현재의 조종패널 배치 시스템들은 대부분 하나의 목적식을 최적화하는 것을 기본으로 하고 있다. 그리고 이러한 방법들은 몇가지 발견적 규칙(Heuristic Rule)들에 의해 기기들의 위치가 한번에 하나씩 결정되는 탐색방법들을 기초로하고 있다. 또한, 기존의 방법들은 기기들 간의 상대적 위치결정은 오직 이미 배치된 기기와의 관계에 의하여만 결정되며, 배치된 기기들의 위치는 정확히 배치된것, 즉 추후 배치과정에서 수정되지 않는것이라는 가정에 기초하여 배치를 해나간다. 그러나 기기들의 위치는 아직 배치되지 않은 기기들과의 관계에 의하여 제약받을 수 있으며, 이미 배치가 완료된 기기 역시 배치과정의 진행에 따라 위치변경(Backtracking)이 가능해야 보다 적합한 배치안을 생성할 수가 있다. 따라서 보다 적절한 설계를 위해서는 보다 광범위한 탐색공간(Search Space)이 고려되어야 한다. 그러나 이와같이 배치과정중에 backtracking을 허용할 경우, Search해야할 Space가 급격히 증가하게 되며, 따라서 효율적인 탐색기법의 개발이 필수적으로 요구된다. 특히, 복수배치기준이 적용될 경우에는 여러기준을 모두 만족하는 해를 찾기 위하여 많은 양의 Backtracking과정이 발생하게 되며, 따라서 효율적인 배치기법의 개발은 인간공학적으로 적합한 배치안 도출을 위한 핵심적인 연구과제라고 하겠다.

배치에 적용되는 기준, 즉 제약식들중에는 배치안의 성립을 위하여 반드시 만족되어야 할 제약식이 있는 반면, 보다 나은 배치안을 도출해내기 위하여 만족시키도록 노력해야 하는 제약식이 있다. 전자는 완화될 수 없는 제약식의 성격으로서 Hard Constraint로 불리울 수 있으며, 후자는설계자에 의한 조정(완화 또는 강화)이 가능하다는 의미로 Soft Constraint로 불리운다. 이중 Hard Constraints에 의한 배치는 단순히 제한된 공간안에 기기들을 배치하는것이므로 2차원 Bin-Packing문제로서 취급될 수 있으나 인간공학 원리등에 기초한 Soft Constraints 들은 설계자의 조정에 따라 제약식의 변동결과를 고려할 수 있어야 한다. 즉, 설계자가 배치 상황에 따라 제약식을 조정했을때, 빠른 시간안에 제약식의 만족 여부를 확인할 수 있도록 하므로써 복수 배치기준하에서 가장 적합한 배치안을 도출할 수 있게 된다.

3.2. Preprocess와 Look Ahead

본 연구에서는 다양한 인간공학적 지침들을 반영하는 일련의 제약식하에서의 풀이과정으로서 배치문제를 접근하기 위하여 CSP기법을 응용하여 배치 알고리즘을 도출하였다. CSP기법은 인공지능의 한 분야로서 개발되었으며, Machine Vision또는 일정계획문제등과 같은 분야에서 주로 응용되어왔다. CSP기법은 범위가 제한되어 있는 변수에 주어진 제약식을 만족하는값을 할당하는 기법이라 할 수 있다. 즉, CSP는 전체 탐색공간상에서 효과적인 탐색에 의해 일련의 제약식들을 만족시키는 하나의 해를 찾는 방법으로 인식할 수 있다(Haralick

and Elliott, 1980). 본 연구에서는 탐색공간을 줄이고 주어진 제약식들을 모두 만족하는 해를 효율적으로 찾기 위한 방법으로 Preprocess 과 Looking_Ahead의 개념을 도입하였다. 탐색 알고리즘에 대한 상위수준에서의 Pseudo Code는 다음과 같다.

```
begin
Preprocess;
Search(partial_design,Done);
If(Done) output partial_design;
else "Infeasible solution : seach failed";
end;
```

