

초우량 한우 암소 선발 방법 검증 연구



연구수행기관: 충남대학교

한우자조금관리위원회

2021



초우량 한우 암소 선발 방법 검증 연구

〈부제〉

(국문): 우량 한우 암소 유전자원센터 설립 조사연구

(영문): Research on the Establishment of Genetic Resources Center for super elite cow

연구수행기관: 충남대학교

한우자조금관리위원회

2021

<공시자료>

- 농가 초우량암소 483두 시료 : 한국종축개량협회 제공
- GBLUP, BLUP 평가를 위한 한우 유전체정보(15,321두), 농촌진흥청 차세대바이오그린21사업 연구수행을 통하여 확보한 자료를 사용하였음
- 한우 표본데이터 67만두는 한우암소검정사업의 자료를 제공 받았음

<공시자료를 제공해 주신 농촌진흥청 국립축산과학원, 한국종축개량협회에 감사 말씀을 드립니다>

본 연구결과는 연구진의 의견 및 주장이며 한우자조금의 공식 입장과는 다를 수 있음

요약본

- **(연구목적) 초우량한우 암소 최적 선발 방법 검증 및 효율적 암소증식 방법**
 - 축산 현장에서 제안되고 있는 다양한 암소개량방법(예, 후대 표현형을 이용한 우량암소선발, 혈통선발, 수정란이식, 유전체선발 등)에 대한 객관적 평가를 통한 우량암소 선발에 대한 객관적이고 정확한 정보 제공
 - 선발된 우량암소 유전자원을 활용한 수정란이식 기법 적용에 대한 육종학적 고찰 및 효율적인 암소개량 방법에 대한 정보 제공
- **(연구결과-1) 한우암소 유전능력 평가를 위한 평가 방법론 비교 분석**
 - 혈통지수법은 3세대 부·모계 혈통을 기반으로 평가 결과, 약 30%의 정확도
 - 혈통정보를 이용한 BLUP(PBLUP)은 45~50%의 정확도(참조집단 15,000두)
 - 유전체선발 방법은 75%의 정확도(참조집단 15,000두)
- **(연구결과-2) 후대 정보를 활용한 초우량 암소 선발에 대한 평가**

생존 혈통, 고등등록우 중 후대축 도체성적 육질등급 1++(8,9), 육량등급 B, 도체중 480kg, 등심단면적 110cm² 이상, 외모심사 80점 이상, 친자일치로 확인된 개체

 - 전국 한우농가로부터 우량암소(Elite cow) 483두 확보 및 유전체 분석
 - 확보한 483두의 표본 중 위의 우량암소 조건에 부합하는 개체는 360두
 - 혈통지수법 평가결과, 360두 중 약 94두(26%)가 육종가 상위 25% 해당
 - BLUP법으로 평가결과, 360두 중 약 61두(16.9%)가 상위 25% 해당
 - GBLUP법으로 평가결과, 360두 중 약 61두(16.9%)가 상위 25%에 해당
 - ※ 결과적으로, 현행 후대정보를 활용한 우량암소 선발 방법은 정확도가 약 20%
- **(연구결과-3) 후대(자손) 표현형에 영향을 미치는 유전적 요인 분석**
 - 자손의 표현형에 영향을 미치는 요인 분석결과, 자손의 부(Sire)의 육종가는 약 17.6%의 기여도를 보였고, 모(Dam)의 육종가는 약 8.1%로 나타남
- **(연구결과-4) 선발된 우량암소를 이용한 효율적 암소개량 모의실험**
 - 근친계수 임계점 6.25%를 기준으로, 암소 교체율 30%, 그리고 씨수소 교체율 20%인 경우 3~4세대에서 근친 임계점에 도달하였음. 그러나 암소의 교체율을 10%로 하고, 사용하는 씨수소의 수를 10두 이상 그리고 교체율을 70%로 한다면 매우 안정적으로 근친을 제어할 수 있을 것으로 분석됨
- **(연구결과-5) 초우량암소 선발은 유전체선발방법이 가장 정확하고 효율적이며, 이들 유전자원의 증식은 유전체도움-수정란이식 방법을 활용 암소 증식**

목 차

요약본	3
제1장. 초우량 암소개량 현황 및 배경	6
제1절. 암소 개량 배경 및 현황	6
제2절. 암소 개량 필요성	7
제3절. 암소개량의 문제점	8
제4절. 본 연구의 목적	9
1. 본 연구의 목적	9
2. 본 지정과제 연구 방법론(과업내용)	10
제2장. 국내외 선행연구 동향	13
제1절. 국내 선행연구 동향	13
1. 국내 선행연구 동향 분석 목적	13
2. 암소 육종가 추정 방법론	13
가. 혈통지수	13
나. BLUP 방법을 이용한 암소개량 방법	13
다. gBLUP 방법을 이용한 암소개량 방법	14
제2절. 국외 암소개량 연구동향	15
1. 호주 육우개량 동향	15
2. 미국 육우개량 체계	19
3. EU-아일랜드 육우개량체계(유전체선발; ICBF)	21
제3장. 전국 우량 암소 보유현황 및 유전능력에 대한 표본조사	23
제1절. 전국 우량암소 표본 수집 및 후대축의 도체성적	23
제2절. 초우량 암소에서 생산한 송아지의 판매가격	25
제3절. 전국에 산재하여 있는 초우량 암소의 표본조사	26
제4장. 전국 농가단위 초우량 암소 선발 방안 연구	33
제1절. 초우량 한우암소 선발 방법 모델-1; 혈통지수를 활용한 암소 선발 방안	

.....	33
제2절. 초우량 한우암소 선발 방법 모델-2; 혈통정보를 이용한 BLUP	37
제3절. 초우량 한우암소 선발 방법 모델-3; 유전체정보를 이용한 gBLUP	41
제4절. 유전능력 추정방법(Pedigree Index, PBLUP, GBLUP)의 정확도 비교 분석	44
제5절. 유전평가 모델(1,2,3)간 농가 우량암소 선발 정확도 분석: 우량암소 표현형(후대), 혈통지수육종가, BLUP육종가 및 유전체육종가간의 정확 도 분석	46
제6절. 우량 암소 후대 표현형에 영향을 미치는 요인 분석(KPN 씨수소 및 우량암소 육종가의 기여도 추정연구)	50
제5장. 우량 한우암소 선발 및 이를 활용한 효율적 암소개량 모의실험	51
.....	
제1절. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 모의실험 설계	51
제2절. 우량암소 관련 모의실험의 필요성 및 목적	51
제3절. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 모의실험 모수 값 설정 및 가상의 가축 집단 구축	53
제4절. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 모의실험 결과	56
제5절. 우량암소 선발 모의실험 연구에 대한 유효집단 크기 추정 및 결과	60
제6장. 연구 결론 및 정책 제언 <유전능력기반 암소선발 및 증식방향>	63
.....	
제1절. 유전능력평가를 통한 암소 선발	63
제2절. 유전능력기반 암소 증식방향	65
제3절. 정책 제언	68

제1장. 초우량 암소개량 현황 및 배경

제1절. 암소 개량 배경 및 현황

1. (한우씨수소 및 암소개량) 한우개량은 국가 씨수소 선발사업(당·후대 검정사업)을 통한 씨수소 중심의 개량체계로 농가에서 보유하고 있는 암소의 유전능력은 씨수소의 혈통에 의존하여 산술적으로 평가하고 있음
 - 가. 농가보유 암소의 유전능력은 국가 씨수소 선발사업에서 선발된 우수한 씨수소 확보에 의존할 수밖에 없어 한우농가에서는 특정 씨수소 구매에 치우칠 수밖에 없음
 - 나. 이러한 현상으로 매 차수 선발되는 씨수소 중에서 최우수 씨수소 혹은 한우 산업 현장에서 검증된 씨수소(예, KPN950, KPN872 등)를 구매함으로 쏠림 현상이 두드러지는 현상이 발생하며, 이는 한우집단의 근친을 증가시키는 요인으로 작용하고 있음
 - 다. 결과적으로, 농가 자체적으로 우수한 암소를 선발하고 개량하고자 하는 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 신뢰성이 매우 낮은 문제점이 있음
2. (암소 유전평가의 어려움) 수소(Bull)와는 달리 암소(Cow)는 전 생애 기간에 매우 적은 수의 후대를 생산할 수 있어 후대검정 방법¹⁾을 적용할 수 없어 암소의 능력을 정확하게 파악하는데 매우 제한적임
 - 가. 국가에서 암소의 유전능력 판단을 위해서 “한우 다산우 지정사업”, “암소 검정사업”²⁾등을 시행하고 있으나, 유전능력 평가결과의 신뢰도 및 농가의 활용도가 낮고, 또한 시장 상황에 따라서 암소 미경산우 도축이 성행하여 우수한 유전자원 소실이 이루어지고 있음
 - 나. 암소의 형매정보(반형매 거세우, 25%의 유전적 유사도)를 이용하여 유전평가(BLUP-블럽)를 시도하고 있으나 형매 자료가 유전평가에 기여하는 정보력이 낮고 더욱이 혈통오류(25 ~ 40%)가 발생하여 암소의 추정육종가의

1) 개체의 후대를 생산(8~10두사이)하여 후대의 성적을 토대로 부모의 능력을 평가하는 검정방법론으로 추정육종가의 정확도가 정확하지만 시간 및 비용이 많이 소요됨. 씨수소 선발에는 효율적이나 암소선발에는 활용하기 어려움

2) 농가에서 송아지생산을 장려하기 위하여 다산우 지정사업을 진행하고 있으며, 암소검정사업은 암소의 형매정보를 이용한 도체형질자료와 혈통자료를 이용하여 암소개체의 유전능력을 평가하여 농가에 컨설팅하는 사업

신뢰도가 낮아지는 문제점이 발생(이 등, 2019)

- 다. 일부 한우농가에서 수퍼한우(체중 1,200kg ~ 1,400kg) 출현과 함께 이들 개체의 부-모를 개량에 활용하려는 시도가 있고, 또한 다산암소 후대의 성적을 이용하여 초우량 한우로 정의하고 수정란이식 등의 방법으로 암소를 증식(개량)하고자 하는 시도가 이루어지고 있음

※ 초우량암소: 우량 암소 중 후대축 도축성적이 2회 이상 우량암소 기준을 충족하면서 2계대 이상이고, 후대축 평균 도체중 500kg, 등심단면적 120cm², 육질등급 1++(8,9)이상인 개체

- 3. (농가 활용가능한 암소개량 시스템 구축) 지역별 견고한 우량 송아지 생산기반을 조성하기 위하여 우량암소 핵군조성 및 지역에서 활용 가능한 우량암소선발 체계 정비(한우암소검정사업과 연계)

- 가. 현행, 우량암소핵군조성을 통한 우량송아지 생산을 위해서는 암소의 유전평가시스템구축 및 교배시스템 개선 및 현장 활용성 구축
- 나. 농가에서 우량암소 집단을 육성하기 위하여 우량암소의 난자를 채취, 우수한 씨수소 정액으로 수정란을 만들어 농가의 암소를 개량하려고 하는 시도가 진행되고 있고, 이들 방법의 효율성 분석(수정란 이식 사업)
- 다. 최근 신개량기술인 유전체선발기술을 이용하여 농가가 자발적으로 참여하는 암소개량사업은 유전체컨설팅 사업이 농가 현장에 잘 정착할 수 있는 시스템 구축

제2절. 암소 개량 필요성

- 1. 농가에서 보유하고 있는 암소는 밀소의 역할을 하는 매우 중요한 유전자원으로 한우의 유전적 다양성(유전분산)을 유지하는 집단으로 우수한 씨수소의 유전자를 확산함과 동시에, 한우농가의 수익을 증대하기 위하여 중요한 유전자원임
- 가. 암소의 개량의 목표는 현행 육종목표형질(도체중, 등심단면적, 등지방두께, 근내지방도)에 대해서 아래와 같은 최적의 유전적 개량량을 얻어내기 위하여 집단의 유전적 다양성(근친을 제어)을 유지하면서도 유전적 개량량을

상향시키는 방향으로 진행할 필요가 있음

$\Delta G = \frac{i \times r_{IH} \times \sigma_A}{L}$
<i>i</i> : 선발강도 <i>r_{IH}</i> : 추정육종가의 정확도 <i>σ_A</i> : 집단의 유전적 다양성(유전분산) <i>L</i> : 세대간격

- 나. 이러한 관점으로 살펴볼 때, 암소개량은 추정육종가의 정확도를 높이고, 집단의 유전적 다양성을 유지하면서, 선발시 세대간격을 줄이는 방향으로 진행하는 것이 매우 필요함
- 다. 한편, 최근 개발된 개체의 유전체정보를 이용하여 평가하는 유전체선발(GBLUP) 방법은 정확도가 현재 75%를 보이고 있고, 혈통오류에 대한 걱정이 없이 정확하게 암소의 능력을 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 가축개량의 난제인 멘델리안 오류(Mendelian sampling)³⁾에 대한 평가가 가능하여 암소개량에 적용할 필요가 있음

제3절. 암소개량에 대한 방법론적 타당성

※ 초우량암소: 우량 암소 중 후대축 도축성적이 2회 이상 우량암소 기준을 충족하면서 2계대 이상이고, 후대축 평균 도체중 500kg, 등심단면적 120cm² 이상인 개체

1. 암소의 능력을 정확히 평가하고, 이를 활용한 암소 교체축(replacement cow)을 선정하는 것은 농가에서 암소를 개량하는 가장 기본적인 과정인데 현행 암소를 평가하여 우량, 혹은 초우량암소로 선정하는 다양한 방법이 제안되고 있어서 암소유전평가에 대한 평가 방법론적 타당성을 분석하고 정확한 정보를 농가에 제공 혹은 교육할 필요가 있음
- 가. 현행, 암소 유전능력 평가 방법은 첫째, 부·모의 육종가(EBV)의 0.5, 그리고 조부·조모 육종가의 0.25 등으로 평가하는 혈통지수법, 둘째는 평가

³⁾ 능력이 우수한 동일한 부·모 사이에서 태어난 개체라 할지라도 제 각각 유전능력의 차이를 보이는 현상으로 부의 유전자의 1개, 그리고 모의 유전자의 1개가 개체로 내려오지만, 부,모의 2개의 유전자중에 어떤 유전자가 만날지 알지 못하고, 재조합등의 유전자의 재생성으로 발생하는 차이

하고자 하는 암소개체들과 연결된 혈통정보 및 암소와 반형매 관계(25%의 유전적 유사도)에 있는 거세우 출하자료를 통합하여 분석하는 평가방법(혈통블럽-PBLUP), 셋째 비교적 최근에 개발된 개체의 유전체정보를 활용한 유전체선발(유전체블럽, 유전체육종가-GBLUP) 방법, 그리고 넷째 농가에서 손쉽게 출하자료를 이용하여 다산 암소 후대(거세우) 표현형을 근거로 우량, 혹은 초우량암소로 지정하여 수정란이식에 활용하는 방법이 사용됨⁴⁾

※ 암소 유전평가 방법에 대한 용어정의

1. **혈통지수법** : 부모의 육종가(EBV)의 0.5, 그리고 조부·조모 육종가의 0.25 등으로 평가
2. **혈통블럽(PBLUP)** : 평가하고자 하는 암소개체들과 연결된 혈통정보 및 암소와 반형매 관계(25%의 유전적 유사도)에 있는 거세우 출하자료를 통합하여 분석
3. **지블럽(GBLUP)** : 개체의 유전체정보를 활용한 유전체선발
4. **수정란 이식** : 다산 암소 후대(거세우) 표현형을 근거로 우량, 혹은 초우량암소로 지정하여 수정란이식

- 나. 문제점은 혈통지수법 및 혈통블럽은 정확도가 각각 약 25% 및 45%로 낮고, 현재 혈통지수법으로 축산과학원, 농협 한우개량사업소, 한국종축개량협회, 축산물품질평가원에서 유전능력평가 표준화로 동일한 값을 제공하고 있음. 정확도는 혈통블럽 육종가와 지블럽의 유전체 육종가 보다는 낮게 나오는 단점이 있지만, 종모우 육종가를 기반으로 혈통지수를 계산하여 많은 농가에게 정보를 제공하는 목적이 있음. 하지만, 최근 한우 개량농가에서는 혈통지수 보다 혈통블럽 육종가와 지블럽 유전체 육종가를 보다 선호하는 경향이 있음
- 다. **농가암소 후대정보를 이용하여 우량, 초우량 암소를 선정하고 수정란이식을 적용하는 방법에 대해서는 가축개량의 큰 난제인 검정(test)하기 전에는 알 수 없는 “멘델리안 오류(Medelian sampling)”**에 대한 정확한 평가가 필요함
- 라. 우수한 암소를 선정하여 수정란을 생산, 보급하는 방법은 단 기간의 암소개량의 효과는 높다고 평가함, 그러나 집단의 유전적 다양성을 작게하는 효과가 있어서 장기적인 개량의 효과는 기대하기 어려움

4) 다산 암소(7산~10산)의 거세 출하우 자료(표현형)를 이용하여 우량, 초우량암소로 지정(후대 표현형선발)

제4절. 본 연구의 목적

1. 본 연구의 목적

- 가. 농가 암소의 유전능력을 정확하고 객관적으로 평가하고, 이를 활용한 암소 교체축(replacement cow)을 선정하는 것은 농가 암소개량의 가장 기본적인 과정인데, 현재 현장에서 한우개량을 둘러싼 여러 주체에 의해서 제안되고 있는 다양한 암소개량방법(암소 후대 표현형을 기반으로한 선발, 혈통지수법, 혈통블럽, 지블럽 및 수정란이식 등)에 대한 객관적 평가를 통하여 현장의 혼란에 대한 정확한 정보를 제공
- 나. 따라서, 암소개량에 사용되는 방법들을 비교 분석함으로써 객관적으로 우량암소를 선발하는 방법에 대한 고찰 및 우량암소 유전자원을 활용한 수정란이식을 했을 경우 한우 집단의 근친누적에 대한 모의실험을 수행함.

