Journal of the Korean Data & Information Science Society
2016, **27**(3), 663–676

http://dx.doi.org/10.7465/jkdi.2016.27.3.663
한국데이터정보과학회지

# 한국 프로야구 우승 결정방식에서의 우승확률[†]

조대현[1]

[1]인제대학교 사회과학대학 통계학과, 통계정보연구소

접수 2016년 4월 25일, 수정 2016년 5월 14일, 게재확정 2016년 5월 18일

## 요 약

한국의 프로야구는 정규시즌 중의 성적이 4위인 팀이 와일드카드인 1승을 안고 5위 팀과 싸워 2승을 먼저 하는 팀이 준 플레이오프에 진출한다. 준 플레이오프 진출 팀이 3위 팀과 싸워 3승을 먼저 하는 팀이 플레이오프에 진출하고 이 팀이 다시 2위 팀과 싸워 3승을 먼저 하는 팀이 코리언 시리즈에 진출하게 된다. 코리언시리즈 진출 팀은 1위 팀과 싸워 먼저 4승을 거두는 팀이 최종 우승팀이 된다. 이러한 포스트 시즌 경기방식을 따를 경우 상위 포스트 시즌 경기에 진출한 각 순위의 팀이 우승할 확률은 팀의 승률에 따라 결정됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 Bernoulli 시행인 경우와 서로 독립인 경우만을 가정하는 경우 한국시리즈와 같은 우승 결정방식에서 상위 팀들이 우승할 확률을 추정하는 방법을 제안하였다. 본 연구의 결과를 이용하면 시즌 중의 각 팀 간의 승률이나 포스트 시즌 중 매 경기에 대한 각 팀 간의 승률을 이용하여 포스트 시즌 진출 팀들의 최종 우승확률을 추정할 수 있다.

주요용어: 독립시행, 베르누이시행, 우승확률, 음 이항분포

## 1. 서론

우리나라의 프로야구는 1982년에 출범하였다. 출범당시 6개 구단으로 출범하여 현재는 10개 구단이 되었다. 등록 선수도 출범 당시 약 140명에서 현재는 팀당 40명씩 10개 구단 400명으로 늘었다. 1982년에 144만 명이던 관중은 2015년 730만 명을 돌파했다 (Korean professional baseball organization Homepage). 한국프로야구는 이러한 양적인 성장과 함께 각종 기록 측면에서도 많은 발전을 하고 있다. 2006년 월드베이스볼클래식 (WBC) 4강, 2008년 베이징올림픽 금메달, 2009년 WBC 준우승, 2015년 WBSC Premier12 우승 등으로 대표되는 기록들은 한국 야구의 총체적 발전에 힘입은 바라고 할 수 있다.

현재 우리나라 프로 야구는 10개의 프로구단이 참여하여 팀당 144게임을 소화하는 경기이다. 한국의 프로야구는 정규시즌 중의 성적이 4위인 팀이 와일드카드인 1승을 안고 5위 팀과 싸워 2승을 먼저 하는 팀이 준 플레이오프에 진출한다. 준 플레이오프 진출 팀이 3위 팀과 싸워 3승을 먼저 하는 팀이 플레이오프에 진출하고 이 팀이 다시 2위 팀과 싸워 3승을 먼저 하는 팀이 코리언 시리즈에 진출하게 된다. 코리언시리즈 진출 팀은 1위 팀과 싸워 두 팀 중 먼저 4승을 거두는 팀이 최종 우승팀이 된다. 이러한 포스트시즌 경기 진행 방식을 보면 우승을 위해서는 정규리그 3, 4, 5위 팀이 2위 팀이나 1위 팀보다 더 많은 경기를 치르도록 되어있다. 한국 야구의 역사를 보면 시즌 중의 성적을 토대로 1, 2위 팀만이 코리안

† 본 논문은 2015년도 인제대학교 학술연구비 보조에 의한 것임.

1 (50834) 경남 김해시 인제로 197, 인제대학교 사회과학대학 통계학과, 통계정보연구소, 교수.
E-mail: statcho@inje.ac.kr

시리즈를 치러서 이긴 팀이 우승을 하는 우승 결정방식에서 준 플레이오프, 플레이오프, 코리안 시리즈를 통해 우승을 결정하는 현재의 우승 결정방식으로 진화한 셈이다.

양 팀으로 나누어 진행되는 다양한 종류의 경기가 존재하며 경기 종류에 따라 실로 다양한 우승결정방식이 존재한다. 한국 프로야구의 포스트 시즌에서 현재와 같이 상위 1 ∼ 5위 팀들에 의한 우승 결정방식을 따를 경우 각 순위의 팀이 우승할 확률은 결국 팀의 승률 차이에 따라 결정됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 매 게임이 베르누이 시행과 같이 진행 되는 경우와 서로 독립인 경우만을 가정하는 경우로 나누어 상위팀들의 최종 우승확률을 추정하는 방식을 제안하였다.

한국의 프로야구에 관해서는 많은 연구가 이루어지고 있다. 승률에 관한 연구로는 Cho와 Cho (2005), Lee 와 Kim (2006), Lee와 Kim (2007), Kim (2011) 등이 있으며 승패모형에 관한 연구로는 Lee와 Cho (2009), Cho 등 (2007)이 있으며 분석을 위한 척도에 관한 연구로는 Kim (2013) 등, Lee (2014)와 Lee (2015) 가 있다.

## 2. 본론

한 번의 실험이나 시행에서 나타나는 결과가 성공 (success) 혹은 실패 (failure) 인 경우 이러한 시행을 Bernoulli 시행이라고 한다. 두 팀 $A$, $B$가 매 게임에서 이길 확률이 각각 $p$, $q$ (단, $p+q=1$)인 시합을 계속하는 경우 Bernoulli 시행이 독립적으로 반복되는 경우에 해당한다. $r$번째 성공할 때까지의 총 시행 횟수를 $X$라 할 경우 $X$는 모수 $(r,p)$를 따르는 음 이항 확률분포를 따른다고 한다. 이때 $X$의 확률 질량함수는 다음과 같다.

$$P(X=x)=\binom{x-1}{r-1}p^r q^{x-r},\ x=r,r+1,\cdots. \tag{2.1}$$

### 2.1. Bernoulli 시행인 경우

#### 2.1.1. $(n+1)$선승제의 승리 확률

두 팀 $A$, $B$가 경기를 치르는 경우 $A$팀이 이길 확률이 $p$라고 가정하자. $(n+1)$번의 성공을 먼저 거두는 팀이 최종으로 승리한다고 하자. $A$팀이 최종적으로 승리하는 경우는 $(n+1)$번째 성공이 $(n+1)$번째부터 $(2n+1)$번째 시행에서 일어나야한다. $(n+1)$번째 성공이 일어날 때까지의 시행횟수를 $X$라 할 경우 음 이항 분포의 정의에 따라 $X$는 모수가 $((n+1),p)$인 음 이항분포를 따른다. 즉, $X$는 다음과 같은 확률 질량함수를 갖는다.

$$P(X=x)=\binom{x-1}{n}p^r q^{x-n-1},\ x=n+1,n+2,\cdots. \tag{2.2}$$

그러므로 $A$팀이 최종적으로 승리할 경우는 $(n+1)$번째 성공이 $(n+1)$번째부터 $(2n+1)$번째 시행에서 일어나야함으로 $A$팀이 최종 승리할 확률 $p_A$는 다음과 같이 주어진다.

$$p_A=\sum_{x=n+1}^{2n+1}\binom{x-1}{n}p^{n+1}q^{x-n-1}. \tag{2.3}$$

또한 $B$팀이 최종 승리할 확률 $p_B$는 $p$와 $q$만 달라지는 경우에 해당하므로 다음과 같이 주어진다.

$$p_B=\sum_{x=n+1}^{2n+1}\binom{x-1}{n}q^{n+1}p^{x-n-1}. \tag{2.4}$$

식 (2.3)을 이용하여 2승을 먼저 하는 팀이 최종 승리할 경우 $A$팀이 이기는 경우의 확률 $p_A$는 $p^2 + 2p^2q$이 된다. 또한 식 (2.4)를 이용하면 $B$팀이 이길 확률 $p_B$는 $q^2 + 2q^2p$이다. 이 경우 $A$, $B$가 이길 확률 $p_A$, $p_B$를 더하면 1이 됨을 알 수 있다. 즉, $p_A + p_B = 1$이다.