Preprocess는 탐색효율을 향상시키기 위하여 무의미한 탐색작업을 방지하기 위한 사전 작업이라고 할 수 있다. 각 기기에 주어진 제약식들을 이용하여 미리 자신이 놓일 수 없는 영역들을 탐색공간상에서 배제하므로써 전체 탐색공간을 모두 탐색해야하는 비효율성을 방지한다. 본 연구에서 도입된 Preprocess는 그림 1의 과정으로 설명될 수 있다. 예를 들어 기기 A의 크기가 가로 6, 세로 6, 그리고 기기 B의 크기가 가로 6, 세로 2이며 기기 A와 기기 B가 각각 Comfortable Reach Region과 Primary Visual Area(그림 1-(a))에 배치되어야 하는 제약식을 가지고 있다고 하자. 또한 두 기기간의 사용순서에 따라 기기 A가 기기 B의 오른쪽 또는 아래에 배치되는 것야 하며, 기기간의 최대거리가 4 이하여야 할때, 기기 A에 대한 탐색영역은 Preprocess 기능에 의하여 다음과 같이 축소되어 결정된다.

기기 A의 크기를 고려할때 A의 기준점(North-West Comer)은 그림 1-(b)에서 표시된 영역에는 배치될 수가 없다. 또한, Comfortable Reach Region에 배치되어야 하므로 기준점들이 배치될 수 있는 영역은 그림 1-(c)와 같이 된다. 그러나 두 기기간의 관계에 의한 제약, 즉 기기 A는 기기 B의 오른쪽 또는 아래에 배치되어야 한다는 제약과 기기 B는 Primary Visual Area에 배치되어야 하며 기기두기기간의 간격이 4이상일 수 없다는 조건에 따라 그림 1-(d)의 그늘진 영역은 배치가능영역에서 제외된다. 따라서 Preprocess과정에 의하여 결정된 기기 A의 배치가 가능영역은 그림 1-(c)와 같으며, 전체를 모두 탐색할 필요없이 그림 1-(e)의 영역에 대하여만 탐색을 하면 되므로 탐색량을 크게 축소시킬 수 있게 된다. 각 기기들에 대한 Preprocess과정이 끝나면 배치안을 도출하기 위한 탐색작업이 시작된다. 다음은 탐색과정의 대략적인 소개이다.

```
Search(partial_design,Done)
If(Finished(partial_design))Done:=true; return;
Look_ahead(partial_design,SET);
While(SET is not empty)
    select one from SET and place the next element into partial_design;
    Search(partial_design,Done);
    if(DONE)return;
    else extract the last element and adjust the SET;
end_While
return{Done=false};
```

