

리그 경기를 위한 일정계획 모형 개발 - 한국 프로 야구를 主 對象으로 하여 -

김 철 수

1. 문제의 제기 및 연구의 목적

리그경기는 일정수의 팀이 일정횟수의 경기를 각 팀간에 수행한 후 얻어진 승률에 의해 순위가 결정되는 경기방식이다.

둘 이상의 팀이 참가하여 일정기간동안 제한된 경기장에서 경기를 가지므로 경기일정(game schedule)상 팀간에 상충되는 이해관계가 발생하기 때문에 모든 팀의 요구조건을 충족시키는 일정계획을 수립하는 일은 용이한 문제가 아니다.

홈경기와 방문경기를 수행하면서 각 경기장을 이동하고 관객수에 따라 팀의 수입이 결정되는 상업적인 리그경기에서는 각 팀간의 공정한(fairness) 일정계획의 수립이 무엇보다 중요하다.

경기가 시작된 후 시간이 경과함에 따라 모든 팀이 리그경기에 따른 모든 다른 팀과 비슷한 횟수의 홈경기와 방문경기를 가져야 하며, 특정일(특히 주말)에 팀별로 균등하게 홈경기와 방문경기를 가져야 한다. 그리고, 리그경기의 일정계획은 관객서비스(fan service)를 위해, 궁극적으로는 각팀의 수입을 높이기 위해 관객 유치에 부정적인 요소인 연속 홈경기와 연속 방문경기의 횟수를 적정횟수 이하로 조절할 수 있어야 한다.

또, 각 팀의 요구조건과 환경적인 조건(예: 경기장)에 의해 특정 경기를 특정 시간에 특정 형태로 미리 배치가 가능해야 한다. 뿐만아니라

연고지가 전국적으로 산재한 경우 각 팀의 이동 거리를 최소화하는 방향으로 일정계획이 수립되어야만 바람직하다. 이와같이 다양한 요구조건을 반영한 일정계획을 수작업으로 수립하기에는 어려운 점이 많다. 팀수와 각 팀간의 경기수가 증가함에 따라 요구조건이 변화했을 때 결과의 변화를 산출해보는 "what if" 혹은 민감도 분석을 수행하기란 더욱 더 많은 노력, 시간 그리고 비용이 소요된다.

수작업에 의해서는 팀 중심의 일정계획과 여러가지 대안의 비교 그리고 요구 조건을 충분히 반영한 일정계획을 수립하기에는 불가능한 요인이 많은 것이다.

그래서 본연구에서는 현재 수작업에 의해서 수행되고 있는 리그경기의 일정계획을 요구 조건을 충분히 반영하여 최적화하며, 요구조건 변화 및 환경의 변화에 적절히 대응할 수 있는 리그경기 일정계획 모형을 개발하는데 주 목적이 있으며 이용자가 사용하기 간편한 개인용 컴퓨터에 구현화(implementation) 하였다.

2. 연구의 범위

본연구의 범위는 크게 리그경기 요구 조건의 분석 및 단순화, 모형의 설정 그리고 시스템의 개발 등으로 나누어진다.

대상으로 한 리그경기는 상업적인 리그경기의 하나인 한국 프로야구이다. 이것은 리그경기의 속성을 가지고 있으면서 일정계획의 중요성이 강조되는 실제적인 문제이다. 리그경기의 요구

조건을 한국 프로야구 위원회의 일정계획 담당자와 면담 그리고 일반적인 리그경기의 경기방식을 고려하여 반드시 만족되어야 할 조건과 최대한 만족되어야 할 조건 등으로 분류하여 문제 해결이 가능한 형태로 단순화시켰다. 단순화된 요구조건을 기초로 하여 일정계획 수립을 위한 모형을 설정하였는데 전체적으로는 branch and bound 기법을 적용하였으며 세부적으로는 외판원 문제 (traveling salesman problem) 기법으로 문제 해결을 시도하였다. [8, 9, 10]

개발된 모형을 IBM PC/XT 또는 그와 호환성이 있는 기종에 운용이 가능하도록 시스템을 구현했다. 이용자의 편의성을 위해 입력은 MENU 형식을 취했으며 민감도 분석이 가능하도록 개발했다.

3. 연구의 배경

3. 1 리그 경기의 특성

리그 경기는 일정수의 팀이 다른 모든 팀과 일정수의 경기를 교환하여 모든 경기가 종료됨에 따라 팀별 순위 (ranking)가 결정된다. 이에 비해 토너먼트 경기는 다른 모든 팀과의 경기는 일어나지 않으나 한번 패할 경우 탈락되어 경기가 진행됨에 따라 각 팀별 성적이 확연히 드러난다.

즉, 리그 경기는 토너먼트 경기에 비해 경기일수가 비교적 많으며 팀간에 성적이 늦게 판명된다. 특히 한국 프로야구, 프로축구, 미국프로야구, 미식축구등 상업적인 리그경기인 경우 대부분 연고지(홈 경기장)를 가지고 있으며, 또 경기수준이 아마추어에 비해 우수하므로 관객의 입장료를 포함한 수입이 대단하다.

그런데, 연고지가 전국적으로 산재해 있으며 리그 경기에 참여하는 팀이 많기 때문에 경기 일정 수립시 각 팀간 이해가 상충되는 면이 발생하게 된다. 각 팀 간에는 홈경기(연고지에서 갖는 경기)와 방문 경기(상대 팀의 연고지에서 갖는 경기)의 수가 같아야 하는데 경기장 수입이 많은 날(예: 주말경기)에 홈경기를 많이 가

질 때 유리한 것이다. 그러나, 특정팀에 유리한 일정 계획은 공정하지 못하므로 모든 팀에게 균등한 기회를 제공하는 것이 리그 경기 일정계획의 핵심적인 요소이다. 이와 같은 리그 경기의 일정계획 수립시 고려해야할 최적화 조건을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 각 팀의 이동 거리를 최소화 해야한다.

매번 경기때마다 경기 장소를 옮길 경우, 많은 경기를 수행해야 하는 선수들에게 피로를 가중시켜 정상적인 경기수행에 지장을 초래할 뿐만 아니라 상당한 비용이 소요된다.

