〈研究論文〉

Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers Vol. 14, No. 2, Dec. 1988

수리계획법과 전문가 시스템을 이용한 경기 일정 작성 (Game-Scheduling by Mathematical Programming and Expert System)

조 현 보*
박 순 달*

Abstract

Games such as baseball, soccer are scheduled by a given game type such as tournament, league or their mixed form. The objective of this paper is to find an efficent game-scheduling method with respect to traveling distance, break-time and other conditions.

In this paper we first present two models which minimize traveling distance. The first model that a match is played once each other is solved by a heuristic method. In the second model that a match is played more than once, teams are paired by a modified $0-1$ programming, and the pairs are rearranged in order to generate a number of workable schedules.

Then Expert Systems is applied to solve breake-time and other conditions. In order to represent expertise's knowledge effectively, we present a new design of knowledge-base and data-base, inference engine including many rules and meta-rules which controls the global system. In knowledge-base, binary relation among various attributes is used to ease not only knowledge acquisition but also system execution.

1. 서 론

경기 대회는 경기 방식에 따라 토너먼트, 리그 그리고 이 두가지의 혼합형태로 나누어진다. 토너먼트는 참가팀의 수가 매우 많을때 사용되는 방법으로서 서로 두 팀씩 경기를 치른 다음 이긴 팀은 다음 단계로 올라가고 패한 팀은 탈락하게 된다.

리그 경기는 일정수의 팀이 일정 수의 경기를 치른 후에 얻어진 승률에 따라서 순위가 결정되는 방식이다. 대부분의 리그 경기는 연고지를 가진 경기 방식인데, 경기장을 이동하면서 홈과 방문경기를 치르는 것이 특징이다. 리그 경기의 일정계획을 수립할 때는 경기일정의 연기나 앞당김이 쉬워야 하고, 특정일(예 : 공휴일)에 특정한 경기를 할당시킬 수 있어야 하며, 임의의 시점에서 각 팀의 홈과 방문경기 횟수는 비슷해야 한다. 또한 각 팀의 이동거리 합과 각 팀의 이동

* 서울大學校 工科大學 產業工學科

거리 편차를 최소화 할 수 있는 공정한 일정이 되어야 한다.

토너먼트와 리그전을 혼합한 형태는 예선전에서는 리그전을, 다음 단계부터는 토너먼트 형식을 편다.

예선전에서는 여러개의 경기장을 이동하면서 경기를 치르는 경우가 발생하는데, 이때 경기장은 연고지가 아니기 때문에 훨씬 복잡한 문제가 발생한다. 이와 같이 다양한 경기 방식 때문에 경기 일정문제는 다음과 같은 여러가지의 특징을 가진다.

첫째, 경기대회마다 경기방식이 다르다. 같은 축구 대회라도 한국 프로축구 리그전, 월드컵 축구대회 및 국내 고교 축구대회 등과 같이 경기방식이 서로 다르다.

둘째, 경기대회는 동적이다. 경기일정이 수립된 후 각 팀의 요구조건, 경기장 조건, 날씨 조건 그리고 주최측 사정 등에 의하여 연기되거나 앞당겨질 수 있다.

세째, 목적함수가 다양하다. 각 경기대회마다 추구하는 목적이 다르다. 예를 들어 한국 프로야구는 팀간의 이동거리를 최소화시켜야 하고 관중수를 최대화 시켜야 한다. 그러나 아마츄어 경기대회는 선수보호에 가장 많은 관심을 둔다.

네째, 수리화가 힘들다. 경기 일정 문제는 이동거리의 최소화를 제외하면 대부분 일정을 만드는 부분이므로 전형적인 일정 문제이다.

위의 네가지 특징 때문에 다양한 경기방식을 동시에 해결할 수 있는 모형 및 해법을 개발하는 것은 매우 어렵다. 따라서 이와 같은 어려운 점을 해결하기 위해서 전문가 시스템을 도입하여 경기 일정 계획을 수립하고자 한다.

경기 일정문제 : 경기 일정문제는 지금까지 발견적 기법으로 연구되어 왔는데, 미국 메이저 리그와 같이 연고지를 가진 프로경기 대회의 효율성 [5], 홈과 방문 경기 방식에서 각 팀의 이동거리 최소화 문제 [1] [6] 그리고 경기 후 객관적인 순위 결정을 위한 연구 [3] [8] [18] [20] 등이 있다.

