

제약만족 알고리즘을 이용한 상호대화적 조종패널 배치

Interactive Control Panel Layout Using a Constraint Satisfaction Algorithm

박성준*, 정의승*, 장수영*

Sungjoon Park*, Eui S. Jung*, and Soo Y. Chang*

Abstract

An interactive and iterative 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 an efficient search algorithm. The problem of seeking an ergonomically sound panel design should be viewed as a multi-criteria design 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 vast amount of computation. 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 proposed panel layout method was evaluated by example problems and the results clearly showed that the generated layouts properly considered various ergonomic design principles.

1. 서론

산업현장에서 작업자들에 의해 운용되고 있는 각종기기들의 수가 증가함에 따라 조종

패널 디자인(Control Panel Design)의 중요성이 점차 증대되고 있다. 제조공정들은 중앙 집중식으로 처리되고 있으며, 현대의 설비들은 단순한 기능으로부터 점차 복잡하고 정교

* 포항공과대학교 산업공학과

한 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 개개의 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 조종패널배치 전용 시스템의 개발 등의 방법이 시도되었으나, 대부분 배치가 되어야 할 기기의 수가 적을 경우에 적용이 가능하거나, 단일 배치기준(Single Criterion)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 제약만족문제 (Constraints Satisfaction Problem; CSP)의 개념이 배치문제의 해결을 위하여 적용될 수 있다.

작업효율을 향상시킬 수 있는 배치안을 도출하기 위해서는 위에서 언급한 각종 제약식들을 만족하는 배치안을 구할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 여러개의 기준을 함께 고려할 수 있는 알고리즘의 개발이 선행되어야 한다. 즉, 배치기준간의 상충(Conflict)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 배치 알고리즘에서 구현가능한 제약식들로 표현할 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[5]는 비행기 조종석의 계기배치 문제에 Linear Programming 기법을 적용하였다. 또한 40개 미만의 기기들에 대하여 발견적(Heuristic)기법을 이용한 배치방법에 대한 연구도 수행되었다[7]. 그

려나 이와 같은 배치방법은 단일 배치기준(주로, 사용빈도)만을 고려하였을 뿐만 아니라, 배치되어야 할 기기의 갯수가 적을 때만 적용가능한 단점을 가지고 있다. 더욱이 이와같은 방법은 복잡한 최적화 기법을 적용하지 않더라도 가장 빈도가 높은 기기를 중앙에, 그리고 그다음으로 빈도가 높은 기기를 그다음 위치에 배치하는 식으로 배치해도 유사한 결과를 얻게 되는 초보적 수준의 배치 기법이라고 할 수 있다[13].

이와는 다른 유형의 접근방법으로는 일반적으로 설비배치문제를 해결하기 위하여 개발된 CRAFT, CORELAP과 같은 프로그램을 조종패널의 배치문제에 적용한 경우로서, 비행기 조종석 설계에 CRAFT를 이용한 연구가 발표되었다[1]. 그러나 설비배치 프로그램을 조종패널의 설계에 적용하는데는 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째, 일반적으로 설비배치 프로그램들은 사용빈도만을 고려하거나(CRAFT), 기기간 연관관계의 중요도만을 고려(CORELAP)하는등과 같이 단일 배치기준을 사용하여 배치를 하나, 조종패널의 설계에는 위에서 언급한 인간공학적 배치기준과 같은 여러가지 고려되어야 할 기준들이 많으며, 따라서 단일 배치기준에 의한 배치로는 이러한 여러 원칙을 충족시킬 수 있는 배치안을 도출하기가 어렵다. 둘째, 설비배치 문제는 기본적으로 설비와 설비간의 배치를 다루는 것인데 반하여, 조종패널의 배치문제는 작업자와 기기간의 관계에 따른 배치가 이루어져야 하므로 그 성격이 상이하므로, 따라서 설비배치 프로그램의 적용에는 많은 제약이 따른다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 조종패널

배치문제를 위한 전용 시스템 개발에 관한 연구가 시도되었다. Rabideau와 Luk[10]은 Monte-Carlo기법을 이용하여 최적배치안을 도출하려는 시도를 하였으며, 착석작업에 대한 조종패널 배치를 위하여 CAPABLE 시스템[2]이, 그리고 입식작업에 대하여 LAY-GEN 시스템이 개발되었다[9]. 이와같은 전용 시스템들은 작업자의 인체측정학(Anthropometry)등의 인간공학적 원리들을 적용하고자 하였으나, 사전에 결정된 단일 목적함수에 의한 배치라는 문제점을 가지고 있다. 배치문제는 적용대상에 따른 고유성이 강한 문제이므로 이러한 특성(Domain-specific Knowledge)을 배치에 고려해야 함에도 불구하고 사전에 확립화된 배치기준을 적용함에 따라 효율성이 떨어지고 있다.

