

과천·부산경남 경마공원의 통합경주자료를 이용한 더러브렛 경주마의 유전능력 평가

조광현² · 손삼규² · 조병욱³ · 김종규⁴ · 공홍식¹ · 이학교¹ · 박경도^{1*}

¹국립한경대학교, ²국립축산과학원, ³부산대학교, ⁴함안군청

Genetic Evaluation of Thoroughbred Racehorses Using the Integrated Racing Records Collected from Different Racetracks

Kwang Hyun Cho², Sam Kyu Son², Byung Wook Cho³, Jong Gyu Kim⁴, Hong Sik Kong¹, Hak Kyo Lee¹
and Kyung Do Park^{1*}

¹Hankyong National University, ²National Institute of Animal Science,
³Pusan National University, ⁴Haman Country Office

ABSTRACT

The objective of this study was to examine the suitability of genetic evaluation models using the integrated racing records collected from Gwacheon and Busan·Gyeongnam racetracks. Results obtained are summarized as follows: In the short-distance races of 1,400 meters and less the records of finishing time at Gwacheon racetrack was superior, whereas, in the races of 1,800 meters and more it was superior in the records from Busan·Gyeongnam racetrack. The effects of contemporary groups accounted for 42.7~70.2% of the total variation, and the effects of the individual race considering racing classes was the biggest in all racing distances. Heritabilities and repeatabilities for the finishing time were estimated in the range of 0.153-0.238 and 0.401-0.498, respectively. Correlation coefficients between the breeding values estimated from the integrated records and the breeding values estimated from records of Gwacheon and Busan-Gyeongnam were 0.907 and 0.803, and coefficients of rank correlations were 0.891 and 0.846, respectively. The correlation coefficients between sire's annual earning of the integrated records and Gwacheon and Busan·Gyeongnam racetracks records were 0.943 and 0.886, and coefficients of rank correlations were 0.938 and 0.853, respectively. Also, the correlation coefficient of sire's annual earning between Gwacheon and Busan·Gyeongnam racetracks was 0.742. The results of this analysis indicate that the genetic evaluation using the integrated racing records are reliable when the racing records from Busan·Gyeongnam racetracks are stabilized and more data are accumulated.

(Key words : Finished time, Contemporary group, Heritability, Repeatability, Breeding value)

서 론

경주마의 경주능력을 평가하는 주파기록형질로는 최고기록, 우승 기록, 평균기록과 반복기록 등이 있고 수득상금형질로는 출주당수 득상금, 연간수득상금과 생애총수득상금 등이 있으며, 순위형질로는 착순, 승률 및 복승률 등이 있다. 또한 연간최대부담중량, 생애최대 부담중량 등도 평가형질의 하나로서 국제적 서열화 기준인 경주마 간 부담중량 비교에 의한 상대 평가가 이루어지고 있다. 그러나 경주능력에 대한 평가기준에 있어서 수득상금, 착순, 승률 등은 정규 분포를 따르지 않으며, 소득이 없거나 우승하지 못한 경주마들의 기록은 자료에서 제외되어야 하는데, 특히 말은 자연교배에 의한 번식이 주를 이루고 있어서 후손의 수가 다른 가축에 비하여 매우

적기 때문에 자료의 분포는 편의현상을 나타내며, 최고기록과 평균 기록은 중요한 평가 형질임에도 환경효과를 적절히 설명할 수 없는 단점이 있다(Tolley 등, 1983; Buttram 등, 1988a, Park과 Lee, 1999a).

한편, 농림수산식품부의 경주마 개량목표 달성도를 평가하기 위해서는 주파기록에 대한 연간개량량, 즉 주파기록의 단축량 변화를 추정해야 하는데 국내 경주마집단의 주파기록 단축량 변화는 모든 경주마의 반복 경주기록이 합리적이 이미 밝혀진바 있다(Park과 Lee, 1999a). 그러나 경주마의 능력검정장소를 과천경마공원에 국한할 경우 전체 경주마의 약 35% 이상을 차지하는 부산경남경마공원의 경주마 기록은 평가에서 제외된다. 따라서 본 연구의 목적은 과천경마공원과 부산경남경마공원의 통합 자료를 이용한 유전능

* Corresponding author : K. D. Park, GRRC, Hankyong National University, Anseong-si, Gyeonggi-do, 456-749, Korea. Tel: 031-670-5490, E-mail: doobalo@hknu.ac.kr