이중 각팀의 이동거리를 최소화하는 문제에서는 연고지를 가진 경기 대회의 일정 수립에 중점을 두었다. 김철수 [1] 는 제약식이 존재하는 외판원 문제를 적용하여 한국 프로 야구 일정을 제시했다.

Campbell [6] 은 10개 팀이 서로 홈경기 1회와 방문경기 1회를 치를 때의 일정계획을 만들었다. Cain [5] 은 미국 메이저 리그 중에서 9월 경기만 전산화를 하였다.

일정문제와 전문가 시스템 : 전문가 시스템은 특정한 문제에 국한되어 급속도로 발전되어 왔다. 특히, 기존의 계산법으로 풀기에는 비현실적이거나 시간이 너무 많이 걸리는 일정문제에서 크게 진보되었다.

Grnat [9] 는 일정문제의 해법인 모의실험, 네트워크, 정수계획법, 발견적 기법 등의 단점을 지적하고 전문가 시스템의 사용을 추천하였다. Fox [7] 는 일정 문제 해법의 모순점을 지적하고 전문가 시스템은 현실적인 해답을 줄 수 있다고 밝혔다. O'conner [16] 는 전문가 시스템은 법칙의 수정, 첨가가 쉬우므로 동적인 일정문제에 적합하다고 했다.

이 논문에서 다루고자 하는 경기 일정 문제의 정의는 다음과 같다.

제 약 식 : 각 팀의 휴식시간
각 경기장의 휴식시간
자원(경기장, 임원)의 용량
각 경기장 ∈ 각조(또는 각팀)
각 팀의 요구조건
환경조건(날씨, 주최측 사정 등)
경기방식 차이

목적함수 : 각 팀의 휴식시간 편차의 최소화
각 자원의 휴식시간 편차의 최소화
각 팀의 연속 홈(방문) 경기 편차의 최소화
팀 간의 이동거리의 최소화
관중 동원수의 최대화

이 논문의 목적은 위의 조건을 만족하는 경기 일정 계획을 수립하는 것이다. 여기서 경기 방식은 토너먼트전, 리그전 그리고 이 두가지 혼합형태를 다룬다. 목적함수는 다섯개인데 이들을 동시에 만족시키지는 않으며 문제의 상황에 따라서 몇개의 목적함수가 선정된다.