3. 상호대화적 배치방법

문제 중심적인(Domain-specific problem) 특성을 가지고 있는 배치문제의 해결을 위해서는 단일배치기준에 기초한 배치보다 배치의 중간결과를 설계자가 평가해가면서 배치기준들을 적절히 적용해나가는 방식이 보다 적합하다고 할 수 있다.

조종패널 설계문제에 있어서 설계자와의 상호대화적(Interactive)인 접근방법이 보다 효율적일 수 있는 근거는 다음과 같다. 첫째, 배치문제를 해결함에 있어 종종 배치기준간의 상충을 설계자가 적절히 조정해야 하는 경우가 자주 발생한다. 그러나 사전에 이러한 상충을 어떻게 해결해야 하는지를 미리 파악하는 것은 불가능한 일이라고 할 수 있다. 둘째, 인간공학적 지침들과 같은 정성적

배치기준들을 정량적인 기준에 의해 일괄적으로 평가하는것은 적합하지 않다. 셋째, 대규모 배치문제의 경우, 설계자가 방대한 입력 데이터를 사전에 모두 입력하기란 쉬운일이 아니며, 따라서 단계적인 평가를 거쳐 입력 데이터를 추가 또는 조정하는 방식이 보다 적합하다.

앞에서 언급한 바와같이 배치기준은 배치안이 만족해야 할 제약식으로 인식될 수 있으며, 이러한 제약식들은 배치안의 가능해 영역(Feasible solution domain)을 규정하게된다. 결국, 배치안을 도출하는 문제는 이러한 가능해 영역내에서 해를 찾는 문제라고 할 수 있다[3]. 이를 위하여 본 연구에서는 제약만족 알고리즘(Constraint Satisfaction Algorithm)을 적용하였으며, 중간배치안의 평가에 기초하여 제약식을 추가(Constrain) 또는 완화(Relax)해가면서 최종 배치안을 도출해나가는 방식을 채택하였다. 이러한 상호대화적 접근방식에 의하여 제약식들을 수정하면서 반복적으로 해를 개선해 나감으로서 주어진 문제의 특성에 보다 적합한 배치안을 도출할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 조종패널의 배치방법을 정리하면 그림 1과 같다.

4. 배치 알고리즘

4.1. 효율적 배치기법 개발의 필요성

현재의 조종패널 배치 시스템들은 몇가지 발견적 규칙(Heuristic Rule)들에 의해 기기들의 위치가 한번에 하나씩 결정되는 탐색방법들을 기초로 하고 있다. 이러한 방법들은 기기들간의 상대적 위치결정이 오직 이미 배치된 기기와의 관계에 의해서만 결정되며, 배