력 평가모형의 적합성을 구명함과 동시에 국내 환경에 적합한 평가 모형을 제시하는 데 있다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구는 2006년 1월부터 2008년 12월까지 과천경마공원과 부산경남경마공원에서 경주한 경주마 총 5,069두의 경주기록 58,042개를 수집한 후, 경주거리별로 표준편차 X 3.5 이상인 기록은 경주중 부상을 당하거나 마체이상 등 정상적인 경주기록으로 인정할 수 없어 분석 자료에서 제외하였다. 따라서 실제로 이용된 자료는 경주마 5,054두의 주과기록 총 57,657개였다.

2. 통계적 모형

주과기록에 대한 분산성분과 육종가는 각각 MT-REML (Misztal et al, 1992)과 PEST program (Groeneveld, 1990)에 의하여 추정하였으며, 분석에 이용한 개체모형은 다음과 같다.

$$y_{ijklmno} = \mu + d_i + sm_j + n_k + c_l + j_m + a_n + p_n + e_{ijklmno}$$

위에서, $y_{ijklmno}$ = 주과기록, μ = 전체 평균, d_i = i 번째 경주거리의 고정효과 ($i = 1,000m, 1,200m, \dots, 2,000m$), sm_j = j 번째 성·나이의 고정효과 효과 ($j =$ 암말, 수말, 2세, 3세, $\dots, 7$ 세 이상), n_k = k 번째 경주번호의 고정효과 ($k = 1, 2, \dots, 7$), c_l = 1번째 동기그룹의 고정효과 ($l = 1, 2, \dots, 5,208$), j_m = m 번째 기수의 임의효과 ($m = 1, 2, \dots, 149$), a_n = n 번째 개체의 상가적 유전효과 ($n = 1, 2, \dots, 9,063$), p_n = n 번째 개체의 영구환경효과 ($n=1, 2, \dots, 5,054$), $e_{ijklmno}$ = 임의오차이며, $Var(a) = A\sigma_a^2$, $Var(p) = I\sigma_p^2$, $Var(e) = I\sigma_e^2$. 위에서, A = 혈연계수행렬이며, I = 단위행렬이다.

또한 동기그룹 (c) 내 각 효과들에 대한 분산성분비는 SAS 9.11

Nested procedure를 이용하여 추정하였으며, 아래의 모형으로 표기할 수 있다.

$$Y_{ijklmn} = \mu + t_i + y_{ij} + m_{ijk} + d_{ijkl} + r_{ijklm} + e_{ijklmn}$$

위에서, y_{ijklm} = 주과기록, μ = 전체 평균, t_i = i 번째 경마공원의 효과, y_{ij} = i 번째 경마공원내 j 번째 경주년도의 효과, m_{ijk} = i 번째 경마공원, j 번째 경주년도 내 k 번째 경주월의 효과, d_{ijkl} = i 번째 경마공원, j 번째 경주년도, k 번째 경주월 내 1번째 경주일의 효과, r_{ijklm} = i 번째 경마공원, j 번째 경주년도, k 번째 경주월, 1번째 경주일 내 m 번째 참가경주의 효과이며, e_{ijklmn} = 임의오차이다.

결과 및 고찰

1. 경주로 구조

과천경마공원과 부산·경남경마공원의 경주로는 보조기층, 혼합골재, 화강풍화토와 모래층 등 4가지 층으로 이루어져 있다. 보조기층은 자갈지름이 10 cm 이하로 이루어진 두께 33 cm의 바닥층이며, 그 위에 지름 4 cm 이하의 자갈층 10 cm를 덮어 씌운 후 화강풍화토를 10 cm 깔고, 맨 위층에는 7 cm 정도의 쿠션모래로 구성 되어 있다.

과천경마공원의 경주로는 내주로 1,600m, 외주로 1,800m로 구성되었으며, 경주로의 직선거리는 외주로와 내주로 모두 450m이다. 곡선거리는 외주로와 내주로 각각 450m와 350m이며, 주로폭은 외주로 25~30m, 내주로 25m로 이루어졌다. 부산·경남경마공원의 경주로는 외주로 2,000m, 내주로 1,470m로 구성되어있다. 경주로의 직선거리는 외주로 500m이며, 주로폭은 외주로와 내주로 모두 25m로 이루어졌다. 경주진행은 반시계방향으로 설계되어 있으며, 출발점 및 결승점으로 이루어져 있으며, 출발위치 및 경주로의 구조는 Fig. 1에 제시하였다.