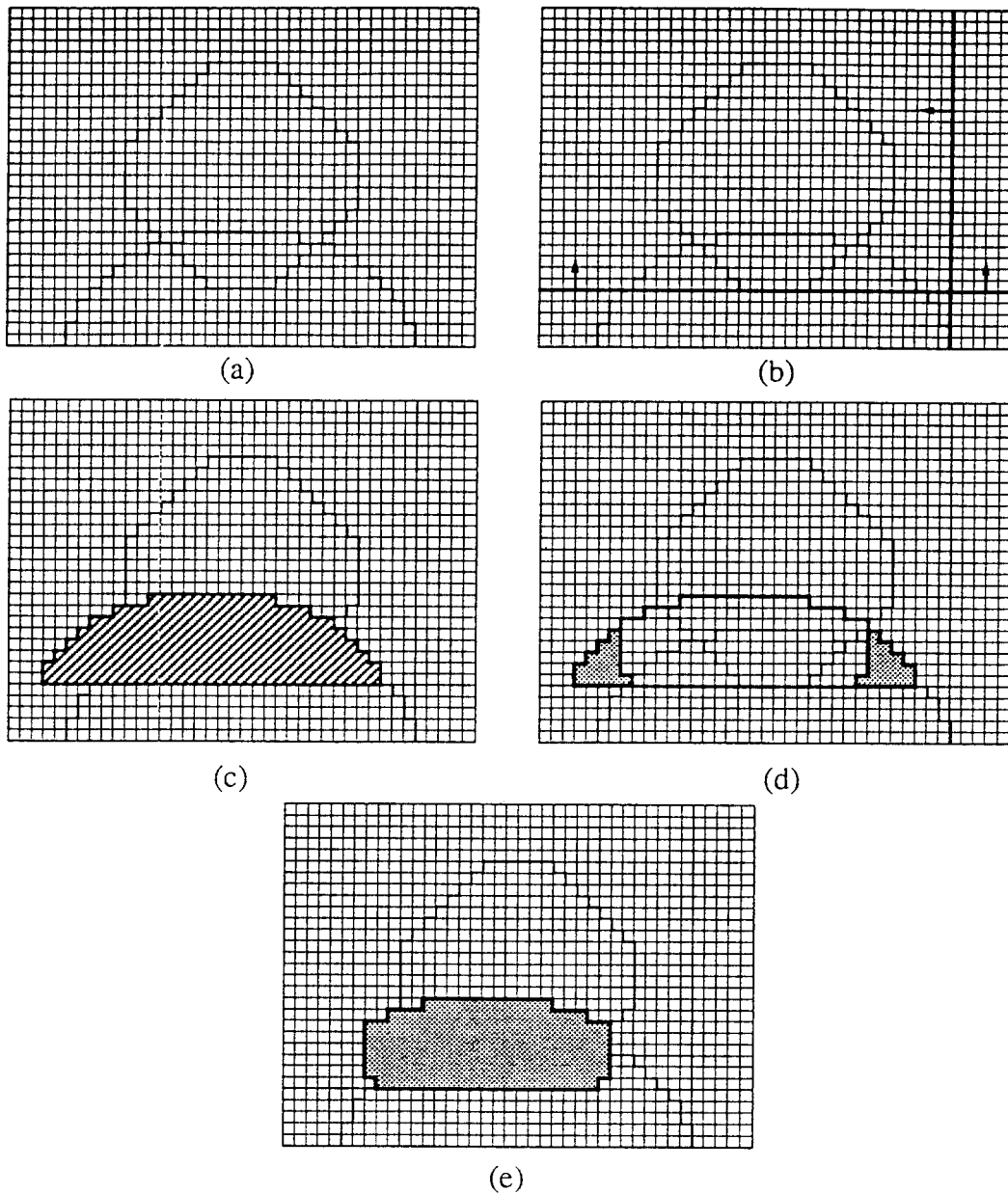


그림 1. Preprocess 에 따른 탐색영역의 축소

여기서 `partial_design` 이란 부분적으로 완성된, 현재 배치중인 패널배치안을 나타내는 자료구조(Data Structure)이다. `Look_ahed Routine`은 `Preprocess`와 함께 효율적 탐색을 위하여 도입된것으로서, 현재의 중간 배치안을 기준으로하여 남은 기기들의 배치가능 여부를 미리 확인하는 절차이다. 즉, 배치를 계속 진행해 나가기 전에 현재의 중간 배치상태를 유지하면서 배치를 완성할 수 없는 것이 확실하면 더이상의 탐색을 중단하고 `Backtracking`을 하므로써 불필요한 탐색횟수를 줄이려는 방법의 일종이다. 본 연구에서의 탐색과정을 위에서 나타낸 `Pseudo Code`에 따라 간략히 설명하면 다음과 같다.

`Finished Routine`은 모든 기기들이 패널상에 배치되었는가를 확인하며, 배치가 완료되지 않은 경우, `Look_ahed Routine`에 의하여 현재의 부분적인 배치안을 유지하면서 나머지 기기들을 패널에 배치할 수 있는지를 검토하여 `Non-empty SET`을 리턴한다. `SET`은 각 기기들이 패널위에 배치될 수 있는 위치들에 대한 정보를 가지고 있는 변수로서, 기기가 남아 있는 상태

에서 SET이 Empty-value를 갖게 되면 현재의 배치안 도출과정은 실패(Infesible)가 된다. 본 연구에서 SET은 Pulat 과 Ayoub(1985)의 경우처럼 패널을 유한개의 작은 정방형 블록으로 나누어서 표현하였다. SET에서 한 지점을 선택하여 다음 배치순서의 기기를 패널상의 그 위치에 배치한 뒤, 새로운 부분배치안을 Partial_design으로 하여 다시 반복적(Recursively)으로 Search Routine을 실행한다. 다음 단계에서 탐색이 성공하면 즉 Search Routine이 True의 Done을 리턴하면 탐색은 끝나며, 그렇지 않은 경우는 Partial_design으로부터 마지막에 추가된 기기를 제거하고 SET역시 마지막 기기에 의해 사용되었던 위치를 지우게(Backtracking) 되므로써 수정된다. 이러한 반복적 과정은 SET이 Empty 로 되거나 Done 이 True가 될 때까지 계속된다.