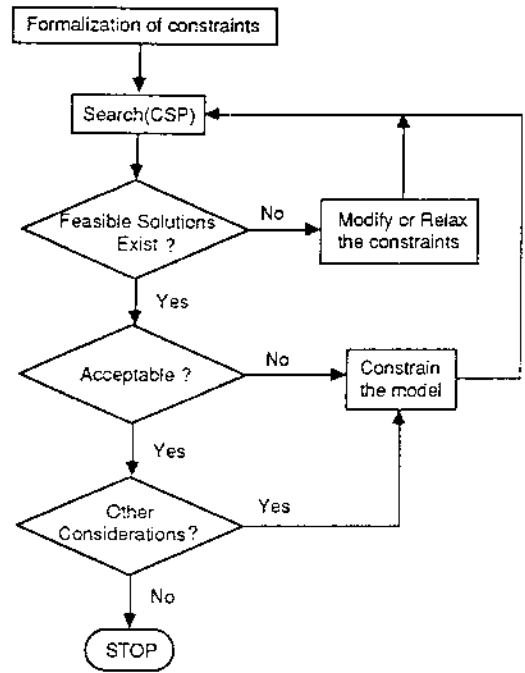


그림 1. 상호대화적 배치절차

치된 기기들의 위치는 정확하다는, 즉 추후 배치과정에서 수정되지 않는다는 가정에 기초하고 있다. 그러나 기기들의 위치는 아직 배치되지 않은 기기들과의 관계에 의하여 제약받을 수 있으며, 이미 배치가 완료된 기기 역시 배치과정의 진행에 따라 위치변경(Backtracking)이 가능할때 보다 적합한 배치안을 생성할 수가 있다. 그러나 이와같이 배치과정중에 Backtracking을 허용할 경우, 탐색공간이 급격히 증가하게 되며, 따라서 효율적인 탐색기법의 개발이 필수적으로 요구된다. 특히, 복수배치기준이 적용될 경우에는 여러기준을 모두 만족하는 해를 찾기 위하여 많은 양의 Backtracking과정이 발생하게 되므로 효율적인 배치기법의 개발이 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 제약식으로서 "Hard Constraint"로 규정할 수 있으며, 후자는 설계자에 의한 조정(완화 또는 강화)이 가능하다는 의미에서 "Soft Constraint"로 규정된다. 이중 Hard Constraints에 의한 배치는 단순히 제한된 공간안에 기기들을 배치하는 것이므로 2차원 Bin-Packing문제로서 취급될 수 있으나, 인간공학 원리등에 기초한 Soft Constraints들은 배치과정중에 설계자에 의한 조정이 가능해야 하며, 배치시스템은 이러한 제약식의 변동결과를 설계자가 평가할 수 있는 기능을 제공하여야 한다. 본 연구에서는 이와 같이 제약식이 조정되었을때, 빠른시간안에 제약식의 만족 여부를 확인할 수 있도록 함으로써 복수 배치기준하에서 가장 적합한 배치안을 도출할 수 있도록 한다.

4.2. 제약만족기법에 의한 배치 알고리즘

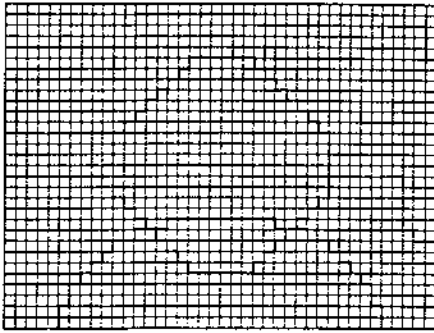
본 연구에서는 다양한 인간공학적 지침들을 반영하는 일련의 제약식하에서의 풀이과정으로서 배치문제를 파악하여 CSP기법을 응용한 배치 알고리즘을 도출하였다. CSP기법은 인공지능의 한 분야로서 개발되었으며, Machine Vision [11; 12] 또는 일정계획문제 [4]등과 같은 분야에서 주로 응용되어왔다. CSP기법은 범위가 제한되어 있는 변수에 주어진 제약식을 만족하는 값을 할당하는 기법

이라 할 수 있다. 즉, CSP는 전체 탐색공간 상에서 효과적인 탐색에 의해 일련의 제약식들을 만족시키는 하나의 해를 찾는 방법으로 인식할 수 있다[6]. 이러한 탐색기법중에서 가장 기본적인 방법은 가능한 조합을 모두 만들어내는 생성 및 테스트 (Generate and Test; GT)기법이다. 그러나 GT기법은 방대한 탐색량을 야기함으로써 실제문제의 해결에는 적합하지 않으며[8], 일반적으로 효율적인 탐색을 위하여 Looking Ahead, Partial Looking Ahead, Forward Checking, Backchecking, Backmarking등의 개념이 CSP 기법으로 적용되고 있다. 본 연구에서는 주어진 제약식들을 만족하는 해를 효율적으로 찾기위한 방법으로 Preprocess와 Looking Ahead의 개념을 도입하였다. 탐색 알고리즘에 대한 상위수준에서의 Pseudo Code는 다음과 같다.