경주로는 오름세와 내림세를 두어 경주마의 힘을 적절히 안내

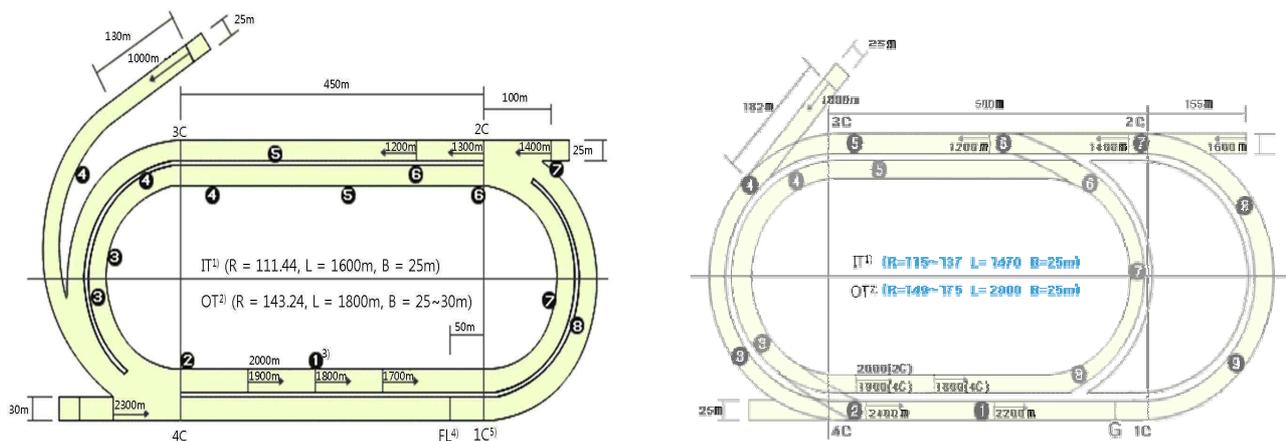


Fig. 1. The structure of Gwacheon (left) and Busan-Gyeongnam (right) Racetracks.

¹⁾ Inner tract (R:radius, L:length, B:breadth), ²⁾ outer tract, ³⁾ furlong position (1~8), ⁴⁾ finish line, ⁵⁾ coner.

함으로서 경주에 흥미를 더해주며, 백스트리치 부분이 홈스트리치보다 과천경마공원은 2m, 부산·경남경마공원은 1m 높게 설계되어 경마팬들이 관람하는데 용이하게 설계되었다(Fig. 2). 그리고 우천시 배수가 원활히 이루어져 물이 고이지 않도록 하는 것과 경주시경주마의 원심력에 의한 이탈현상을 보완하기 위하여 횡단 기울기를 주었다.

2. 자료의 특성

Table 1에 제시한 바와 같이 과천경마공원과 부산·경남경마공원에서 공통으로 시행되고 있는 경주거리는 1,000 m, 1,200 m, 1,400 m, 1,800 m와 2,000 m 경주였으며, 그 외의 경주거리는 각 경마공원의 경주로 특성상 독자적으로 시행되고 있었다. 경주거리별 주파기록은 경주거리가 증가할수록 주파기록에 대한 표준편차는 일괄적으로 증가하는 현상을 나타내었으며 (Buxadera와 Mota, 2008), Fig. 3에서와 같이 모든 경주거리에서 정규분포를 이루고

있었다(Buttram 등 1988a).

국내 경주의 특성상 (승군제) 단·중거리인 1,000m~1,400 m의 주파기록이 과천경마공원의 경우 전체 자료의 64.9%를 차지하였고 주로 1군마들이 출전하는 1,900 m와 2,000 m의 경주기록은 전체 자료의 10.0%로 나타났으며, 부산·경남경마공원도 마찬가지로 1,400 m 이하의 경주기록이 전체 자료의 68.4%를 차지하였다. 그리고 경주거리가 증가할수록 기록의 수가 감소한 것은 장거리로 갈수록 승군제에 따른 경주편성의 감소에 의한 것이다(Park과 Lee, 1999a).