2. 본 지정과제 연구 방법론(과업 내용)

가. 전국 농가단위 초우량 암소 보유현황 및 유전능력에 대한 통계조사(제3장)

- 1) 유전적으로 우량한 암소에서 생산한 수송아지(거세우)의 비육능력(담당기관: 종축개량협회, 농협한우개량사업소)

<p>우량암소 : 생존 혈통, 고등등록우 중 후대축 도체성적 육질등급 1++(8,9), 육량등급 B, 도체중 480kg, 등심단면적 110cm² 이상, 외모심사 80점 이상, 친자일치로 확인된 개체</p> <p>초우량암소 : 우량 암소 중 후대축 도체성적이 2회 이상 우량암소 기준을 충족하면서 2계대 이상이고, 후대축 평균 도체중 500kg, 등심단면적 120cm² 이상인 개체</p>
--

- 가) (**표본조사**) 전국에 산재하여 있는 초우량 암소(3산 ~ 7산, 후대축 2두의 도체성적 기준) 기준에 근거한 우량암소의 표본(483두)을 선정하고, 이들 우량암소의 후대(거세우)의 비육능력 통계 조사
- 나) 우량암소(483두)의 혈통 및 모근채취(혈통오류수정 및 유전체분석)
- 2) 초우량 암소에서 생산한 송아지의 판매가격(담당기관: 종축개량협회, 축산물품질평가원)
- 가) 전국 우량 암소(3산 ~ 7산, 후대축 2두의 도체성정 기준) 기준에 근거한 우량암소의 표본(483두)을 선정하고, 이들 우량암소에서 생산한 송아지의 판매가격 통계 조사

3) 전국에 산재하여 있는 초우량 암소의 보유현황(담당기관: 종축개량협회)

가) 우량 암소의 전국적 통계조사 및 혈통정보를 이용한 우량암소의 유전능력의 요인분석

나) 요인분석: 국가에서 선발하여 보급하고 있는 KPN 수소(Bull)의 능력, 초우량암소의 어미소(Dam)의 능력에 대한 요인분석

나. 전국 농가단위 초우량 암소 선발 방안 연구(유전능력평가 비교 연구-제4장)

※ 기존에 활용되고 있는 우량암소 선발방법에 대한 비교연구를 통하여 가장 효율적인 초우량암소 선발 방법 및 이를 활용한 우량암소 개량 방법에 대한 결과 제시

- 최첨단 기술과 통계육종을 활용하여 초우량 암소선발 방안 연구
- 특이한 유전자원 발굴 및 개량 가능성 연구
- 초우량암소 및 슈퍼한우 선발에 대한 연구
- 초우량 암소유전센터 설립가능 여부

1) (우량 한우암소 표본 추출) 전국에서 초우량암소 표본선정(483두) 및 시료확보

가) 종축개량협회에서 전국에 산재하는 우량암소 시료확보(483두) 및 유전체 분석

2) (우량 한우암소 유전능력 평가 방법 모델-1; 혈통지수를 활용한 암소 선발 방안)

가) 암소의 혈통정보(KPN 혈통), 즉 혈통지수법을 이용한 우량암소 483두의 육종가 추정-교배계획길라잡이에서 제공하는 혈통지수를 이용하여 육종가 추정

나) 혈통지수 육종가의 정확도 분석

3) (우량 한우암소 유전능력 평가 방법 모델-2; 혈통정보를 이용한 BLUP-그림1) : 최근 5년간 출하된 한우 도축자료(축산물품질평가원) 및 혈통자료(종축개량협회)를 이용한 농가암소 능력평가 체계 구축

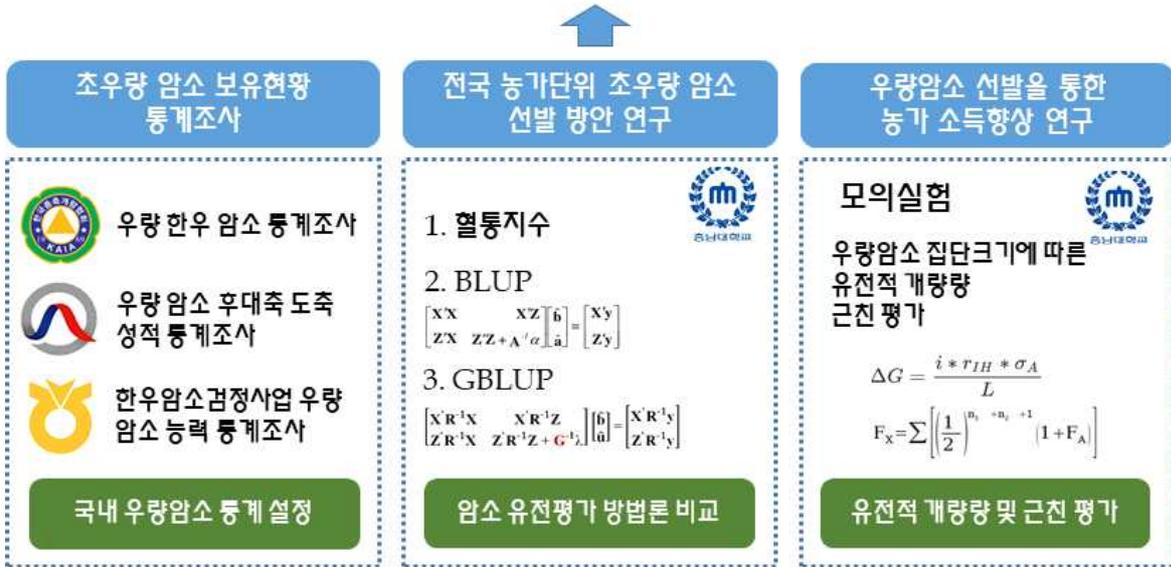
가) (자료) 축산물품질평가원 도축자료(기본; 15,000두) 및 이들 거세 도축자료의 혈통정보로 구성된 대용량 참조집단 자료를 이용한 암소 유전능력 평가 방안 연구(혈통블립-PBLUP 모델 구축: 개체의 표현형 + 혈통정보 활용)

가) (자료) 축산물품질평가원 도축자료(기본; 15,000두) 및 이들 거세 도축자료의 혈통정보로 구성된 대용량 참조집단 자료를 이용한 암소 유전능력 평가 방안 연구(혈통블립-PBLUP 모델 구축: 개체의 표현형 + 혈통정보 활용)

나) (통계모델설정) 품질평가원 도축자료와 이력추적자료를 이용한 개체의 동기우 설정 체계 확립

다) (통계모델 검증) 씨수소의 추정육종가의 정확도 판정 및 암소의 추정육종가의 정확도에 영향을 미치는 요인 파악(KPN 씨수소의 육종가 정확도, 암소와 연계된 정보의 수, 반형매, 전형매의 표현형 등)

초우량 한우 암소 유전능력 평가 방법



제2장. 국내외 선행연구 동향

제1절. 국내 선행연구 동향

1. 국내 선행연구 동향 분석 목적

가. 본 연구에서 암소의 능력을 비교분석하기 위하여 사용하는 3가지 방법론에 대해서 국내에서 수행된 선행연구방법에 대한 내용을 살펴봄으로 각 방법론에 대한 장·단점을 비교 분석함

2. 암소 육종가 추정 방법론

가. 혈통지수법

1) 혈통지수법은 개체의 표현형정보가 없을 경우, 혈통정보에서 가장 정보력이 높은, 부·모, 조부·조모 및 조조부·조조모의 육종가(EBV)를 각각 50%, 25% 그리고 12.5%씩 할당하여 개체의 능력을 예측하는 방법으로 개체의 정보가 매우 제한적일 때 사용할 수 있는 방법이다.

가) 혈통지수법의 정확도는, 다음과 같이 계산할 수 있음.

$$EBV_{Acc}(\text{육종가정확도}) = 0.25 * \text{sire EBV}(\text{아버지육종가}) + 0.25 * \text{dam EBV}(\text{어미육종가})..$$

나) 혈통지수법에서 씨수소정보만 이용한 정확도는, 다음과 같음

$$EBV_{Acc} = \sqrt{h^2}/2_{C1} + \sqrt{h^2}/4_{C2} + \sqrt{h^2}/8_{C3} + \dots$$

나. 혈통블립 방법을 이용한 암소개량 방법(PBLUP)

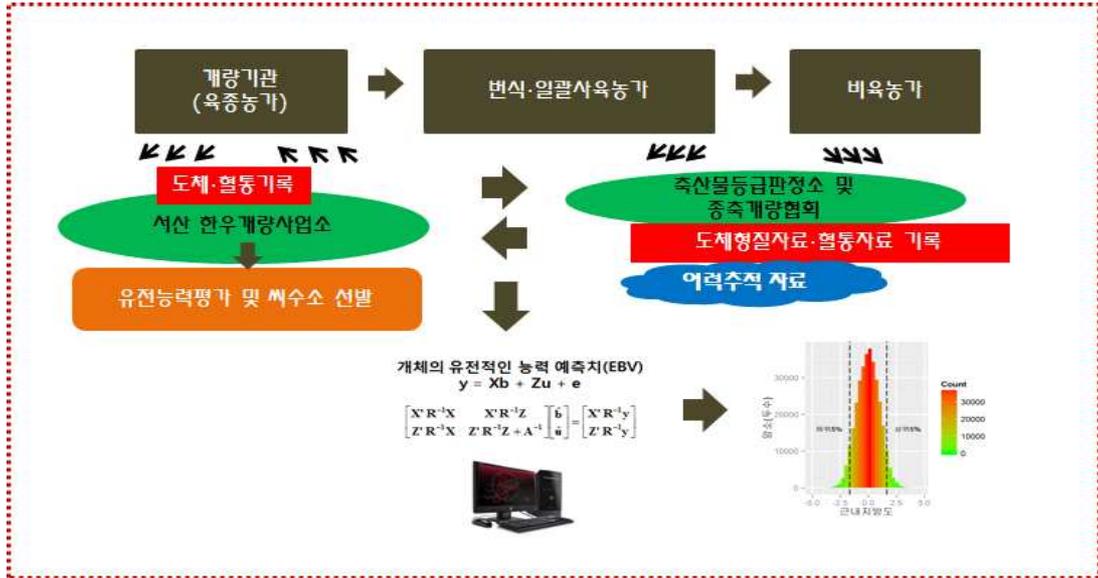
1) 초우량 한우암소 선발 방법 모델-2; 혈통정보를 이용한 PBLUP-그림1) : 최근 5년간 출하된 한우 도축자료(축산물품질평가원) 및 혈통자료(부계, 모계 각 3세대 혈통-종축개량협회)를 이용한 농가암소 능력평가 체계 구축

가) (자료) 축산물품질평가원 도축자료(기본; 15,000두) 및 이들 거세 도축자료의 혈통정보로 구성된 대용량 참조집단 자료를 이용한 암소 유전능력 평가 방안 연구(PBLUP 모델 구축: 개체의 표현형 + 혈통정보 활용)

나) (통계모델설정) 품질평가원 도축자료와 이력추적자료를 이용한 개체의 동기우 설정체계 확립

다) (통계모델 검증) 씨수소의 추정육종가의 정확도 판정 및 암소의 추정육종

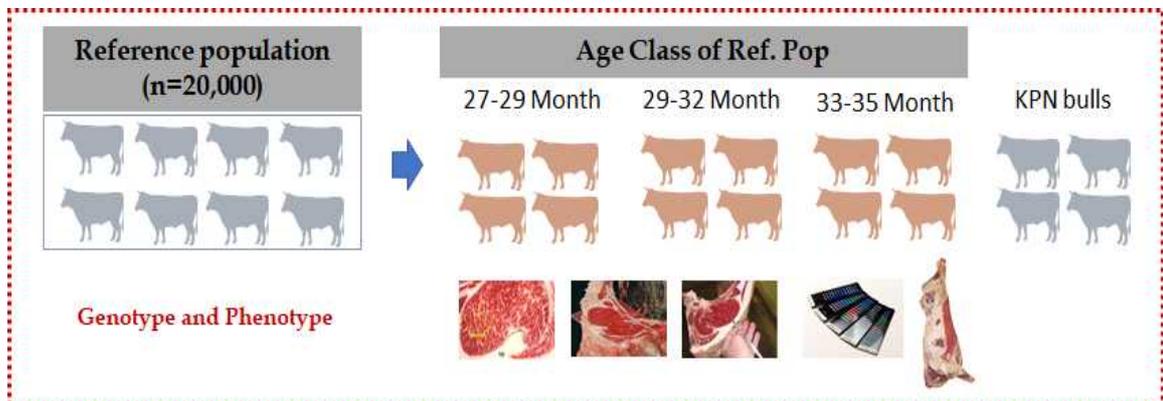
가의 정확도에 영향을 미치는 요인 파악(KPN 씨수소의 육종가 정확도, 암소와 연계된 정보의 수(반형매, 전형매의 표현형 등))



(혈통 및 출하자료를 이용한 개체의 유전능력 평가(BLUP) 모식도)

다. 지블럽 방법을 이용한 암소개량 방법(gBLUP)

- 1) 초우량 한우암소 선발 방법 모델-3; 유전체정보를 이용한 지블럽(gBLUP)
: 기 개발된 유전체선발기술을 이용한 초우량 한우암소 선발 연구 및 효용성 연구
- 가) 기 구축된 한우 핵심참조집단 활용(유전체정보+표현형정보+혈통정보)의 유전체정보를 이용한 초우량암소 선발 방법 연구.



