The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 20, No. 3, pp.147-152, Jun. 30, 2020. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.3.147
JIIBC 2020-3-21

야구 배제 문제의 단순 알고리즘

Simple Algorithm for Baseball Elimination Problem

이상운*

Sang-Un Lee*

요 약 야구배제문제(BEP)는 잔여경기를 모두 승리하더라도 리그전에서 최다승 팀이 되지 못하는 팀들을 잔여경기 진행 없이 경기에서 배제시키고 시즌을 조기 종료시키는 문제이다. 이 문제는 최대흐름-최소절단 정리를 적용하여 해를 구하고자 하였다. 그러나 이 방법은 어느 한 팀이 아닌 다수의 팀을 배제할 수 있는 경우 반복적으로 망을 구성해 최소절단을 구하는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 승리한 경기 수와 잔여 경기 수 합 오름차순으로 정렬시켜, 하위 성적 1/2팀들을 배제 후보 팀 집합 K로 설정하고, 이 팀을 배제할지 여부를 결정하는 부분집합 R이 존재 유무를 판단하는 가장 쉽고 단순하면서도 빠른 계산 방법을 제시하였다. 제안된 알고리즘을 다양한 실험 데이터에 적용한 결과 모든 데이터에 존재하는 모든 배제 팀을 빠르고 정확하게 결정할 수 있었다.

Abstract The baseball elimination problem(BEP) is eliminates teams that finishes the season in the early stage without play the remaining games because of the team never most wins even though all wins of remaining games. This problem solved by max-flow/min-cut theorem. But the max-flow/min-cut method has a shortcoming of iterative constructs the network for all of team and decides the min-cut for each network. This paper suggests ascending sort in wins game plus remaining games for each team, then the candidate eliminating team set K with lower 1/2 rank and most easy, simple, and fast computes the existence or not of subset R that a team elimination decision. As a result of various experimental data, this algorithm can be find all of elimination teams for whole data with fast and correct.

Key Words : Baseball elimination, Winning game, To plays, Subset R, Candidate eliminating team set K

Ⅰ. 서 론

n개 팀이 리그전을 치르고 있는 경우, 리그 시즌이 진행되는 특정 시점에서 i번째 팀은 승리한 경기 수 w_i, 잔여 경기 수 r_i와 j번째 팀과의 잔여 경기인 r_{ij}를 갖는다. 야구 배제 문제(baseball elimination problem, BEP)는 미국의 프로야구 양대 리그전에서 경기를 마친 뒤 승률이 같을 경우 최종적인 우승팀을 가리기 위해 별도로 치르는 플레이오프(playoff)에 진출하지 못하는 팀을 우선적으로 배제시키는 문제이다.[1] 왜냐하면, 임의의 시점에서 어떤 팀이 잔여 경기를 모두 승리한다고 가정하여도 리그전에서 최다 승 팀이 되지 못하는 경우 이 팀은

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 2020년 1월 30일, 수정완료 2020년 5월 10일
게재확정일자 2020년 6월 5일

Received: 30 January, 2020 / Revised: 10 May, 2020 / Accepted: 5 June, 2020
*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr
Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University, Korea

우선적으로 잔여 경기를 치르지 않고 시즌을 종료시킬 수 있기 때문이다.

BEP에 대해, 스포츠 기자(sports writers)는 배제 대상 팀이 잔여 경기를 모두 승리한다고 가정하여, 다른 팀 그룹의 (승리 경기 수 총합+잔여 경기 수 총합)을 그룹수로 나눈 값이 배제될 팀의 승리 경기수를 초과하는 그룹이 존재하면 해당 팀을 배제하는 방법을 적용한다.[1] Schwartz[2]는 배제 대상 팀을 제외한 나머지 팀들 간의 잔여경기 수와 각 팀의 배제 대상 팀의 승리 경기 수+잔여경기 수에서 각 팀의 현재 승리 경기 수를 뺀 값을 가진 망을 구성하여 최대흐름-최소절단 방법으로 배제 팀 여부를 결정하는 방법을 제안하였다. 이에 기반을 두어 Wayne[1]는 빠른 알고리즘을, Hoffman과 Rivlin[3]는 일반화된 결과를 제시하였다.