Table 1에서와 같이 중·단거리인 1,400 m 이하에서는 과천경마공원의 주파기록이 부산·경남경마공원의 주파기록 보다 우수하였으며, 두 경마공원의 주파기록 차이는 0.58~0.86초의 범위를 나타내었다. 이러한 원인은 1,400 m 이하의 중·단거리 경주의 경우 부산·경남경마공원의 경주로는 출발시점부터 끝인지점까지 오르막으로 펼쳐지는 경주로 특성이 작용한다고 생각된다.

반면에 장거리 경주인 1,800 m 이상에서는 부산·경남경마공원의

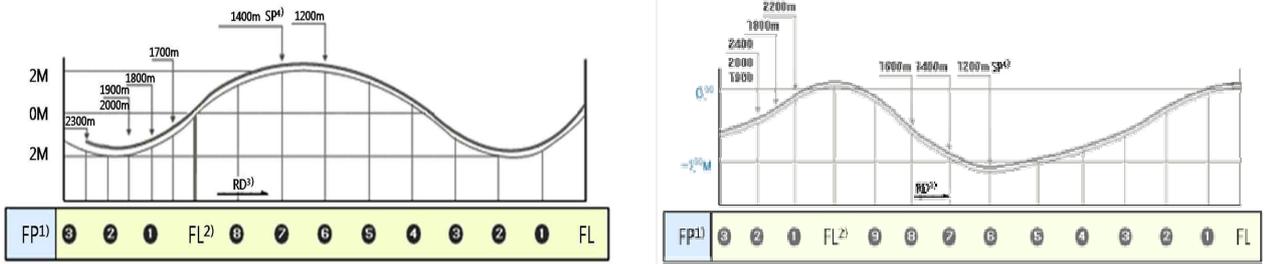


Fig. 2. The gradient of Gwacheon (left) and Busan-Gyeongnam (right) Racetracks

1) Furlong position, 2) finish line, 3) racing direction, 4) starting point.

Table 1. Number of records, number of horses, means and standard deviations (STD) for finished time (second) by racing distance

Racing Distance	Gwacheon racetrack (A)			Busan·Gyeongnam racetrack (B)			Mean difference (A-B) ²⁾
	No. of records	No. of horses	Mean ± STD	No. of records	No. of horses	Mean ± STD	
1,000 m	5,302	2,078	63.92±1.54	4,490	1,384	64.73±1.52	-0.81
1,200 m	7,928	2,450	77.70±1.73	5,146	1,362	78.28±1.75	-0.58
1,300 m	2,136	933	84.35±1.66	-	-	-	-
1,400 m	8,476	2,194	90.63±1.82	4,692	1,201	91.49±1.84	-0.86
1,600 m	-	-	-	3,622	898	104.87±2.04	-
1,700 m	4,551	1,518	114.18±2.10	-	-	-	-
1,800 m	4,631	1,396	120.76±2.43	2,127	491	120.05±2.21	+0.71
1,900 m	1,979	640	126.61±2.39	-	-	-	-
2,000 m	1,712	438	133.20±2.39	865	221	132.87±2.26	+0.33
Overall	36,715	3,260 ¹⁾	-	20,942	1,810 ¹⁾	-	-

1) Total number of racehorses used across all distance, not the column sum (number of total horses was 5,054 heads);

2) difference of average finished time between Gwacheon and Busan·Gyeongnam racetrack by racing distance

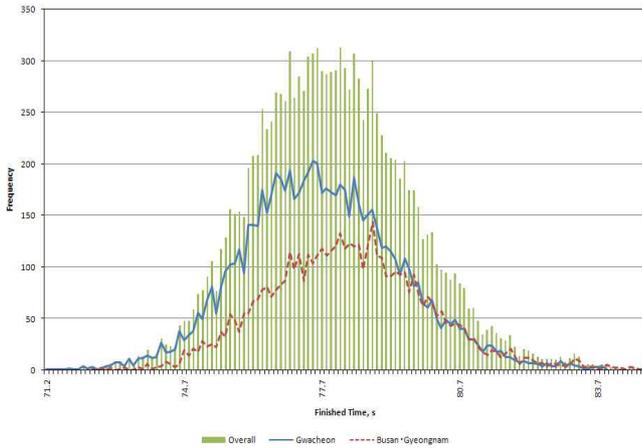


Fig. 3. Frequency distribution for finished time from 1,200m.