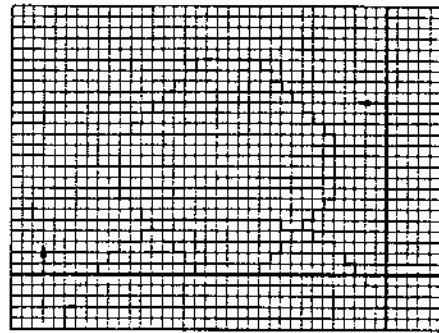
```

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

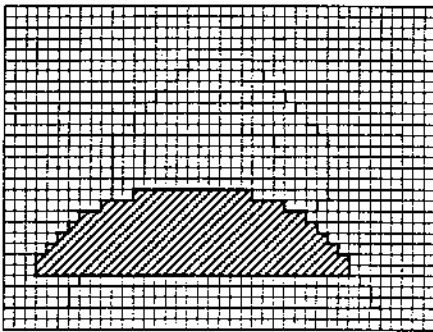
Preprocess는 무의미한 탐색작업을 방지함으로써 탐색효율을 향상시키기 위한 사전작업이라고 할 수 있다. 각 기기와 관련된 제약식들을 이용하여 미리 자신이 놓일 수 없는 영역들을 탐색공간에서 배제함으로써 전체 탐색공간을 모두 탐색해야하는 비효율성을 방지한다. 본 연구에서 도입된 Preprocess는 그림 2와 같은 과정으로 설명될 수 있다. 예를 들어 기기 A의 크기가 가로 6, 세로 6,



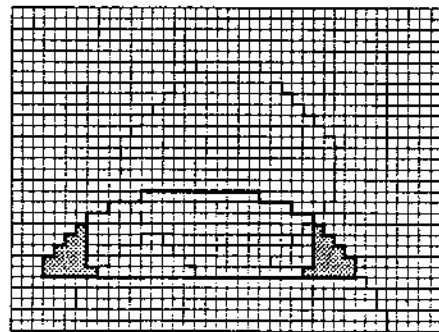
(a) 주시영역과 편의조종영역



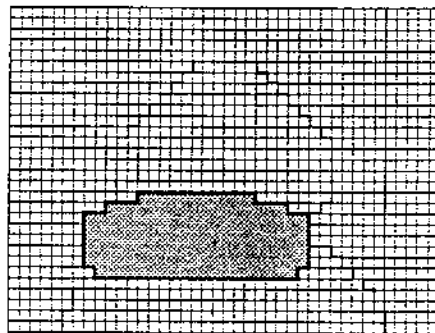
(b) 크기 제약에 의한 축소



(c) 절대위치영역 제약에 의한 축소



(d) 상대위치영역 제약에 의한 축소



(e) 최종 배치 가능 영역

그림 2. Preprocess 에 따른 탐색영역의 축소

그리고 기기 B의 크기가 가로 6, 세로 2이며, 기기 A와 기기 B는 각각 편의조종영역(Comfortable Working Area)과 주시영역(Primary Visual Area)에 배치되어야 하는 제약식을 가지고 있다(그림 2-(a)). 또한 두 기기

간의 사용순서에 따라 기기 A는 기기 B의 오른쪽 또는 아래에 배치되어야 하며, 기기간의 최대거리가 4 이하여야 한다면, 기기 A에 대한 탐색영역은 Preprocess 기능에 의하여 다음과 같이 축소되어 결정된다.

기기 A의 크기를 고려할때 A의 기준점(Upper-left Corner)은 그림 2-(b)에서 표시된 영역외에는 배치될 수가 없다. 또한, 편의 조종영역에 배치되어야 하므로 기준점들이 배치될 수 있는 영역은 그림 2-(c)와 같다. 그러나 두 기기간의 관계에 의한 제약, 즉 기기 A는 기기 B의 오른쪽 또는 아래에 배치되어야 한다는 제약과 기기 B는 주시영역에 배치되어야 하며 두 기기간의 간격이 4이상 이 될 수 없다는 조건에 따라 그림 2-(d)의 그늘진 영역은 배치가능영역에서 제외된다. 따라서 Preprocess 과정에 의하여 결정된 기기 A의 배치가능영역은 그림 2-(e)와 같으며, 전체를 모두 탐색할 필요없이 그림 2-(e)의 영역에 대하여만 탐색을 하면 되므로 탐색량을 크게 축소시킬 수 있다.

한편, Preprocess 기능은 기기들의 탐색순서를 결정하는 역할 역시 수행한다. 이러한 탐색순서의 결정은 일반적으로 'Variable Ordering'으로 불리우며, 탐색시간의 단축에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 "실패우선(Fail-first)" 원칙에 따라 탐색순서를 결정하였다. 이 원칙은 Preprocess결과, 제약식을 만족할 가능성이 가장 낮은 기기부터 탐색을 고려하여 탐색트리의 상위노드(Node)에서 Backtracking이 발생하도록 함으로써 탐색량을 감소시키고자 하는 방법이다[6]. 본 연구에서는 Preprocess결과, 배치가능영역이 작은 기기부터 탐색과정에 고려되도록 하였다.

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};
    
```

여기서 partial_design 이란 부분적으로 완성된, 현재 배치중인 패널배치안을 나타내는 자료구조(Data Structure)이다. Look_ahead는 Preprocess와 함께 효율적 탐색을 위하여 도입된 것으로서, 현재의 중간 배치안(Partial_design)을 기준으로하여 남은 기기들의 배치가능 여부를 미리 확인하는 절차이다. 즉, 현재의 중간 배치상태를 유지하면서도 배치가 불가능한 기기를 찾게 되면, 더 이상의 탐색을 중단하고 Backtracking을 함으로써 불필요한 탐색횟수를 줄이려는 방법의 일종이다. 본 연구에서의 탐색과정을 위에서 나타난 Pseudo Code에 따라 간략히 설명하면 다음과 같다.