두 방법 모두 최소 절단을 갖는 팀 그룹(부분집합)을 찾는데 어려움이 있으며, 배제 팀이 다수 존재할 경우 이들 팀을 대상으로 반복적으로 알고리즘을 수행해야 하는 문제가 있다.

또한, Robinson[4], Ribeiro와 Urrutia[5]은 선형계획법으로 문제를 풀려고 시도하였다.

BEP의 해를 찾는 알고리즘 복잡도에 대해 Kern과 Paulusma[6], Cechlárová et al.[7]이 거론하였으며, Gusfield와 Martel[8], McCrnick[9]는 NP-완전 문제로 다항시간으로 해를 구하는 알고리즘이 알려져 있지 않은 난제임을 밝혔다.

본 논문에서는 모든 배제 팀을 결정하는데 있어 단순하면서도 빠른 계산 방법을 제안한다. 2장에서는 야구팀 배제 문제를 푸는 방법들을 고찰해 본다. 3장에서는 야구팀 배제 문제를 빠르고, 정확하게 풀 수 있는 방법을 제시한다. 4장에서는 실험 데이터에 제안된 알고리즘을 적용하여 알고리즘 적합성을 검증하여 본다.

II. 야구팀 배제 문제

야구팀 배제 문제는 다음의 2가지 방법으로 구하고 있다.

(1) 스포츠 기자 판단 법: 배제 대상 팀이 잔여 경기를 모두 승리한다고 가정하여, 팀 그룹의 승리 경기 수 + 잔여 경기 수의 총합을 그룹 수로 나눈 값이 배제될 팀의 승리 경기수를 초과하는 부분집합 그룹이 존재하면 배제하는 방법 적용.[1]

(2) Schwartz[2]의 최대흐름-최소절단 법: 배제 대상 팀을 제외한 나머지 팀들 간의 잔여경기 수와 각 팀의 배제 대상 팀의 승리 경기 수+잔여경기 수에서 각 팀의 현재 승리 경기 수를 뺀 값을 가진 망을 구성하여 최대흐름-최소절단 방법으로 배제 팀 결정.

스포츠 기자 판단 법[1]은 식 (1)의 부분집합 R이 존재하는 필요충분조건(if and only if, iif)을 만족하면 팀 k는 배제한다.

$$\frac{w(R)+r(R)}{|R|} > w_k + r_k \tag{1}$$

where 부분집합 : $R \in N$

R의 승리 경기 수 = $w(R) := \sum_{iINR} w_i$

R의 잔여 경기 수 = $r(R) := \frac{1}{2} \sum_{i,jINR} r_{ij}$

표 1의 예제 데이터를 대상으로 두 가지 방법으로 배제 팀을 구하여 본다.

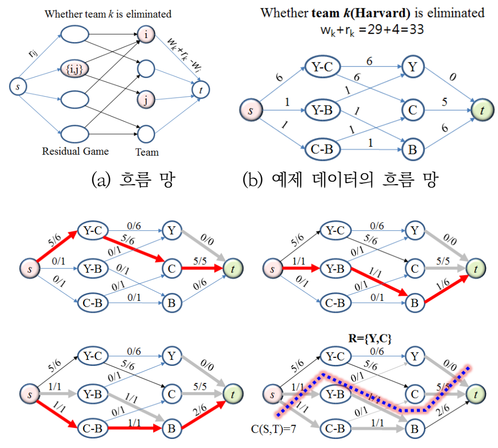
표 1. bep-1 예제 데이터
Table 1. example data of bep-1