4. 제약식의 표현 (Constraints Formalization)

CSP 기법을 패널 배치문제에 적용하기 위하여는 배치기준들, 즉 각종 제약식들을 탐색 알고리즘상에서 구현할 수 있는 형태(Formalization)로 표현해야 한다. 대부분의 제약식들은 위에서 언급한 Hard Constraints와 Soft Constraints의 두 범주로 분류될 수 있다. 2차원 Bin-Packing문제로 쉽게 다루어질 수 있는 Hard Constraints 경우와는 달리 인간공학적 지침들에 근거한 Soft Constraints는 정성적 성격이 강하므로 제약식으로 표현하기가 매우 곤란하다. 본 연구에서는 S_{ij} , I_{ij} , D_{ij} , PV, 그리고 CR 등의 변수를 이용하여 각종 인간공학 원리들을 알고리즘상에서 구현 가능한 제약식으로 표현할 수 있도록 하였다.

S_{ij} 는 기기 I, J 간의 상대적 위치를 나타내기 위하여 도입된 변수로서 기기 I에 대한 기기 J의 배치 가능위치들의 집합을 나타낸다(그림 2참조). 예를 들어, $S_{ij}=\{1,2,8\}$ 은 기기 J는 기기 I의 위에만 놓일 수있음을 의미한다. I_{ij} 는 기기 I, J 사이에 놓일 수있는 기기들의 갯수를 나타내며 D_{ij} 는 기기 I, J 사이의 최대거리로서 그 이상 떨어져서 배치될 수 없음을 의미한다. 또한, PV와 CR은 Primary Visual Region과 Comfortable Reach Region에 배치되어야 하는 기기들의 집합을 각각 나타낸다. 그리고 C_i 는 기기 I의 최소여유공간(Clearance)을 의미한다. W_i 와 H_i 는 각 기기들의 폭(Width)과 높이(Height)를 표시하기 위하여 사용되었다.

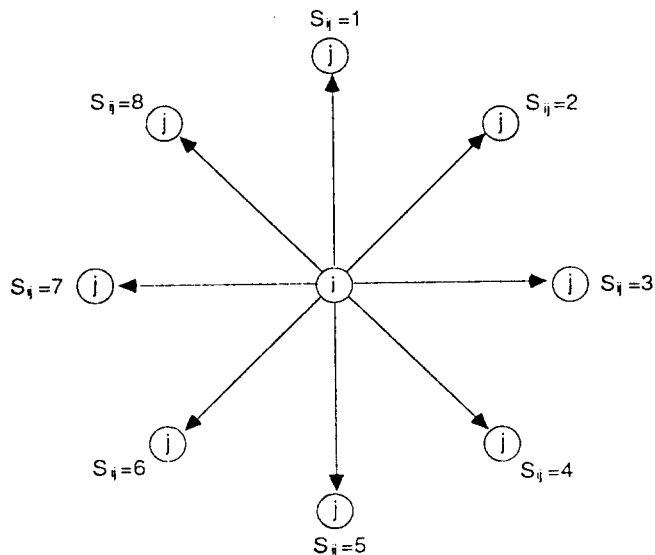


그림 2. 두기기간의 상대적 위치표현 - S_{ij}

예를 들어, 기기 I의 조작이 기기 J의 조작에 선행되는 경우, 사용순서의 원칙이 적용되어야 하며, 이와 관련된 제약식은 다음과 같이 표현될 수 있다. 두 기기들은 가까이 배치되어야 하며($D_{ij}=d$, d 는 임의의 작은 값), 두 기기사이에는 원활한 순서적 조작을 위하여 다른 기기가 배치되지 않는 것이 적합하다($I_{ij}=0$). 또한 조작 순서상 다음에 사용될 기기는 앞서 사용되는 기기의 오른쪽 또는 아래에 배치하는 것이 바람직하다($S_{ij}=(3,5)$). 따라서 사용순서의 원칙은 S_{ij} , D_{ij} , I_{ij} 를 이용하여 표현할 수 있다. 한편, 기기 I, J가 자주 사용되는 표시장치라면, 이러한 기기들은 Primary Visual Area내에 위치하여야 하며, 이를 위하여 $PV=(I, J)$ 로 나타내어지는 제약식이 포함되어야 한다.