3승을 먼저 하는 팀이 최종 승리하는 경우 식 (2.3)을 이용하여 $A$팀이 최종 승리할 확률은 $p^3+3p^3q+6p^3q^2$이 된다. 또한 식 (2.4)를 이용하면 $B$팀이 최종 승리할 확률은 $q^3 + 3q^3p + 6q^3p^2$이 된다.

4승을 먼저 하는 팀이 최종 승리하는 경우 식 (2.3)을 이용하여 $A$팀이 이기는 경우에 대한 확률은 $p_A = p^4 + 4p^4q + 10p^4q^2 + 20p^4q^3$이 된다. 또한 식 (2.4)를 이용하면 $B$팀이 이기는 경우의 확률은 $p_B = q^4 + 4q^4p + 10q^4p^2 + 20q^4p^3$이 된다.

### 2.1.2. 코리언 시리즈와 동일한 방식인 경우 각 팀이 최종 우승할 확률

$1 \sim 5$ 순위의 5팀이 선발되어 두 팀 간의 시합이 Bernoulli 시행인 것처럼 진행되고 한국의 프로야구의 포스트 시즌 방식으로 우승이 결정되는 경우 각 $1 \sim 5$위 팀의 우승확률은 다음과 같이 계산된다.

시즌 중의 팀의 성적이 $1 \sim 5$위 팀을 각각 $T_1 \sim T_5$라 하자. $T_5$의 다른 상위 팀인 $T_4 \sim T_1$과의 승률을 각각 $p_{54}, p_{53}, p_{52}, p_{51}$이라 하고 $T_4$의 $T_3 \sim T_1$과의 승률을 각각 $p_{43}, p_{42}, p_{41}$이라하고 $T_3$의 $T_2$와 $T_1$과의 승률을 각각 $p_{32}, p_{31}$이라 하자. 또한 $T_2$의 $T_1$과의 승률을 $p_{21}$이라 하자. $T_i$와 $T_j$중 $T_i$가 이길 확률이 $p_{ij}$이면 $T_j$가 이길 확률은 $q_{ij} = 1 - p_{ij}$이다. 상위 5팀인 $T_5 \sim T_1$이 우승할 확률은 다음과 같다. 먼저 5위 팀인 $T_5$가 최종 우승을 하려면 와일드카드로 1승을 안고 싸우는 $T_4$와 싸워 먼저 2승을 하고 준 플레이오프와 플레이오프에서 이기고 코리안 시리즈에서 승리하여야 한다. 그러므로 $T_5$가 최종 우승할 확률 $P_5$는 다음과 같이 주어짐을 알 수 있다.

$$P_5 = p_{54}^2(p_{53}^3 + 3p_{53}^3q_{53} + 6p_{53}^3q_{53}^2)(p_{52}^3 + 3p_{52}^3q_{52} + 6p_{52}^3q_{52}^2) \times (p_{51}^4 + 4p_{51}^4q_{51} + 10p_{51}^4q_{51}^2 + 20p_{51}^4q_{51}^3). \tag{2.5}$$

다음으로 4위 팀인 $T_4$가 우승할 확률은 다음과 같이 구해진다. $T_4$가 최종 우승을 하려면 먼저 $T_5$와 싸워 2패 이전에 1승을 하여 준 플레이오프에 진출하여 승리하고 플레이오프에서 승리한 후 코리안 시리즈에서 승리하여야 한다. 그러므로 $T_4$와 다른 상위 팀인 $T_3 \sim T_1$과의 승률이 각각 $p_{43}, p_{42}, p_{41}$이므로 $T_4$가 최종 우승할 확률 $P_4$는 다음과 같이 주어짐을 알 수 있다.

$$P_4 = (q_{54} + p_{54}q_{54})(p_{43}^3 + 3p_{43}^3q_{43} + 6p_{43}^3q_{43}^2)(p_{42}^3 + 3p_{42}^3q_{42} + 6p_{42}^3q_{42}^2) \times (p_{41}^4 + 4p_{41}^4q_{41} + 10p_{41}^4q_{41}^2 + 20p_{41}^4q_{41}^3). \tag{2.6}$$

다음으로 3위 팀인 $T_3$이 최종 우승을 하려면 준 플레이오프와 플레이오프를 이기고 코리안 시리즈를 승리하여야 한다. 먼저 준 플레이오프에서 승리할 확률을 준 플레이오프에 진출하는 팀이 어느 팀이냐에 따라 구하면 다음과 같다. 먼저 $T_5$가 준 플레이오프에 진출한 후 $T_3$이 $T_5$과 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_2$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_1$과 싸워 4번을 먼저 이기는 경우와 먼저 4위 팀인 $T_4$가 준 플레이오프에 진출한 후 3위 팀인 $T_3$이 $T_4$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_2$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 1위 $T_1$과 싸워 4번을 먼저 이기는 경우로 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_3 = p_{54}^2(q_{53}^3 + 3q_{53}^3p_{53} + 6q_{53}^3p_{53}^2) + (p_{54}q_{54} + q_{54})(q_{43}^3 + 3q_{43}^3p_{43} + 6q_{43}^3p_{43}^2) \times (p_{32}^3 + 3p_{32}^3q_{32} + 6p_{32}^3q_{32}) \times (p_{31}^4 + 4p_{31}^4q_{31} + 10p_{31}^4q_{31}^2 + 20p_{31}^4q_{31}). \tag{2.7}$$

이어서 2위 팀인 $T_2$가 최종 우승을 하려면 준 플레이오프($SPO$)의 승자인 $T_3$나 $T_4$혹은 $T_5$를 이기고 마지막 팀인 $T_1$을 이겨야 한다. 이는 $T_3$나 $T_4$혹은 $T_5$가 $SPO$에 진출하고 이를 이긴 후 마지막 남은 1위 팀을 이기면 된다.

먼저 5위 팀 $T_5$가 진출하고 이를 $T_2$가 이길 사건에 대한 확률은 다음과 같다.

$$P(T_5\ SPO\text{진출} : T_2\text{이김}) = p_{54}^2 \times (p_{53}^3 + 3p_{53}^3 q_{53} + 6p_{53}^3 q_{53}^2) \times (q_{52}^3 + 3q_{52}^3 p_{52} + 6q_{52}^3 p_{52}^2).$$

다음으로 4위 팀 $T_4$가 진출하고 이를 2위 팀 $T_2$가 이길 사건에 대한 확률은 다음과 같다.

$$P(T_4\ SPO\text{진출} : T_2\ \text{이김}) = (q_{54} + p_{54}q_{54})(p_{43}^3 + 3p_{43}^3 q_{43} + 6p_{43}^3 q_{43}^2)(q_{42}^3 + 3q_{42}^3 p_{42} + 6q_{42}^3 p_{42}^2).$$