<한우 핵심참조집단-차세대바이오그린21>

- 나) (지블럽-gBLUP 모델 설정) 한우 핵심참조집단을 활용한 전국에서 선정된 초우량암소(200두)의 유전체육종가 추정모델(gBLUP) 설정
- 다) 전국에서 선발된 초우량암소(200두)의 추정육종가의 정확도 분석: 혈통지수를 이용한 육종가, 혈통블럽을 이용한 육종가 그리고 지블럽을 이용한 육종가의 정확도 비교분석

제2절 국외 암소개량 연구동향

육우 개량에 있어서 선진국인 미국, 호주 및 EU-아일랜드의 개량체계를 살펴보고, 이들 육우개량 선진국들이 활용하는 첨단 유전체 선발방법에 관해서 사례 조사함.

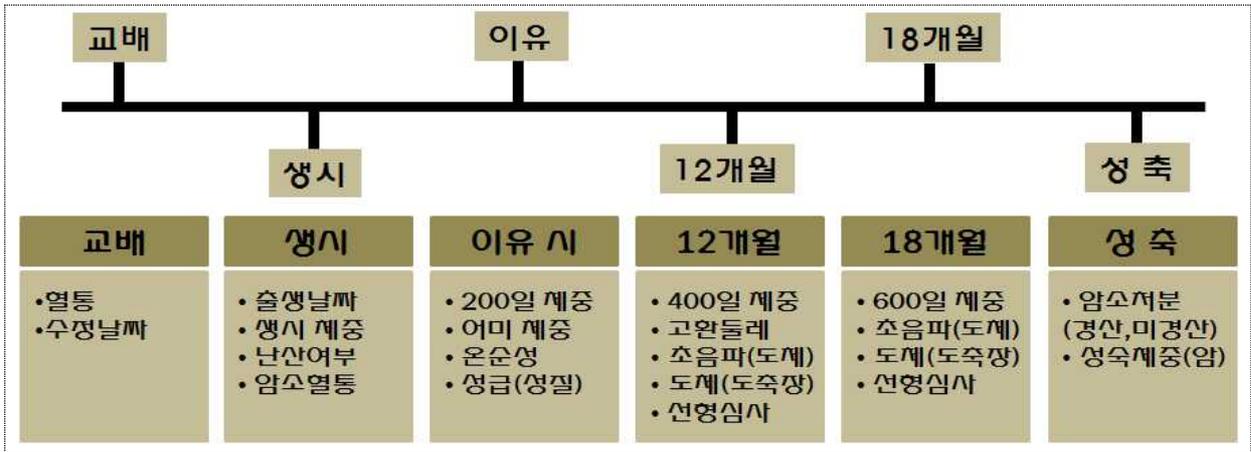
1. 호주 육우개량 동향

가. 호주 육우개량체계(브리드플랜)

- 호주 육우개량체계는 육종농가가 앵거스협회에서 제시하는 검정기준을 준수하여 각 농가에서 생산한 자료를 협회에 제출하고, 협회는 제출된 자료를 기반으로 유전능력 평가하여 육종농가별 후보씨수소를 선발해 주는 방식(농가가 주도적으로 검정하여 자료를 제출하고 개량에 참여하는 방식)
- 호주 앵거스협회의 서비스를 이용하기 위해서 육종농가는 년회비 및 서비스 비용 지불

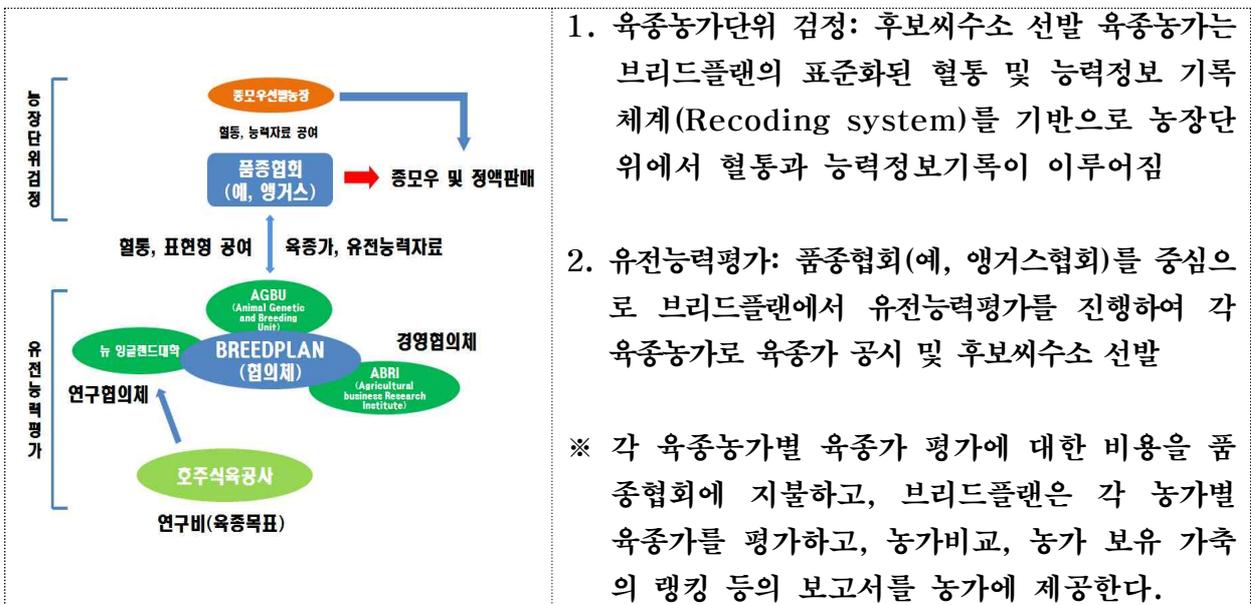
나. 호주의 당대검정 개량체계(브리드플랜)

- 1) 호주 당대검정 체계: 육종농가가 품종협회의 검정기준(guideline)에 맞추어 혈통, 능력자료를 수집하고 품종협회에 자료를 제출
- 2) 육종농가로부터 수집된 자료의 표준화 및 유전능력평가 시행
- 3) 육종농가가 수집하여 품종협회(앵거스협회)에 제출하는 자료수집 체계



※ 한우개량과는 다르게 호주의 육우개량체계는 민간을 중심으로 진행됨

4) 최근, 유전체선발 방법을 통하여 육종농가 당대검정우 선발에 활용



다. 호주의 농장후대검정 (Angus Sire Benchmarking Program; ASBP)

- 1) 농장후대검정 목적: 브리드플랜에서 선발된 앵거스 후보씨수소(Angus Bulls)의 후대검정을 통하여 측정하기 어려운 도체형질, 사료효율, 육질형질 및 암소의 번식형질에 대해 당대검정우의 능력 검증
- 가) 호주-뉴질랜드 앵거스 유전평가시스템(TACE)의 유효성 확인 및 개선을

위한 자료 생성(대규모 기준집단 확보)

나) 유전체 기술 검증, 연구 및 개발을 위한 호주 앵거스협회에 포괄적인 표현형 및 유전체 데이터베이스 구축

2) 농장후대검정 참여기관 및 펀딩

가) 수의사 그룹 : 번식형질 등 가축의 건강문제 담당

나) 대규모 비육농장 : 농장후대검정 및 사료효율

다) 도축장 : 도체형질, 육질형질 측정

라) 펀딩(비용) : 호주식육공사(MLA)

3) 농장 후대검정 방법

가) 후대 생산 : 앵거스 협회는 수의사 그룹의 지원하에, 큐-메이트 인공수정 프로그램을 이용하여 연간 40마리의 수소(bull)를 약 2,000두의 암소에 번식 각 아버지(sire)당 25마리의 거세우 생산(앵거스 협회 회원농가에 한함)

나) 앵거스 암소(Angus cow): 호주 전역(북쪽에서 서쪽으로) 상업용 번식우 농장 집단 이용, 이들 Angus cow는 유전적으로 지리적으로 나누어 코호트 그룹을 형성하여 후대검정(환경효과 보정 등)

다) 측정형질: 후대검정 자손은 calving easy(송아지 케어 용이성), 성장형질, 성격상기질, 암소 번식형질, 선형심사, 사료효율, 도축형질, 쇠고기 품질속성 측정.

라) 전 두수 유전체정보 생산 및 DB화

4) 농장후대검정 보증씨수소

가) 현재 총 9개의 코호트 후대검정 완료(각 코호트 별로 약 40여두의 보증씨수소 생산): 농장 검정 씨수소 요약자료

나) 성장 및 생산형질 보증씨수소의 정확도 90% 이상

다) 번식형질, 성격적 기질 및 사료효율 정확도 60 ~ 75%

ID	Name	Register	Sire ID	Birth Date	Mating Type	ASBP Cohort	EBV	ABI	DOM	GRN	GRS	CE Dir	BWT	200	400	600	MCW	SS	DOC	CWT	EMA	RIB	P8	RBY	IMF
CJME3	HIGH SPA EDWARD E3 SV	HBR	USA0035	31/01/2009	All	1	EBV (Acc) Perc	\$104 77	\$89 94	\$116 63	\$96 88	+14.5 (72%)	+0.3 (94%)	+33 (81%)	+58 (80%)	+85 (80%)	+79 (83%)	+1.1 (79%)	-16 (80%)	+51 (86%)	-0.2 (83%)	+3.5 (87%)	+1.5 (83%)	-2.6 (89%)	+3.4 (83%)

Summary Basic Details Ownership Pedigree Progeny EBVs EBV Chart Progeny Performance Genetic Results Photos/Videos

HIGH SPA EDWARD E3 SV

Animal ID: CJME3
 Date of Birth: 31/01/2009
 Sex: Male
 Status: Active
 Colour: Black
 Register: HBR
 DNA Profile Stored: Microsatellite & SNP
 Parentage Verification: Sire verified
 Genetic Conditions: AMF,CAFU,DDF,NHF



	Calving Ease			Growth					Fertility		Temp.	Feed Efficiency	
	Calving Ease Dir	Calving Ease Dtrs	Gestation Length	Birth Weight	200 Day Growth	400 Day Weight	600 Day Weight	Mat Cow Weight	Milk	Days to Calving	Scrotal Size	Docility	NFI-F
EBV	+14.5	+10.5	-12.6	+0.3	+33	+58	+85	+79	+15	-7.6	+1.1	-16	+0.44
Acc	73%	61%	94%	94%	91%	90%	90%	83%	84%	61%	79%	80%	77%

5) 호주 쇠고기 생산체계의 특징

가) 호주의 산업구조는 육종농가(번식농장포함)와 대규모 비육장으로 나누어져 있어, 육종농가는 보증씨수소를 사용할 이유가 없고, 당대검정 된 수송아지(young bull)를 이용하여 지속적인 개량을 하는 농가이고, 비육장은 사업적으로 농장에서 검증된 아비(sire)를 이용하여 시장에서 요구하는 쇠고기상품을 균일하게 생산하기 위하여 농장에서 그 능력이 검증된 보증씨수소를 사용

6) 농장후대검정 결과

가) 당대검정을 통한 수송아지(young bull)의 낮은 정확도에도 불구하고, 농장후대검정(ASBP)에서 검정한 수송아지(young bull)의 육종가(EBV)는 그들의 유전적 특성이 잘 표현되고 있음

- 문제점: 수송아지(young bull) 같은 어린 동물을 선발할 때 육종농가가 직면하는 한 가지 어려움은 육종가(EBV)의 정확도가 낮아 그 능력을 신뢰할 수가 없었음. 이러한 문제를 해결하기 위하여 농장후대검정을 통해 정확도가 낮은 당대검정우의 능력을 검증
 - 이를 해결하기 위하여, 농장검정(ASBP)의 코호트 1,2 및 3에서 각 형질에 대해 최고 및 최저 육종가(EBV)를 가진 10개체를 당대검정 육종가(EBV)와 농장검정 육종가(EBV)를 비교하여 그들의 모든 자손의 후대검정 자료를 포함하여 육종가(EBV)를 계산하였을 때 총 10두의 개체들의 육종가(EBV)에 유의미한 변화가 있었는지 여부를 확인함
- 결과: 당대검정우 육종가(EBV)가 비교적 낮은 정확도에도 불구하고, 농장검정을 마친 아버지(sire)의 평균 육종가(EBV)에는 거의 변화가 없었음. 즉, 당대검정에서 비교적 낮은 정확도는 수송아지(young bull)의 능력에 거의 영향을 미치지 않았음.

<https://www.angusaustralia.com.au/sire-benchmarking/lessons-from-the-asbp-overview/starting-ebvs-vs-finishing-ebvs/>

2. 미국 육우개량 체계

- 가. (개량현황) 미국에서는 약 70년 전부터 육우 능력 검정에 대한 변화를 주창한 사람들에 의해 객관적인 측정치들을 육우 평가에 이용하고자 하는 연구가 시작되었으며, 이후 이러한 연구들은 수많은 경제적으로 중요한 형질들을 실질적으로 측정할 수 있고, 이러한 형질들이 선발에 대한 반응으로 유전력을 가짐을 확인하였음. 품종별로 살펴보면, 애버딘앵거스, 샤로레, 헤어포드, 시멘탈, 리무진 등 약 11여종이 사육되고 있으며, 그 중 애버딘앵거스 종의 사육 규모가 가장 크며, 미국에서 사육되는 품종 중 아까우시종은 우리나라의 한우와 비슷한 종으로 텍사스 및 워싱턴 주에서 주로 사육되고 있음
- 나. (개량방법) 미국의 육우개량프로그램은 미국육우연맹에 속한 기구들에 의해서 통제되며, 미국육우연맹에 속한 기구들은 주(state)별 개량협회, 육우품종등록협회, 국립육우생산자협회, 인공수정 및 수정란이식기관 등이 있음
- 1) 국가단위 육우평가는 씨수소 평가위원회와 유전능력 평가위원회의 주도에 의해 학계와 품종협회 간 기술교류가 시도되었고 품종협회에서 유전능력평가프로그램을 이용
 - 2) 유전능력평가 프로그램은 일반적으로 측정하는 형질들(도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도 등)의 예상유전전달능력(EPD)를 추정하기 위해 이용
- 다. (개량기관 기능 및 역할) 육우개량기관은 1968년 설립된 미국육우연맹(Bee

f Improvement Federation: BIF)을 비롯하여 각 주에 설립된 주별 개량 협회(State beef cattle improvement association : BCIA), 각 육우 품종을 대표하는 육우품종등록협회, 국립육우생산자협회(National Cattlemen's beef Association : NCBA), 유전능력 평가 위원회, 씨수소 평가위원회, 인공수정 및 수정란이식 기관 등이 있음