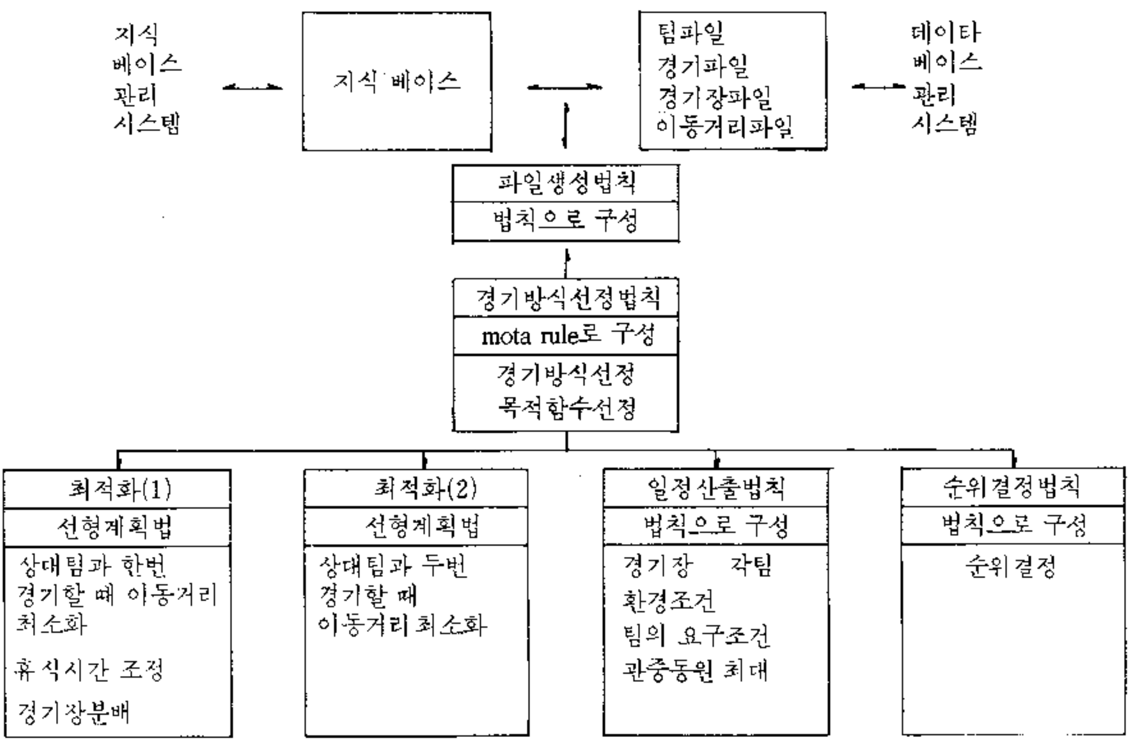
2. 시스템 설계

경기일정 문제를 해결하기 위해서는 서로 다른 경기방식을 하나의 시스템이 통합할 수 있는 공통 법칙을 발견하는 것이 우선 중요하다. 왜냐하면 컴퓨터의 용량 관계로 각각 다른 경기 방식을 독립적으로 운영할 수는 없기 때문이다. 따라서 경기방식을 선정하는 meta-rule의 발견이 매우 중요하다. 시스템은 이 meta-rule을 중심으로 [그림 1]과 같이 구성되어 있다.

시스템은 경기 방식 선정 법칙, 파일 생성 법칙, 최적화 부분, 일정 산출 법칙 그리고 순위 결정 법칙 등으로 크게 5가지로 나누어져 있다. 경기방식에 따라 meta-rule은 이들을 어떤 임의의 순차적으로 수행을 하게 한다. 그리고 목적함수도 선정한다.

파일 생성 법칙에 따라서 팀 파일, 경기 파일, 경기장 파일, 이동거리 파일 등이 생성한다. 또한 이 파일들은 지식베이스로 수정되어 추론에 이용되기도 한다.

각 팀의 이동거리를 최소화하기 위해서 두개의 알고리즘을 이용한다. 각 팀들이 서로 한번씩만 경기를 할 때와 두번 이상의 경기를 할 때의 경우로 나누었다. 이렇게 하면 이동거리가 발생하는 모든 경기를 망라하게 된다. 이 두가지 종류는 경기방식 선정법칙에 따라 선택된다. 만약 이동거리가 발생하지 않을 경우는 이 두가지 중 어느 것도 수행이 되지 않는다. 이때는 일정 산출법칙이 곧바로 수행이 된다.



지식 창고 설계 : 전문가 시스템의 구조중에서 추론 기관과 함께 중요한 역할을 차지하는 지식베이스는 탐색 시간과 지식 저장량을 좌우한다. 정보 파일에는 팀파일, 경기 파일, 이동 거리 파일, 경기장 파일 등으로 구성된다. 이들 정보 파일들은 경기를 시작하기 전에는 경기 일정을 포함하고 있으며 경기를 시작한 후에는 팀의 경기 성적에 따라 계속 갱신 된다.

경기가 시작되기 전에 팀과 조가 결정되면 법칙에 의해서 [그림 2]와 같은 팀파일이 생성된다.

팀명	조	승리횟수	득점	실점	점수	경기장

[그림 2] 팀 파일의 구조

이 팀파일을 직접 운영하면 다항식 관계식이므로 질문최적화와 지식획득 측면에서 단점을 내포하고 있다. 따라서 새로운 관계식을 얻기 쉽고 수행의 결과가 참 또는 거짓이므로 수행이 쉬운 이항식 관계식으로 바꾼다. [그림 3]

```
group(팀명, 조)
success(팀명, 승리회수)
gain(팀명, 득점)
loss(팀명, 실점)
grade(팀명, 점수)
match(팀명, 경기장)
```

[그림 3] 이항식 관계식의 팀 파일

이 외의 파일도 마찬가지로 이항식 또는 삼항식 관계식으로 바꾸어 저장한다.