둘째, 경기장 수입을 극대화 하도록 해야한다. 경기장 수입과 관객의 수는 비례 하는데 상업적인 리그경기인 경우 궁극적인 목표는 수익을 제고시키는데 있으므로 일정 계획에서도 이를 뒷받침해야 한다. 그러나 상업적인 리그경기가 아니라 할지라도 관객의 수가 많을 경우 그 경기는 성공적이었다고 할 수 있다.

이를 위해서는 두팀간에 과도한 연속 경기를 방지해야 하며, 연속 홈 경기와 연속 방문 경기의 횟수도 적정 수준으로 유지해야 한다. 그리고 주요경기(big game)를 통계적으로 예상 관객의 수가 많은 날에 배정하는 것이 바람직하다.

셋째, 경기가 진행되는 동안 각 팀이 수행한 홈경기와 방문 경기의 횟수, 그리고 경기의 상대 팀이 고르게 분포되어야 한다. 일정 기간동안 강한 팀이 약한 팀과 경기를 많이 가지는 것은 불합리하며, 특정 팀이 다른 팀에 비해 홈 경기를 많이 가지는 것도 역시 합리적인 일정 계획이 못된다.

넷째, 조정 가능한 일정 계획이 되어야 한다.

각 팀의 다양한 요구조건과 경기장 환경 등을 고려하여 유동성있는 일정 계획이 되어야 하는 것이다. 즉, 특정한 날은 경기를 할수 없든지, 특정 팀의 경기장이 다른 목적으로 사용되는 날은 경기가 일어나서는 안된단든지 하는 요구조건을 적극 반영한 일정 계획이 되어야 한다.

위의 4가지 고려 사항은 상호 배반적인 요소도 있다. 각 팀의 이동을 최소화 시키기 위해서는 연속 홈 경기와 방문 경기를 최대한으로 해야하나 경기장 수입을 극대화 하기 위해서는 적정 수준으로 유지해야한다. 그래서 경기 일정 계획을 수립할 때는 각 요구 조건의 상호 배타적인 요소를 조정해야 한다.

3. 2 미국 메이저 리그(Major League) 일정계획

리그경기의 일정계획을 위한 연구가 각종 스포츠의 최적 전략 및 기타 합리적인 운영에 관한 그것 보다 비교적 적었다. 상업적인 리그경기의 연륜이 일천한 한국의 경우는(한국 프로야구 1982년 출범) 물론이지만 상당한 기간동안 상업적인 리그경기의 하나인 프로야구를 운영해온 일본의 경우도 현재 리그경기의 일정계획을 위한 모형의 개발이 안되어 있으며 수작업에 의한 일정계획을 수립하고 있다. 그러나 미국의 경우는 야구의 본고장 답게 1977년 부터 컴퓨터를 이용하여 프로야구의 일정계획을 수립하고 있다. [13]

미국프로야구는 아메리칸 리그와 내셔널 리그가 있으며 이들을 통합하여 메이저 리그가 구성된다.

미국 프로야구팀(혹은 Clubs)은 아메리칸 리그나 내셔널 리그 어느 한곳에 속해 있는데, 각 리그에 속해있는 팀간에 일정수의 경기 그리고 다른 리그에 속해 있는 팀과 일정수의 경기를 수행한다.

전체 메이저리그 경기의 일정계획을 수립하기 위해 도입한 개념은 경기일정 기본단위의 채택과 Home and Away Pattern(HAP)도입이다. 경기일정 기본단위는 같은 경기장에서 계속해서 이루어지는 같은 팀간의 연속경기를 수를 말하며 Home and Away Pattern은 같은 시간에 경기가 발생하는 경기장의 조합(Combination) 형태이다.

미국 프로야구에서는 정규적인 리그경기는 3연속 경기(경기일정 기본단위가 3일)를 기본으로 수행하고, 비정규적인 리그경기(Squeeze -

Week)는 2연속경기(경기일정 기본단위가 2일)를 바탕으로 수행한다.

즉, 3연속 경기는 1주일을 화, 수, 목과 금요일, 일로 3일씩 나누어 같은 팀간에 경기를 수행하고 2연속 경기는 정상적인 3연속 경기로는 일정을 맞추기 힘들때 주일을 월·화요일, 수·목요일, 그리고 금·토·일요일로 2일, 2일, 3일씩 나누어 같은 팀간에 경기를 가진다.

Home and Away Pattern은 각 팀이 같은 시간대에 가지는 홈경기와 방문경기 유형을 말하는데 예를들어 4개팀(T(1), T(2), T(3), T(4))이 가질수 있는 Home and Away Pattern 은 <그림 3-3-1>과 같이 6가지 뿐이다. (C_2)

일련번호 \ 팀명	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
1	○	○	-	-
2	○	-	○	-
3	○	-	-	○
4	-	○	-	○
5	-	○	○	-
6	-	-	○	○

<그림 3-3-1> 4개팀의 Home and Away Pattern

*○는 홈팀, -는 방문팀을 표시한다.

<그림 3-3-1>의 4개팀의 6개 Home and Away Pattern에서 해당홈팀에 방문팀을 짝지울수 있는 방법은 <그림 3-3-2>와 <그림 3-3-3>의 2가지 경우 뿐이다.

<그림 3-3-2>와 <그림 3-3-3>과 같이 짝지워진 Home and Away Pattern등의 순서를 바꾸면서 각팀의 요구조건을 반영하여 일정계획을 수립한다.

미국 메이저리그 일정계획의 단점은 첫째, 유동성(Flexibility)의 부족이다. 각팀의 요구조건이 각각 다르며 또 아메리칸리그, 내셔널 리그의 요구조건이 각각 다른데, 각 요구조건을 수렴하여 적절한 일정계획을 수립하기에는 여전히 수작업 부하가 많다. (500Man-Hours 소요)

둘째, Home and Away Pattern이 경기일정 기본단위별로 구별이 없고 고정되어 있기 때문에 리그경기 요구조건을 적극 반영하기가 힘들다.

일련번호 \ 팀명	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
1	T(4)	T(3)	—	—
2	T(2)	—	T(4)	—
3	T(3)	—	—	T(2)
4	—	T(1)	—	T(3)
5	—	T(4)	T(1)	—
6	—	—	T(2)	T(1)

〈그림 3-3-2〉 짝지워진 Home and Away Pattern

일련번호 \ 홈팀	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
1	T(3)	T(4)	—	—
2	T(4)	—	T(2)	—
3	T(2)	—	—	T(3)
4	—	T(3)	—	T(1)
5	—	T(1)	T(4)	—
6	—	—	T(1)	T(2)

〈그림 3-3-3〉 짝지워진 Home and Away Pattern

이미 고정된 Home-Away Pattern에 단지 방문팀을 할당하여 일정계획을 수립하기 때문에 각팀의 이동거리 최소화나 요일별(혹은 Series 별) 각팀간의 균등한 경기배분이 힘들다.