마지막으로 3위 팀 $T_3$가 진출하고 이를 2위 팀 $T_2$가 이길 사건에 대한 확률은 다음과 같다. 먼저 5위 팀 $T_5$가 진출하고 이를 $T_3$가 이기고 다시 $T_2$가 이기는 경우와 4위 팀 $T_4$가 진출하고 이를 $T_3$가 이기고 이를 $T_2$가 이기는 경우로 나누어 볼 수 있다. 이들에 대한 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} P(T_3\ SPO\text{진출} : T_2\ \text{이김}) =& p_{54}^2 (q_{53}^3 + 3q_{53}^3 p_{53} + 6q_{53}^3 p_{53}^2)(q_{52}^3 + 3q_{52}^3 p_{52} + 6q_{52}^3 p_{52}^2) \\ &+ (q_{54} + p_{54}q_{54})(q_{43}^3 + 3q_{43}^3 p_{43} + 6q_{43}^3 p_{43}^2)(q_{42}^3 + 3q_{42}^3 p_{42} + 6q_{42}^3 p_{42}^2). \end{aligned}$$

또한 $T_2$가 코리안 시리즈에 진출하여 $T_1$에 이길 확률은 다음과 같다.

$$P(T_2\text{가 } T_1\text{을 이김}) = p_{21}^4 + 4p_{21}^4 q_{21} + 10p_{21}^4 q_{21}^2 + 20p_{21}^4 q_{21}^3.$$

그러므로 $T_2$팀이 최종 승리할 확률 $P_2$는 이들의 곱으로 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} P_2 =& (P(T_5\ SPO\text{진출} : T_2\ \text{이김}) + P(T_4\ SPO\text{진출} : T_2\ \text{이김}) + P(T_3\ SPO\text{진출} : T_2\ \text{이김})) \\ & \times (p_{21}^4 + 4p_{21}^4 q_{21} + 10p_{21}^4 q_{21}^2 + 20p_{21}^4 q_{21}^3). \end{aligned} \tag{2.8}$$

마지막으로 1위 팀 $T_1$이 최종 승리하려면 코리안 시리즈에 올라오는 팀을 이기면 된다. 이는 다른 팀이 승리하지 않을 확률과 같다. 즉 1위 팀인 $T_1$이 최종 우승할 확률 $P_1$은 다음과 같이 주어진다.

$$P_1 = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - T_5. \tag{2.9}$$

### 2.2. 서로 독립만을 가정할 경우

야구경기와 같이 연이어 경기를 하는 경우 Bernoulli 시행처럼 동일한 확률로 진행된다고 할 수 없다. 프로야구 경기인 경우 적어도 투수에 따라 양 팀 간의 승률은 다를 수밖에 없다. 서로 독립만을 가정하고 프로야구의 포스트시즌 승리결정방식을 따른다고 가정할 경우 팀들의 최종 승리할 확률을 구해보고자 한다. 두 팀 $A$, $B$가 경기를 한다고 가정하는 경우 $i$번 째 시합에서 $A$팀이 $B$팀에게 이길 확률을 $p_i$라고 가정한다. 비기는 경우는 고려하지 않으므로 $B$팀이 $A$팀에게 이길 확률 $q_i$는 $(1 - p_i)$이다.

#### 2.2.1. $(n+1)$승을 먼저 거둔 팀이 승리하는 경우

$(n+1)$게임을 먼저 이기면 승리하는 경기인 경우 $A$팀이 이기는 경우는 다음과 같이 최종 승리할 때까지 $B$팀이 이긴 횟수 $n$에 따라 이기는 경우를 정리하면 Table 2.1과 같다.

**Table 2.1** The cases where team A is the winner of two with (n+1)th success

| $n$ | cases | The cases where team $A$wins |
|---|---|---|
| 0 | $\binom{n}{0}$ | $SSSS \cdots S$ |
| 1 | $\binom{n+1}{1}$ | $FSSSS \cdots S, SFSS \cdots SS, SSFSS \cdots S, SSSFS \cdots S, \cdots, SSS \cdots SFS$ |
| 2 | $\binom{n+2}{2}$ | $FFSSSS \cdots S, SFFSS \cdots SS, SSFSS \cdots S, SSSFS \cdots S, \cdots, SSS \cdots SFFS$<br>$FSFSSS \cdots S, SFFSS \cdots SS, SSFSS \cdots S, SSSFS \cdots S, \cdots, SSS \cdots FSFS$ |
| 3 | $\binom{n+3}{3}$ | $FFFS \cdots S, SFFFS \cdots S, \cdots, S \cdots SFFFS$<br>$FFSFS \cdots S, \cdots, S \cdots SFFSFS$<br>$FSFFS \cdots S, \cdots, S \cdots SFSFFS$<br>$FS(1)FS(1)FS, FS(1)FS(1)FS, S(1)FS(1)FS(1)FS, FS(1)FS(1)FS(1)S$ |
| ... | ... | ... |
| $n$ | $\binom{2n}{n}$ | $F^n S^{n+1},\ SF^n S,\ \cdots,\ SFSF \cdots S$ |

그러므로 두 팀 중 매 경기에서의 $A$팀이 이기는 총 경우의 수는 $\sum_{i=0}^{n}\binom{n+i}{i}$이 된다. 매번의 경기가 서로 독립이고 $1 \sim (2n+1)$번째 경기에서 $A$팀이 이길 확률을 각각 $p_1 \sim p_{2n+1}$이라 할 경우 $A$팀이 이길 확률 $P_A$는 위의 모든 경우에 대한 각각의 확률을 더하여 아래와 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} P_A =& (p_1 \cdots p_{n+1}) + q_1 p_2 \cdots p_{n+2} + \cdots + p_1 q_2 p_3 \cdots p_{n+2} \\ &+ \cdots q_1 \cdots q_n p_{n+1} \cdots p_{2n+1} + \cdots + p_1 q_2 p_3 q_4 \cdots q_{2n} p_{2n+1}. \end{aligned} \tag{2.10}$$

식 (2.10)을 이용하여 $B$팀이 이길 확률인 $P_B$도 $P_A + P_B = 1$인 성질을 이용하여 구할 수 있다. 이와 같은 방법을 이용하여 $A$팀이 와일드카드인 1승을 안고 싸워 2승하면 승리하거나, 와일드카드 없이 3승 및 4승을 먼저 하면 최종 승리를 하는 경우 $A$팀이 최종 승리할 확률을 구할 수 있다.

$A$팀이 와일드카드인 1승을 안고 싸우는 경우 이길 경우는 첫 번째 경기에서 이기거나 첫 번째 경기에서 지고 두 번째 경기에서 이기는 경우에 해당한다. 그러므로 $A$팀이 준 플레이오프에 진출할 확률 $p_A$는 $(p_1 + q_1 p_2)$이다.

$B$팀이 준 플레이오프에 진출할 경우는 연이어 두 번을 이기는 경우에 해당한다. 그러므로 $B$팀이 준 플레이오프에 진출할 경우의 확률 $p_B$는 $A$팀이 연이어 두 번 지는 경우의 확률인 $q_1 q_2$이다.

2승을 먼저 해야 승리하는 경우 $A$팀이 이기는 경우는 다음과 같이 연이어 두 번 이기는 경우와 두 번 중 한 번을 지고 마지막 세 번째 이기는 경우에 해당한다.

$$\Omega_A = \{SS, SFS, FSS\}.$$

그러므로 $A$팀이 최종 승리할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p_A = p_1 p_2 + p_1 q_2 p_3 + q_1 p_2 p_3.$$

마찬가지로 $B$팀이 이기는 경우는 다음과 같이 연이어 두 번 이기는 경우와 두 번 중 한 번을 지고 마지막 세 번째 이기는 경우에 해당한다.

$$\Omega_B = \{FF, FSF, SFF\}.$$

그러므로 $B$팀이 최종 승리할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p_B = q_1 q_{2+} q_1 p_2 q_3 + p_1 q_2 q_3.$$

두 팀이 승리할 확률의 합은 1이 됨을 알 수 있다. 즉 $P_B = 1 - P_A$이다.

3승을 먼저 하는 팀이 승리하는 경우 $A$팀이 이기는 경우는 다음과 같이 최종 승리 할 때까지 $B$팀이 이긴 횟수 $n$에 따라 이기는 경우를 정리하면 Table 2.1와 같다.