주요에서 주파기록이 더 우수하였으며, 이러한 원인은 부산·경남경마공원의 결승선 전방 직선주로가 50m 더 긴 이유도 있겠지만 두 경마공원간 교류대상경주에서 부산·경남경마공원의 경주마들이 우승을 독차지 할 만큼 1~2등급 경주마의 경주능력이 과천경마공원의 경주마보다 더 우수하기 때문이다.

3. 동시기그룹 (Contemporary group)

경마란 반드시 기록경주라고 할 수 없다. 함께 출전한 상대마들의 전력에 따라 경주기록은 변할 수 있기 때문이다. 따라서 상대마들과의 상대성을 고려할 수 있는 동시기그룹을 모형에 포함시키는 것이 바람직하다. 동시기그룹이란 같은 경마공원에서 같은 날 같은 경주에 참가한 경주마의 집단을 의미하며, 동시기그룹의 평균 두수는 약 11두로 나타났다. 경주월의 효과는 계절을, 경주일의 효과는 당일 경주로의 상태를, 그리고 참가 경주의 효과는 당일 경주편성 즉 경주등급을 적절히 설명할 수 있다고 보고되었다(Buttram 등, 1988b; Park과 Lee, 1999a).

Table 2에서 제시한바와 같이 경마공원의 효과는 경주거리가 증가할수록 감소하였으며, 경주년도의 효과는 전 경주거리에서 일괄

적으로 가장 작게 나타났다. 경주당일 경주상태 및 기상을 고려할 수 있는 경주일의 효과는 경주거리가 증가할수록 일괄적으로 크기가 증가하였으며, 경주편성을 고려하는 참가경주의 효과 역시 경주거리가 증가할수록 크기가 증가하였다. 동시기그룹의 효과는 전체 변이의 42.7~70.2%를 차지하였으며, Buttram 등(1988b)의 보고와 일치하였다.

4. 유전모수

주파기록에 대한 유전모수는 전 경주기록을 포함한 자료 I 과 두 경마공원의 공통 경주거리인 1,000m, 1,200m, 1,400, 1,800m와 2,000m의 경기기록만이 포함된 자료 II를 이용하여 추정하였으며, 이에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다.

자료 I 과 자료 II에서 추정된 주파기록에 대한 유전력은 각각 0.173~0.202과 0.153~0.238의 범위를 나타내었으며, 국내에서 보고된 Park과 Lee(1999a)의 결과보다는 다소 낮게 추정되었다. Oki 등(1995)의 연구결과에 따르면 일본 더리브렛 경주마의 주파기록에 대한 유전력의 범위는 0.086~0.217라 보고되었으며, Mota (2006)의 보고에 의하면 브라질 더리브렛 경주마의 주파기록에 대한 유전력의 범위는 0.10~0.32라 보고 하였다. 반면에 반복력의 추정치는 기존 발표된 결과(Park과 Lee, 1999a, Oki 등, 1995)와 유사한 0.401~ 0.498의 범위를 나타내었다.

Table 4에서 나타난 바와 같이 후손의 수가 1두밖에 안되는 씨수말의 빈도가 전체 씨수말의 56.9~63.7%를 차지하며, 이러한 경우는 외국에서 수입되는 수입마들의 경우가 대부분이었다. 5두 이상의 후손을 보유하고 있는 씨수말들은 국내에서 활약 중이거나 퇴역한 씨수말들이 대부분이었다. 통합자료에서 추정된 육종가와 과천경마공원과 부산·경남경마공원의 기록에서 추정된 육종가간의 상관계수는 각각 0.907과 0.803으로 나타났으며, 순위 상관은 각각 0.891과 0.846으로 나타났다(Table 5).

과천경마공원과 부산·경마공원의 기록에서 추정된 육종가간의 상관계수가 0.276으로 다소 낮게 추정된 것은 후손의 수가 적기 때문이 아닌가 생각된다. 따라서 이러한 결과에 대한 의구심을 해소하기 위하여 한국마사회에서 발표한 2008년 국내 보유 씨수말들의

Table 2. Percentages of the total variance accounted for by racetracks, years, days and individual races on finished time in each racing distances