셋째, Home Away Pattern을 전체리그 경기에 적용하지 못하고 9월의 일정계획에만 이용했다는 것이다. 각팀간의 홈경기와 방문경기를 균등하게 분포시키기 위해서는 전체리그 경기에 Home-Away Pattern을 적용시켜야 하는데도 문제의 복잡성 때문에 이것을 포기했다. [13]

본 연구에서는 이러한 메이저리그 일정계획의 단점을 보완하고 경영과학적인 기법을 적용하여 일반적인 리그경기 일정계획을 위한 최적화 모형을 설정하였으며 개발된 모형을 사용하기 비교적 간편한 개인용 컴퓨터에 구현(Implement)하였다.

4. 모형의 설정

4. 1 문제의 정의

리그경기 일정계획이 만족시켜 주어야 조건은, 반드시 만족시켜 주어야 할 절대조건과 가

능한 한 만족되어야 할 요구조건으로 구별된다.

4. 1. 1 절대조건

절대조건은, 어떤 팀이라도 같은 시간대에 둘 이상의 장소에 존재할 수 없다든지 같은 경기장소에 구별되는 둘이상의 경기가 일어나서는 안된다는 당연조건과, 리그경기에 참여한 팀의수와 각팀이 가지는 경기수의 제한 등으로 발생하는 조건으로 분류된다.

다음은 절대조건을 당연조건과 리그경기의 특성으로 발생한 조건순서로 나열한 것이다.

- 1) 한 팀이 같은 시간에 둘 이상의 경기를 할 수 없다.
- 2) 한 경기장에 같은 시간에 둘 이상의 경기를 가질 수 없다.
- 3) 경기가 열리는 각 경기장에는 홈팀이 반드시 참가해야 한다.
- 4) 각팀이 리그경기동안 가지는 경기의 수는 같아야 한다.
- 5) 각 팀은 리그경기에 참여한 다른 팀과 전체적으로 같은수의 홈경기와 방문경기를 가져야 한다.

4. 1. 2 요구조건

절대조건은 리그경기 일정계획이 반드시 만족시켜야 하지만, 요구조건은 최대한으로 충족시키면 된다. 그래서 리그경기 일정계획의 목적식은 요구조건을 반영한 것이 되어야 하며 절대조건의 제약하에 최적화 하는 방향으로 일정계획이 모형화되어야 한다.

다음은 요구조건을 나열한 것이다.

- 1) 같은 팀간의 연속적인 경기(Back-to-back)를 적정수준으로 유지해야 한다.
- 2) 연속적인 홈경기의 수를 적정수준이하로 유지해야 한다.

(Restriction of Home Stands)

- 3) 연속적인 방문경기의 수를 적정수준 이하로 유지해야 한다.

(Restriction of Road Trips)

- 4) 모든팀은 일정기간동안(예 : 월기준) 비슷한 횟수의 홈경기와 방문경기를 가져야 한다. (Approximately even distribution of

Home and Away game by a certain time interval)

- 5) 어떤 팀이라도 일정기간동안 모든팀과 비슷한 수의 경기를 가져야 한다.
- 6) 특정경기를 특정시간대에 특정한 형태로 미리 배치가 가능해야 한다.
- 7) 구별되는 시간대(예: 요일별)에 각팀이 가지는 홈경기가 비슷해야 한다.
- 8) 리그경기에 참여하는 팀의 수와 각팀이 가지는 경기수의 변화를 용이하게 수용해야 한다.
- 9) 각팀이 쉴 수 있는 시간이 배정되어야 하며 쉬는 시간의 분포도 비슷해야 한다.
- 10) 각팀의 이동거리를 최소화 시켜야 한다.

요구조건 1), 2), 3)은 각팀의 이동거리를 최소화 하면서 관객서비스를 극대화 하기 위한 것이다. 이동거리를 줄이기 위해서는 한 경기장에서 많은 횟수의 경기를 가져야 하지만 관객의 입장에서는 같은 팀간의 경기, 연속 홈경기 및 연속 방문경기가 계속될 경우 지루하게 되는 것이다.

요구조건 4), 5), 7), 9), 10)은 각팀에 공정한 일정계획이 되어야 한다는 것을 의미한다. 경기가 시작된후 시간이 경과함에 따라 특정팀의 경기수가 주말에 집중된다던지 특정팀의 경기가 다른팀의 경기에 비해 월등히 많을 경우 공정한 일정계획이 되지 못하는 것이다.

요구조건 6), 8)은 일정계획이 환경의 변화에 적절히 대응해야 한다는 것을 의미한다. 주어진 여건을 충분히 반영하고 변화했을때 즉각적으로 수용 가능해야 적절한 일정계획이라 할수 있다.

4. 1. 3 조건의 검토

절대조건은 반드시 충족되어야 하므로 변화의 가능성이 없으나 요구조건은 리그경기에 참여하는 각팀의 이해관계에 따라 유동성이 있는 조건들이므로 각 조건을 여러가지 형태로 변화시키면서 그 결과를 산출해보는 민감도 분석(Sensitivity Analysis)이 리그경기의 일정 계획에 중요한 요소인 것을 알수 있다.

그래서 본 연구에서는 요구조건의 유동성을 최대한 반영할 수 있는 모형화(Formulation) 및 구현화(Implementation)를 시도하였다.

4. 2 모형화(Formulation)

4. 2. 1 요구조건의 단순화

첫째, 경기일정의 기본형태 설정

둘째, Tour(정의: 모든 팀간의 홈경기와 방문 경기를 한 순서 가지는 경기일정)의 채택
셋째, 홈경기와 방문경기의 유형화이다.

경기일정 기본형태는 특정 두팀이 두팀중 어느 한팀의 연고지(Home)에서 가지는 연속경기 일로써 일주일을 분할한 형태이다. 일주일을 2일-3일(화수-금토일) 혹은 2일-2일-2일(화수-목금-토일)로 나누는 것이 그 한 예이다. 경기일정 기본형태는 몇개의 경기일정 기본단위(예: 2일, 3일)로 구성되며 1개의 경기일정 기본단위동안 각 팀간의 연속경기가 발생하는데 이때 발생하는 연속경기를 Series라고 정의한다.