5. 적용예제

24개의 기기로 구성된 비교적 간단한 예제를 통하여 복수 배치기준하에서의 CSP기법을 이용한 조종패널 배치방법의 효용성을 검증하였다. 13개의 표시장치(Display)와 11개의 조종장치(Control)들로 구성된 24개의 기기들을 하나의 패널상에 배치하는 것으로서, 본 예제에서 사용된 표시장치들은 2개의 원형 Analog 표시장치(A,B)와 3개의 선형 Analog 표시장치(C,D,M), 3개의 CRT Monitor (E,F,G), 3개의 디지털 계기장치 (H,I,J), 1개의 경광등(K) 그리고 작업상황 표시등(L)으로 구성되어 있다. 또한, 조종장치들은 2개의 핸드휠 조종장치(1,2), 2개의 손잡이(Knob) 형태의 조종장치(3,4), 1개의 비상정지 버튼(5), 1개의 토글 스위치(6), 3개의 레버형태 조종장치(7,9,10), 1개의 전원버튼(8), 그리고 1개의 작업유형 선택버튼(11)으로 구성되어 있다(그림 3 참조). 각 기기들에 대한 제약식 및 표현결과들은 표 1에 나타내었다.

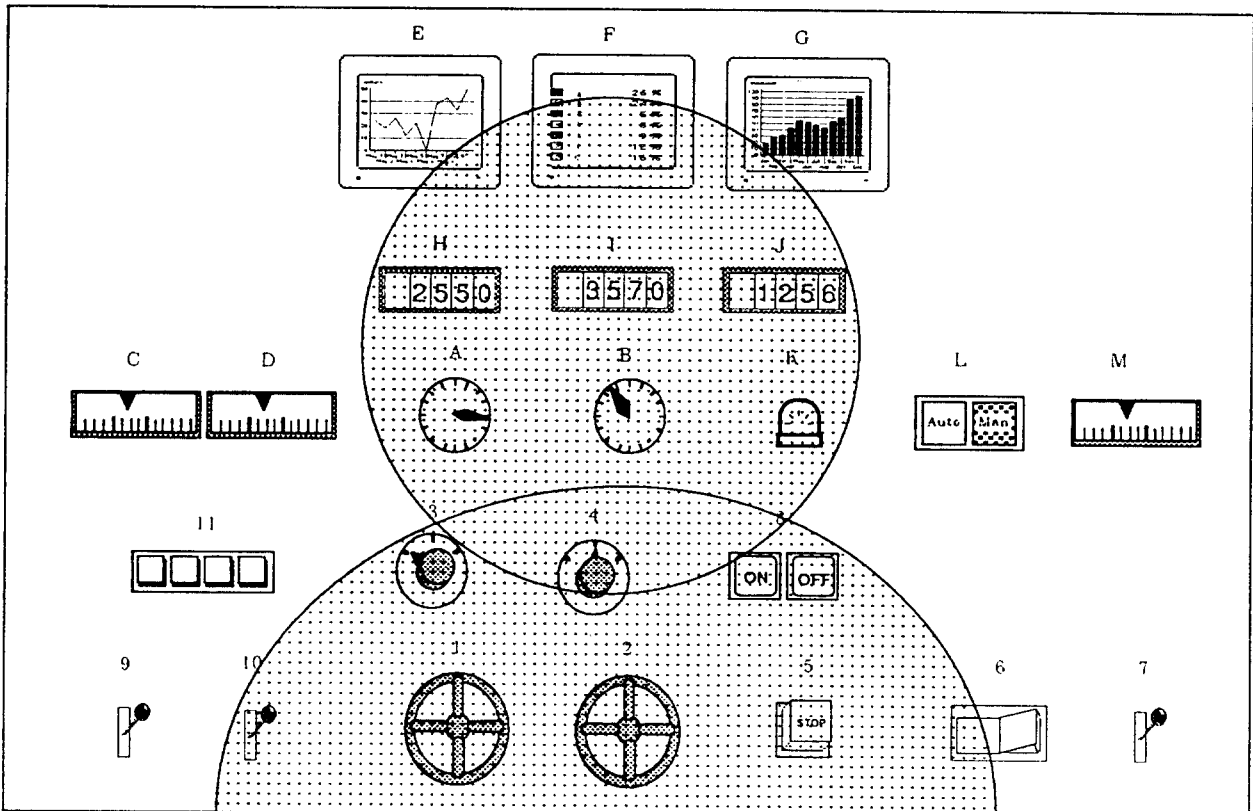


그림 3. CSP기법을 통한 배치예

표 1. 제약식의 표현결과

변 수	표현 결과	관련제약식(인간공학 원칙)
S_{ij}	$S_{AB}, S_{EF}, S_{FG}, S_{IH}, S_{IJ}, S_{KL},$ $S_{LM}, S_{12}, S_{34}, S_{56}, S_{67}, S_{9,10},$ $S_{10,11} = \{1, 3, 5, 7\}$	기능별 Grouping 원칙
	$S_{EF}, S_{FG}, S_{KL}, S_{LM}, S_{34}, S_{56},$ $S_{67}, S_{9,10} = \{3, 5\}$	사용순서의 원칙
	$S_{1A}, S_{2B}, S_{3H}, S_{4I}, S_{5K}, S_{6L},$ $S_{7M}, S_{9C}, S_{10D} = \{1, 7\}$	공간적 양립성
D_{ij}	$D_{AB}, D_{EF}, D_{FG}, D_{IH}, D_{IJ}, D_{KL},$ $D_{LM}, D_{12}, D_{34}, D_{56}, D_{67}, D_{9,10},$ $D_{10,11} = 5$	기능별 Grouping 원칙 사용순서의 원칙