Source of variation	Racing distance				
	1,000m	1,200m	1,400m	1,800m	2,000m
Racetracks (%)	11.9	4.9	9.5	3.0	0.0
Years (%)	0.8	0.4	0.8	2.9	3.9
Days (%)	13.1	18.1	19.8	25.9	42.7
Races (%)	16.9	24.8	28.6	38.4	20.8
Errors (%)	57.3	51.8	41.3	29.8	32.6
Total variance, s ²	2.666	3.175	3.718	5.850	5.603

Table 3. Additive (σ_a^2), permanent environmental (σ_{pe}^2), jockey (σ_j^2), error (σ_e^2) variance components, heritabilities (h^2), their standard errors (SE) and repeatabilities (r) for finished time in each dataset

Racetrack	σ_a^2	σ_{pe}^2	σ_j^2	σ_e^2	$h^2 \pm SE$	r
Data I ¹⁾						
Gwacheon	0.3507	0.6066	0.0496	1.0195	0.173±0.039	0.472
Busan·Gyeongnam	0.3971	0.6207	0.0225	1.0513	0.190±0.062	0.487
Overall data	0.4171	0.5753	0.0409	1.0319	0.202±0.032	0.401
Data II ²⁾						
Gwacheon	0.2955	0.5921	0.0460	1.0012	0.153±0.038	0.459
Busan·Gyeongnam	0.4827	0.5277	0.0253	0.9949	0.238±0.064	0.498
Overall data	0.3776	0.5703	0.0385	0.9990	0.190±0.033	0.478

¹⁾Contained all distance records, ²⁾contained records of only 1,000m, 1,200m, 1,400m, 1,800m and 2,000m

Table 4. Number (%) of sires with various number of progeny in each racecourse

No. of progeny	Overall	Gwacheon	Busan·Gyeongnam
1	553 (56.89)	402 (61.28)	358 (63.70)
2	184 (18.93)	127 (19.36)	99 (17.62)
3	81 (8.33)	49 (7.47)	39 (6.94)
4	49 (5.04)	17 (2.59)	18 (3.20)
≥5	105 (10.81)	61 (9.30)	48 (8.54)
Total	972 (100.00)	656 (100.00)	562 (100.00)

Tables 5. Correlations among breeding value and rank for finished time from different racetrack

Racetrack	No. of sires	Avg. no. of progeny	No. of pairs	GC	BG	ID
Gwacheon (GC)	656	5	222 (GC:BG)		0.276	0.907
Busan·Gyeongnam (BG)	562	3	562 (BG:ID)	0.219		0.803
Integrated data (ID)	972	5	656 (GC:ID)	0.891	0.846	

Upper triangle : breeding value correlations, lower triangle : rank correlations.

연간자마수득상금과 순위를 조사하여 경마공원간 씨수말들의 수득상금과 순위 상관계수를 추정하여 Table 6에 제시하였다.

2008년 국내 보유 씨수말들의 순위 평가 시 평균 자마 두수는 45두였으며, 과천경마공원과 부산·경마공원에서 평균 자마 두수는 각각 31두와 14두였다.

통합자료의 연간자마수득상금과 과천경마공원과 부산·경남경마공원에서 취득한 연간자마수득상금간의 상관계수는 각각 0.943과 0.886으로 나타났으며, 순위 상관은 각각 0.938과 0.853으로 나타났다. 또한 과천경마공원과 부산·경남경마공원에서 취득한 연간자마수득상금간의 상관계수가 0.742로 추정되었다.

부산·경남경마공원은 2005년 9월 30일 개장을 하였지만 2005년

도 자료는 연간 수득상금 추정이 사실상 어렵고 개장 전 1년간 모의경주를 실시하였으나 개장 후 경주기록 평균을 비교하면 2~3초 이상 상당한 차이가 발생하기 때문에 실제 경주기록은 2006년 1월부터 이용 가능하다고 생각된다. 또한 2006년 1월 이후 경주기록에서 1,000m 또는 1,200m의 데뷔기록이 없는 경주마들이 상당부분 있기 때문에 지난 3년간의 자료는 아직 불안정하다고 생각된다. 따라서 경주마의 평균 경주수명이 약 26개월(Lee와 Park, 1999b)로 볼 때 적어도 5년치 이상의 기록이 누적되어 부산·경마공원의 경주기록이 안정화되고 향후 경주자료가 더 많이 축적된다면 통합자료를 이용한 유전능력 평가는 충분한 설득력을 얻을 것으로 생각된다.