**Table 2.2** The cases where team A is the winner of two with 3th success

| $n$ | cases | The cases where team $A$wins |
|---|---|---|
| 0 | $\binom{2}{0}$ | $SSS$ |
| 1 | $\binom{3}{1}$ | $FSSS, SFSS, SSFS$ |
| 2 | $\binom{4}{2}$ | $SSFFS, SFSFS, SFFSS, FSSFS, FSFSS, FFSSS$ |

그러므로 두 팀 중 매 경기에서의 $A$팀이 $B$팀을 이길 확률을 $p_1 \sim p_5$라 하면 $A$팀이 최종 승리할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p_A =& p_1p_2p_3 \\ &+q_1p_2p_3p_4 + p_1q_2p_3p_4 + p_1p_2q_3p_4 \\ &+q_1q_2p_3p_4p_5 + q_1p_2q_3p_4p_5 + q_1p_2p_3q_4p_5 + p_1q_2q_3p_4p_5 + p_1q_2p_3q_4p_5 + p_1p_2q_3q_4p_5. \end{aligned}$$

마지막으로 4승을 먼저 거둔 팀이 승리하는 경우 $A$팀이 이기는 경우는 다음과 같이 최종 승리 할 때까지 $B$팀이 이긴 횟수 $n$에 따라 이기는 경우를 정리하면 Table 2.3과 같다.

**Table 2.3** The cases where team A is the winner of two with 4th success

| $n$ | cases | The cases where team $A$wins |
|---|---|---|
| 0 | $\binom{3}{0}$ | $SSSS$ |
| 1 | $\binom{4}{1}$ | $FSSSS, SFSSS, SSFSS, SSSFS$ |
| 2 | $\binom{5}{2}$ | $SSSFFS, SSFFSS, SFFSSS, FFSSS$<br>$FSFSSS, FSSFSS, FSSSFS, SFSFSS, SFSSFS, SSFSFS$ |
| 3 | $\binom{6}{3}$ | $FFFSSSS, SFFFSSS, SSFFFSS, SSSFFFS$<br>$FFSFSSS, FFSSFSS, FFSSSFS, SFFSFSS, SFFSSFS, SSFFSFS$<br>$SFSFFSS, SFSSFFS, FSFFSSS, FSSFFSS, FSSSFFS, SSFSFFS$<br>$FSSFSFS, FSFSSFS, SFSFSFS, FSFSFSS$ |

그러므로 두 팀 중 매 경기에서의 $A$팀이 $B$팀을 이길 확률을 $p_1 \sim p_7$라 하면 $A$팀이 최종 승리할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p_A =& p_1p_2p_3p_4 \\ &+ q_1p_2p_3p_4p_5 + p_1q_2p_3p_4p_5 + p_1p_2q_3p_4p_5 + p_1p_2p_3q_4p_5 \\ &+ q_1q_2p_3p_4p_5p_6 + q_1p_2q_3p_4p_5p_6 + q_1p_2p_3q_4p_5p_6 + q_1p_2p_3p_4q_5p_6 + p_1q_2q_3p_4p_5p_6 \\ &+ p_1q_2p_3q_4p_5p_6 + p_1q_2p_3p_4q_5p_6 + p_1p_2q_3q_4p_5p_6 + p_1p_2q_3p_4q_5p_6 + p_1p_2p_3q_4q_5p_6 \\ &+ q_1q_2q_3p_4p_5p_6p_7 + q_1q_2p_3q_4p_5p_6p_7 + q_1q_2p_3p_4q_5p_6p_7 + q_1q_2p_3p_4p_5q_6p_7 + q_1p_2q_3q_4p_5p_6p_7 \\ &+ q_1p_2q_3p_4q_5p_6p_7 + q_1p_2q_3p_4p_5q_6p_7 + q_1p_2p_3q_4q_5p_6p_7 + q_1p_2p_3q_4p_5q_6p_7 + q_1p_2p_3p_4q_5q_6p_7 \\ &+ p_1q_2q_3q_4p_5p_6p_7 + p_1q_2q_3p_4q_5p_6p_7 + p_1q_2q_3p_4p_5q_6p_7 + p_1q_2p_3q_4q_5p_6p_7 + p_1q_2p_3q_4p_5q_6p_7 \\ &+ p_1q_2p_3p_4q_5q_6p_7 + p_1p_2q_3q_4q_5p_6p_7 + p_1p_2q_3q_4p_5q_6p_7 + p_1p_2q_3p_4q_5q_6p_7 + p_1p_2p_3q_4q_5q_6p_7. \end{aligned}$$

단, $q_i = 1 - p_i$, $i = 1, 2, 3, \cdots, 7$이다.

또한 $B$가 3승 혹은 4승을 먼저 거두어 최종 승리할 확률은 유사한 방법으로 구하거나 $p_A + p_B = 1$인 사실을 이용하여 구하면 $p_B = 1 - p_A$로 주어진다.

### 2.2.2. 코리언 시리즈와 동일한 방식인 경우 각 팀이 최종 우승할 확률

$1 \sim 5$ 순위의 5팀이 선발되어 두 팀 간의 시합이 독립만을 가정할 경우 $1 \sim 5$위 팀인 $T_1 \sim T_5$의 우승 확률은 위의 결과들을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$i = 1, 2, \cdots, 7$인 경우 $T_5$와 다른 상위 팀인 $T_4 \sim T_1$과의 $i$번째 시합에서의 승률을 각각 $p_{54i}, p_{53i}$, $p_{52i}, p_{51i}$라 하고 $T_4$이 $T_3 \sim T_1$와의 $i$번째 시합에서의 승률을 각각 $p_{43i}, p_{42i}, p_{41i}$이라하고 $T_3$이 $T_2$와

$T_1$과의 $i$번째 시합에서의 승률을 각각 $p_{32i}, p_{31i}$이라 하자. 또한 $T_2$의 $T_1$과의 $i$번째 시합에서의 승률을 $p_{21i}$라 하자. 하위 팀의 승률이 $p_{ijk}$인 경우 상위팀의 승률 $q_{ijk}$는 $1 - p_{ijk}$임을 알 수 있다. 먼저 5위 팀 $T_5$가 최종 우승할 확률을 구하고자한다. $T_5$가 최종 우승을 하려면 와일드카드로 1승을 안고 싸우는 $T_4$와 싸워 먼저 2승을 하여 준 플레이오프와 플레이오프를 이기고 코리안 시리즈를 승리하여야 한다. $T_i$팀과 $T_j$팀이 싸워 $T_i$팀이 이기는 사건을 (①: $j$)라고 할 경우 $T_5$가 최종 우승할 사건은 다음과 같이 주어진다.

$$(⑤ : 4) \cap (⑤ : 3) \cap (⑤ : 2) \cap (⑤ : 1).$$

그러므로 $T_5$가 우승할 확률 $P_5$는 다음과 같이 구해진다. 먼저 $T_5$가 $T_4$를 이기고 준 플레이오프에 진출할 사건 (⑤:4)에 대한 확률 $(P_{T_5}(T_5 : T_4))$은 $T_5$가 두 번을 연이어 이겨야하므로 $p_{541}p_{542}$이다. 즉 $P_{T_5}(T_5 : T_4) = p_{541}p_{542}$. 다음으로 준 플레이오프에서 $T_3$와 싸워 이길 확률은 3승을 먼저 해야 이기는 경우의 확률을 구하는 공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $p_{531} \sim p_{535}$로 대입하여 얻어진다. 즉, $T_5$가 $T_3$와 싸워 먼저 3승을 올릴 확률 $P_{T_5}(T_5 : T_3)$는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{T_5}(T_5 : T_3) =& p_{531}p_{532}p_{533} + q_{531}p_{532}p_{533}p_{534} + p_{531}q_{532}p_{533}p_{534} + p_{531}p_{532}q_{533}p_{534} \\ &+ q_{531}q_{532}p_{533}p_{534}p_{535} + q_{531}p_{532}q_{533}p_{534}p_{535} + q_{531}p_{532}p_{533}q_{534}p_{535} \\ &+ p_{531}q_{532}q_{533}p_{534}p_{535} + p_{531}q_{532}p_{533}q_{534}p_{535} + p_{531}p_{532}q_{533}q_{534}p_{535}. \end{aligned}$$