Finished 루틴은 모든 기기들이 패널위에 배치되었는가를 확인하며, 배치가 완료되지 않은 경우, Look_ahead 루틴에 의하여 미배치 기기들을 패널에 배치할 수 있는지를 검토하여 'Non-empty SET'을 리턴한다. SET은 각 기기들이 패널위에 배치될 수 있는 위치

들에 대한 정보를 가지고 있는 변수로서, 기기가 남아 있는 상태에서 SET이 'Empty-value'를 갖게 되면 현재의 배치안 도출과정은 실패(Infesible)가 된다. 본 연구에서 SET은 Pulat과 Ayoub[9]의 경우처럼 패널을 유한개의 작은 정방형 블록으로 나누어서 표현하였다. SET에서 한 지점을 선택하여 다음 배치순서의 기기를 배치한 뒤, 새로운 부분 배치안을 Partial_design으로 하여 다시 반복적(Recursively)으로 Search 루틴을 실행한다. 다음 단계에서 탐색이 성공하면 즉, Search 루틴이 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 Empty로 되거나 Done이 True가 될 때까지 계속된다.

본 연구에서 개발된 알고리즘은 UNIX환경 하에서 C 언어를 사용하여 개발되었으며, 그래픽 라이브러리는 Motif를 이용하였다.

5. 제약식의 표현 (Constraints Formalization)

CSP 기법을 패널 배치문제에 적용하기 위해서는 배치기준들, 즉 각종 제약식들을 탐색알고리즘상에서 구현할 수 있는 형태로 표현해야 하나, 인간공학적 지침들에 근거한 Soft Constraints는 정성적 성격이 강하므로 제약식으로 표현하기가 매우 곤란하다. 본 연구에서는 S_{ij} , I_{ij} , D_{ij} , PV, 그리고 CR등의 변수를 이용하여 각종 배치기준들을 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 3 참조). 예를 들어, $S_{ij}=\{1,2,8\}$ 은 기기 J는 기기 I의 위에만 놓일 수 있음을 의미한다. I_{ij} 는 기기 I, J 사이에 놓일 수 있는 기기들의 집합을 나타낸다. I_{ij} 가 공집합을 나타낼 경우 기기 I와 기기 J 사이에는 다른 기기가 위치할 수 없음을 의미한다. D_{ij} 는 기기 I, J 사이의 최대거리를 의미하는 것으로서 그 이상 떨어져서 배치될 수 없음을 의미한다. 또한, PV와 CR은 주시영역과 편의조종영역에 배치되어야 하는 기기들의 집합을 각각 나타낸다. 그리고 C_i 는 기기 I의 최소여유공간(Clearance)을 의미하며 W_i 와 H_i 는 각 기기의 폭과 높이를 표시한다.

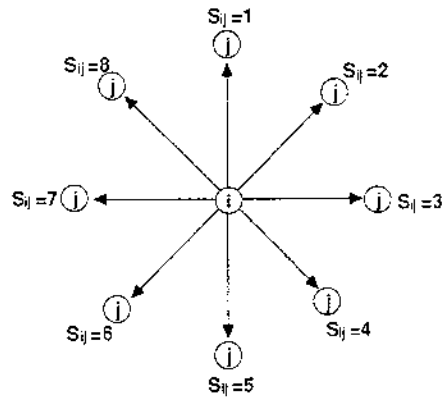


그림 3. 두기기간의 상대적 위치표현 - S_{ij}

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 배

치되어야 하며($D_U=d$, d 는 임의의 작은 값), 원활한 조작을 위하여 두 기기 사이에는 다른 기기가 배치되지 않는 것이 적합하다($I_U=\emptyset$). 또한, 조작 순서로 부터 뒤에 사용될 기기는 앞서 사용되는 기기의 오른쪽 또는 아래에 배치하는 것이 바람직하다($S_U=\{3,5\}$). 따라서 시용순서의 원칙은 S_U , D_U , I_U 를 이용하여 표현할 수 있다. 한편, 기기 I, J가 자주 사용되는 표시장치라면, 이러한 기기들은 주시영역내에 위치하여야 하며, 이를 위하여 $PV=\{I, J\}$ 로 나타내어지는 제약식이 포함되어야 한다.