경기 방식 선정 법칙 : meta-rule에 의해서 경기 방식이 선정된다. 각각의 경기 방식을 독립적으로 입력시키기는 불가능하므로 이 법칙을 경기 일정 문제에 중요한 역할을 한다. 경기 방식 산정법칙을 수행되게 하는 요소는 팀 수, 조 수, 경기 시작(끝) 일자, 단계수, 연속 방문(홈) 경기 최대 회수, 상대팀과 경기 회수 그리고 휴식시간 등이다. 이들 요소 중에서 경기 방식을 결정지을 수 있는 몇개가 입력되면 토너먼트나 리그와 같은 경기 방식을 결정짓는 것이 아니라 법칙의 묶음을 부르는 순서를 정하게 된다. 예를 들어서 [그림 4]는 한국 프로 야구의 일정을 만들기 위한 법칙이다.

```
IF (결승까지의 단계수=1) AND
   (조수=1) AND
   (참가팀 수 > =5) AND
   (상대팀과 대적 회수 >2) AND
   (연속 방문 회수=2)
THEN (CALL 두번이상 경기할 때의 최소
        이동거리 적용 해법) AND
     (CALL 일정 계획 수립 법칙) AND
     (경기끝) AND
     (CALL 순위 결정 법칙)
```

[그림 4] meta-rule 예

3. 상대팀과 한번 경기를 치를 때의 이동거리 최소화

각 팀이 서로 한번씩 경기를 치를 때, 각 경기장에 이미 할당된 경기의 수를 만족시키면서, 각 팀의 이동 거리 합과 각 팀의 이동거리 편차를 최소화시키는 일정 계획을 만드는 문제로 정의된다.

이 문제를 수리식으로 정형화 할 때의 목적 함수는 각 팀의 이동거리 합과 각 팀의 이동 거리 편차를 최소화하는 것으로 한다. 그리고, 제약식은 각 경기장에 할당된 경기 횟수, 각 팀은 상대팀과 한번 씩만 대적한다는 조건, 하나의 경기장은 하나의 경기만 치를 수 있다는 조건 등으로 둔다. 목적 함수를 하나로 하기 위해서, 각 팀의 이동 거리 합중, 최대값과 최소값의 차이를 최소

화시키면서 각 팀의 이동 거리합은 제약식으로 바꾸어 최대값과 최소값 사이에 존재하게 한다.

수리식과 여기에 사용되는 상수와 변수는 다음과 같다.

$$\mathrm{MIN}\ (\mathrm{XMAX} \cdot \mathrm{XMIN}) \qquad (식 1)$$

$$\text{s.t. } \sum_j \sum_t \sum_m \sum_n C_{mn} \cdot X_{ijmt} \cdot X_{ijn(t+1)} \geq \mathrm{XMIN},\ 모든\ i \qquad (식 2)$$

$$\sum_j \sum_t \sum_m \sum_n C_{mn} \cdot X_{ijmt} \cdot X_{ijn(t+1)} \leq \mathrm{XMAX},\ 모든\ i \qquad (식 3)$$

$$\sum_k \sum_t X_{ijkt} = \begin{cases} 1, & 모든\ i \neq j \\ 0, & 모든\ i = j \end{cases} \qquad (식 4)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_t X_{ijkt} = N_k,\ 모든\ k \qquad (식 5)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijkt} \leq,\ 모든\ k, t \qquad (식 6)$$

$$X_{ijkt} - X_{ijkt} = 0,\ 모든\ j, j, k, t \qquad (식 7)$$

$$X_{ijkt} = \{0,\ 1\},\ \mathrm{XMAX} \geq 0,\ \mathrm{XMIN} \geq 0 \qquad (식 8)$$

여기서,

- C_{mn} : 경기장 m과 n사이의 이동 거리
- N_k : 경기장 k에 할당된 경기횟수
- XMIN : 각 팀의 이동 거리 합중 최소값을 가지는 변수
- XMAX : 각 팀의 이동 거리 합중 최대값을 가지는 변수
- X_{ijkt} : 팀 i가 팀 j와 경기장 k에서 t일에 경기를 하는지의 여부를 나타내는 변수

(식 4)에서 (식 8)은 경기 일정 계획을 수립할 때, 자연적으로 해결되는 절대 조건이지만, 수리식이기 때문에 삽입된 제약식이다. 신중하게 고려하여야 할 제약식은 (식 2)와 (식 3)이다. 각 팀의 이동 거리 합 중에서 최대값과 최소값의 차이를 (식 1)에서 최소화시키기 때문에 각 팀의 이동 거리 합은 되도록 평준화 되면서 전체 이동 거리의 합이 적게 된다. 따라서(식 4)에서 (식 8)을 만족하면서 각 팀의 이동 거리 합의 평준화와 전체 이동 거리 합을 최소화시켜야 한다.