Tables 6. Correlations among annual earning and rank of current sires from different racetrack in 2008

Racetrack	No. of sires	Avg. no. of progeny	GC	BG	ID
Gwacheon (GC)	49	31		0.679	0.943
Busan·Gyeongnam (BG)	49	14	0.742		0.886
Integrated data (ID)	49	45	0.938	0.853	

Upper triangle : Annual earning correlations, lower triangle : rank correlations.

요 약

본 연구의 목적은 과천경마공원과 부산·경남경마공원의 통합 자료를 이용한 유전능력 평가모형의 적합성을 구명하는데 있으며, 얻어진 결과는 다음과 같다. 1,400m 이하의 경주거리에서는 과천경마공원의 주파기록이 우수하였으나 1,800m 이상의 경주거리에서는 부산·경마공원의 주파기록이 더 우수하였다. 동기그룹의 효과는 전체 변이의 42.7~70.2%를 차지하였으며, 이중 경주편성을 고려하는 참가경주의 효과는 일괄적으로 모든 경주거리에서 가장 크게 나타났다. 주파기록에 대한 유전력과 반복력은 각각 0.153~0.238과 0.401~0.498의 범위로 추정되었다. 통합자료에서 추정된 육종가와 과천경마공원과 부산·경마공원의 기록에서 추정된 육종가 간의 상관계수는 각각 0.907과 0.803으로 나타났으며, 순위 상관은 각각 0.891과 0.846으로 나타났다. 통합자료의 연간자마수득상금과 과천경마공원과 부산·경마공원에서 취득한 연간자마수득상금 간의 상관계수는 각각 0.943과 0.886으로 나타났으며, 순위 상관은 각각 0.938과 0.853으로 나타났다. 또한 과천경마공원과 부산·경마공원에서 취득한 연간자마수득상금 간의 상관계수는 0.742로 추정되었다. 이러한 결과에서 비추어 볼 때 부산·경남경마공원의 경주기록이 안정화되고 향후 경주자료가 더 많이 축적된다면 통합 자료를 이용한 유전능력 평가는 충분한 설득력을 얻을 수 있을 것이라 생각된다.

사 사

본 연구는 ‘경기도지역 협력센터(GRRC)사업’과 ‘농림수산식품 기술기획평가원(iPET)’의 지원비에 의하여 수행되었음.

인 용 문 헌

Buttram, S. T., Willham, R. L. and Wilson, D. E. 1988a. Genetics of racing performance in the American Quarter Horse: II.

Adjustment factors and contemporary groups. *J. Anim. Sci.* 66: 2800-2807.

Buttram, S. T., Willham, R. L. and Wilson, D. E. 1988b. Genetics of racing performance in the American Quarter Horse: III. Estimation of variance components. *J. Anim. Sci.* 66:2808-2816.

Buxadera, A. M. and Mota, M. D. S. 2008. Variance component estimations for race performance of thoroughbred horses in Brazil by random regression model. *Livest. Sci.* 117:298-307.

Groeneveld, E., Kovac, M. and Wang, T. 1990. PEST, a general purpose BLUP package for multivariate prediction and estimation. *Proc. 4th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.* 13:468-475.

Misztal, I., Lawlor, T. J., Short, T. H. and VanRaden, P. M. 1992. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *J. Dairy Sci.* 75:544-551.

Mota, M. D. S. 2006. Genetic correlation between performances at different racing distances in Thoroughbreds. *Livest. Sci* 104: 227-232.

Oki, H., Sasaki, Y. and Willham, R. L. 1995. Genetic Parameter estimates for racing time by restricted maximum likelihood in the Thoroughbred horse of Japan. *J. Anim. Breed. Genet.* 112: 146-150.

Park, K. D. and Lee, K. J. 1999a. Genetic evaluation of Thoroughbred racehorses in Korea. *Korean J. Anim. Sci.* 41(2): 135-140.

Park, K. D. and Lee, K. J. 1999b. Estimation of the genetic parameter on racing longevity of Thoroughbreds. *Korean J. Anim. Sci.* 41(3):253-256.

Tolley, E. A., Notter, D. R. and Marlowe, T. J. 1983. Heritability and repeatability of speed 2- and 3-yr-old standardbred race horses. *J. Anim. Sci.* 56:1294-1305.

(접수일자 : 2010. 1. 7 / 수정일자 : 2010. 2. 19 / 채택일자 : 2010. 4. 16)