Team (i)	Wins (w_i)	To play (r_i)	Against = r_{ij}			
			Y	H	C	B
Yale	33	8	-	1	6	1
Harvard	29	4	1	-	0	3
Cornell	28	7	6	0	-	1
Brown	27	5	1	3	1	-

만약, Harvard(H) 팀이 배제될지 여부를 결정하기 위해, 스포츠 기자 판단 법을 적용하면, R={Y,C,B}, R={Y,C}, R={Y,B}, R={C,B}의 부분집합에 대해 식 (1)의 $\frac{w(R)+r(R)}{|R|}$이 $w_H + r_H = 29+4 = 33$보다 큰 부분집합 R을 찾아야만 한다. 이 결과 R={Y,C}가 존재하여 Harvard(H) 팀이 배제될 수 있음을 알 수 있다.

- R={Y,C,B} : $96/3 = 32 : 32 < 33$
- R={Y,C} : $67/2 = 33.5 : 33.5 > 33$
- R={Y,B} : $61/2 = 30.5 : 30.5 < 33$
- R={C,B} : $56/2 = 28 : 28 < 33$

Schwartz[2]의 최대흐름-최소절단 법은 그림 1과 같이 흐름 망을 구성하고 최소절단이 존재하면 Harvard(H) 팀을 배제시킨다.



(a) 흐름 망 (b) 예제 데이터의 흐름 망

(c) 예제 데이터의 최소절단

그림 1. 최대흐름-최소절단 법
Fig. 1. Max-flow/Min-cut Method

이들 알고리즘의 문제점은 모든 배제 팀을 구하기 위해서는 n개의 각 팀에 대해 부분집합 R이나 흐름 망을 구성해야만 한다는 점이다. 즉, 표 1의 예제데이터 4개 팀 중에서 배제 팀이 Harvard(H) 팀만 존재하는가? 이다. 직관적으로 볼 때, 최소한 현재 선두를 유지하는 Yale(Y)을 제외한 3개 팀 모두에 대해 알고리즘을 반복적으로 적용해야만 모든 배제 팀을 결정할 수 있다. 예로, $n=4$인 경우 $n-1$팀 각각이 4개의 R이 존재하므로 3x4=12회를 수행해야 하며, $n=5$인 경우 $n-1$팀 각각이 10개의 R이 존재하므로 4x10=40회를 수행해야 한다. 따라서 n이 증가할수록 R을 찾는 수행횟수는 기하급수적으로 증가함을 알 수 있어, 이 방법들은 너무나 성가신(bothersome) 결정과정을 거치야 함을 알 수 있다.

따라서 3장에서는 배제 팀 후보 K 뿐 아니라 부분집합 R 역시 최소화시키면서도 모든 배제 팀을 간단히 결정할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

Ⅲ. 단순 배제 팀 결정 알고리즘

본 장에서는 부분집합 R을 쉽게 판단하는 야구팀 배제 알고리즘(simple baseball elimination algorithm, SBEA)을 제안한다. SBEA는 다음과 같이 수행되며, 이를 요약하면 그림 2와 같다.

Step 1. w_i+r_i 오름차순으로 정렬하고, 배제 팀 후보 K를 하위 $\lfloor n/2 \rfloor$ 팀으로 설정한다.

Step 2. for $k=1$ to $\lfloor n/2 \rfloor$
  for $j=n$ to $k+1$
    if $R=\{n,n-1,\cdots,j\}$의 식 (1) 충족
    R 존재 then 해당 팀 배제, EXIT
  end
end

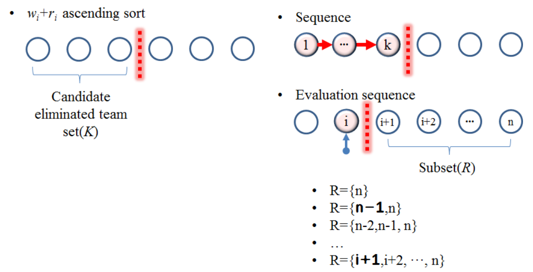


그림 2. 단순 야구팀 배제 알고리즘
Fig. 2. Simple baseball elimination algorithm(SBEA)