6. 적용예제

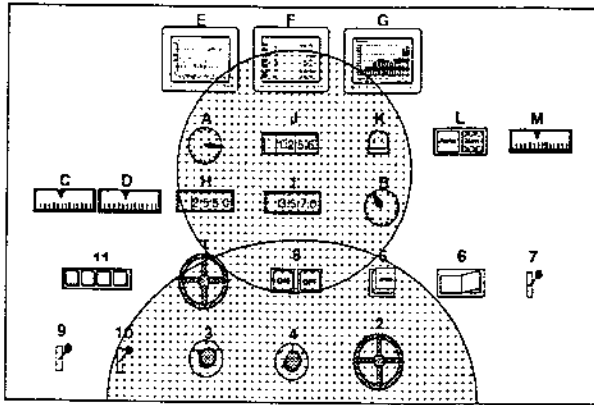
24개의 기기들로 구성된 예제를 통하여 본 연구에서 제안된 조종패널 배치방법의 효용성을 검증하였다. 13개의 표시장치(Display)와 11개의 조종장치(Control)들로 구성된 24개의 기기들을 하나의 패널위에 배치하는 문제로서, 본 예제에서 사용된 표시장치들은 2개의 원형 Analog 표시장치(A,B)와 3개의 선형 Analog 표시장치(C,D,M), 3개의 CRT Monitor (E,F,G), 3개의 디지털 계기장치 (H, I, J), 1개의 경광등(K) 그리고 작업상황 표시등(L)으로 구성되어 있다. 또한, 조종장치들은 2개의 핸드휠 조종장치(1,2), 2개의 손잡이(Knob)형태 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 4 참조).

24개의 기기들이 조종가능한 여유공간(Clearance)을 가지며 패널위에 배치되어야

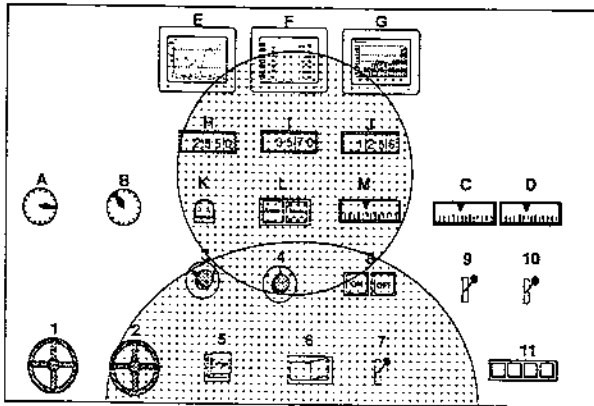
한다는 제약을 Hard Constraint로 하였으며, Soft Constraints는 기능별 Grouping의 원칙 (A-B, E-F-G, H-I-J)-K-L-M, 1-2, 3-4, 5-6-7, 9-10-11), 사용순서의 원칙 (E→F→G, K→L→M, 3→4, 5→6→7, 9→10), 공간적 양립성의 원칙 (1-A, 2-B, 3-H, 4-I, 5-K, 6-L, 7-M, 9-C, 10-D), 중요성의 원칙 (I, K, 4, 5, 6, 7), 그리고 사용빈도의 원칙 (A, B, H, I, J, 1, 2, 3, 4, 8) 등을 적용하였다. Soft Constraint에 대한 표현결과는 표 1과 같다.

제약식들간의 상충으로 인하여 위에서 언급한 모든 제약식을 만족하는 배치안은 도출되지 못하였다. 이와같은 제약식들간의 상충 문제를 해결하기 위하여 설계자는 배치시스템과의 상호대화적인 방식으로 제약식을 조정하면서 수정된 제약만족문제의 해를 구해 나간다. 이때, 제약식의 수정은 주어진 문제의 특성에 기초하여 상황에 따라 다르게 이루어지므로, 최종해(Satisfactory Solution)를 도출해나가는 규정된 최적의 방법은 존재하지 않음에 유의해야한다. 그림 4(a)와 4(b)는 제약식간의 상충을 해결하는 서로 다른 두 방법에 의한 결과를 보여준다. 상충의 원인이 되고 있는 제약식을 찾기위해 제약식으로 적용된 5개의 인간공학 배치기준들을 각각 하나씩 제약식 집합으로부터 제거한 후, 4개의 제약식에 대한 제약만족해를 탐색하였다. 그림 4(a)는 기능별 Grouping과 관련된 제약식을 제거한 후의 배치결과이며, 그림 4(b)는 사용빈도의 원칙에 따른 제약식을 제거하였을 경우의 배치예를 나타내고 있다.