플레이오프에 진출하여 $T_5$가 $T_2$와 싸워 3승을 먼저 할 확률 $P_{T_5}(T_5 : T_2)$은 3승을 먼저 해야 이기는 경우의 확률을 구하는 공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $p_{521} \sim p_{525}$로 대입하여 얻어진다.

$$\begin{aligned} P_{T_5}(T_5 : T_2) =& p_{521}p_{522}p_{523} + q_{521}p_{522}p_{523}p_{524} + p_{521}q_{522}p_{523}p_{524} + p_{521}p_{522}q_{523}p_{524} \\ &+ q_{521}q_{522}p_{523}p_{524}p_{525} + q_{521}p_{522}q_{523}p_{524}p_{525} + q_{521}p_{522}p_{523}q_{524}p_{525} \\ &+ p_{521}q_{522}q_{523}p_{524}p_{525} + p_{521}q_{522}p_{523}q_{524}p_{525} + p_{521}p_{522}q_{523}q_{524}p_{525}. \end{aligned}$$

마지막으로 코리언 시리즈에서 승리할 확률은 4승을 먼저 이겨야 승리하는 경우의 $A$가 이길 확률 $P_{T_5}(T_5 : T_1)$을 구하는 공식에서 $p_1 \sim p_7$대신 $p_{511} \sim p_{517}$으로 대입하여 구해진다. 결국 $T_5$이 코리언 시리즈를 우승할 확률은 이들의 확률의 곱으로 다음과 같이 주어진다.

$$P_5 = P_{T_5}(T_5 : T_4) \times P_{T_5}(T_5 : T_3) \times P_{T_5}(T_5 : T_2) \times P_{T_5}(T_5 : T_1).$$

다음으로 4위 팀인 $T_4$가 우승할 확률은 다음과 같이 구해진다. $T_4$가 최종 우승을 하려면 먼저 $T_5$와 싸워 2패 이전에 1승을 하여 준 플레이오프에 진출하여 $T_3$과 싸워 이기고 플레이오프에서 $T_2$와 싸워 이기고 코리안 시리즈에서 $T_1$과 싸워 이겨야한다. 그러므로 $T_4$의 최종 우승할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_4 = P_{T_4}(T_5 : T_4) \times P_{T_4}(T_4 : T_3) \times P_{T_4}(T_4 : T_2) \times P_{T_4}(T_4 : T_1).$$

단, $P_{T_5}(T_5 : T_4) = q_{541} + p_{541}q_{542}$,

$$\begin{aligned} P_{T_4}(T_4 : T_3) =& p_{431}p_{432}p_{433} \\ &+ q_{431}p_{432}p_{433}p_{434} + p_{431}q_{432}p_{433}p_{434} + p_{431}p_{432}q_{433}p_{434} \\ &+ q_{431}q_{432}p_{433}p_{434}p_{435} + q_{431}p_{432}q_{433}p_{434}p_{435} + q_{431}p_{432}p_{433}q_{434}p_{435} + \\ &+ p_{431}q_{432}q_{433}p_{434}p_{535} + p_{431}q_{432}p_{433}q_{434}p_{435} + p_{431}p_{432}q_{433}q_{434}p_{435}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{T_4}(T_4:T_2) =& p_{421}p_{422}p_{423} \\ &+q_{421}p_{422}p_{423}p_{424} + p_{421}q_{422}q_{423}p_{424} + p_{421}p_{422}q_{423})p_{424} \\ &+q_{421}q_{422}p_{423}p_{424}p_{425} + q_{421}p_{422}q_{423}p_{424}p_{425} + q_{421}p_{422}p_{423}q_{424}p_{425} \\ &+p_{421}q_{422}q_{423}p_{424}p_{425} + p_{421}q_{422}p_{423}q_{424}p_{425} + p_{421}p_{422}q_{423}q_{424}p_{425}. \end{aligned}$$

그리고 $P_{T_4}(T_4:T_1)$는 4승을 먼저 이겨야 승리하는 경우의 $A$가 이길 확률을 구하는 공식에서 $p_1 \sim p_7$대신 $p_{411} \sim p_{417}$으로 대입하여 구해진다.

다음으로 3위 팀인 $T_3$이 최종 우승을 하려면 준 플레이오프와 플레이오프를 이기고 코리안 시리즈를 승리하여야 최종으로 우승을 하게 된다. 먼저 준 플레이오프에서 승리할 확률을 준 플레이오프에 진출하는 팀이 어느 팀이냐에 따라 구하면 다음과 같다. 먼저 $T_5$가 준 플레이오프에 진출한 후 $T_3$이 $T_5$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_2$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_1$과 싸워 4번을 먼저 이기는 경우와 $T_4$가 준 플레이오프에 진출한 후 $T_3$이 $T_4$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_2$와 싸워 3번을 먼저 이기고 다시 $T_1$과 싸워 4번을 먼저 이기는 경우의 확률을 더하면 된다. 즉, $T_3$이 최종 우승할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_3 = (P_{T_5}(T_5:T_4) \times P_{T_3}(T_5:T_3) + P_{T_4}(T_5:T_4) \times P_{T_3}(T_4:T_3)) \times P_{T_3}(T_3:T_2) \times P_{T_3}(T_3:T_1).$$

단, $P_{T_5}(T_5:T_4) = p_{541}p_{542}$이고 $P_{T_4}(T_5:T_4) = q_{541} + p_{541}q_{542}$이며 $P_{T_3}(T_5:T_3)$은 3승을 먼저 이기는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $q_{531} \sim q_{535}$로 대입하여 얻어진다. 즉,

$$\begin{aligned} P_{T_3}(T_5:T_3) =& q_{531}q_{532}q_{533} \\ &+p_{531}q_{532}q_{533}q_{534} + q_{531}p_{532}q_{533}q_{534} + q_{531}q_{532}p_{533}q_{534} \\ &+p_{531}p_{532}q_{533}q_{534}q_{535} + p_{531}q_{532}p_{533}q_{534}q_{535} + p_{531}q_{532}q_{533}p_{534}q_{535} \\ &+q_{531}p_{532}p_{533}q_{534}q_{535} + q_{531}p_{532}q_{533}p_{534}q_{535} + q_{531}q_{532}p_{533}p_{534}q_{535}. \end{aligned}$$

또한 $P_{T_3}(T_4:T_3)$은 3승을 먼저 이기는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $q_{431} \sim q_{435}$로 대입하여 얻어진다. 즉,

$$\begin{aligned} P_{T_3}(T_4:T_3) =& q_{531}q_{532}q_{533} \\ &+p_{431}q_{432}q_{433}q_{434} + q_{431}p_{432}q_{433}q_{434} + q_{431}q_{432}p_{433}q_{434} \\ &+p_{431}p_{432}q_{433}q_{434}q_{435} + p_{431}q_{432}p_{433}q_{434}q_{435} + p_{431}q_{432}q_{433}p_{434}q_{435} \\ &+q_{431}p_{432}p_{433}q_{434}q_{435} + q_{431}p_{432}q_{433}p_{434}q_{435} + q_{431}q_{432}p_{433}p_{434}q_{435}. \end{aligned}$$

$P_{T_3}(T_3:T_2)$는 3승을 먼저 이기는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $p_{321} \sim p_{325}$)로 대입하여 얻어진다. 즉,

$$\begin{aligned} P_{T_3}(T_3:T_2) =& p_{321}p_{322}p_{323} \\ &+q_{321}p_{322}p_{323}p_{324} + p_{321}q_{322}p_{323}p_{324} + p_{321}p_{322}q_{323}p_{324} \\ &+q_{321}q_{322}p_{323}p_{324}p_{325} + q_{321}p_{322}q_{323}p_{324}p_{325} + q_{321}p_{322}p_{323}q_{324}p_{325}+ \\ &+p_{321}q_{322}q_{323}p_{324}p_{325} + p_{321}q_{322}p_{323}q_{324}p_{325} + p_{321}p_{322}q_{323}q_{324}p_{325}. \end{aligned}$$

$P_{T_3}(T_3:T_1)$은 4승을 먼저 이기는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_7$를 $p_{311} \sim p_{317}$로 대입하여 얻어진다.