제안된 SBEA를 표 1의 bel-1 데이터에 적용한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 예제 데이터에 대한 SBEA 결과
Table 2. SBEA result of example data

Team (i)	Wins (w_i)	To play (r_i)	w_i+r_i	Against = r_{ij}			
				Y	C	H	B
Yale	33	8	41	-	6	1	1
Cornell	28	7	35	6	-	0	1
Harvard	29	4	33	1	0	-	3
Brown	27	5	32	1	1	3	-

Brown(B) : (27+5)=32
- R={Y} : 33
- R={Y,C} : [(33+28)+(6)]/2=67/2=33.5
- R={Y,C,H} : [(33+29+28)+(1+6+0)]/3=97/3=32.33

Harvard(H) : (29+4)=33
- R={Y} : 33
- R={Y,C} : [(33+28)+(6)]/2=67/2=34

SBEA로 w_i+r_i 오름차순으로 정렬하면 B-H-C-Y 순으로 배치된다. 여기서 하위 $\lfloor n/2 \rfloor$ 팀은 {B,H}로 Brown(B)의 R={{Y}, {Y,C}, {Y,C,H}}이며, Harvard(H)의 R={{Y}, {Y,C}}로 각각에 대해 식 (1)을 충족하는 지 여부를 검증하여 찾은 부분집합 R은 Brown(B)은 R={Y}에서 이미 결정되었지만 추가적으로 R={Y,C}와 {Y,C,H}도 제시하였다. Harvard(H)는 R={Y,C}가 존재하여 이 문제에서의 배제 팀은 B와 H의 2개 팀임을 알 수 있다.

Ⅳ. 알고리즘 적용 및 결과 분석

본 장에서는 표 3의 5개 실험 데이터에 대해 제안된 SBEA를 적용하여 모든 배제 팀을 결정할 수 있는지 검증하여 본다. 표 3의 실험 데이터에 SBEA를 적용한 결과는 표 4에 제시되어 있다.

표 3. 실험 데이터
Table 3. Experimental data

(a) bep-2

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	Against=r_{ij}				
				NY	Bal	Bos	Tor	Det
New York	75	59	21	-	3	8	7	3
Baltimore	71	63	16	3	-	2	7	4
Boston	69	66	10	8	2	-	0	0
Toronto	63	72	14	7	7	0	-	0
Detroit	49	86	7	3	4	0	0	-

(b) bep-3

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	Against=r_{ij}				
				NY	Bal	Bos	Tor	Det
New York	75	59	28	-	3	8	7	3
Baltimore	71	63	28	3	-	2	7	4
Boston	69	66	27	8	2	-	0	0
Toronto	63	72	27	7	7	0	-	0
Detroit	49	86	27	3	4	0	0	-

(c) bep-4

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	Against=r_{ij}			
				A	P	N	M
Atlanta	83	71	8	-	1	6	1
Philly	80	79	3	1	-	0	2
New York	78	78	6	6	0	-	0
Montreal	77	82	3	1	2	0	-

(d) bep-5

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	Against = r_{ij}			
				LA	TX	OK	HO
LA Angels	82	71	9	-	1	6	2
Texas	80	79	3	1	-	0	2
Oakland	78	78	6	6	0	-	0
Houston	77	81	4	2	2	0	-

(e) bep-6

Team (i)	Wins (w_i)	To play (r_i)	Against = r_{ij}			
			NY	Bos	Tor	Bal
New York Yankees	93	8	-	1	6	1
Boston Red Sox	89	4	1	-	0	3
Toronto Blue Jays	88	7	6	0	-	1
Baltimore Orioles	86	5	1	3	1	-