이것은 HOROWITZ [10] 에 의해 NP-HARD로 알려졌기 때문에 최적해를 발견하기는 매우 어렵다. 따라서, 이 문제를 해결하기 위하여 발견적 기법으로 접근하고자 한다. n팀이 참가하였을 때, 각 팀끼리 서로 한 번씩의 경기를 가지기 위한 최소한의 일정 단위 수를 (정리 1)에 나타냈다.

(정리 1) : 참가팀의 수가 n일때 상대팀과 단 한 번의 경기를 치르기 위한 최소한의 경기 일정 수는 짝수일 경우는 n−1, 홀수일 경우는 n개이다.

증 명 : 만약 n이 홀수이면 각 팀은 한 번씩 휴식을 취하여야 하므로 p=n+1이라고 두고, n이 짝수이면 p=n으로 둔다. 그러면 p개의 팀이 서로 짝을 이루면서 일정이 이루어지므로 p개를 2개씩 중복없이 묶는 방법과 같다. 따라서,

$$\frac{{}_pC_2\ {}_{p-2}C_2 \cdots {}_2C_2}{(p/2)\,!} - \{\frac{{}_{p-2}C_2\ {}_{p-4}C_2 \cdots {}_2C_3}{(p/2)\,!} - 1\} \bullet (p-1)$$

$$= \frac{p\,!}{(p/2)\,! \bullet 2^{p/2}} - \{\frac{(p-2)\,!}{\{(p-2)/2\}\,! \bullet 2^{(p-2)/2}} - 1\} \bullet (p-1)$$

$$= \frac{p\,!}{(p/2)\,! \bullet 2^{p/2}} \frac{(p-1) \bullet (p-2)\,!}{\{(p-2)/2\} \bullet 2^{(p-2)/2}} + (p-1)$$

$$= \frac{p\,!}{(p/2)\,! \bullet 2^{p/2}} - \frac{(p-1)\,!}{\{(p-2)/2\}\,! \bullet 2^{(p-2)}} \bullet$$

$$\bullet \frac{p}{(p/2)\bullet 2}+(p-1)$$

$$=\frac{p\,!}{(p/2)\,!\bullet 2^{p/2}}-\frac{p\,!}{(p/2)\,!\bullet 2^{p/2}}+(p-1)$$

$=p-1$ (Q.E.D.)

경기 일성을 만들기 위해서는 (정리 1)에서 구해진, 같은날 경기를 치르는 짝의 순서와 각 짝에 속한 팀들의 경기장 할당을 동시에 해결해야 한다. 이것은 다음과 같은 4가지 기준을 기본으로 하여 순차적으로 해를 찾게 된다.

기준 1 : 할당된 경기 횟수와 치르진 경기 횟수의 차이가 가장 큰 경기장을 우선적으로 경기 장소로 선택한다.

기준 2 : 지금까지 이동한 거리의 합이 많은 팀일수록 적게 움직일 수 있는 경기장에 할당시킨다.

기준 3 : 바로 직전 경기 일자에 경기를 치르지 않은 경기장이 선택되었을 때는 가장 먼 경기장에서 경기를 치른 팀들 중, 지금까지의 이동 거리가 적은 팀을 할당시킨다.

기준 4 : 경기 횟수가 적은 팀일수록 먼저 경기를 치를 수 있게 경기장을 할당한다.

상대팀과 한번 경기를 치를 때의 이동 거리 최소화를 위한 경기일정은 위의 기준들을 이용하여 다음과 같은 계산법으로 결정된다.

〈계산법〉

단계 1 (초기화)

(1) $t=1$

(2) 같은날 치를 수 있는 짝을 구한다.

(3) R_k(경기장 k의 남은 경기 회수)에 따라 경기장을 내림차순으로 정리한다. 짝의 수만큼 앞에서부터 경기장을 선택한다. 같은 것이 존재하면 가장 긴 이동거리를 가진 쪽 경기장을 선택한다.