이것은 요구조건 1), 2), 3), 10)을 반영한 것으로 특정 팀간의 최대 연속경기 횟수를 적정 수준이하로 유지하면서 각팀의 이동거리를 최소화 하는데 필요하다.

Tour의 채택은 요구조건 4), 5), 7)을 고려한 것으로 하나의 Tour가 끝나면 모든 팀은 리그 경기에 참여한 다른 팀과 비슷한 횟수의 홈경기 와 방문경기를 마치게 된다.

Tour별로 특정한 “경기일정 기본형태”를 가지는데 이것은 각팀의 요구조건과 경기장 사정 등을 고려하여 신중히 결정되어 진다. 전체리그 경기는 각 팀이 가지는 경기수에 따라 몇개의 Tour로 구성된다.

홈경기와 방문경기의 유형화(The Pattern of Home Games and Away Games)는 한 Tour내에 발생하는 홈경기와 방문경기를 Tour 에 해당되는 경기일정 기본형태의 경기일정 기본 단위별로 할당하는 것이다. 예를 들어 7개팀이 “2-3 경기일정 기본형태”로 Tour를 구성한다고 하자. 각 팀간에 홈경기와 방문경기가 한차례씩 있으므로 총 42개의 ($7C_2 \times 2$) Series (각 팀간의 연속경기)가 필요하고 한개의 경기일정 기본단위동안 3개의 Series가 열리므로 14개의 ($=42 \div 3$) 기본단위(경기일정 기본단위)로

Tour가 구성된다. 그리고 Tour는 “2-3경기 일정 기본형태”를 가지므로 2-기본단위가 7개, 3-기본단위가 7개 그래서 총 7주가 소요된다. 기본단위별로 홈팀과 방문팀이 균등하게 분포해야 하므로 기본단위당 팀별로 3번의 연속 홈경기와 3번의 방문연속경기를 가진다.

경기일정 기본형태, Tour수의 결정 그리고 홈경기와 방문경기의 결정은 팀간에 이해가 없혀 있기 때문에 그리고 요구조건 6)을 고려할때 유동성(flexibility)가 보장되어야 한다는 것을 알 수 있다. 그래서 본 모형에서는 이부분을 이용자가 결정하도록 하였다.

〈그림 4-1〉, 〈그림 4-2〉는 7개팀이 “2-3경기 일정 기본형태”로 한 Tour동안 수행할때 발생하는 홈경기 유형과 방문경기 유형을 예시한 것이다.

홈 팀	3-경기일정 기본단위동안 방문팀			2-경기일정 기본단위동안 방문팀		
	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(1)
T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(1)	T(2)
T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(1)	T(2)	T(3)
T(5)	T(6)	T(7)	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
T(6)	T(7)	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)
T(7)	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)

〈그림 4-1〉 방문경기 유형 예시

일련번호	3-경기일정 기본단위동안 홈팀			일련번호	2-경기일정 기본단위동안 홈팀		
	T(1)	T(3)	T(5)		T(2)	T(4)	T(6)
1	T(1)	T(3)	T(5)	1	T(2)	T(4)	T(6)
2	T(1)	T(4)	T(7)	2	T(2)	T(3)	T(5)
3	T(3)	T(2)	T(5)	3	T(1)	T(2)	T(3)
4	T(2)	T(4)	T(6)	4	T(1)	T(3)	T(7)
5	T(6)	T(7)	T(1)	5	T(4)	T(5)	T(6)
6	T(2)	T(6)	T(5)	6	T(4)	T(5)	T(7)
7	T(3)	T(2)	T(7)	7	T(1)	T(6)	T(7)

〈그림 4-2〉 홈경기 유형예시

*T(1), T(2), T(3);..., T(7)은팀명

방문경기 유형은 각 팀별로 가지는 방문팀을 경기일정 기본단위별로 정한것인데 2-3경기일정 기본형태를 택할경우 어떤팀과는 두번의 경

기, 어떤팀과는 세번의 홈경기를 가지게 된다. 〈그림 4-1〉에서 1번팀은 2, 3, 4번팀과 홈경기장에서 3번의 경기를 가지고 2, 3, 4번팀의 홈구장에서는 두번의 방문경기를 가진다. 또 3, 5, 6번팀과는 1번팀이 홈경기장에서 두번의 경기를 가지고, 5, 6, 7번 팀의 홈경기장에서 세번의 방문경기를 가지게 되는 것이다.

그래서 방문경기의 유형은 팀별로 의견조정을 통해 결정되어야 한다. 〈그림 3-2〉의 홈경기 유형은 리그경기에 참여한 팀의 수를 m이라고 할때 mC_k 개의 홈경기 유형이 가능하다. ($k=\lfloor m/2 \rfloor$; $m/2$ 를 넘지않는 최대정수)여기서는 그 일부를 예시 한것이다. 홈경기 유형은 각팀간의 의견조정을 통해 가능한 다수의 유형중 우선순위 순서로 결정되어야 한다. 홈경기 유형이 방문경기 유형의 요구조건을 수용하지 못할 경우에는 우선순위가 낮은 홈경기 유형을 수정해야 하며 가능한 같은 유형이 반복되지 않도록 해야 할것이다.

4.2.2 전반적인 모형의 구조

(Global Model Architecture)

전체 리그경기를 일정계획의 기본단위로 구성된 몇개의 Tour로 세분하여 Tour별로 3.1의 요구조건을 최적화 하였다.

각 Tour의 경기일정 단위별로 홈경기 유형과 방문경기 유형을 짝짓기 과정을 거쳐 “Home Away Pattern”을 만든다. Home-Away Pattern(HAP)는 홈경기 유형에 나타나는 홈팀에 방문팀을 방문경기 유형에 맞게 할당시켜 만들어 지는 것이다. 이때 각 Tour별로 팀수가(=M) 홀수인 경우 $M \times 2$ 개, 팀수가 짝수인경우 $(M-1) \times 2$ 개의 Home Away Pattern이 만들어 진다.

팀수가 홀수일때와 짝수일때 HAP의 갯 수가 다른것은 팀수가 홀수인 경우는 다른팀이 경기를 가질동안 한팀이 쉬어야 하기 때문이다.