2위 팀인 $T_2$가 최종 우승할 확률($P_2$)은 다음과 같이 구해진다. $T_2$가 최종 우승하려면 $T_5 \sim T_3$중 플레이오프에 출전하는 팀을 이긴 후 $T_1$을 4번 먼저 이겨야한다. 즉,

$$\begin{aligned}P_2 =&P_{T_5}(T_5:T_4)\times P_{T_5}(T_5:T_3)\times P_{T_2}(T_5:T_2)\times P_{T_2}(T_2:T_1)\\&+P_{T_4}(T_5:T_4)\times P_{T_4}(T_4:T_3)\times P_{T_2}(T_4:T_2)\times P_{T_2}(T_2:T_1)\\&+P_{T_5}(T_5:T_4)\times P_{T_3}(T_5:T_3)\times P_{T_2}(T_3:T_2)\times P_{T_2}(T_2:T_1)\\&+P_{T_4}(T_5:T_4)\times P_{T_3}(T_4:T_3)\times P_{T_2}(T_3:T_2)\times P_{T_2}(T_2:T_1).\end{aligned}$$

여기서, $P_{T_3}(T_5:T_3)$은 3승을 먼저 하는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $q_{531} \sim q_{535}$로 대입하여 얻어진다. $P_{T_3}(T_4:T_3)$은 3승을 먼저 하는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$를 $q_{431} \sim q_{435}$로 대입하여 얻어진다. 또한 $P_{T_2}(T_5:T_2)$, $P_{T_2}(T_4:T_2)$그리고 $P_{T_2}(T_3:T_2)$는 3승을 먼저 하는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$를 각각 $q_{521} \sim q_{525}$, $q_{421} \sim q_{425}$, $q_{321} \sim q_{325}$로 대입하여 얻어진다. 또한 $P_{T_2}(T_2:T_1)$은 3승을 먼저 하는 경우 $A$가 최종 승리할 확률공식에서 $p_1 \sim p_5$을 $p_{211} \sim p_{215}$로 대입하여 얻어진다.

마지막으로 1위 팀이 최종 승리하려면 코리안 시리즈에 올라오는 팀을 이기면 된다. 이는 다른 팀이 승리할 확률을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$P_1 = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5.$$

매번의 시합에서 각 팀 간의 승률을 알 수 있다면 이들의 공식을 이용하여 서로 독립만을 가정하고 상위팀들의 최종 승리할 확률을 계산해 볼 수 있다.

## 3. Bernoulli 시행인 경우에 대한 적용결과

두 팀 $A$와 $B$중 $A$팀의 승률이 $p$인 경우 $p$의 값이 0.1에서 0.9까지 0.1씩 변함에 따라 각 팀이 최종 승리할 확률 $p_A$, $p_B$를 구하면 다음과 같다.

### 3.1. 와일드카드를 가진 $A$팀과 $B$팀이 먼저 2승으로 이길 확률

와일드카드를 가진 $A$팀이 $B$팀과 싸워 2승을 먼저 하는 팀이 승리할 경우 각 팀이 승리할 확률은 다음의 Table 3.1과 같다. 이 결과를 보면 와일드카드를 갖고 있는 팀인 경우 승률 $p$에 비해 승리할 확률이 더 큼을 알 수 있으며 상대적으로 와일드카드가 없는 $B$팀의 경우 승리할 확률이 두 팀의 승률에 비해 작음을 알 수 있다.

**Table 3.1** The winning probability with 2 successes

| $p$ | $p_A$ | $p_B$ |
|---|---|---|
| 0.1 | 0.19 | 0.81 |
| 0.2 | 0.36 | 0.64 |
| 0.3 | 0.51 | 0.49 |
| 0.4 | 0.64 | 0.36 |
| 0.5 | 0.75 | 0.25 |
| 0.6 | 0.84 | 0.16 |
| 0.7 | 0.91 | 0.09 |
| 0.8 | 0.96 | 0.04 |
| 0.9 | 0.99 | 0.01 |

### 3.2. 3승을 먼저 하는 팀이 이기는 경우 각 팀이 이길 확률

3승을 먼저 하는 팀이 다음 시리즈에 진출하는 경우 각 팀이 최종으로 다음 시리즈에 진출할 확률은 다음의 표와 같다. $A$팀인 경우 승률 $p$가 0.5인 경우 $B$팀의 최종 승리할 확률이 같으며 $p$가 0.5보다 높을수록 최종 이길 확률 $p_A$는 승률과의 차이가 많이 남을 알 수 있다.

**Table 3.2** The winning probability with 3 successes

| $p$ | $p_A$ | $p_B$ |
|---|---|---|
| 0.1 | 0.00856 | 0.99144 |
| 0.2 | 0.05792 | 0.94208 |
| 0.3 | 0.16308 | 0.83692 |
| 0.4 | 0.31744 | 0.68256 |
| 0.5 | 0.50000 | 0.50000 |
| 0.6 | 0.68256 | 0.31744 |
| 0.7 | 0.83692 | 0.16308 |
| 0.8 | 0.94208 | 0.05792 |
| 0.9 | 0.99144 | 0.00856 |

### 3.3. 4승을 먼저 하는 팀이 승리하는 경우 각 팀이 이길 확률

4승을 먼저 하는 팀이 승리하는 경우 각 팀이 최종으로 승리할 확률은 다음 표와 같다. 3승을 먼저 하는 경우와 마찬가지로 $A$팀인 경우 승률 $p$가 0.5인 경우 $B$팀의 최종 승리할 확률이 같으며 $p$가 0.5보다 높을수록 최종 이길 확률 $p_A$는 승률과의 차이가 많이 남을 알 수 있다.

**Table 3.3** The winning probability with 4 successes

| $p$ | $p_A$ | $p_B$ |
|---|---|---|
| 0.1 | 0.00273 | 0.99727 |
| 0.2 | 0.03334 | 0.96666 |
| 0.3 | 0.12604 | 0.87396 |
| 0.4 | 0.28979 | 0.71021 |
| 0.5 | 0.50000 | 0.50000 |
| 0.6 | 0.71021 | 0.28979 |
| 0.7 | 0.87396 | 0.12604 |
| 0.8 | 0.96666 | 0.03334 |
| 0.9 | 0.9972 | 0.00273 |