(5) TD_i(팀 i의 누적 이동 거리), R_k, GM_{tk}(t일에 경기장 k에서 경기를 치르는 팀 집합)를 산정한다.

단계 2 (경기장 선정)

(1) $t=t+1$

(2) (경기장의 수 $\leq \lceil n/2 \rceil$)이면 (단계 3)으로 간다.

단, $\lceil n/2 \rceil$: $n/2$보다 작지 않은 최소의 정수

(3) R_k에 따라서 경기장을 내림차순으로 정리한다. 짝의 수만큼 앞에서부터 경기장을 선택한다. 같은 것이 존재하면 (4)로 가고 아니면 (단계 3)으로 간다.

(4) 가장 많은 누적 이동 거리를 가진 팀이 움직이지 않게 경기장을 선택한다.

단계 3 (경기장에 할당되는 짝 결정)

(1) 경기 횟수가 가장 적은 팀이 속한 짝 중에서, Max{TD_i}인 i'가 되고록 적게 움직이는 경기장에 할당시킨다.

(2) Max{TD_i}인 i'가 적게 움직이는 짝을 선택하여 그 경기장에 할당시킨다.

(3) TD_i, R_k, GM_{tk}를 산정한다.

단계 4 (완료 조건)

모든 짝이 순서가 정해지면 끝낸다. 아니면(단계 2)로 간다.

이 알고리즘에 따라 최소 이동 거리가 되게 문제를 해결하면 약 85%의 최적해를 얻을 수 있다.

4. 상대팀과 두번 이상의 경기를 치를 때의 이동 거리 최소화

상대팀과 두번 이상의 경기를 치르므로 각 팀은 상대팀과 대적하기 위해서 홈경기 및 방문경기를 교대로 가진다. 이 때 발생하는 문제는 각 팀의 경로의 수가 최소로 되어야 하며 각 팀의 이동 거리가 균등하게 배분되어야 한다.

이 문제는 다음과 같이 부분적으로 최적화를

시킨다

각 팀의 경로의 수를 최소화시키기 위해서는, 하나의 팀이 방문경기를 시작하여 단지 두팀 내지 세팀만 경기를 치르고 돌아오는 방법을 선택한다. 다음, 전체 팀의 이동 거리합을 최소로 하는 서로 배타적인 짝을 만든다. 그리고 이 짝을 나열하여 일정 계획을 수립한다. 이렇게 하면, 각 팀의 이동 거리합과 이동 거리 편차가 최소화되며 각 팀이나 경기장의 휴식 시간도 균등히 나누어진다..

참가팀의 수가 n이고 두팀간의 이동 거리가 MD_{ij}일때 전체 이동거리를 최소로 하는 짝짓기 문제의 수리식은 SMP와 같다.

$$\text{SMP}: \text{MIN} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} MD_{ij} \cdot X_{ij}$$

$$\text{s.t} \sum_{i=1}^{k} X_{ik} + X_{kj} = 1, \quad k = 1 \cdots n$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=i}^{n} X_{ij}}{2} = \ulcorner n/2 \lrcorner$$

여기서,

$X_{ij} = 1$, if $i \in pair(p)$, $j \in pair(q)$, $p \neq q$

0, if j, $j \in pair(p)$

$pair(s)$ = 짝, $s = 1, 2 \cdots \ulcorner n/2 \lrcorner$

단, $\ulcorner n/2 \lrcorner$: n/2보다 작지 않은 최소의 정수

SMP 문제의 0−1 계획법을 적용하기 위하여 몇가지 정리를 알아보면(정리 2), (정리 3) 그리고 (정리 4)와 같다.

(정리 2) : SMP에서 해가 1인 변수의 객수는 $\ulcorner n/2 \lrcorner$이고, 해가 0인 변수의 갯수는 $n(n+1)/2 - \ulcorner n/2 \lrcorner$이다.

증 명 : n=2k(k : 정수)라고 두면 해가 1인 변수의 수는 k이다. 한편 n − 2k+1이라고 두면 해가 1인 변수의 수는 k+1이다.

여기서 남은 한 팀은 자기 자신과 짝이 이루어지기 때문이다.

한편 해가 0인 변수의 수는 다음과 같다.