〈그림 4-1〉과 〈그림 4-2〉의 방문경기 유형 홈경기 유형을 짝지워서(Matching) 만들어지는 Home Away Pattern을 〈그림 4-3〉 〈그림 4-4〉에서 예시 하였다. Home Away Pattern 은 여러가지 대안이 발생할 가능성이 있으므로 각 팀의 요구조건을 수렴하여 가장 최적의 대안을

일련번호 \ 홈팀	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
1	T(2)	-	T(4)	-	T(6)	-	×
2	T(3)	-	-	T(5)	-	×	T(2)
3	T(4)	-	-	-	×	T(2)	T(3)
4	-	-	T(6)	T(6)	-	-	T(1)
5	-	T(5)	×	T(7)	-	T(1)	-
6	-	T(3)	-	×	T(1)	T(7)	-
7	×	T(4)	T(6)	-	T(7)	-	-

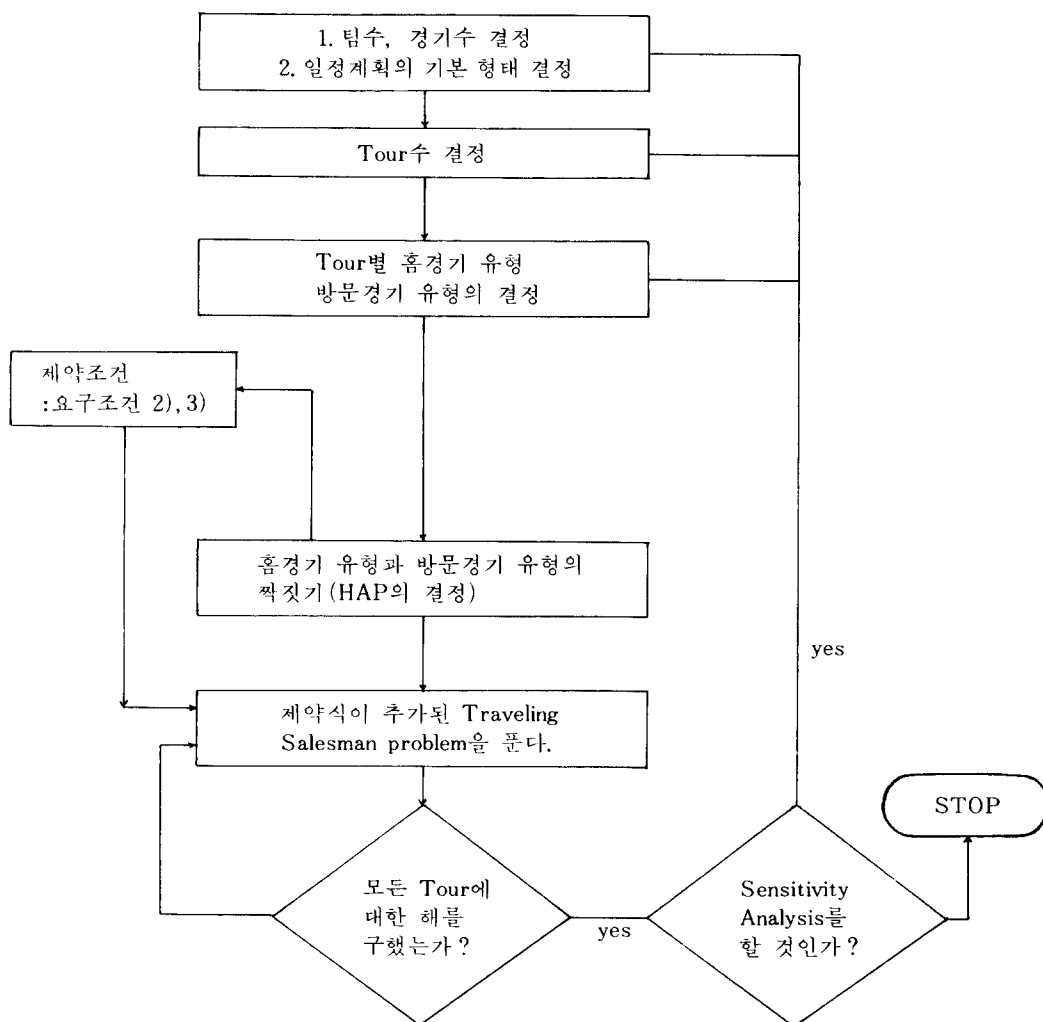
〈그림 4-3〉 3-경기일정 기본단위의 Home-Away

Pattern

일련번호 \ 홈팀	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
8	-	T(1)	-	T(3)	-	T(5)	×
9	T(5)	T(6)	T(7)	×	-	-	-
10	-	T(7)	T(1)	-	T(4)	×	-
11	T(6)	-	T(2)	-	×	-	T(4)
12	T(7)	-	×	-	T(2)	T(4)	T(1)
13	×	-	-	T(2)	T(3)	-	T(6)
14	-	×	-	T(1)	-	T(3)	T(5)

〈그림 4-4〉 2-경기일정 기본단위의 Home-Away

Pattern



〈그림 4-5〉 전반적인 모형

선택하여 결과를 산출해 볼 수 있다.

이것은 경기일정 기본단위별 Home-Away Pattern의 결정을 이용자에게 말김으로 해서 일정계획에 유동성을 부여하는 것이다. 이렇게하여 선택된 각 Tour의 경기일정 기본단위별 Home Away Pattern을 4.1의 요구조건 2), 3), 10), 즉 연속 홈경기 및 연속 방문경기의 횟수제한(Maximum of Home Stands and Road Trips) 그리고 이동거리의 최소화를 목적식으로 두고 순서를 정해야 하는 문제가 남아있다.

Home-Away pattern을 요구조건에 맞게 순서를 정하면 요구조건을 충족하는 하나의 Tour가 완성되는 것이다.

전형적인 외관원 문제(Traveling Salesman Problem)는 이동거리를 최소화시키면서 여행할 도시(City)를 한번씩 방문하여 출발도시로 다시 돌아오는 문제인데 $M(= \text{팀수}) \times 2$ 개의(팀수가 홀수인 경우)의 Home-Away Pattern(HAP)의 순서를 매기는 것도 각팀의 이동거리를 최소화시켜야 하므로 외관원 문제의 부류에 속한다고 할수 있다. [3]

그런데 홈경기의 연속횟수 제한 및 방문경기의 연속횟수 제한의 요구조건 2), 3)에 의해 부가적인 제약식(Additional Constraints)이 발생한다.