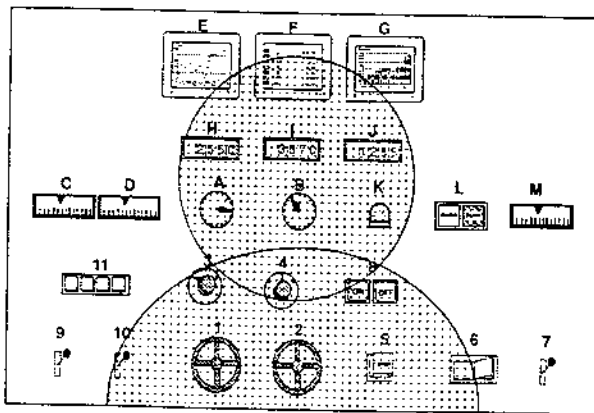
수정된 제약식에 대한 배치안이 도출되었을 경우, 설계자는 그림 4(a) 또는 4(b)와 같은 중간 배치결과를 기초로 제약조건을 다시



(a) 중간배치결과 (기능별 Grouping의 원칙이 완료된 경우)



(b) 중간배치결과 (사용빈도의 원칙이 완료된 경우)



(c) 최종해

그림 4. CSP 기법을 통한 배치예

표 1. 제약식의 표현결과

변수	인간공학 배치기준	제약식
S _{II}	기능별 Grouping 사용순서의 원칙	S _{AB} , S _{NI} , S _{II} , S _{IK} , S _{IZ} , S _{IOI} ={1, 3, 5, 7}
	공간적 양립성	S _{IA} , S _{IB} , S _{IF} , S _{IL} , S _{IK} , S _{IL} , S _{IM} , S _{IC} , S _{IOI} ={1, 7}
D _{II}	기능별 Grouping 사용순서의 원칙	D _{AB} , D _{EF} , D _{FG} , D _{HI} , D _{IJ} , D _{JK} , D _{KL} , D _{LM} , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀ , D ₁₁ =5
I _{II}	기능별 Grouping 사용순서의 원칙	I _{BC} ={F}, I _{HI} ={J,K,L,M}, I _{IO} ={I,K,L,M}, I _{IK} ={J,L,M}, I _{IJ} ={H,K,L,M}, I _{IK} ={H,J,L,M}, I _{IL} ={H,J,K,M}, I _{IM} ={H,J,K,L}, I _{KM} ={L}, I ₅ ={6}, I ₆ ={10}, I _{IOI} ={9}, I _{AB} , I _{EF} , I _{FG} , I _{KL} , I _{LM} , I ₂ , I ₃ , I ₄ , I ₅ , I ₆ , I ₇ , I ₈ = ∅
PV	사용빈도의 원칙 중요성의 원칙	PV={A, B, H, I, J, K}
CR	사용빈도의 원칙 중요성의 원칙	CR={1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}

조정함으로써 보다 나은 배치안이 존재하는가를 탐색한다. 본 예제의 경우, 완화되었던 모든 기능별 Grouping 제약식들을 수정과정을 거쳐 다시 입력하였다. 중간 배치결과(그림 4(a))의 분석을 통하여, H-I-J-K-L-M을 하나의 Group으로 하였던 제약식을 H-I-J와 K-L-M의 두 Group으로 분리한 새로운 기능별 Grouping 제약식을 적용하였다. 또한, 중요성의 원칙에 따른 제약식에 대하여 조종장치 6과 7이 편의조종영역에 배치되어야 한다는 제약을 완화하였다. 이러한 조치는 중간 배치 평가결과, 위의 조종장치들에 관한 제약을 완화하므로써 더 많은 기능별 Grouping 원칙이 적용될 수 있을 것으로 분석됨에 따른 것이다. 물론, 이와같은 절충(Trade-off)과정은 문제의 고유특성에 따라 설계자의 선호

도 또는 지식(Domain-specific Knowledge)이 반영되어 결정된다. 이와같은 추가적인 조정과정을 거쳐 도출한 최종배치안은 그림 4(c)와 같다. 그림 4(c)에서 볼 수 있는 바와 같이, 최종적으로 도출된 배치안은 주어진 제약식들을 잘 만족시키고 있음을 알 수 있다. 조종장치 1, 2, 3, 4, 5, 8과 표시장치 A, B, H, I, J, K는 모두 주어진 제약조건에 따라 편의조종영역과 주시영역에 위치하고 있으며, 조종장치 1-2, 3-4, 5-6-7, 9-10-11과 표시장치 A-B, E-F-G, H-I-J, K-L-M은 기능적 분류의 원칙에 따라 서로 Grouping되어 배치되어 있다. 특히, E-F-G, K-L-M, 3-4, 5-6-7, 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 조종장치위에 해당 표시장치가 위치하는 형태로 배치되었다. 따라서 본 연구에서 개발한 조종패널 배치방법에 의하여 인간공학적 원리들을 충실히 반영할 수 있는 배치안을 도출할 수 있음을 알 수 있다.

7. 논의 및 결론

좁은 작업공간에 많은 기기들을 배치해야 하는 각종 운전실이나 비행기 조종석등의 설계에서 조종장치와 표시장치의 적절한 배치는 작업성능에 큰 영향을 미친다. 잘못 배치된 조종패널은 작업자의 불필요한 동작을 유발시킬 뿐만 아니라 작업수행 시간과 오조작 가능성을 증가시키게 된다.