- 1) **미국육우연맹(Beef Improvement Federation : BIF)** 1968년 2월 설립되어 육우개량 프로그램의 표준화, 능력기록의 활용방안 등에 관한 서비스를 추진하고 있으며, 설립목적은 다음과 같음
 - 가) (자료의 규격화) 육우 능력자료의 측정, 기록 및 평가를 위한 정확하고 규격화된자료 구축
 - 나) (지원개발) 고객의 요구에 부합하는 목표달성을 위한 개량 및 품질 관리 프로그램개발을 위한 기구 및 지부에 대한 지원
 - 다) (유관기관과의 협업) 생산성, 수익성 및 지속성 개선을 위한 모든 육우산업 분야 간 협력 증진 도모
 - 라) (교육) 자료의 활용방법 및 생산성 향상, 수익성 및 지속성 개선을 위한 품질관리 교육프로그램 개발·지원
 - 마) (신뢰) 정확한 평가결과를 통한 신뢰성 조성
- 2) **주(State)별 개량협회(State beef cattle improvement association : BCIA)** 30여개 주에 육우개량 프로그램 지원하고 있고, 회원제로 이루어져 매년 정기적인 개량보고회를 개최하고 있음. 개량정보 뿐 만 아니라 사양방법, 질병관리까지 토털케어 서비스를 하고 있음
- 3) **육우품종등록협회:** 각 품종에 대한 가계혈통 및 능력검정을 하고 있으며, 회원제로 이루어지고 있으며, 각 품종별 개량정보 및 사양방법을 서비스하고 있음. 아울러 전통적인 통계유전방법을 통한 개체별 육종가 서비스뿐만 아니라 유전체를 이용한 각종 분석 및 후계자 양성교육, 개량기술교육 등을 실시하고 있으며, 각각에 비용을 책정하여 수입원으로 사업을 진행하고 있음
- 4) **협회의 주요사업:** 농장관리프로그램 배포, 능력검정데이터 수집 및 데이터베이스화, 혈통등록(순종, Percentage blood Akaushi), 등록된 개체의 가치 및 시장성 분석, 유전능력(EPD)에 따른 개체순위 제공(연 2회), 유전능력분석 및 평가, 소비시장의 트렌드에 따른 개량방향 설정, 도체성적결과 정보제공, 후계자 양성교육

라. 향후 개량 방향: 미국은 BLUP기법을 이용한 전통 통계육종방법에서 단일염기다형성(SingleNucleotide polymorphism, SNP) 유전체를 이용한 분석방법을 활용하고 있음(NEOGEN, Zoetis genetics)

- 1) 과거 육우개량에 있어서 암소유전평가는 어려웠으나, 유전체선발방법이 개발된 이후 암소 유전체선발방법을 적용하고 있음

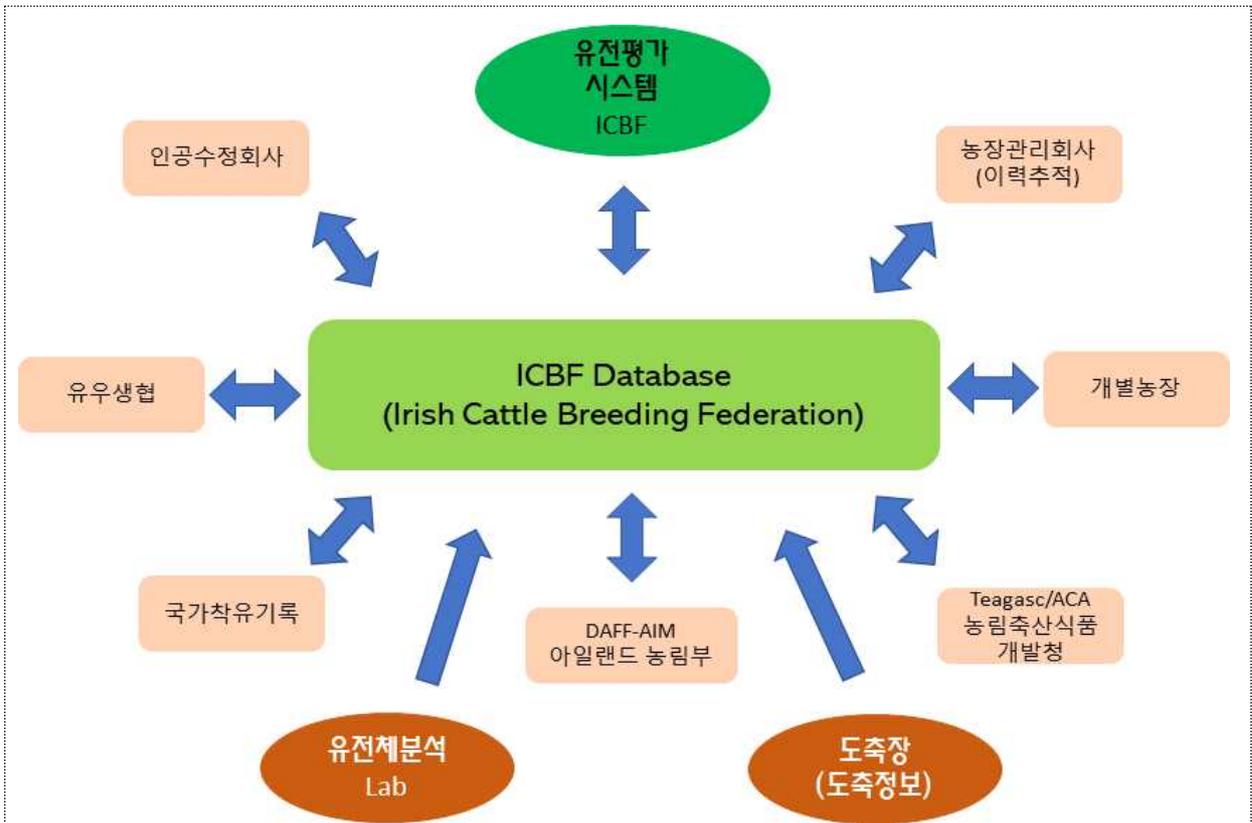
3. EU-아일랜드 육우개량체계(유전체선발; ICBF)

가. 아일랜드 소 사육 연맹(ICBF)은 1998년 정식으로 설립되었으며, 아일랜드 젖소 및 쇠고기 산업에 가축 사육 및 개량 정보 서비스를 제공하는 업무를 담당하고 있는 비영리 단체

- 1) 육종농장에서 정확한 데이터를 측정하여 ICBF에 제공하고 제공된 농장검정자료를 이용하여 유전평가를 수행하여 개별 농장에 제공하는 체계
- 2) 궁극적으로 아일랜드 국내에 등록된 모든 동물에 대한 정보와 해당 개체 및 개체가 속한 농장과 관련한 이력자료를 국가 가축사육데이터베이스에 등록
- 3) 따라서 ICBF 팀은 정보기술, 유전자 평가 기술 및 이에 관련한 모든 기술을 집중하여 데이터를 분석. ICBF가 다루는 국가 데이터베이스는 궁극적으로, 다양한 출처에서 수집되고 정보 서비스는 농부들에게 다시 제공되며, 농부들은 이들 정보를 이용하여 지속가능한 의사결정을 수행

나. ICBF를 설치하기 위한 산업간 합의 및 예산

- 1) 가축에 붙이는 태그사용(Tag Identification)/도축세(Levy)를 시행하기로 합의하고, ICBF가 지속적인 예산기반(태그사용, DAFM 보조금 및 서비스 수입)으로 사업을 수행
- 2) 이들 비용으로 ICBF는 가축의 유전평가(예: EBI, Euro-Star 등급)를 최소한의 비용으로 다양한 '사용자 지불' 서비스를 통해 농업인이 이용할 수 있도록 기반시설을 제공



아일랜드 가축개량연맹은 가축개량 및 생산과 관련한 아일랜드 국내 모든 기관과 자료를 공유하고 공유된 자료를 이용하여 국가 유전평가시스템을 운영하는 평가체제로, 현재는 전두수 유전체정보를 생산하고 이들 유전체정보의 보안을 위하여 “블록체인기술”을 이용하여 개체관리 및 데이터 활용

다. 결론적으로, 미국, 호주 및 유럽국가들에 있어서 가축개량은 개량기관(미국, 호주의 경우 품종협회+육종기관+유전평가기관+대학, 그리고 유럽의 경우 국가의 통제하에 ICBF라는 협회)이 중심이 되어 육우개량을 수행하고 있음

- 1) 참여 농가는 자신의 가축에 대한 혈통, 표현형 등의 자료를 개량기관에 제출하고, 유전평가기관이 유전평가하여, 다시 품종협회를 통해 참여농가에게 피드백 되는 체계를 유지함
- 2) 모든 개량관련 서비스는 품종협회에 의해서 개별농가에 서비스 됨.
- 3) 농가는 서비스 비용 지불하는 구조
- 4) 최근 유전체선발이 개발되면서, 교체암소(replacement cow) 선발을 유전체선발로 진행하고 있고, 상업축을 위주로 도체형질에 대한 육종가 및 번식형질에 대한 육종가를 서비스 받고 있음

제3장. 전국 초우량 암소 보유현황 및 유전능력에 대한 표본조사

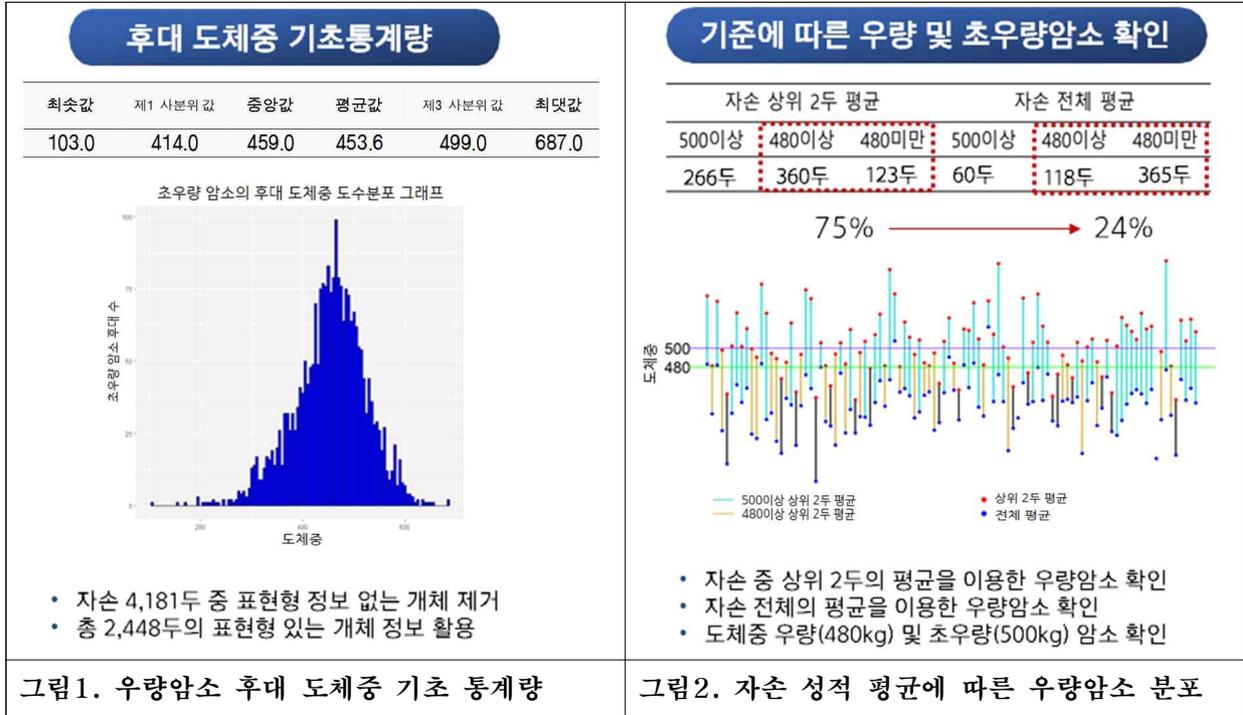
본 연구의 표본조사는 두 가지 방법으로 실시함.

첫째, 생존 혈통, 후대축 도체성적 육질등급 1++(8,9), 육량등급 B, 도체중 480kg, 등심단면적 110cm² 이상, 외모심사 80점 이상, 친자일치로 확인된 개체로 유전능력평가 비교분석용 표본 수집(한국종축개량협회)

둘째, 최근 5년간 출하된 도축자료(67만두)의 후대기록을 통하여 도체중 480kg, 등심단면적 110cm²을 만족하는 암소 표본 조사(통계조사): 암소검정사업 자료 활용

제1절. 전국 우량암소 표본 수집 및 후대축의 도체성적

1. 전국에서 수집된 483두의 다산 우량암소(7산 ~ 10산)는 106두의 KPN 씨수소(부계혈통)로 구성되었고, 이들 483두의 암소는 자손 4,181두의 자손을 생산함. 이중 2,448두의 도체자료 기록 확보(축산물품질평가원, 종축개량협회 자료)
 - 가. 총 483두의 우량암소로부터 생산된 후대 거세우의 도체중에 대한 기초통계량을 보면 평균 453kg, 그리고 최대값은 687kg(그림1)
 - 나. 위의 박스에 제시된 우량암소 기준에 따라서 자손 2두의 평균이 480kg 이상인 개체는 360두이었고, 자손 2두의 평균이 500kg이상인 개체는 266두로 분석됨(그림2)
 - 다. 우량암소가 생산한 자손 거세우 전체자료를 이용하여 평균을 기준으로 계산했을 때, 480kg 이상은 118두, 그리고 500kg 이상은 60두로 분석됨(그림2)



기준에 따른 우량 및 초우량암소 확인					
자손 상위 2두 평균			자손 전체 평균		
500이상	480이상	480미만	500이상	480이상	480미만
266두	360두	123두	60두	118두	365두

75% → 24%

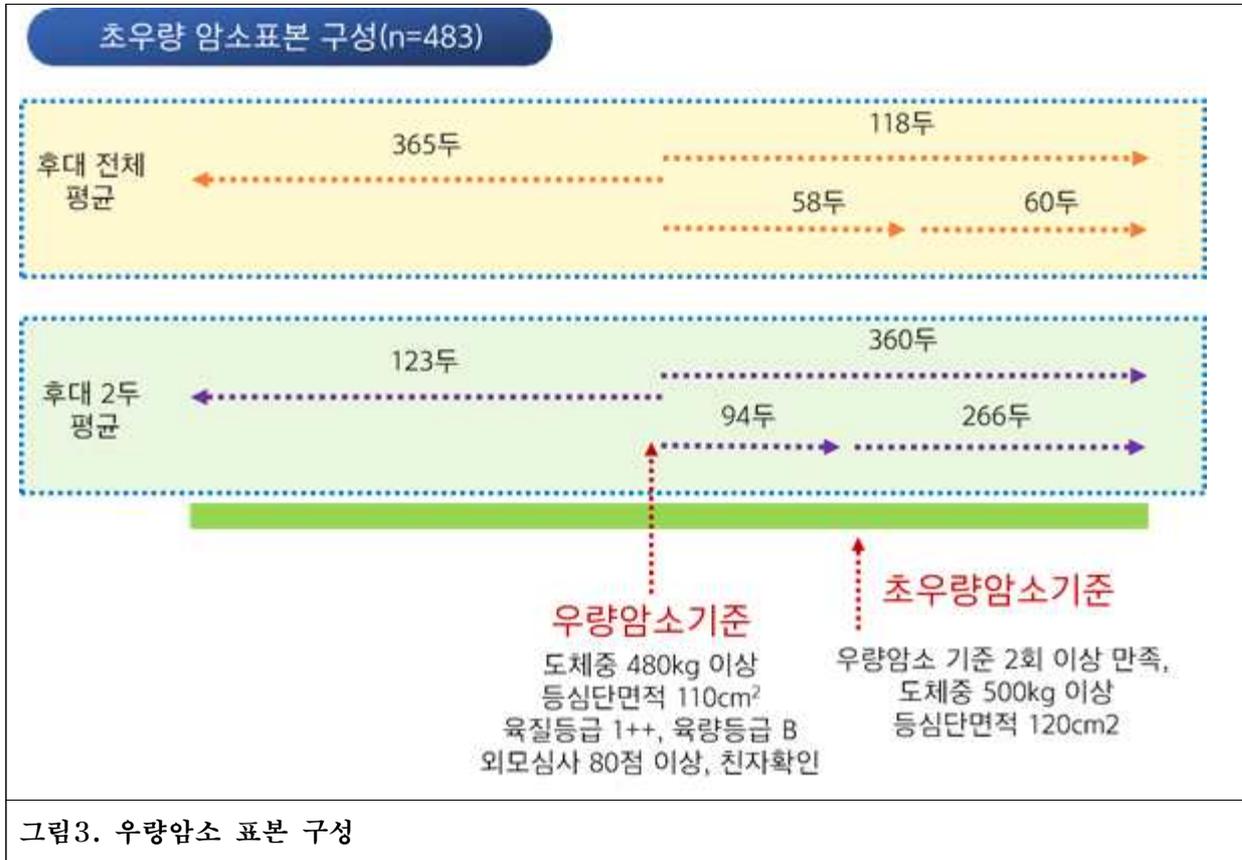
- 자손 중 상위 2두의 평균을 이용한 우량암소 확인
- 자손 전체의 평균을 이용한 우량암소 확인
- 도체중 우량(480kg) 및 초우량(500kg) 암소 확인

그림 1. 우량암소 후대 도체중 기초 통계량

그림 2. 자손 성적 평균에 따른 우량암소 분포

2. 이러한 후대 거세우 성적을 기준으로 우량암소 표본 구성을 한 결과, 우량암소 기준(도체중 480kg, 등심단면적 110cm², 육질등급 1++, 외모심사 80점 이상)을 만족하는 개체들은 총 483두 중에서 360두며, 나머지 123두는 이 기준에 못 미치는 개체들로 표본을 구성(그림3).