(그림 4-3)과 (그림 4-4)에서 1-9-3의 순서는 1번팀이 Home 경기장에서 8번의 경기를 하므로 최대 Home 연속 경기횟수가 5회일때 요구조건 2)를 위반하고 있으므로 바람직한 일정계획이 되지 못한다.

그래서 각 Tour의 Home Away Pattern의 순서를 정하는 문제는 이동거리를 최소화 하면서 부가적인 제약식인 요구조건 2), 3)을 만족시켜야 하는 외관원 문제로 정리된다.

이문제를 해결하기위해 고려한 방법은 Branch and Bound 기법이다. [2, 3]

이동거리의 최소화만 고려한 외관원 문제의 해를 Lower bound로 채택하여 요구조건 2), 3)을 만족하는 가를 검증(test)한다. 만족하면 최적해이고 만족하지 않으면 요구조건 2), 3)을 위반하는 edges ($i \rightarrow j$)중 Lower bound를 가장 향

상시킬수 있다고 생각되는 edge를 Heuristic 하게 찾아 branch하여 외관원 문제를 다시 푼다. 이런과정을 반복적으로 수행하여 요구조건 2), 3)을 만족하는 여행자 문제의 최적해를 구한다.

전체 리그경기는 몇개의 Tour로 구성되어 있으므로 각 Tour의 최적 Home-Away Pattern의 순서를 종합하면 요구조건을 만족하는 전체 리그경기의 일정계획이 수립되는 것이다.

(그림 4-5)은 전반적인 모형을 도식화 한 것이고 홈경기 유형과 방문경기 유형의 짝짓기 과정의 상세한 내용은 4.3, 4.4에서 살펴보고자 한다.

그리고 민감도 분석은 4.5에서 다루고자 한다.

4.3 홈경기 유형과 방문경기 유형의 짝짓기

리그경기가 몇개의 Tour로 구성되며 Tour의 수는 일정계획의 기본형태와 팀간의 경기수로 결정된다. 각 Tour별로 가지는 홈경기 및 방문경기의 수는 팀간에 약간의 차이는 발생한다.그러나 각 팀간에 리그경기기간(season)동안 가지는 경기의 수는 일정하므로 홈경기 유형과 방문경기 유형을 검토하여 리그경기 참가팀수, 각 Tour의 경기일정 기본단위별 팀간의 경기수등의 일관성을 검증 한다. 홈경기 유형과 방문경기 유형을 검증하여 결함이 없는 경우 다음과 같은 짝짓기 과정을 거쳐 각 Tour별 Home-Away-Pattern이 만들어 진다.

(짝짓기 과정)

단계1 : (초기값 설정)

요구조건 7), 즉 특정 홈경기 유형에 방문팀을 짝짓고 홈팀의 방문경기 유형에서 짝지워진 팀을 지운다.

단계2 : (홈경기 유형의 선택)

다음 우선순위의 홈경기 유형을 선택한다. 모든 홈경기 유형이 짝지워지면 단계 7으로 가시오

단계3 : (짝짓기 가능한 방문팀 결정)

선택된 홈경기 유형에서 홈팀의 방문경

기 유형중 절대조건 1), 2), 3)에 위배되지 않는 방문팀을 결정한다.

짜짓기 가능한 방문팀이 없을 경우 6으로 가시오.

단계4 : (짜짓기 1)

짜짓기 가능한 방문팀이 유일한 경우 짜짓기를 실시하고 해당 홈팀의 방문경기 유형에서 해당 방문팀을 지운다.

지금까지 짜짓기와 실시된 홈경기 유형중 미배정된 홈팀의 짜짓기 가능한 방문팀이 현재의 방문경기 유형으로 절대조건 1), 2), 3)에 비추어 유일한 경우, 짜짓기를 실시하고 단계 2로 가시오.

단계5 : (짜짓기 2)

짜짓기 가능한 방문팀이 유일하지 않을 경우 홈경기 유형에 해당 홈팀을 미배정 홈팀으로 표시하고 단계 2로 가시오.

단계6 : (홈경기 유형의 수정)

짜짓기 불가능한 홈팀을 우선순위가 낮은 홈경기 유형에서 다른 홈팀과 절대조건 1), 2), 3)에 의거 자리바꿈을 실시한다.

자리바꿈이 불가능할 경우, 사용자에게 홈경기 유형 혹은 방문경기 유형을 수정하도록 하고 단계1로 가시오.

자리바꿈을 실시 했을 경우 단계 3으로 가시오.

단계7 : (대안선택)

짜짓기가 실시된 모든 홈경기 유형에서 미배정 홈팀이 있을 경우 현재의 방문경기 유형으로 가능한 하나의 대안을 제시한다.

단계8 : 짜짓기가 실시되지 않은 경기일정 기본단위나 Tour가 있을 경우 단계 1로 가시오. 그렇지 않으면 짜짓기 과정이 끝난다.

4.4 최적화 과정

전체 리그경기는 몇개의 Tour로 구성되어 있으며 각 Tour내의 HOME - AWAY - PATTERN (HAP)는 다른 Tour의 HAP와 독립이므로 개

별 Tour를 최적화하면 전체 리그경기가 최적화된다.

짜짓기가 끝난 Tour를 요구조건 2), 3), 10), 즉 연속 홈경기수와 방문경기수의 제한 그리고 이동거리의 최소화를 목적으로 최적화한다. 이는 각 Tour가 짜짓기 된 HAP를 N개 (팀수(M)가 홀수(짝수)인 경우 $M \times 2$ ($(M-1) \times 2$) 가지고 있으므로 N개의 HAP를 목적식에 맞게 순서를 정하는 문제로 정리되는데 결국 이것은 “요구조건 2), 3)”이 부과되고 이동거리를 최소화하는 N개의 방문지를 가진 외판원 문제와 같아지므로 식 4-4-1과 같이 수식화 할 수 있다.