$nC_2 + n - \ulcorner n/2 \lrcorner$

$= n(n-1)/2 + n - \ulcorner n/2 \lrcorner$

$= n(N+1)/2 - \ulcorner n/2 \lrcorner$ (Q.E.D.)

(정리 3) : SMP에서 초기해는 X_{12}, $X_{34} = \cdots = X_{(n-1)n} = 1$(참가팀 수가 홀수이면 n은 가상의 지수)이고 다른 변수는 모두 0이다.

증 명 : 한번 이루어진 짝에 속한 팀은 다른 짝에게 포함되어 있지 않다. 따라서 X_{12}, X_{34}, …… $X_{(n-1)n}$은 팀들이 서로 배타적으로 구성되어 있다. 이 변수의 수는 n이 짝수이면 n/2이고 n이 홀수이면 -n/2-+1이다. (단, -n/2- : N/2보다 크지 않은 최대의 정수)

(정리 4−1)에 의해서 $X_{12} = X_{34} = \cdots \cdots = X_{(n-1)n} = 1$과 나머지 변수의 값이 0인 것은 SMP의 초기 가능해이다. (Q.E.D.)

(정리 4) : SMP에 대한 풀이 해법은 유한번에 끝난다.

증 명 : SMP의 해법은 수정된 0−1 계획법을 이용한다. 따라서 나무를 만들면서 절차가 진행되는데 중간의 목적 함수값이 상한값보다 더 크면 분지를 끝내게 된다. 그런데 가장 나쁜 경우를 생각해 보자. 참가팀이 n일때(n이 짝수이면 p = n, n이 홀수이면 p = n + 1), 2팀씩 짝을 찾는 방법은

$$\frac{{}_pC_2 \cdot {}_{p-2}C_2 \cdot \cdots \cdot {}_2C_2}{(p/2)!}$$ 만큼 된다.

이것은 상수이므로 가장 나쁜 경우일지라도 유한번에 끝난다. (Q.E.D.)

SMP를 풀기 위한 계산법과 변수 설명은 다음과 같다.

〈변수 설명〉

GD_{ij} : 경기장 i와 경기장 j사이의 이동 거리

MD_{ij} : 팀 i와 팀 j사이의 이동 거리

$\overline{Z}$: 상한값

$\underline{Z}$: 부분해의 목적 함수 값

Z^* : 목적 함수 값

자유팀 : 임의의 짝에서 다른 팀과 짝을 이루어 보기 위해 해체된 팀을 의미한다.

〈계산법〉

단계 1 경기장의 이동 거리 GD_{ij}를 구한다.

단계 2 참가팀간의 이동 거리 MD_{ij}를 구한다.

(1) 참가팀 수=경기장 수 일때

$MD_{ij} = GD_{ij}$, 모든 i와 j

(2) 참가팀 수 > 경기자의 수 일때

$MD_{ij} = GD_{mn}$ if $i \in m$, $j \in n$, $m = n$

0 if팀 i, j 같은 경기장

(3) 참가팀 수 < 경기장의 수 일때

$$MD(i,\ j) = \frac{\sum_{k=1}^{r} GD_{kn}}{r} \text{ if 팀 } i \in k, \text{ 팀 } j \in n$$

$$= 0 \qquad \text{if } i = j$$

r : 한팀이 관할하는 경기장의 수

이때, 경기장 선정은 경기장의 휴식시간을 기준으로 한다.

단계 3 (초기해 산정)

$X_{12} = X_{34} = X_{(n-n)} = 1$

$\overline{Z}$, $\underline{Z}$, Z^*를 구한다.

단계 4 (분지)

$Z^* = 0$이면 끝낸다.

자유팀이 아닌 마지막 짝을 자유팀으로 해체한다.

모든팀이 자유팀이 되면 현재의 해가 최적이다.

단계 5 (탐색)

자유 변수에 아닌 짝 중에서, 하나의 팀을 선회점으로 하여 자유팀들 중 하나의 팀과 부분해를 형성한다.

단계 6 (한계)

$\underline{Z}$를 계산한다.

(1) $\underline{Z} < \overline{Z}$이고 자유팀중 짝을 이룰 수 있으면 부분해를 구하고(단계 6)으로 간다.

(2) $\underline{Z} < \overline{Z}$이고 자유팀중 짝이 없으면 Z를 계산하고 해를 보관한 다음(단계 4)로 간다.