I_{ij}	$I_{AB}, I_{EF}, I_{FG}, I_{IH}, I_{IJ}, I_{KL}, I_{LM},$ $I_{12}, I_{34}, I_{56}, I_{67}, I_{9,10}, I_{1A}, I_{2B},$ $I_{3H}, I_{4I}, I_{5K}, I_{6L}, I_{7M}, I_{9C}, I_{10D} = 0$	기능별 Grouping 원칙 사용순서의 원칙 공간적 양립성
PV	$PV = \{A, B, H, I, K\}$	사용빈도의 원칙 중요성의 원칙
CR	$CR = \{1, 2, 3, 4, 5, 8\}$	사용빈도의 원칙 중요성의 원칙

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 본 연구에서 개발한 배치 알고리즘에 의하여 최종적으로 도출한 배치안은 주어진 제약식들을 잘 만족시키고 있음을 알 수 있다. 조종장치 1, 2, 3, 4, 5, 8 과 표시장치 A, B, H, I, K는 모두 주어진 제약조건에 따라 Comfortable Reach Region과 Primary Visual Area에 위치하고 있으며, 조종장치 1-2, 3-4, 5-6-7, 9-10-11 과 표시장치 A-B, E-F-G, K-L-M 은 기능적 분류의 원칙에 따라서 Grouping되어 배치되어 있다. 특히, E-F-G, K-L-M, 3-4, 5-6-7 그리고 9-10은 조작순서의 흐름에 따라 잘 배치되어 있다. 이는 본 예제에서 도출된 배치안이 사용순서의 원칙을 충실히 지키고 있음을 의미한다. 그리고 서로 연관되는 조종장치와 표시장치들은 공간적 양립성을 유지하기 위해 관련 조종장치 위에 해당 표시장치가 위치하는 형태로 배치되어 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 조종패널 배치방법에 의하여 인간공학적 원리들을 충실히 반영할 수 있는 배치안을 도출 할 수가 있음을 알 수 있다.

6. 논의 및 결론

좁은 작업공간상에 많은 기기들을 배치해야 하는 각종 운전실이나 비행기 조종석 등의 설계에서 조종장치와 표시장치의 적절한 배치는 작업성능에 큰 영향을 미친다. 잘못배치된 조종패널은 작업자의 불필요한 동작을 유발시킬 뿐만 아니라 작업수행 시간과 오조작 가능성을 증가시키게 된다.