식 4-4-1

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i,j} C_{ij} X_{ij}$$

subject to

$$T \equiv \begin{cases} \sum_j X_{ij} = 1 & j = 1 \text{ to } N \\ \sum_i X_{ij} = 1 & i = 1 \text{ to } N \\ \sum_{i \in Q, j \in Q} X_{ij} \geq 1 & \text{for all } Q \subset V, Q \neq \emptyset \\ X = 0, 1 \end{cases}$$

S ≡ { 요구조건 2), 3)

식 4-4-1에서 모든 HAP는 일련번호가 부여되어 있으며 V는 모든 HAP의 집합을 나타낸다.

C_{ij} 는 cost matrix (“C”)의 element로서 i와 j가 같거나 HAP_i와 HAP_j가 같은 경기일정단위에 속한 것일 때 무한대가 된다. 이것은 모든 Tour의 경기일정계획 형태가 서로 다른 일정계획단위에 속한 Series (연속경기)가 반복되는 것이므로 같은 일정계획단위에 속한 series가 연속되지 않게 하기 위한 것이다. 위와 같은 경우가 아닐 경우에는 C_{ij} 는 HAP_i와 HAP_j가 연속하여 배치되었을 때 발생하는 각 팀의 이동거리의 합이나 특정비용을 나타낸다. 그리고, $C_{ii} = 1$ 로 두는데 이것은 다음 Tour의 첫번째 HAP까지의 이동거리(비용)를 단순화하여 가정한 것이며, 첫째 Tour의 첫번째 HAP는 이용

자(리그경기일정계획 담당자 혹은 리그경기에 참여한 각 팀의 책임자들의 회의)가 정하며(요구조건 6)) 첫번째가 아닌 Tour의 C_{ij} 는 바로 앞 Tour의 마지막 HAP에서 고려중인 Tour의 각 HAP까지의 비용이다. 즉, 첫번째가 아닌 Tour에서는 바로 앞 Tour의 마지막 HAP가 상적으로 추가되는 셈이다.

X_{ij} 는 HAP $_i$ 와 HAP $_j$ 가 연속하게 배치될 경우에는 “1”, 그렇지 않을 경우에는 “0”이다. 식 4-4-1의 제약식은 전형적인 외판원 문제의 제약식 T와 리그경기 요구조건인 S로 구성되어 있는 것을 알 수 있다. 문제를 해결하기 위해 Branch and Bound기법을 사용하였는데 제약식 S를 relax한 외판원 문제를 Lower bound로 채택하였다. 전체적인 최적화 과정은 다음과 같다.

〈최적화 과정〉

단계 1 : (초기값 설정)

$$\underline{Z} (= \text{Lower bound}) = -\infty$$

$$\overline{Z} (= \text{Upper bound}) = +\infty$$

vertex: 0에서 시작

단계 2로 가시오.

단계 2 : (Branch)

Depth-first search에 의해 live vertex j 를 찾는다. $X_{ij} = 0$ 로 먼저 Branch하고 다음 $X_{ij} = 1$ 로 Branch 한다. live vertex가 없으면 단계 7로 가고 그렇지 않으면 단계 3으로 가시오.

단계 3 : (bound의 계산)

외판원 문제 ($\text{Min } Z_j = \sum C_{ij} X_{ij} \quad X \in T$: vertex j 에서의 TSP)를 풀어 최적해 X_j, Z_j 를 산출한다.

$$\underline{Z}_j = Z_j \text{라 둔다.}$$

외판원 문제가 Unbounded이면

$$\underline{Z}_j = \infty \text{라 두고}$$

단계 2로 가시오.

그렇지 않으면 단계 4로 가시오.

단계 4 : (Infeasibility Test와 Fathoming)

X_j 가 요구조건 2), 3)을 만족하지 않

으면 단계 6으로 가시오.

X_j 가 요구조건 2), 3)을 만족하면

$\overline{Z}_j = Z_j$ 라 두고 Vertex j 를 Fathom 시킨다. 그리고 Upper bound를 개선시킨다.

$$\text{즉, } \overline{Z}_0 = \text{Min} \{Z_0, \overline{Z}_j\}$$

X_0 는 \overline{Z}_0 를 산출한 해

단계 5로 가시오.

단계 5 : (Fathoming)

$\underline{Z}_j > \overline{Z}_0$ 인 모든 vertex를 fathom시킨다. 단계 6으로 가시오.

단계 6 : (Seperation)

요구조건 2), 3)을 만족하지 않는 X_{ij} 중 evaluation이 가장 큰 X_{ij} 를 Seperation 한다. 즉, $X_{ij} = 0$ ($C_{ij} = \infty$)와 $X_{ij} = 1$ ($C_{ij} = \infty$ 그리고 Cost Matrix에서 i Row와 j Column을 Strike-off한다.)로 Seperation을 실시하고 단계 2로 가시오.

단계 7 : (termination)

$\overline{Z}_0 = \infty$ 이면 infeasible, $\overline{Z}_0 < \infty$ 이면 X_0 가 최적의 해이다.

* X_{ij} 의 evaluation의 정의 :

Cost Matrix에서 C_{ij} 를 제외하고 i Row의 최소값과 j column의 최소값을 합한 값이다. 이것은 단계 6에서 Seperation을 실시할 때, Infeasibility test에 통과하지 못한 X_{ij} 중 어느 하나를 “0”으로 두기 위해 채택된 방안으로, Lower bound를 극대화 시키기 위해 Maximin을 사용한 것이다. [2] [5]

4.5 민감도 분석

이용자가 초기에 제공한 자료를 기초로 하여 짜짓기 과정과 최적화 과정을 거쳐 만들어진 리그경기의 일정계획에는 리그경기에 참가한 각 팀의 입장에서 만족스럽지 못한 부분이 발생할 수 있다.

혹은 초기 제공자료로는 요구조건을 충족시키는 경우가 없을 경우(짜짓기 과정과 최적화 과정에서 해가 Infeasible한 경우)도 발생할 수 있다. 그래서 민감도 분석에서는 각팀의 상충

되는 의견의 조정과 요구조건을 반영하는 일정 계획이 수립되도록 수정하여 결과를 출력할 수 있게 했다.

민감도 분석을 위한 매개변수(Parameters)로는

첫째, 연속 홈경기 및 방문경기의 최대 횟수

둘째, 홈경기 유형

셋째, 방문경기 유형

네째, 팀수 및 팀간의 경기수

다섯째, Tour의 수 및 Tour의 Series 기간, 요일

여섯째, 각 HAP간의 비용 등이 있다.