(3) $\underline{Z} \geq \overline{Z}$이고 또 다른 선회점이 있으면(단계 5)로 간다.

(4) $\underline{Z} \geq \overline{Z}$이고 선회점이 없으면(단계 4)로 간다.

최소 이동 거리가 되게 만들어진 짝으로 경기일정을 산출하기 위해서 [그림 5]와 같은 행렬을 이용한다. 이와 같은 행렬은 행과 열에 각각 서로 다른 숫자가 나타나는 행렬이다.

짝	A	B	C	D	E	
A	1	2	3	4	5	$A(T_1,\ T_2)$
B	2	3	4	5	1	$B(T_3,\ T_4)$
C	3	4	5	1	2	$C(T_5,\ T_6)$
D	4	5	1	2	3	$D(T_7,\ T_8)$
E	5	1	2	3	4	$E(T_9,\ T_{10})$

[그림 5]에서 짝 C에 있는 팀끼리의 경기는 경기 일정 단위 5일에 치르고, 짝A와 짝B 사이의 홈경기와 방문경기는 2일째 치르면 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 토너먼트전, 리그전, 그리고 이 두가지의 나누어진 경기 방식을 다루는 전문가 시스템의 설계를 제시했다. 특히 이동거리가 발생할 때는 선형계획법과 상호 교환을 이루게하여 최적화 개념을 도입하였다.

경기방식은 meta-rule로 이루어진 경기선정방식에 따라 이루어지며 이동거리 최적화는 각 팀 끼리 한번 경기할 때와 두번 이상 경기할 때로 나누어 접근함으로써 공통법칙을 이용하였기 때문에 모든 경기방식의 독립적인 전산화가 필요없게 되었다.

Referenec

1. 김철수, "리그 경기를 위한 일정 계획 모형 개발–한국 프로야구를 주 대상으로 하여", 경영과학응용, 3권, pp. 25~36, 1986
2. 박순달, 계량 경영 사례 문제집 II, 대영사, 1986
3. Ali I., "On the Minimum Violations Ranking of a Tournament", Management Science, vol. 23, no. 6, pp. 660~672, 1986
4. Bruce G.B. and Edward H.S., Rule-Based Expert Sysems, Addison-Wesley, 1985
5. Cain W.O., "The Computer-assisted Heuristic Approach Used to Schedule The Major league Baseball Clubs", Optimal Strategies in Sports, pp. 32~41, 1977
6. Cambell R.T., "A Minimum Distance Basketball Scheduling Problem", Management Science in Sports, pp. 15~26, 1976
7. Fox M.S. and Smith S.F., "ISIS : a Knowledge-based system for Factory Scheduling", Expert systems, vol. 1, no.1, 1984
8. Goddard S.T., "Ranking in Tournaments and Group Decision Making", Management Science, vol. 29, pp.1384~1392, 1983
9. Grant T.H., "Lessons for OR From AI : A Scheduling Case Study", OR Society, vol. 37, no. 1, pp. 41~57, 1986
10. Horowitz E., Fundamentals of Computer Algorithms, Computer Science Press, 1978
11. Ladany S.P., Management Science in Sports, North-Holland Publishing Company, 1976
12. _______, Optimal Strategies in Sports, North-Holland Publishing Company, 1977
13. Mazzola J/B., "Resource Constrained Assignment Scheduling", Operations Research, vol. 34, no. 4, pp. 560~572, 1986
14. Murty K., Linear and Combinatorial Programming, John Willey, 1976
15. Nillsom, N.J., Principles of Artificial Intelligence, Tioga Press, 1980
16. O'Conner D.E., "Using Expert Systems to Manage Change and Complexity in Maunfacturing.", In Artificial Intelligence Applications for Business, edited by Walter Reitman. Norwood, NJ, 1983
17. Paul H. and David K., Expert Systems, John Wiley & Sons, 1985
18. Stob M., "Rankings from Round-Robin Tournaments", Management Science, vol. 31, no. 9, pp.1191~1195, 1985
19. Waterman D.A., A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley, 1985
20. Weiss H.J., "The Bias of Scheduling and Playoff Systems in Professional Sports", Management Science, vol. 32, no. 6, pp.696~713, 1986