가. 현행 현장에서 위에 제시된 기준에 따라서 농가에서 우량암소를 수집하고 수정란이식사업을 진행하고 있는데, 실제 이들 우량암소에 해당하는 360두의 개체들이 정말로 우량 암소인지를 평가하여 분석할 필요가 있음



제2절. 초우량 암소에서 생산한 송아지의 판매가격

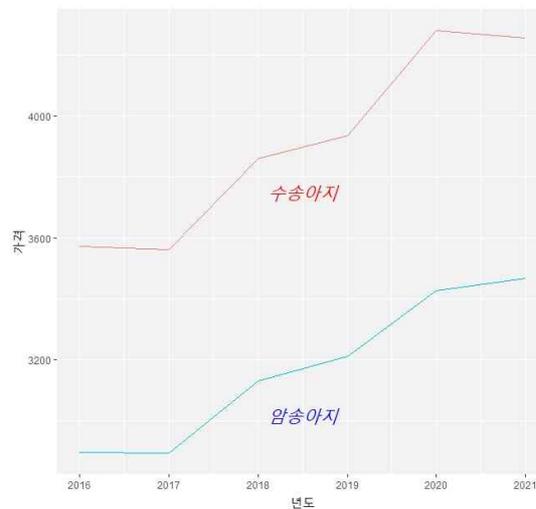
1. 최근 한우사육두수는 2016년도 279만두에서 2020년 318만두수로 지속적으로 증가하고 있으며 이러한 추세는 2022년까지 계속하여 증가할 것으로 전망되어지고 있음. (통계청, 국내통계 : 축종별 시도별 농장수 및 마리수-표1, 그림4)
2. 송아지 가격은 2016년도 암, 수송아지 각각 289만원, 357만원에 거래되었으며 2021년 암, 수송아지 346만원, 425만원에 거래돼 가격이 견조한 현상을 보이고 있어 한우 사육마리수가 급격하게 증가하면 오히려 한우번식농가의 소득향상에 차질을 빚을 수 있음. (축산물품질평가원, 축산유통정보)-표1, 그림4

표 1. 전국 송아지 가축시장 산지 경매가격

년도	암송아지 (6~7개월)	수송아지 (6~7개월)
2016	2,897	3,573
2017	2,894	3,561
2018	3,130	3,859
2019	3,213	3,935
2020	3,426	4,280
2021	3,468	4,256

*21년도는 1~3월 통계자료 이용함 (천원/마리)

축산물품질평가원 축산유통정보(<https://www.ekapepia.com/index.do>)



<그림 4. 연도별 전국 송아지 산지 경매가격>

제3절. 전국에 산재하여 있는 초우량 암소의 표본조사(보유 현황); 축산물품질평가원 출하자료를 중심으로

1. 전국 농가단위 초우량 암소 보유현황 및 유전능력에 대한 통계조사

가. 전국에 산재하여 있는 초우량 암소의 보유현황

1) 전국에 산재하여 있는 초우량 암소의 보유현황을 확인하기 위하여, 2011년도

부터 2020년도까지의 한우 표본데이터 677,315두 데이터를 분석에 사용하였으며, 데이터들의 출하 월령은 27개월령부터 35개월령에 도축된 개체들로 구성됨.

- 2) 우량암소의 기준을 만족하는 기준 조건 중 하나가 거세우, 즉 후대축의 도축 성적이기 때문에 위와 같이 27~35개월령 거세우 자료만을 분석에 사용함. 빈도값이 가장 높은 출하 월령은 31개월 출하 월령이었으며, 전체 데이터 중 134,659두였음. 출하 월령은 31개월령을 기준으로 정규분포의 형태를 나타내고 있음(표2, 그림5).

표2. 한우 677,315두 도축 개월령 통계량

개월령	27	28	29	30	31	32	33	34	35
두수	6,217	41,335	78,904	118,465	134,659	119,322	87,525	56,684	34,204

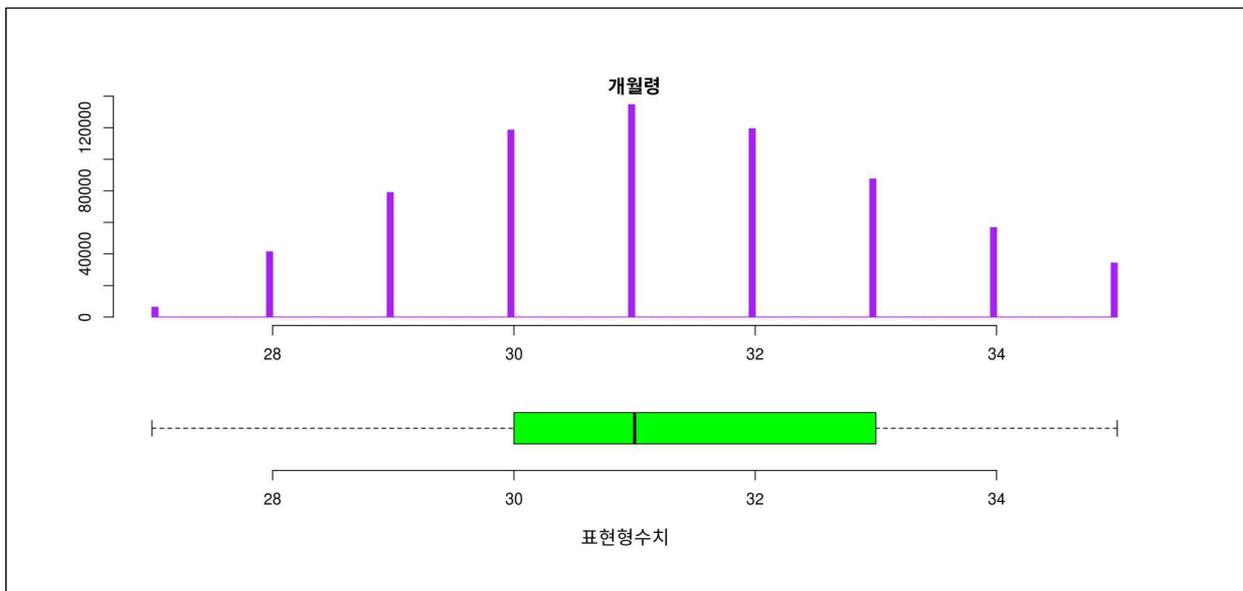


그림5. 한우 677,315두 도축 개월령 통계량 빈도 그래프

- 3) 한우 표본데이터 677,315두의 4가지 도체 형질(도체중(CW), 등지방두께(BFT), 등심단면적(EMA), 근내지방도(MS))의 빈도 그래프(그림6)를 보면 4가지의 도체 형질 모두 정규분포 형태를 나타내고 있음. 677,315두의 한우 거세 데이터를 기반으로, 한우 초우량 암소의 기준을 충족하는 암

소들을 검출함.

- 4) 기준은 현재 대한민국 한우 우량암소 기준인 후대축 육질등급 1++(8, 9 점), 육량등급 B, 도체중 480kg, 등심단면적 110cm² 이상, 외모심사 80 점 이상, 유전자검사결과 친자일치로 확인된 개체(2021년 1월 이후의 기준 적용)로 분석을 진행.
- 5) 육량등급, 외모심사결과 및 유전자검사결과 정보의 부족으로 인해 육질등급, 도체중 및 등심단면적의 데이터를 사용하여 한우 우량암소 데이터를 분석하였음. 우량암소 기준에 따라 후대축 2두 이상의 도체 성적을 지닌 암소 중 후대축의 우량암소의 기준(2021년 1월 적용기준)을 만족하는 우량암소는 총 135두의 우량암소가 검출됨.

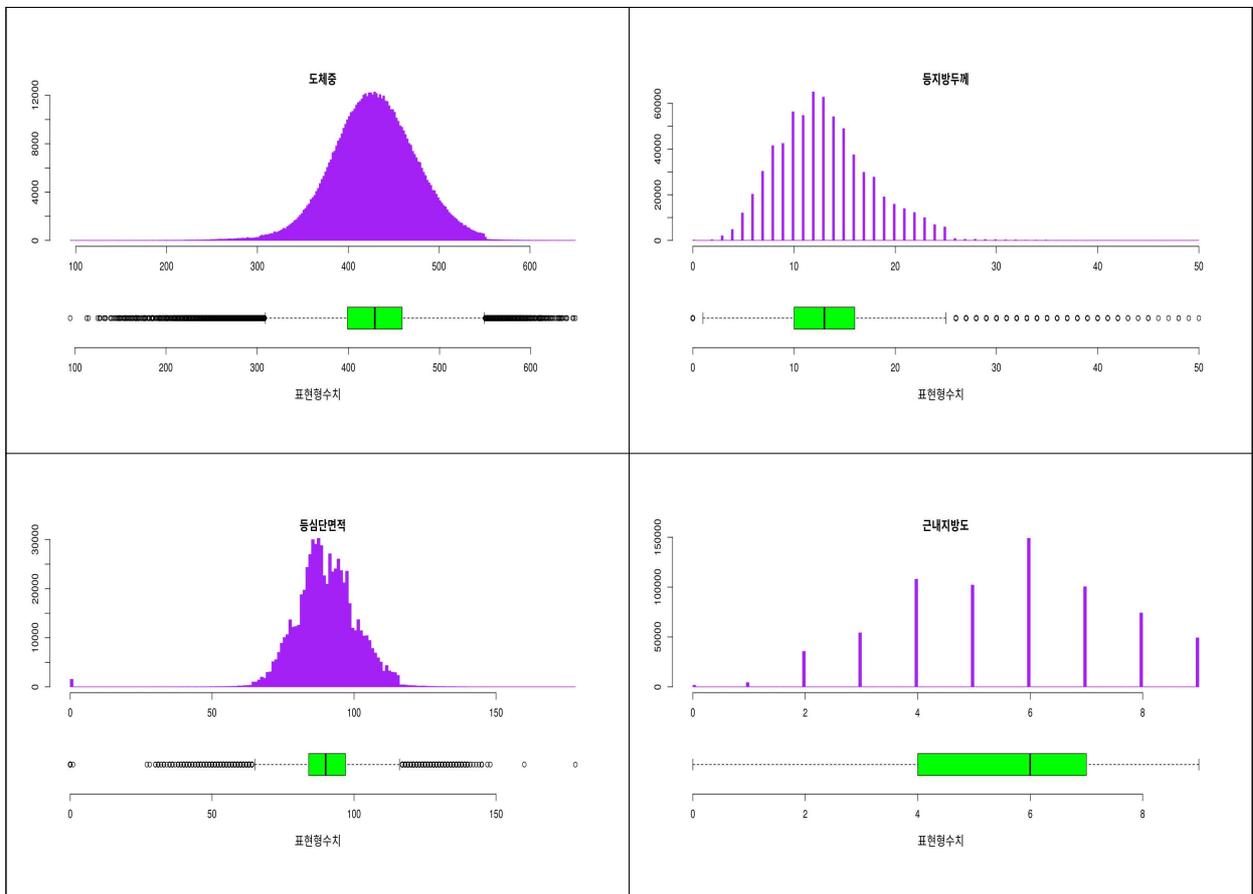


그림6. 한우 677,315두 4가지 도체 형질 빈도 그래프

- 6) 후대축 290두의 출하월령 통계량을 보면, 모집단과 유사하게 31개월령을 기

준으로 정규분포함을 볼 수 있음(그림7). 후대축 290두의 데이터 중 아버지(sire(KPN))의 정보를 알 수 없는 개체 27두를 제외한 263두의 아버지(sire) 통계량을 살펴봄. 263두 자료를 기준으로, 가장 많은 자손을 지닌 보증씨수소(KPN)는 19두의 자손을 지닌 KPN950이었으며, KPN950의 아버지(sire)인 KPN642 또한 9두의 자손을 보유하고 있는 것으로 검출됨(그림8). KPN626 그리고 KPN757 또한 다음으로 많은 자손을 보유하고 있었음. 우량한 암소들의 후대축 혈통을 보면, 대부분의 보증씨수소(KPN)들이 형매 관계에 있음.