현존하는 대부분의 조종패널 배치시스템들

은 발견적 기법(Heuristic Algorithm)에 의존하고 있으며, 기기를 배치함에 있어, 한번 배치된 기기들에 대하여는 더이상의 고려를 하지 않는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 배치방법은 국소 최적해(Local Optimum)에 도달할 가능성이 매우 높으며, 복수 배치기준이 적용될 경우에는 상당수의 배치기준을 만족하지 못하는 배치안이 도출될 수 있다. 본 연구에서는 Backtracking을 허용하는 배치 알고리즘을 개발함으로써 보다 많은 기준을 만족하는 배치안을 도출해 낼 수 있도록 하였다. 즉, 배치가 완료된 기기들에 대하여도 추후 배치상태에 따라 위치변경여부를 고려함으로써 전체적으로 만족스러운 배치안(Satisfactory Solution)을 찾을 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 CSP기법의 강력한 탐색능력을 이용하여 여러 제약식을 만족하는 배치 결과를 빠르게 도출할 수 있도록 하였다. 본 연구에 적용된 Look_Ahead기법과 Preprocess 기법은 탐색량을 효과적으로 감소시켜, 제약식만족 여부를 설계자에게 빠르게 제시함으로써 문제의 특성에 맞게 제약식을 조정하면서 최적 배치안을 도출하는 것을 가능하게 한다. 제안된 배치기법의 평가에서, 최종 배치안의 도출까지 설계자의 제약식 조정과정을 포함하여 SPARC Workstation을 이용하여 약 1시간이 소요되었다. 기존의 배치 시스템들과 비교할때, 시스템과 설계자와의 상호작용(Interaction)에 의한 반복적 접근방법의 고유 특성으로 인하여 배치안의 도출에 시간이 다소 오래 소요될 수도 있으나, 배치문제는 배치안을 자주 변경하는 경우가 적으므로 빠른 시간안에 해를 찾는 것보다는 인간공학 지침

들과 같은 여러 배치기준들을 가능한한 많이 만족하는 배치안을 도출하는 것이 더욱 중요한 문제라고 생각된다. 본 연구에서 개발한 배치 알고리즘은 설계자가 배치상황에 맞게 제약식을 조정하여 입력해나가는 접근방법(Interactive and Iterative Approach)을 가능하게 하여 보다 효과적인 배치안을 도출하는데 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Bartlett, M. W., and Smith, L. A., "Design of control and display panels using computer algorithm", *Human Factors*, Vol.15, No.1, pp.1-7, 1973.
- [2] Bonney, M. C., and Williams, R.W., "CAPABLE. A computer program to layout controls and panels", *Ergonomics*, Vol.20, No.3, pp.297-316, 1977.
- [3] Eastman, C. M., "Automated Space Planning", *Artificial Intelligence*, Vol.4, pp.41-64, 1973.
- [4] Fox, M. S., "Constraint directed search: a case study of job-shop scheduling," Unpublished Ph.D dissertation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1983.
- [5] Freund, L. E. and Sadosky, T. L., "Linear Programming Applied to Optimization of Instrument Panel and Workplace Layout", *Human Factors*, Vol.9, No.4, pp.295-300, 1967.
- [6] Haralick, R. M., and Elliot, G. L., "Increasing tree search efficiency for constraint satisfaction problems", *Artificial*

- Intelligence, Vol.14, pp.263-313, 1980.
- [7] Hitchings, G. G., "The Problem of Assignment Relating to the layout Design of Control and Display Panel", Instrument Practice, pp.508-511, 1969.
- [8] Nadel, B. A., "Constraint Satisfaction Algorithm", Computational Intelligence, Vol.5, pp.188-224, 1989.
- [9] Pulat, B. M., and Ayoub, M. A., "A computer-aided panel layout procedure for process control jobs - LAYGEN", IIE Transactions, Vol.17, No.1, pp.84-93, 1985.
- [10] Rabideau, G. F., and Luk, R. H., "A monte carlo algorithm for workplace optimization and layout planning - WOLAP", Proceedings of Human Factors Society 19th Annual Meeting, pp. 187-192, Dallas, Texas: Human Factors Society, 1975.
- [11] Rosenfeld, A., Hummel, R., and Zucker, S., "Scene labeling by relaxation operation", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-6, pp.420-433, 1976.
- [12] Ullmann, J. R., "Associating parts of patterns", Information and Control, Vol. 9, No.6, pp.583-601, 1966.
- [13] Sanders, M. S., and McCormick, E. J., Human factors in engineering and design, 6th ed., McGraw-Hill, New York, 1987.