표 4. 실험 데이터에 대한 SBEA 결과
Table 4. SBEA result of experimental data

(a) bep-2

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	w_i+r_i	Against=r_{ij}				
					NY	Bal	Bos	Tor	Det
New York	75	59	21	96	-	3	8	7	3
Baltimore	71	63	16	87	3	-	2	7	4
Boston	69	66	10	79	8	2	-	0	0
Toronto	63	72	14	77	7	7	0	-	0
Detroit	49	86	7	56	3	4	0	0	-

Detroit : (49+7)=56
- R={NY} : 75

Toronto : (63+14)=77
- R={NY} : 75
- R={NY,Bal} : [(75+71)+(3)]/2=149/2=74.5
- R={NY,Bal,Bos}: [(75+71+69)+(3+8+2)]/3=228/3=76

(b) bep-3

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	w_i+r_i	Against=r_{ij}				
					NY	Bal	Bos	Tor	Det
New York	75	59	28	103	-	3	8	7	3
Baltimore	71	63	28	99	3	-	2	7	4
Boston	69	66	27	96	8	2	-	0	0
Toronto	63	72	27	90	7	7	0	-	0
Detroit	49	86	27	76	3	4	0	0	-

Detroit : (49+27)=76
- R={NY} : 75
- R={NY,Bal,Bos,Tor} : [(75+71+69+63)+(3+8+7+2+7+0)]/4=305/4=76.25

Toronto : (63+27)=90
- R={NY} : 75
- R={NY,Bal,Bos}: [(75+71+69)+(3+8+2)]/3=228/3=76
- R={NY,Bal} : [(75+71)+(3)]/2=149/2=74.5

(c) bep-4

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	w_i+r_i	Against=r_{ij}			
					A	N	P	M
Atlanta	83	71	8	91	-	6	1	1
New York	78	78	6	84	6	-	0	0
Philly	80	79	3	83	1	0	-	2
Montreal	77	82	3	80	1	0	2	-

Montreal : (77+3)=80
- R={A} : 83

Philly : (80+3)=83
- R={A} : 83
- R={A,N} : [(83+78)+(6)]/2=167/2=83.5

(d) bep-5

Team (i)	Wins (w_i)	Losses (l_i)	To play (r_i)	w_i+r_i	Against = r_{ij}			
					LA	OK	TX	HO
LA Angels	82	71	9	91	-	6	1	2
Oakland	78	78	6	84	6	-	0	0
Texas	80	79	3	83	1	0	-	2
Houston	77	81	4	81	2	0	2	-

Houston(HO) : (77+4)=81
- R={LA} : 82

Texas(TX) : (80+3)=83
- R={LA} : 82
- R={LA,OK} : [(82+78)+(6)]/2=166/2=83

(e) bep-6

Team (i)	Wins (w_i)	To play (r_i)	w_i+r_i	Against = r_{ij}			
				NY	Tor	Bos	Bal
New York Yankees	93	8	101	-	6	1	1
Toronto Blue Jays	88	7	95	6	-	0	1
Boston Red Sox	89	4	93	1	0	-	3
Baltimore Orioles	86	5	91	1	1	3	-

Baltimore Orioles(Bal) : (86+5)=91
- R={NY} : 93

Boston Red Sox(Bos) : (89+4)=93
- R={NY} : 93
- R={NY,Tor} : [(93+88)+(6)]/2=187/2=93.5

BEP 실험 데이터에 SBEA를 적용한 결과인 표 4로부터 bep-2와 bep-3의 K={Tor, Det} 중 Det만 배제되었으며, bep-4의 K={P,M}중 P와 M 모두 배제되었고, bep-5의 K={TX,HO}중 TX와 HO 모두 배제되었으며, bep-6의 K={Bos, Bal}중 Bos와 Bal 모두 배제되는 결과를 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서는 프로야구 리그전을 치르는 경기가 진행되는 일정 시점에서 잔여 경기를 모두 승리한다고 하여도 최다승을 하지 못해 잔여 경기 진행 없이 시즌을 종료시킬 수 있는 팀을 배제하고, 나머지 팀 들 중에서 최다승 팀을 결정하는 플레이오프전을 치를 수 있는 야구 배제 문제를 다루었다.