표3. 우량암소 총 135두의 자손 출하 월령 통계량

개월령	27	28	29	30	31	32	33	34	35
자손의수	4	12	26	52	60	57	37	27	15

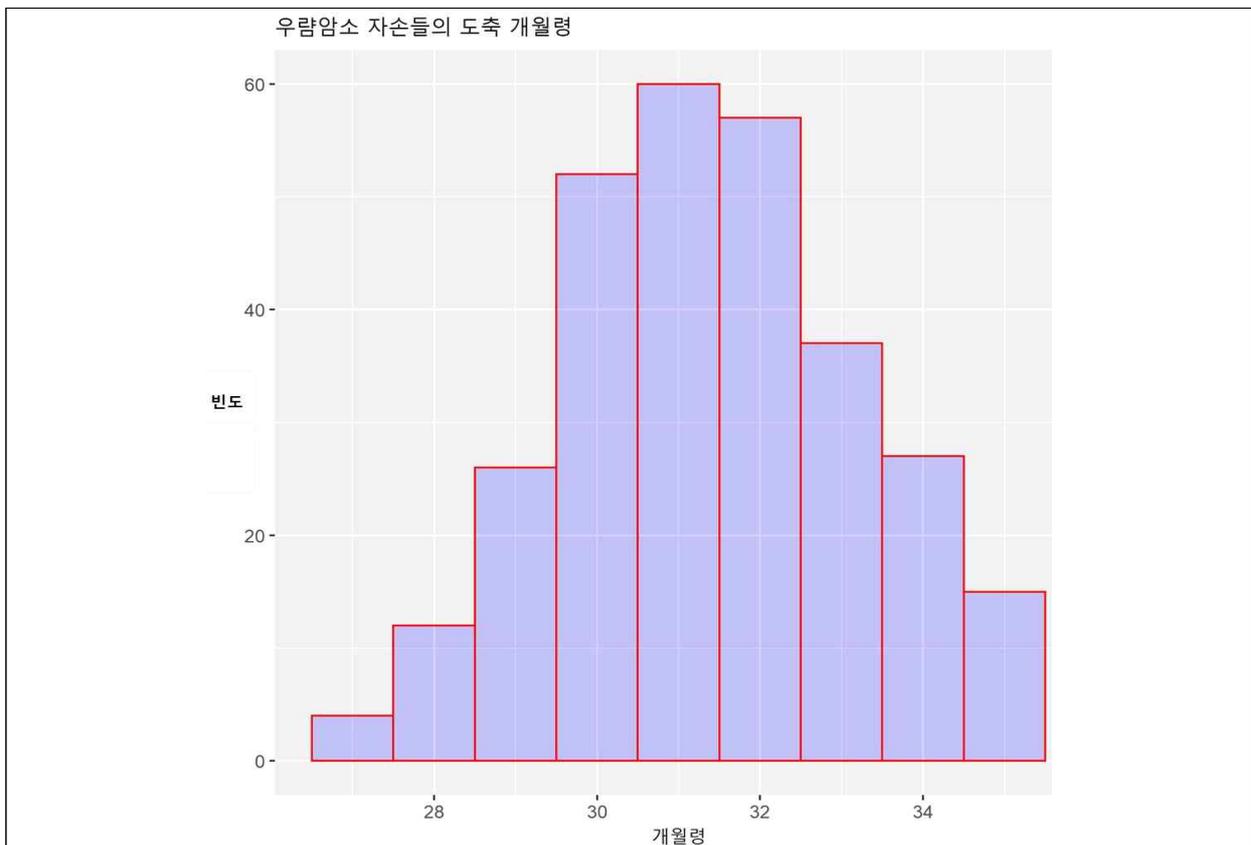


그림7. 우량암소 총 135두의 자손 출하 월령 빈도 그래프

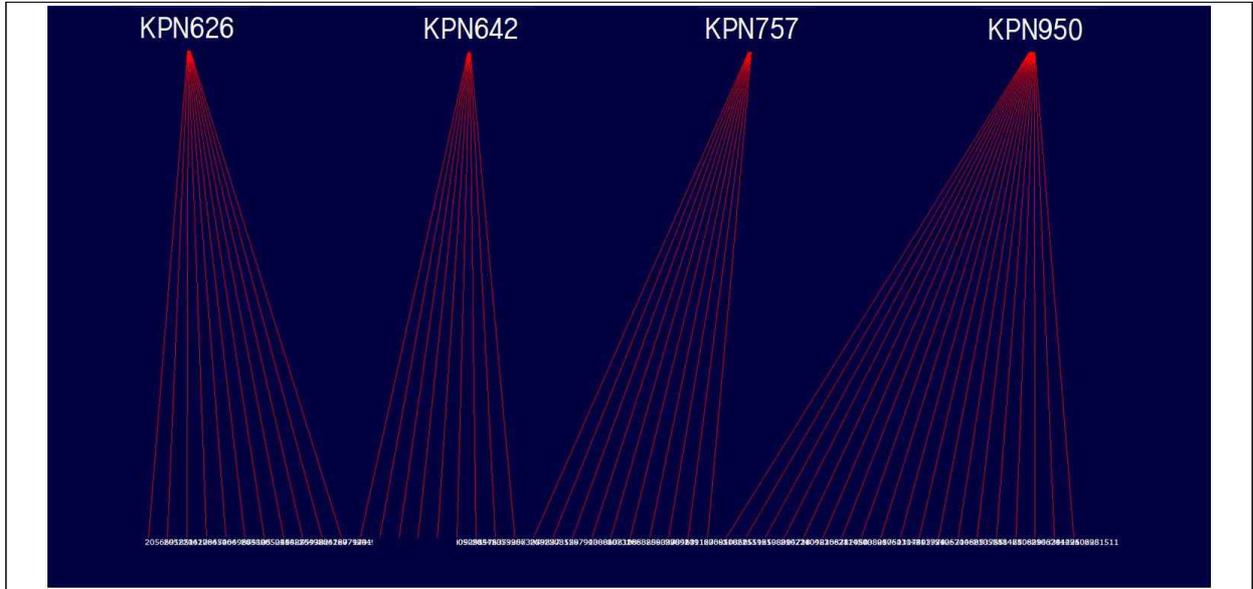


그림8. 최다 빈도의 자손(후대축)을 지닌 4개 KPN의 혈통 그래프

- 7) 총 135두 우량암소의 아비(sire)정보를 분석한 결과, 아비(sire)정보가 없는 우량암소 23두를 제외한 112두 자료를 기준으로 가장 많은 우량암소 자손을 지닌 보증씨수소(KPN)은 10두의 자손을 지닌 KPN507이었으며, 다음으로는 KPN538이 8두의 우량암소 자손을 지니고 있었음. KPN505와 KPN626 또한 5마리의 우량암소 자손을 지닌 보증씨수소(KPN)로 검출되었으며, KPN507과 KPN505는 KPN219의 자손들로서 형매 관계에 있음. 총 112두의 개체들 중 약 25% (28두/112두)는 4개의 보증씨수소(KPN)로 구성된 그룹으로 나타남. 우량한 암소들의 가계 혈통을 보면, 대부분의 보증씨수소(KPN)들이 형매 관계에 있다는 것을 볼 수 있었음(그림9).

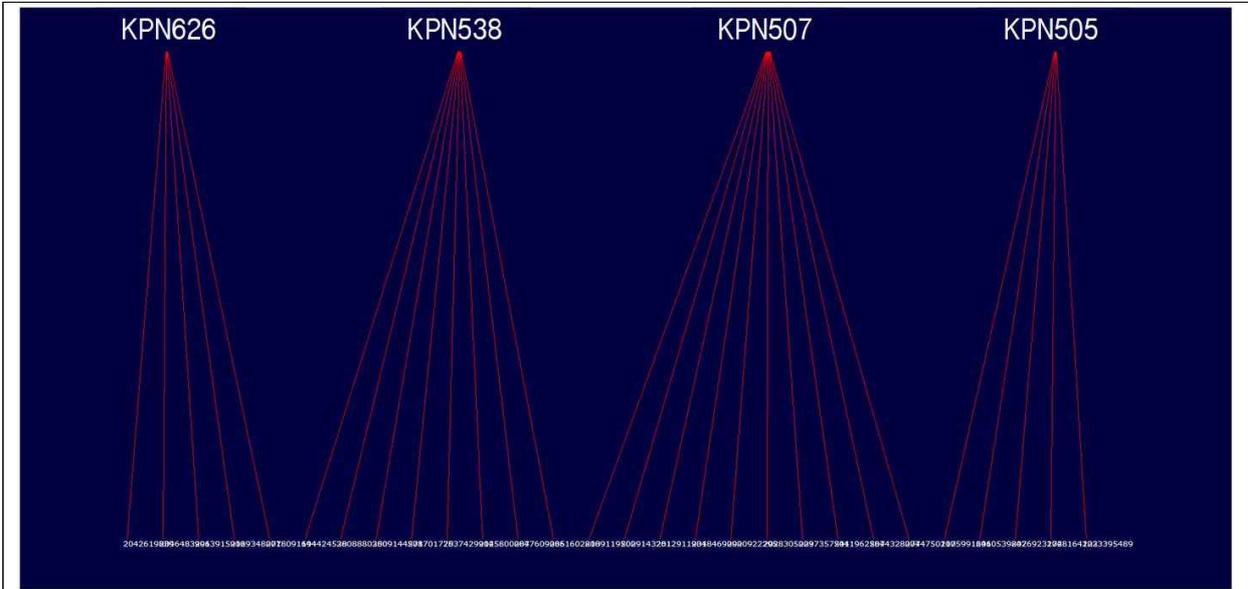
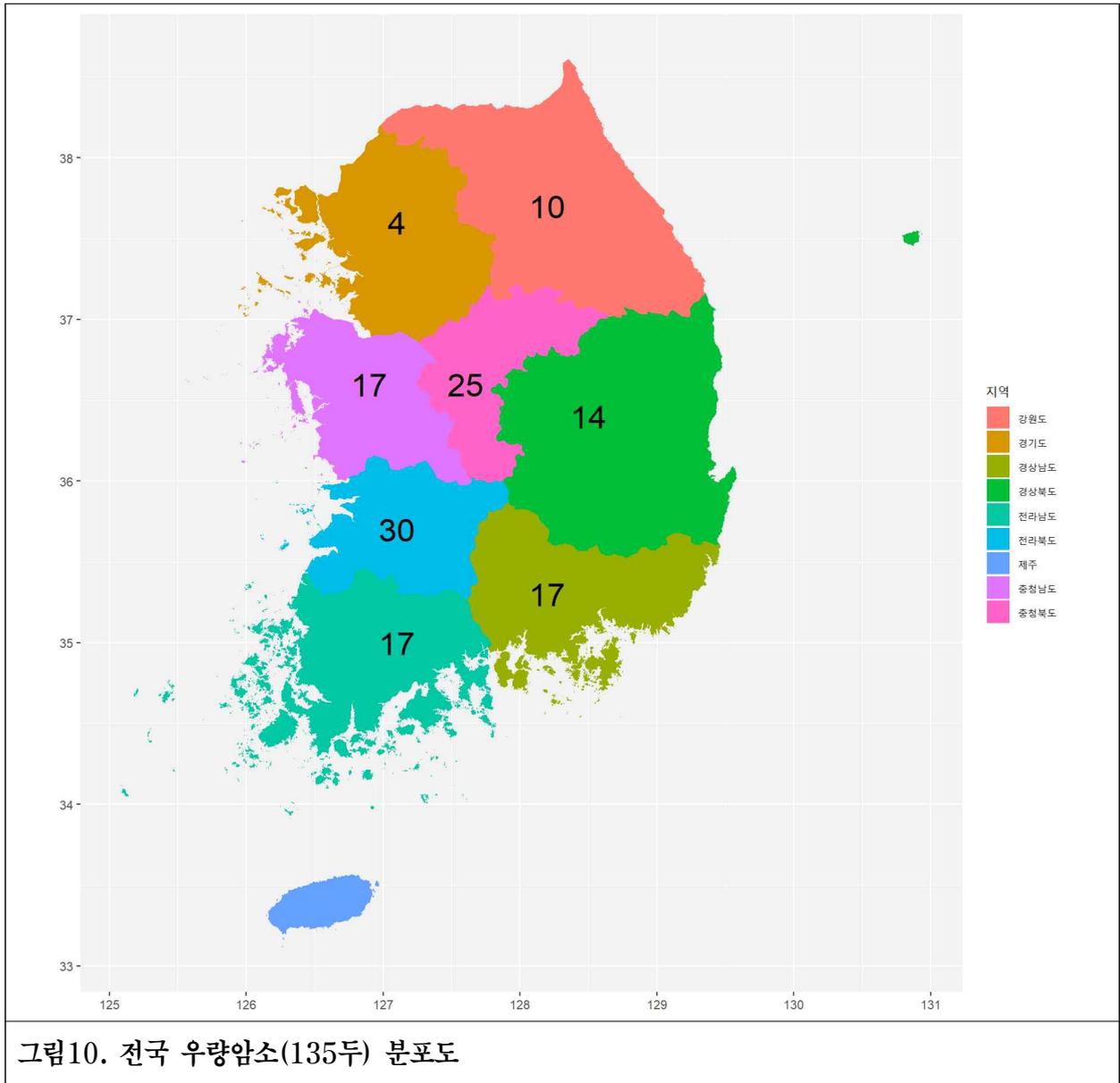


그림9. 최다 빈도의 우량암소 자손을 지닌 4개 KPN의 혈통 그래프

- 8) 총 135두의 우량암소 데이터를 기반으로, 전국 지역 및 농가단위 우량암소 보유현황을 그래프로 표시를 하였음. 가장 많은 우량암소를 보유한 지역은 30두의 우량암소를 보유한 전라북도로 나타났으며, 다음으로는 25두의 충청북도로 확인됨. 현재 분석에 사용된 모든 암소들은 거주지역 정보가 없으므로, 지역별 사용된 암소의 전체 두수를 나눈 지역별 사용된 암소의 두수에 대한 우량암소의 보유 비율 값은 계산되지 않았음. 전체 암소 두수에 대한 비율이 아니며, 분석에 사용된 데이터의 전국 지역 우량암소 보유 두수를 나타냄(그림10).



제4장. 전국 농가단위 초우량 암소 선발 방안 연구

제1절. 초우량 한우암소 선발 방법 모델-1; 혈통지수를 활용한 암소 선발 방안

1. 연구수행 방법 및 내용

- 가. 우량 암소 483두의 혈통 정보를 활용해 국립축산과학원 홈페이지에 업로드된 ‘2020 상반기 한우 교배계획 길라잡이(27호)’ 농가활용 프로그램을 이용해 혈통지수(Pedigree Index (Sire-summary BLUP)) 육종가를 분석함.
- 나. 교배계획 길라잡이 프로그램은 개체의 아버지와 외조부 외증조부의 정보를 입력하면 외증조모의 능력은 평균으로 고려하고, 이미 프로그램 내 기 입력된 아버지들의 정보를 가져와 입력한 개체의 능력을 추정하는 방식으로 여러 가지 가정과 제한된 정보를 사용하기 때문에 정확도가 높지 않음. 그러나 혈통만 이용하면 예상되는 값을 바로 얻을 수 있고 무료로 사용 가능하기 때문에 해당 프로그램을 국가에서 배포 및 활용하고 있음.
- 다. 교배계획 길라잡이 프로그램을 이용하면 개체의 능력(육종가(EBV))과 교배계획을 추천해주며, 추천 방법은 교배 대상우의 능력을 고려하고 교배 시 근친계수를 계산해 능력이 높으면서 근친이 낮은 개체를 선발함.
- 라. 개체들의 능력은 개체의 도체형질인 도체중, 등지방두께, 등심단면적, 근내지방도를 고려해 가중치를 부여하고 선발지수를 산출해 계산하는데 이때 농가의 목적에 맞게 가중치를 설정할 수 있음.
- 마. 혈통정보를 이용하기 때문에 혈통정보가 올바르지 않다면 잘못된 정보를 가져와 개체의 능력과 근친계수 값이 잘못 추정되며 잘못된 교배추천과 선발을 할 수 있기 때문에 현재 종축개량협회로부터 찾은 혈통 정보들이 유전체 정보와 비교해 혈통검정을 수행하고 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 분석을 실시하였음.

2. 연구결과

가. 본 연구에서 수행할 유전능력평가에 사용된 집단의 혈통 정확도를 검정한 결과, 한우농가에서 수집된 초우량암소 483두는 혈통의 정확도가 96.45%로 가장 높았으며, 본 연구에서 사용할 블럽(BLUP), 지블럽(GBLUP)의 참조 집단으로 활용할 집단에 대해서는 혈통의 정확도가 78.34%로 확인됨. 아울러 전국암소의 표본의 정확도는 약 88.20%로 확인됨.

- 1) 농가에서 확보된 초우량암소 483두는 혈통검정을 통하여 혈통이 매우 정확하게 유지되는 것을 확인할 수 있었음(표4).
- 2) 본 연구에서 사용할 참조집단에 대해서는 약 22%의 혈통오류가 있어 이들 개체의 혈통오류를 수정하여 본 연구에 사용하였음
- 3) 전국 암소 표본에 대해서는 약 12%의 혈통오류를 보였으며, 이는 과거 대비 매우 높은 혈통의 정확도를 보임.

표4. 유전능력평가에 활용할 집단의 혈통의 정확도

집단	정확도
참조집단 (15,982두)	78.34%
초우량암소	96.45%
전국암소	88.20%

나. 높은 수준의 혈통기록의 정확도를 가지는 초우량암소(96.45%) 집단의 데이터를 사용하더라도 특정 개체의 혈통이 잘못 표기되면 혈통지수 육종가 및 근친계수의 변화를 초래할 수 있음(표5, 표6).