### 3.4. 상위 5팀의 우승확률 및 게임 수에 대한 기댓값

1∼5 순위의 5팀이 선발되어 두 팀 간의 시합이 서로 독립적으로 진행되고 한국의 프로야구의 포스트 시즌 방식으로 우승이 결정되는 경우 각 1 5위 팀의 우승확률은 다음과 같이 계산된다. 5위 팀인 $T_5$의 다른 4팀 $T_4, T_3, T_2, T_1$간의 승률을 각각 $p_{54}, p_{53}, p_{52}, p_{51}$이라고 하자. 4위 팀인 $T_4$의 다른 3팀 $T_3, T_2, T_1$간의 승률을 각각 $p_{43}, p_{42}, p_{41}$이라고 하자. 또한 3위 팀인 $T_3$의 $T_2, T_1$과의 승률을 $p_{32}, p_{31}$이므로 $T_3$의 다른 팀 $T_5, T_4, T_2, T_1$간의 승률은 각각 $q_{53}, q_{43}, p_{32}, p_{31}$이 되며 $T_2$팀과 $T_1$간의 승률을 $p_{21}$이므로 $T_2$팀과 다른 팀 $T_5, T_4, T_3, T_1$간의 승률은 각각 $q_{52}, q_{42}, q_{32}, p_{21}$이 된다. 또한 $T_1$팀의 다른 팀 $T_5, T_4, T_3, T_2$간의 승률은 각각 $q_{51}, q_{41}, q_{31}, q_{21}$이 된다. 이들 승률을 이용하여 총 게임 수에 대한 평균 게임수를 구할 수 있다. $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$팀에 대하여 상위 팀과 각각 0.1 정도의 승률의 차이를 가정한 경우 각 팀의 최종 우승확률을 구해보면 그 결과는 다음과 같다. 즉, $T_4$의 다른 팀 간의 승률은 $(T_4 : T_3) = (0.45 : 0.55)$,

$(T_4 : T_2) = (0.4 : 0.6)$, $(T_4 : T_1) = (0.35 : 0.65)$이며 $T_3$의 $T_2$와의 승률은 $(0.45 : 0.55)$이고 $T_3$의 $T_1$간의 승률은 $(0.4 : 0.6)$이고 $T_2$와 $T_1$간의 승률은 $(0.45 : 0.55)$라고 가정하면 각 팀이 최종으로 승리할 확률을 계산할 수 있다. 이와 같은 방법으로 $T_1, T_2, T_3, T_4$이 동일한 승률의 차이$(d)$가 0 0.1까지 0.02 간격으로 $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$팀이 최종 승리할 확률 $P_1 \sim P_5$는 다음과 같이 주어진다.

**Table 3.4** The winning probability of 5 top-ranked teams

| $d$ | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 0.50000 | 0.25000 | 0.12500 | 0.093750 | 0.031250 |
| 0.02 | 0.53793 | 0.25329 | 0.11491 | 0.073516 | 0.020362 |
| 0.04 | 0.57241 | 0.25461 | 0.10432 | 0.056113 | 0.012543 |
| 0.06 | 0.60361 | 0.25407 | 0.09350 | 0.041575 | 0.007246 |
| 0.08 | 0.63181 | 0.25183 | 0.08267 | 0.029802 | 0.003885 |
| 0.10 | 0.65741 | 0.24803 | 0.07207 | 0.020585 | 0.001905 |

위의 결과를 보면 승률의 차이가 많이 날수록 1위인 $T_1$이 최종 우승할 확률이 커짐을 알 수 있다.

또한 우승팀이 결정될 때까지의 총 경기 수의 기댓값은 준 플레이오프진출을 위한 게임 수를 $N_1$이라하고 준 플레이오프전의 게임수를 $N_2$, 플레이오프전의 게임수를 $N_3$, 코리언시리즈의 게임수를 $N_4$라 할 경우 총 게임 수 $N$에 대한 기댓값은 $\sum_{i=1}^{4} E(N_i)$로 계산된다. 여기서 $E(N_i)$의 값은 대결하는 팀의 승률에 따라 달라진다. 먼저, 준 플레이오프 진출을 위한 게임의 기댓값인 $E(N_1)$을 구하면 $E(N_1) = p_{54}^2 \times 2 + p_{45} + p_{54}p_{45} \times 2$이 된다.

다음으로 준 플레이오프전$(SPO)$의 평균게임 수인 $E(N_2)$을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E(N_2) = &\sum_{i=4}^{5} E(N_2|SPO\text{진출전승자} = T_i) \times P(SPO\text{진출전승자} = T_i) \\ =&[3(p_{43}^3 + p_{34}^3) + 12p_{43}p_{34}(2p_{43}^2 - 2p_{43} + 1) + 30p_{43}^2 q_{43}^2] \times (p_{45} + p_{54}p_{45}) \\ &+[3(p_{53}^3 + p_{35}^3) + 12p_{53}p_{35}(2p_{53}^2 - 2p_{53} + 1) + 30p_{53}^2 q_{53}^2] \times p_{54^2}. \end{aligned}$$

다음으로 $PO$에서의 게임의 기댓값 $E(N_3)$은 식 (2.7)을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} E(N_3) = &\sum_{i=3}^{5} E(N_2|SPO\text{승자} = T_i) \times P(SPO\text{승자} = T_i) \\ =&[3(p_{23}^3 + q_{23}^3 + 12p_{23}q_{23})(2p_{23}^2 - 2p_{23} + 1) + 30p_{23}^2 q_{23}^2] \times [p_{54}^2(p_{53}^3 + 3p_{53}^3 q_{53} + 6p_{53}^3 q_{53}^2) \\ &+(p_{45} + p_{54}p_{45}) \times (p_{43}^3 + 3p_{43}^3 q_{43} + 6p_{43}^3 q_{43}^2)] \\ &+[3(p_{24}^3 + q_{24}^3 + 12p_{24}q_{24})(2p_{24}^2 - 2p_{24} + 1) + 30p_{24}^2 q_{24}^2] \times (p_{45} + p_{54}p_{45}) \times (p_{43}^3 + 3p_{43}^3 q_{43} + 6p_{43}^3 q_{43}^2) \\ &+[3(p_{25}^3 + q_{25}^3 + 12p_{25}q_{25})(2p_{25}^2 - 2p_{25} + 1) + 30p_{25}^2 q_{25}^2] \times p_{54}^2 \times (p_{53}^3 + 3p_{53}^3 q_{53} + 6p_{53}). \end{aligned}$$

마지막으로 코리안 시리즈에서의 게임 수에 대한 기댓값 $E(N_4)$는 식 (2.8)을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$E(N_4) = \sum_{i=2}^{5} E(N_4|PO = T_i) \times P(PO = T_i),$$

단, $E(N_4|PO\text{승자} = T_i) = 4(p_{1i}^4 + q_{1i}^4) + 5 \times 4p_{1i}q_{1i}(1 - 3p_{1i} + 3p_{1i}^2) + 610p_{1i}^2 q_{1i}^2(2p_{1i}^2 - 2p_{1i} + 1) + 7 \times 20p_{1i}^3 q_{1i}^3$.

플레이오프전에서 2위 팀 $T_2$가 승리할 확률인 $P(PO = T_2)$는 플레이오프 진출전에서 4위 팀 혹은 5위 팀이 진출하고 연이어 이 팀들이 3위 팀을 이긴 후 플레이오프전에서 2위 팀이 이기는 경우와 플레

이오프 진출전에서 4위 팀 혹은 5위 팀이 진출하고 이 팀들이 3위 팀에 패한 후 플레이오프전에서 2위 팀이 이기는 경우의 서로 배반인 경우에 대한 확률의 합으로 계산된다. 즉,

$$\begin{aligned} P(PO = T_2) =& p_{54}^2(p_{53}^3 + 3p_{53}^3q_{53}) + 6p_{53}^3q_{53}^2)(p_{25}^3 + 3p_{25}^3q_{25} + 6p_{25}^3q_{25}^2) \\ &+(p_{45} + p_{54}p_{54}) \times (p_{43}^3 + 3p_{43}^3q_{43} + 6p_{43}^3q_{43}^2)(p_{24}^3 + 3p_{24}^3q_{24} + 6p_{24}^3q_{24}^2) \\ &+p_{54}^2(p_{35}^3 + 3p_{35}^3q_{35} + 6p_{35}^3q_{35}^2)(p_{23}^3 + 3p_{23}^3q_{23} + 6p_{23}^3q_{23}^2) \\ &+(p_{45} + p_{54}p_{54})(p_{34}^3 + 3p_{34}^3q_{34} + 6p_{34}^3q_{34}^2)(p_{23}^3 + 3p_{23}^3q_{23} + 6p_{23}^3q_{23}^2). \end{aligned}$$