이 문제를 풀기 위해 대부분은 최대흐름-최소절단 정리를 적용하고 있다. 그러나 이 방법은 최소절단을 구하는 과정 역시 어려울 뿐 아니라 배제 여부를 결정하는 팀을 제외시킨 망을 구성하는 반복적인 과정을 수행하는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 최소절단을 찾는 망을 이용하지 않고, 단순히 승리 게임 수+잔여 게임 수 오름차순으로 정렬시켜 하위 성적 절반 팀을 배제 후보 팀 집합으로 설정하고, 이들 집합의 개별적 팀 단위로 빠르게 배제 여부를 결정하는 단순한 계산 방법을 제안하였다.

제안된 알고리즘을 다양한 실험 데이터에 적용한 결과, 모든 데이터에 대해 배제 대상 팀 모두를 단순하면서도 빠르고 정확하게 결정하는 결과를 얻었다.

References

[1] K. D. Wayne, "A New Property And A Faster Algorithm For Baseball Elimination", SIAM Journal on Discrete Mathematics, Vol. 14, No. 2, pp. 223-229, Sep. 1999, doi:https://doi.org/10.1137/S0895480198348847

[2] B. L. Schwartz, "Possible Winners in Partially Completed Tournaments", SIAM Review, Vol. 8, No. 3, pp. 302-308, Jul. 1966, doi:https://doi.org/10.1137/1008062

[3] A. Hoffman and T. Rivlin, "When is a Team "mathematically" eliminated?", Proceedings of the Princeton Symposium on Mathematical Programming, pp. 391-401, 1967.

[4] L. W. Robinson, "Baseball Playoff Eliminations: an Application of Linear Programming", Operations Research Letters, Vol. 10, No. 2, pp. 67-74, Mar. 1991, doi:https://doi.org/10.1016/0167-6377(91)90089-8

[5] C. C. Ribeiro and S. Urrutia, "An Application of Integer Programming to Playoff Elimination in Football Championships", International Transactions in Operational Research, Vol. 12, No. 4, pp. 375-386, Jul. 2005, doi:https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2005. 00513.x

[6] W. Kern and D. Paulusma, "The Computational Complexity of the Elimination Problem in Generalized Sports Competitions", Discrete Optimization, Vol. 1, No. 2, pp. 205-214, Nov. 2004, doi:https://doi.org/10.1016/j. disopt.2003.12.003

[7] K. Cechlárová, E. Potpinková, and I. Schlotter, "Refining the Complexity of the Sports Elimination Problem", Discrete Applied Mathematics, Vol. 199, pp. 172-186, Jan. 2016, doi:https://doi.org/ 10.1016/j.dam.2015. 01.021

[8] D. Gusfield and C. Martel, "A Fast Algorithm for the Generalized Parametric Minimum Cut Problem and Applications", Algorithmica, Vol. 7, No. 1, pp. 499-519, Jun. 1992, doi:https://doi. org/10.1007/F01758775

[9] S. T. McCormick, "Fast Algorithms for Parametric

Scheduling Come from Extensions to Parametric Maximum Flow", Operations Research, Vol. 45, No. 5, pp. 744-756, May 1999, doi:https://doi. org/0.1287/opre.47.5.744

저 자 소 개

이 상 운(정회원)

• 1987년: 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
• 1997년: 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
• 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
• 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
• 2004년 ~ 2007.2 : 국립원주대학 여성교양과 조교수
• 2007.3 ~ 2015.3 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
• 2015.4 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
• 관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 최적화 알고리즘
• e-mail : sulee@gwnu.ac.kr