- 1) 혈통검정 이후 혈통이 올바르게 표기되지 않은 개체에 대해 혈통지수(Pedigree Index) 육종가와 정확도를 확인해본 결과 육종가가 올바르게 추정되지 않아 검정 전, 후 값이 다르게 나타나는 것을 확인하였음(표5, 표6). 초우량 암소 중 개체번호 000182019357의 도체중 육종가는 -1.49에서 1.1.03으로 등심단면적의 육종가는 0.6에서 1.8로 등지방두께의 육종가는 -0.63에서 -0.28로 근내지방도의 육종가는 0.22에서 -0.1로 재추정되 대부분의 형질에서 능력이 높게 추정되며 다른 초우량 암소의 개체번호 002017957433의 능력은 반대로 낮게 추정되는 것을 확인하였음.

다. 따라서 인공수정 및 송아지 출생에서부터 철저한 혈통관리가 매우 중요하며,

친자확인으로 혈통오류를 확인하고 있지만 보다 정확한 혈통정보를 구축하여 개량서비스를 하기 위해서 유전체 기반의 친자확인 기술이 산업적으로 도입되어 정확한 부모를 찾기 위한 수단으로 활용이 필요함.

표5. 혈통검정 전, 후 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 결과 변화

암소개체번호	구분	아비	도체중	등심단면적	등지방두께	근내지방도
000182019357	검정전	KPN279	-1.499	0.636	-0.635	0.227
	검정후	KPN281	11.031	1.807	-0.281	-0.102
000194562216	검정전	KPN388	2.721	2.157	-0.935	-0.442
	검정후	KPN685	10.024	2.192	0.189	0.075
002017957433	검정전	KPN486	9.531	3.273	-0.276	-0.085
	검정후	KPN496	5.417	0.591	0.057	0.147

표6. 혈통검정 전, 후 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 정확도 결과 변화

암소개체번호	구분	아비	도체중	등심단면적	등지방두께	근내지방도
000182019357	검정전	KPN279	0.2175	0.2225	0.2225	0.22
	검정후	KPN281	0.205	0.2125	0.2125	0.2125
000194562216	검정전	KPN388	0.385	0.4	0.4	0.39
	검정후	KPN685	0.3675	0.385	0.385	0.3875
002017957433	검정전	KPN486	0.1775	0.1875	0.1875	0.18
	검정후	KPN496	0.1725	0.185	0.185	0.15

라. 혈통지수(Pedigree Index) 방법을 이용해 초우량 암소집단의 육종가를 추정하고 육종가의 분포를 다음과 같이 분석하였음.

- 1) 혈통지수 육종가 평가 결과, 도체중에서 -7.9에서 19.5, 등지방두께에서 -1.7에서 1.5, 등심단면적에서 -2.7에서 5.4 그리고 근내지방도는 -0.4에서 1.0까지 다양한 분포를 보임(그림11). 이는 사용한 참조집단을 기준으로 음의 값이 나오면 해당 형질의 가치가 낮게 평가 되는 것이고 양의 값이 나오면 해당 형질의 가치가 높게 평가 되는 것으로 초우량 암소 집단의 육종가 분포는 도체중과 등심단면적에서는 평균값이 각각 4.9와 1.6으로 평균치 보

다 높게 나타났으나 모든 초우량 암소가 평균보다 높은 것이 아니기 때문에 몇몇 초우량 암소의 능력은 평균보다 낮게 나오는 것으로 확인되었음.

- 2) 혈통지수(Pedigree Index) 정확도는 사용된 개체가 거의 같으므로 4개의 경제형질에서 비슷한 결과를 나타내었으나 도체중 및 근내지방도에서 다소 낮은 수치를 나타내었는데 이는 분석 시 해당 형질에서 특정 개체의 능력이 고려되지 않고 분석이 되었기 때문에 낮게 나타남. 각 형질별 정확도는 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도 순으로 각각 0.42, 0.45, 0.45 및 0.44로 확인되었음(표7, 8).

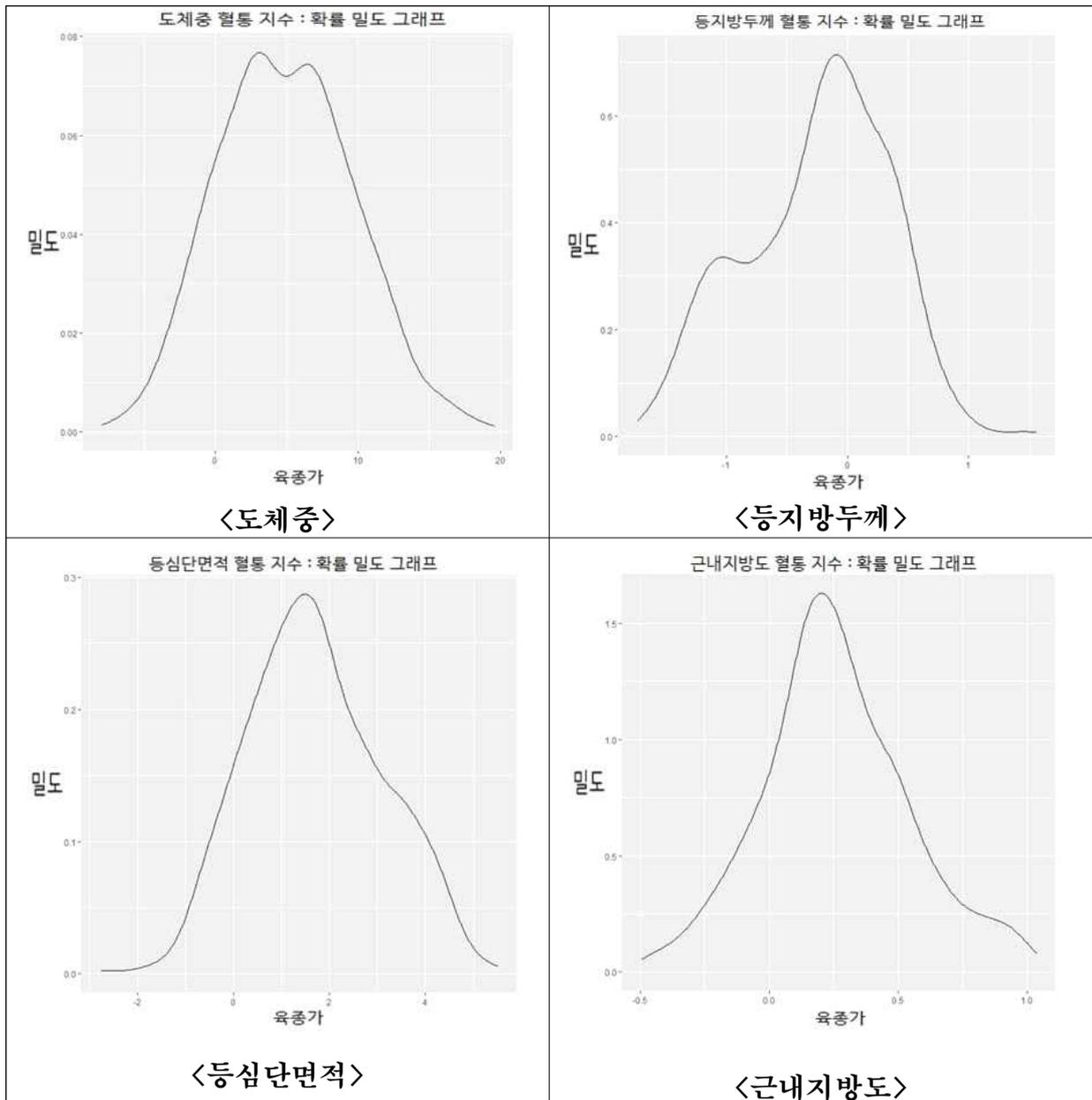


그림11. 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 분포 그래프

표7. 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 기초통계량

형질	최솟값	제1 사분위 값	중앙값	평균값	제3 사분위 값	최댓값
도체중	-7.931	1.573	4.803	4.950	8.014	19.555
등지방두께	-1.7320	-0.6745	-0.1770	-0.2483	0.2045	1.5530
등심단면적	-2.761	0.703	1.618	1.699	2.687	5.491
근내지방도	-0.4940	0.0870	0.2380	0.2591	0.4425	1.0340

표8. 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 정확도에 대한 기초통계량

형질	최솟값	제1 사분위 값	중앙값	평균값	제3 사분위 값	최댓값
도체중	0.1525	0.3425	0.4850	0.4260	0.5450	0.6300
등지방두께	0.1650	0.3650	0.5175	0.4515	0.5750	0.6550
등심단면적	0.1650	0.3650	0.5175	0.4515	0.5750	0.6550
근내지방도	0.1450	0.3675	0.4950	0.4463	0.5700	0.6475

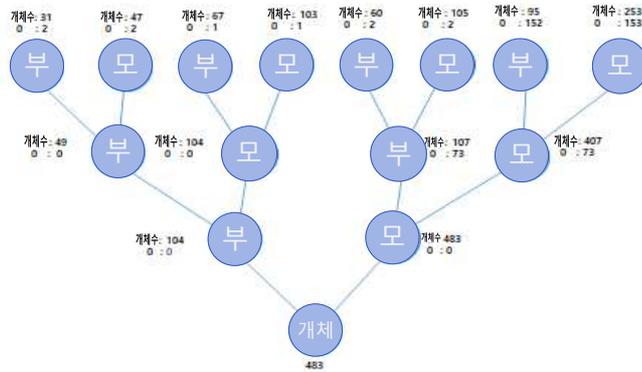
제2절. 초우량 한우암소 선발 방법 모델-2; 혈통정보를 이용한 혈통블립방법 (PBLUP)

1. 연구수행 방법 및 내용

- 가. 선발된 초우량 한우암소 집단(483두)의 유전능력을 평가하여 우량암소의 추정육종가와 우량암소 후대 성적에 따른 암소기준에 대한 정확도를 평가하기 위해 혈통 정보를 기반으로 혈통블립(PBLUP) 분석 수행함.
- 나. 혈통블립방법은 참조집단(도체형질과 혈통)을 이용해 평가집단(우량암소 483두)의 능력을 평가하는 방법으로 참조집단과 평가집단의 연관정도를 혈통 정보를 이용해 구성하며, 이는 혈통의 세대구성(pedigree depth)에 의해 영향을 크게 받기 때문에 본 연구에서는 부계 및 모계 혈통을 3세대까지 구축함.

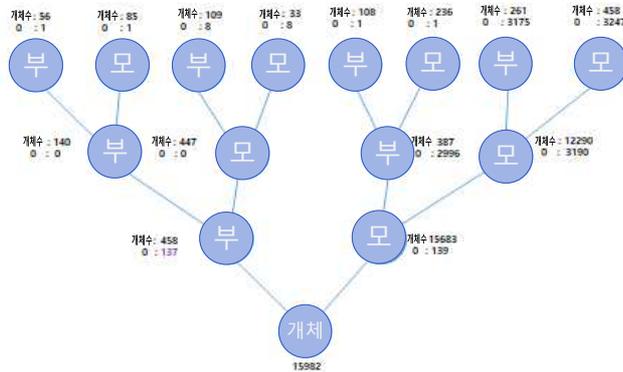
- 다. 분석에 이용된 상업축 참조집단은 2010년부터 2013년까지 출생하여 2017년부터 2019년까지 도축된 평균 30개월령 개체 총 15,982두를 분석에 이용함.
- 라. 상업축 참조집단의 고정효과로 사용한 요인은 출생년월, 도축년월, 개월령을 사용했으며, 분석형질은 4가지 도체형질(도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도)을 이용함.
- 마. 평가집단으로는 초우량 암소 483두, 전국에 산재 되어 있는 암소 6,365두, 보증씨수소(KPN) 1,113두, 추가 평가 개체 200두 총 8,161두를 이용함.
- 바. 참조집단의 정보를 이용해 평가집단의 능력을 추정할 때 혈통 정보를 이용해 연관정도를 계산하기 때문에 혈통 구성이 매우 중요하며, 일반적으로 3세대 이상 혈통으로 연결되어 있어야 원활한 혈통 연결이 가능하기 때문에 참조집단과 평가집단의 혈통 구성도를 확인 후 분석을 진행함.
- 사. 검정집단 및 참조집단 혈통구성

*평가집단



<초우량암소 3세대 혈통 구성>

*참조집단



〈한우 참조집단 3세대 혈통 구성〉

- 1) 참조집단과 평가집단의 혈통 구성도를 0세대부터 3세대까지 그림으로 나타내 각 집단에서 연결 정도를 나타내었으며, 혈통 정보는 종축개량협회(https://www.aiak.or.kr/ka_index.jsp)의 한우 개체정보조회를 이용하고 조회되지 않는 개체 혹은 조회 시 부모 정보가 없는 개체들은 0으로 표기하였음.
 - 2) 참조집단과 평가집단을 모두 합친 총 24,143두의 정보에 대한 혈통 구성 결과는 1세대부터 3세대까지 아버지는 각각 0.02%, 0.01%, 0.01%의 결측치를 나타냈으며, 어미 정보는 각각 0.02%, 0.14%, 0.29%의 결측치를 나타내 아버지는 조회가 잘되는 반면 어미정보의 결측치가 상대적으로 높아 구성이 잘 되지 않은 것을 확인하였음.
- 아. 참조집단 고정효과의 기초통계량을 살펴보면 출생년월, 도축년월, 개월령을 적용했으며 출생년도는 2010년부터 2017년도까지, 도축년도는 2013년부터 2019년까지로 확인되어 이상치가 없는 상태인 것을 파악하고 분석을 진행함.

2. 연구 결과

- 가. 유전능력평가를 위한 참조집단의 표현형 기초통계량을 살펴보면 4가지 경제 형질(도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도)에 대해 각각 평균이 441.3, 13.8, 95.9 및 5.9이며 편차는 46.1, 4.2, 11.2 및 1.8로 정규 분포한 형태를 나타내고 있어 편향되지 않은 참조집단의 데이터를 분석에 이용하였음(표9, 그림12).