같은 방법으로 플레이오프전의 승자가 3위에서 5위 팀이 될 확률을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(PO\text{승자} = T_3) &= p_{54}^2(p_{35}^3 + 3p_{35}^3q_{35}) + 6p_{35}^3q_{35}^2 \times (p_{32}^3 + 3p_{32}^3q_{35} + 6p_{32}^3q_{32}^2) \\ &\quad +(p_{45} + p_{54}p_{54}) \times (p_{34}^3 + 3p_{34}^3q_{34}) + 6p_{34}^3q_{34}^2 \times (p_{32}^3 + 3p_{32}^3q_{32} + 6p_{32}^3q_{32}^2) \\ P(PO\text{승자} = T_4) &= (p_{45} + p_{54}p_{45})(p_{43}^3 + 3p_{43}^3q_{43} + 6p_{43}^3q_{43}^2)(p_{42}^3 + 3p_{42}^3q_{42} + 6p_{42}^3q_{42}^2) \\ P(PO\text{승자} = T_5) &= p_{54}^2(p_{53}^3 + 3p_{53}^3q_{53} + 6p_{53}^3q_{53}^2) \times (p_{52}^3 + 3p_{52}^3q_{52} + 6p_{52}^3q_{52}^2). \end{aligned}$$

이들을 이용하여 $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$이 동일한 승률의 차이 $(d)$가 있음을 가정한 경우 $SPO$, $PO$및 코리언시리즈에서의 게임 수와 총 게임수의 기댓값은 Table 3.5와 같이 주어진다. $SPO$, $PO$및 코리언시리즈에서의 게임 수와 총 게임수의 기댓값은 각 팀 간의 승률의 차이가 적을수록 기댓값이 다소 증가함을 알 수 있다.

**Table 3.5** The expected values of total games

| $d$ | $E(N_1)$ | $E(N_2)$ | $E(N_3)$ | $E(N_4)$ | $E(N)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 1.50 | 3.18750 | 4.09020 | 5.81250 | 14.5902 |
| 0.02 | 1.49 | 3.16455 | 4.15690 | 5.80887 | 14.6203 |
| 0.04 | 1.48 | 3.14268 | 4.21979 | 5.79951 | 14.6420 |
| 0.06 | 1.47 | 3.12206 | 4.27788 | 5.78635 | 14.6563 |
| 0.08 | 1.46 | 3.10282 | 4.33034 | 5.77088 | 14.6640 |
| 0.10 | 1.45 | 3.08503 | 4.37654 | 5.75410 | 14.6657 |

## 4. 결언 및 과제

현재 우리나라 프로 야구는 10개의 프로구단이 참여하여 팀당 144게임을 소화하는 경기이다. 시즌 중의 성적을 통하여 4위가 1승의 와일드카드를 갖고 5위와 싸워 먼저 2승을 하는 팀이 준 플레이오프에 진출하고 이 팀이 3위와 겨루어 3승을 먼저 거두면 플레이오프에 진출하고 이 팀이 플레이오프에서 3승을 먼저 거두면 코리언 시리즈에 진출하게 된다. 코리언 시리즈 진출 팀과 1위 팀이 겨루어 4승을 먼저 거둔 팀이 최종 우승을 하게 되는 우승 결정방식으로 포스트 시즌 경기를 치르게 되어 있다. 시즌 중의 성적을 토대로 진행되는 포스트시즌의 경기에서 순위가 낮은 팀은 순위가 높은 팀에 비해 코리언 시리즈에 진출하거나 진출하여 승리할 확률은 낮을 수밖에 없다.

본 연구에서는 포스트 시전에 참여한 팀들 간의 승률에 따라 최종 승리할 확률을 구하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 각 팀이 최종 승리할 확률을 계산하는 방식을 응용하면 승리 결정방식에 따른 각 팀의 승리 확률을 계산할 수 있다. 시즌 중의 각 팀 간의 승률만을 아는 경우는 Bernoulli 시행인 경우의 확률 계산식으로 최종 승리할 확률을 추정할 수 있으며 포스트 시즌의 매 시합에서의 각 팀 간의 승률을 토대로 서로 독립인 경우의 확률계산식으로 최종 승리할 확률을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 두 팀 간의 경기에서 비김이 있는 경우를 고려하지 않았다. 이를 고려하면 좀 더 정확한 승리확률을 예

측할 수 있을 것이다. 비김이 있는 경우 총 게임의 기댓값도 도전해볼 문제이다. 또한 야구경기 이외의 다양한 경기에서도 야구경기와 유사한 방식으로 우승팀을 결정한다면 본 연구와 유사한 방법으로 포스트시즌 진출 팀의 최종 우승확률을 구할 수 있다.

## References

Cho, Y. S. and Cho, Y. J. (2005). A study on winning percentage using batter's runs and pitcher's runs in Korean professional baseball league. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **7**, 2303-2312.

Cho, Y. S., Cho, Y. J. and Shin, S. K. (2007). A study on winning and losing in Korean professional Baseball league. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **9**, 501-510.

Kim, B. S., Park, Y. W. and Jang, N. Y. (2013). Study for independence of hits in professional baseball games. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **24**, 1421-1428.

Kim, H. J. (2011). Suggestion of a new method of computing percentage of victories for the Korean professional baseball. *The Korean journal of applied statistics*, **24**, 1139-1148.

Lee, J. T. (2014). Pitching grade index in Korean pro-baseball. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **25**, 485-492.

Lee, J. T. (2015). Measuring the accuracy of the Pythagorean theorem in Korean pro-baseball. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **26**, 653-659.

Lee, J. T. and Kim, Y. T. (2006). Estimation of winning percentage in Korean Pro-sports. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **8**, 857-869.

Lee, J. T. and Kim, Y. T. (2007). An effective statistical model that predicted winning percentage in Korean pro-baseball. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **9**, 931-942.

Lee, J. T. and Cho, H. S. (2009). Win-Lose Models when two teams meet using data mining in the Korean pro-basebal. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, **11**, 3417-3426.

Korean professional baseball organization, `http://www.koreabaseball.com`.

*Journal of the Korean Data & Information Science Society*
*2016,* **27**(3), 663–676

http://dx.doi.org/10.7465/jkdi.2016.27.3.663
한국데이터정보과학회지

# The winning probability in Korean series of Korean professional baseball†

Daehyeon Cho[1]

[1]Department of Statistics/Institute of statistical Information, Inje university

Received 25 April 2016, revised 14 May 2016, accepted 18 May 2016

**Abstract**

In Korean professional baseball the championship team of the year is determined by the four series of games: semi-semi-playoff, semi-playoff, playoff and korean series. To the top 5 teams in a regular season privileges are given to play the games at post season. At semi-semi playoff the winner of two teams which are ranked at 4th and 5th place in the regular season can advance to the game of semi playoff. The winner at semi playoff advances to the playoff to play with the second place team in the regular season. Finally, the championship team is to be determined in the Korean series between the winner of the playoff and the first ranked team in the regular season. We propose methods of how to calculate the winning probabilities of each of high ranked 5 teams advancing to Korean series. From our proposed methods we can estimate the championship probabilities of each of high ranked 5 teams advancing to the Korean series only if we know the winning probabilities between two teams in the regular season or the post season.

*Keywords*: Bernoulli trial, Independent trial, Negative binomial distribution, Winning probability.

† This work was supported by the Inje Research and Scholarship Foundation in 2015.

1 Professor, Department of Statistics/Institute of statistical Information, Inje university, Kimhae 50834, Korea. E-mail: statcho@inje.ac.kr