현존하는 대부분의 조종패널 배치시스템들은 Heuristic Algorithm에 의존하고 있으며, 대부분 사전에 결정된 목적함수에 의하여 최적화를 시도하고 있다. 기존의 배치방법들은 현 상태에서 최적의 배치결정을 내린뒤, 한번 배치된 기기들에 대하여는 더이상 고려를 하지 않는 방법을 사용하고 있으나, 이러한 배치방법은 Local Optimum에 도달할 가능성이 매우 높으며, 복수 배치기준이 적용될 경우에는 상당수의 배치기준을 만족 못하는 배치안이 도출될 경우도 있다. 비록, 현상태에서는 최선이 아닌 차선의 위치라 할지라도 그러한 위치를 선택함으로써 전체적으로는 보다 적합한 배치안을 구성할 수 있으므로 보다 넓은 탐색공간을 고려하는 탐색방법이 기존의 Heuristic 기법에 의한 알고리즘보다 보다 효율적일 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 Backtracking 을 허용하는 배치 알고리즘을 개발함으로써 보다 많은 기준을 만족하는 배치안을 도출해 낼 수있도록 하였다. 즉, 배치가 완료된 기기들에 대하여도 위치변경여부를 고려함으로써 전체적으로 만족스러운 배치안(Satisfactory Solution)을 찾을 수 있도록 하였다.

또한, 작업효율을 증대시킬 수 있는 배치안은 인간공학 배치기준등과 같은 여러 배치기준이 종합적으로 고려될때 도출가능하므로, 사전에 결정된 단일 함수에 의한 배치방법보다는 여러 배치기준들을 설계자가 조정해나가면서 배치안을 결정해나가는 방법이 보다 효과적인 방법이라고 생각된다. 그러나 많은 수의 기기들을 배치해나가면서 복수 배치기준하에서의 제약식 만족여부를 확인하는 작업은 엄청난 양의 탐색작업을 요구하며, 따라서 본 연구에서는 CSP기법의 강력한 탐색능력을 이용하여 여러 제약식을 만족하는 배치결과를 빠르게 도출할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 배치기법은 제약식만족 여부를 빠르게 제시하여 주므로써 설계자가 배치상황에 맞게 제약식을 조정하여 입력해나가는 접근방법(즉, Interactive and Iterative Approach)을 가능하게 하여 보다 효과적인 배치안을 도출하는데 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

보다 많은 양의 기기들을 효율적으로 다루기 위하여 더욱 향상된 성능의 탐색 알고리즘 개발이 현재 진행중에 있으며, 설계자의 조정에 의한 반복적 개선작업이 보다 용이하게 이루어질 수 있도록 하기 위한 Graphic User Interface가 현재 구현중에 있다.

참고문헌

- [1] Bartlett, M. W., and Smith, L. A., "Design of control and display panels using computer algorithm" Human Factors, 15(1) : 1-7, 1973.
- [2] Bonney, M. C., and Williams, R.W., "CAPABLE. A computer program to layout controls and panels" Ergonomics, 20(3) : 297-316, 1977.
- [3] Freund, L.E. and Sadosky, T.L., "Linear Programming Applied to Optimization of Instrument Panel and Workplace Layout", Human Factors, 9(4) : 295-300, 1967.
- [4] Haralick, R. M., and Elliot, G.L., "Increasing tree search efficiency for constraint

- satisfaction problems" *Artificial Intelligence*, 14 : 263-313, 1980.
- [5] Hitchings, G. G., "The Problem of Assignment Relating to the layout Design of Control and Display Panel", *Instrument Practice* : 508-511, 1969.
- [6] Pulat, B. M., and Ayoub, M.A., "A computer-aided panel layout procedure for process control jobs - LAYGEN", *IIE Transactions*, 17(1) : 84-93, 1985.
- [7] Rabideau, G. F., and Luk, R. H., "A monte carlo algorithm for workplace optimization and layout planning - WOLAP" In *Proceedings of Human Factors Society 19th Annual Meeting* (pp. 187-192). Dallas, Texas: Human Factors Society, 1975.
- [8] Sanders, M. S., and McCormick, E. J., *Human factors in engineering and design*. (6th ed.) New York : McGraw-Hill, 1987.