“연속 홈경기 및 방문경기의 최대횟수”를 조정함으로써 각 Tour의 최적해를 개선시킬 수 있다. 연속 홈경기 및 방문경기 최대횟수를 크게 할 경우 비용을 더 줄일 수 있으며, 작게 할 때는 비용은 증가하지만 연속경기가 감소하여 관객서비스(Fan Service)를 향상시켜 궁극적으로 각팀의 이익금이 늘어날 수 있다.

“홈경기 유형과 방문경기 유형”의 조정은 짜릿기 과정에서 Home-Away Pattern(HAP)을 변경시키므로 각팀의 이해가 상충되는 경기 일정 전반을 수정하는데 도움을 준다.

“팀수 및 팀간의 경기수 조정”은 안정된 리그경기에서는 자주 발생하지 않으나 향후 리그경기에 참가하는 팀수가 변경된다든지 경기를 할 수 있는 기간이 변경되었을 때 필요하다.

“Tour의 수 및 각 Tour의 Series 기간, 요일”의 조정은 “연속 홈경기 및 방문경기 최대 횟수” 조정과 밀접한 관계가 있는 것으로 경기 일정 기본 단위는 연속 홈경기 및 방문경기 최대횟수를 기초로 하여 정해져야 하는 것이다. 각팀간의 경기수가 일정할 때 Tour의 수를 늘린다면 비용이 늘어날 수 있으며 경기일정 기본 단위도 그 크기(Size)가 작아져 연속경기 및 방문경기의 최대 허용 횟수에 훨씬 못 미치는 일정계획이 수립될 수 있다.

마지막으로 “각 HAP간의 비용” 조정은, 각팀이 홈 경기장에서 방문경기장으로, 혹은 방문 경기장에서 홈경기장으로, 혹은 다른 방문경기장으로 옮길 때 발생하는 비용을 변경시키는 것

으로 각 팀간의 합리적인 비용계산이 필요하다.

위의 6가지 민감도 분석의 매개변수는 복수로 사용가능하며, 다섯번째 매개변수를 제외하고는 Tour별로 조정이 가능하다.

4.6 시스템의 설명

본연구에서 개발한 리그경기일정계획 시스템(DSSL : Dynamic Scheduling System for League games)는 Advanced Basic 언어로 작성되었으며 다음과 같은 컴퓨터 및 주변기기가 필요하다.

첫째, IBM PC/XT 또는 호환성 있는 컴퓨터

둘째, 모니터

셋째, 디스크 드라이브(1대)

네째, 5 1/4인치 플로피디스크

다섯째, 프린터(선택적 기기)

개발된 시스템은 크게 리그경기의 크기(Size)를 입력하는 부분과 그것을 최적화하는 부분으로 나누어져 있으며 입력 MENU형식을 취했고 총 14개의 기본 Program으로 구성되어 있다.

시스템에 대한 구체적인 사항은 한국과학기술원 시스템공학센터 김철수 혹은 한국과학기술원 경영과학과 네트워크 및 시스템 최적화연구실로 Contact하면 자세한 것을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 리그경기의 요구조건을 분석한 후, 리그경기 일정계획을 위한 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 마이크로 컴퓨터를 통해 이용자가 사용하기에 간편하도록 구현화(Implementation) 했다.

본 연구에서 개발된 리그경기 일정계획 시스템은 각종 리그경기, 특히 연고지를 가진 상업적인 리그경기의 일정계획에 이용될 수 있다.

참가하는 팀들의 요구조건을 적극 반영할 수 있도록 민감도 분석기능을 추가시켰다. 개발된 시스템을 이용할 경우 현재 수작업으로 수행중인 리그경기 일정계획에 많은 도움이 있을 것으로 사료된다.

개발된 시스템에서는 각팀의 이동거리가 비교적 우선순위가 낮은 요구조건으로 분석되었으며 이동거리를 최소화 시키는 방법으로 연속 홈경기와 방문경기를 적정수준 이하로 유지시키면서 각팀의 이동거리를 합한 총거리를 최소화하는 방법을 사용했으나 각팀의 실제적인 이동거리가 Critical한 경우에는 Multi-Objective Traveling Salesman기법을 사용하여 향후에 해결이 가능할 것으로 여겨진다. [4] [7]

참 고 문 헌

1. E. Horwitz, and S. Sabni, Fundamenta Of Data Structure, Computer Science Press Inc., Maryland, 1976.
2. Held M., A. J. Hoffman, E. L. Johnson, and P. Wolfe, "Aspects of the Traveling Salesman Problem", IBM J. Res. Develop, vol. 28, no. 4, pp 476-486, July, 1984.
3. Katta Murty, Linear and Combinatorial Programming, John Willey & Sons Inc., 1976.
4. Lin, Shen., "computer solution of the traveling salesman problem", Bell Systems Technical Journal, 44, pp 2245-2269, 1965.
5. Michel Stob, "Rankings From Round-Robin Tournaments", Management Science, vol. 31, no. 9, pp 1191-1195, Sept. 1985.
6. Pafadimitiou, G. H., and K. Steiglitz, Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity", Prentice-Hall, Englewood cliffs, New Jersey, 1982.
7. Parry, R. R., and H. pfeffer, "The Infamous Traveling-Salesman Problem: A Practical Approach", BYTE, pp 252-290, July, 1981.
8. P. Miliotis, "Integer Programming Approaches To the Traveling Salesman Problem", Mathematical Programming, 10, pp 367-378, 1976.
9. R. G., Park, and R. L., Radin, "The Traveling Salesman problem: An update of Research", Naval Research Logistics Quarterly, vol. 30, pp 69-96, 1983.
10. Robert Thomas Compbel, and Der-San Chen, "A Minimal distance scheduling Problem", In Management Science In Sports, R. E. Machol and S. P. Ladany (eds.), North-holland, amsterdam, 1977.
11. S. P. Ladany and R. E. Machol, Optin Strategies In Sports, North-Holland, Amsterdam, 1977. Amsterdam,
12. S. P. Ladany and R. E. Machol, Management Science In sports, North-Holland, Amsterdam, 1976.
13. William, O., Cain JR., "The Computer-Assisted Heuristic Approach Used To Scheduling The Major League Baseball Clubs", In Optimal Strategies in Sports, S. P. ladany and R. E. Machol (eds.), North-Holland, Amsterdam, 1977.