표9. 한우 상업축 참조집단(N=15,982) 기초통계량

형질	중앙값	평균	편차	최솟값	최댓값
도체중	441	441.373	46.181	314	570
등지방두께	13	13.808	4.239	2	26
등심단면적	95	95.917	11.250	64	128
근내지방도	6	5.915	1.833	2	9

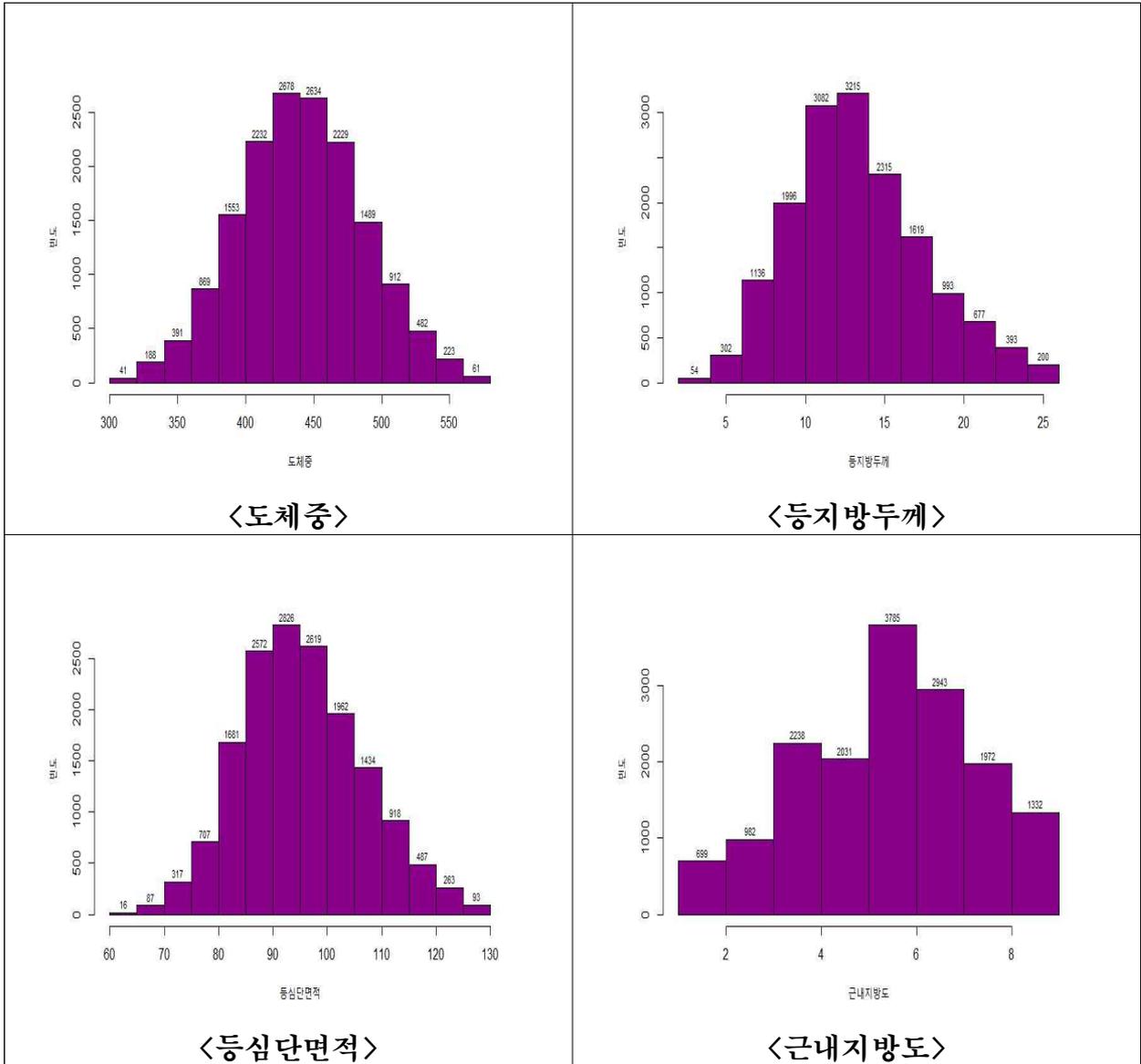


그림12. 한우 상업축 참조집단(N=15,982) 표현형 분포

나. 혈통정보를 이용해 육종가를 추정하기 위해서는 유전모수 값을 이용해야 하며 유전모수는 blupf90 family 프로그램의 하나인 airemlf90 프로그램을 이용해 추정하고 그 값을 모수 값으로 설정함.

- 1) 추정된 모수 값은 4 가지 형질에 대해 각각 유전분산, 환경분산 그리고 유전력을 추정했으며 유전력은 각각 0.27, 0.23, 0.30 및 0.36으로 일반적으로 알려진 유전력보다 다소 낮게 추정되었음(표10).

표10. 한우 상업축 참조집단 모수(혈통정보)

	도체중	등지방두께	등심단면적	근내지방도
유전분산	561.83	4.2388	36.596	1.2030
잔차분산	1473.5	13.589	82.940	2.0579
유전력	0.276	0.238	0.306	0.369
표준오차(유전분산)	66.353	0.531	4.167	0.135
표준오차(잔차분산)	51.407	0.421	3.181	0.101

제3절. 초우량 한우암소 선발 방법 모델-3; 유전체정보를 이용한 지블럽(gBLUP)

1. 연구수행 방법 및 내용

- 가. 선발된 초우량 한우암소 집단(483두)의 유전능력을 평가하여 우량암소의 추정육종가와 우량암소 후대 성적에 따른 암소기준에 대한 정확도를 평가하기 위하여 유전체정보를 기반으로 한 지블럽(GBLUP) 분석 수행함.
- 나. 지블럽(GBLUP) 방법은 참조집단(표현형, 혈통 그리고 유전체정보)을 이용해 유전체정보가 갖는 마커효과를 평가한 후에, 마커효과의 총합을 하여 개체의 유전체육종가를 평가하는 방법으로 알려져 있음. 유전체정보를 이용하여 육종가를 평가할 때 매우 유용한 점은 기존 혈통블럽(BLUP) 방법에서 문제가 되는 혈통오류문제를 해결하며 멘델리안 샘플링 오류를 제어할 수 있어 매우 유용한 방법임.
- 다. 상업축 참조집단의 고정효과로 사용한 요인은 출생년월, 도축년월, 개월령을 사용했으며, 분석형질은 4가지 경제형질(도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도)을 이용함.
- 라. 평가집단으로는 초우량 암소 483두, 전국에 산재 되어 있는 암소 6,365두를 이용하여 두 집단 간 육종가를 비교하였음.
- 마. 지블럽(GBLUP) 분석에 이용한 한우 검정집단 및 참조집단은 혈통블럽(BLUP) 분석에 사용한 개체와 동일하기 때문에 표현형 정보는 일치하나 참조집단과 검정집단

의 연관정도를 나타내는 자료(유전자형자료)가 다르며 유전자형자료에 대한 QC 처리를 필요로 함.

2. 연구 결과

가. 유전체 정보를 활용한 유전모수 추정은 blupf90 family 프로그램의 하나인 airemlf90 프로그램을 활용했으며, 유전력은 4가지 형질에 대해 각각 0.41, 0.35, 0.37 및 0.46으로 기존의 연구결과에서 알려진 유전력과 유사하게 확인됨(표11).

표11. 한우 상업축 참조집단 모수(유전체정보)

	도체중	등지방두께	등심단면적	근내지방도
유전분산	814.19	6.3067	43.295	1.5013
잔차분산	1154.9	11.442	73.364	1.7273
유전력	0.413	0.355	0.371	0.465
표준오차(유전분산)	33.537	0.293	1.931	0.058
표준오차(잔차분산)	19.940	0.191	1.230	0.031

나. 참조집단(15,982두) 개체의 유전체 육종가를 기준으로 우량암소(483두)의 유전체육종가의 분포를 확인한 결과, 4개의 도체형질에 대해서 우량암소의 유전체육종가가 다양하게 분포됨을 알 수 있었음(그림13).

- 1) 이는 후대의 표현형 기준으로 선정된 우량암소의 기준과 유전체육종가로 평가된 우량암소의 능력간의 상관성이 없는 것으로 분석됨.
- 2) 따라서, 후대의 표현형을 기준으로 암소의 능력을 평가하는 것은 정확도가 매우 떨어지는 방법으로 분석됨.

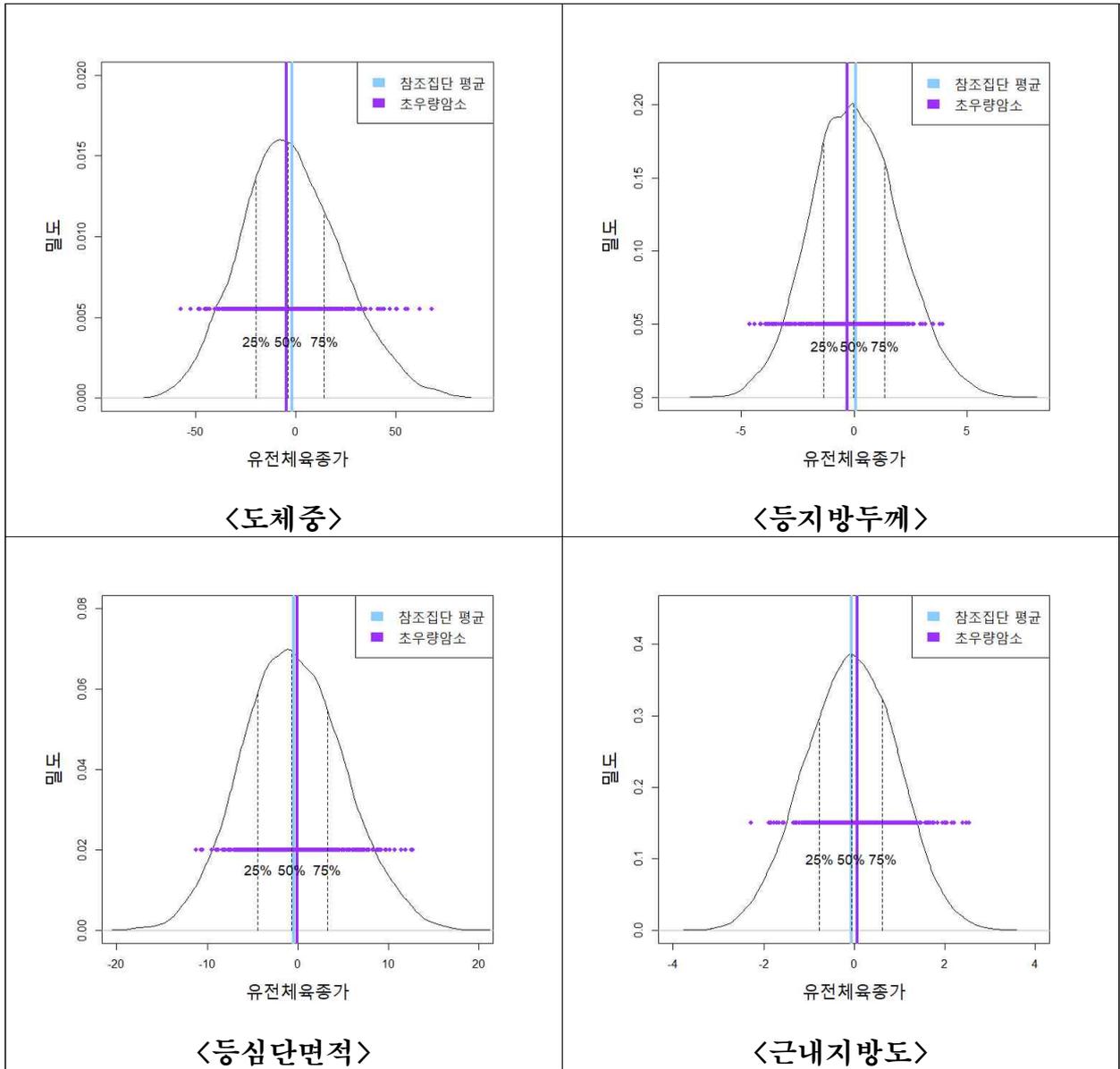


그림13. 초우량 암소(N=483) 및 참조집단(30개월) 유전체육증가(GEBV) 분포

제4절. 유전능력 추정방법(Pedigree Index, PBLUP, GBLUP)의 정확도 비교 분석

유전능력 추정 방법간 정확도 비교 분석을 위하여 두 가지 방법을 이용하여 3가지 평가 방법에 대한 정확도를 객관적으로 비교 분석함(Hans Daetwyler 제안)

첫째: 추정육종가의 표준오차(standard error)를 이용한 이론적 정확도 및 추정육종가와 표현형간 상관분석

둘째: 참 육종가(True Breeding Value; TBV)를 알고 있는 10두의 개체를 기준으로 세가지 방법에서 추정된 육종가와 상관 분석

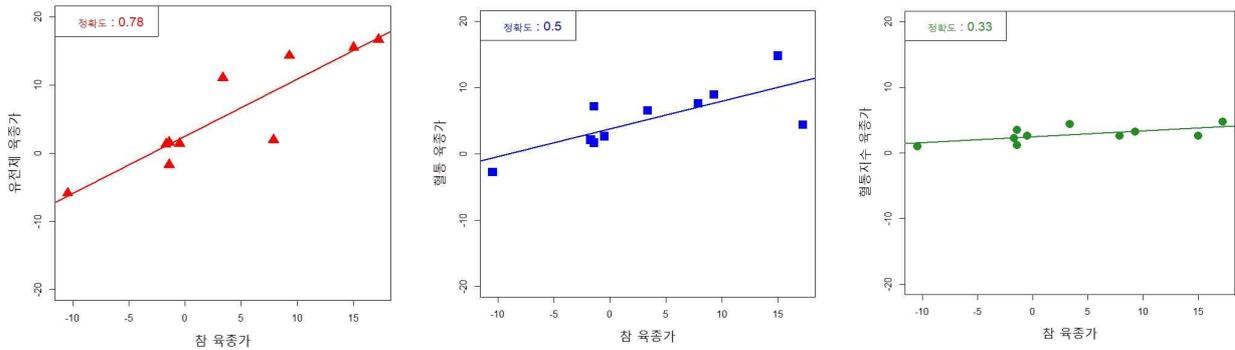
1. 첫째 추정육종가의 표준오차를 통하여 3가지 육종가 추정방법에 대한 객관적인 정확도를 분석한 결과, 혈통지수의 정확도는 38 ~ 40%, 혈통 육종가(혈통불립)는 약 50%를 보였으며, 유전체육종가(지블립)의 정확도는 72~74%의 정확도를 보였음(표12)
 가. 이는 많은 문헌에서도 보고하고 있는 바와 같이 유전체육종가(지블립)가 객관적으로 매우 정확한 평가 방법임을 알 수 있었음

표12. 추정육종가의 표준오차(SE)와 상관분석을 통한 육종가 추정 방법에 따른 정확도 분석(혈통지수, BLUP, GBLUP)

추정방법	정확도	도체중	등지방두께	등심단면적	근내지방도
혈통지수	예측오차	0.387	0.401	0.402	0.405
혈통불립	예측오차	0.503	0.498	0.507	0.513
유전체지블립	예측오차	0.725	0.706	0.711	0.741

2. 둘째로 참육종가(True Breeding Value; TBV)를 갖는 10 개체의 육종가와 지블립 유전체육종가, 혈통불립 육종가, 그리고 혈통지수(Pedigree Index) 육종가 간의 상관 및 회귀분석을 통한 3가지 추정방법에 따른 육종가의 정확도 분석(그림14)
 가. 총 4개의 도체형질에 대해서, 개체의 참육종가(TBV)를 가장 잘 설명하는 방

법은 지블럽방법, 혈통블럽, 그리고 혈통지수(Pedigree Index) 방법 순으로 분석이 되었음. 즉, 유전체정보를 이용한 지블럽방법이 형질에 따라서 약간의 차이가 있지만, 65 ~ 80%의 정확도를 보였고, 혈통블럽은 50%, 그러나, 지방형질(근내지방도, 등지방두께)에서는 매우 낮은 정확도(5%)를 보였으며, 혈통지수 육종가는 평균 30%의 정확도를 보였음



[그림14. 한우 유전능력 평가 방법에 따른 정확도 비교-참육종가와 추정육종가의 비교]

제5절. 유전평가 모델(1,2,3)간 농가 우량암소 선발 정확도 분석: 우량암소 표현형(후대), 혈통지수육종가, BLUP육종가 및 유전체육종가간의 정확도 분석

- 가설: 후대의 표현형을 기준으로 선발된 우량암소의 유전능력은 상위 25%에 모두 해당할 것이다.
- 이 가설에 대해서 총 3가지 유전평가 방법을 이용하여 각각을 비교 분석하여 가설을 검증함

우량 암소 표현형 vs 혈통지수 육종가(n=483)

1. 우량암소 표현형(후대 상위 2두, 후대 전체) vs 혈통지수 육종가의 상위 25%에 속하는 개체들을 비교한 결과, 후대 표현형기준(상위2두)으로 500kg 이상의 우량암소 중에서 혈통지수 육종가 상위 25%에 속하는 개체는 73두였고, 480kg 이상의 후대를 생산한 우량암소 중에서 육종가 상위 25%에 해당하는 개체는 약 94두로 분석되었음.

표13. 후대 표현형기준(상위2두) vs 혈통지수 암소 육종가간 비교

후대 표현형기준(상위 2두)	500kg 이상	480kg 이상	480kg 미만
표현형기준 우량 암소표본(두)	266두	360두	123두
암소육종가 상위 25%	73	94	24

표14. 후대 표현형기준(후대 전체) vs 혈통지수 암소 육종가간 비교

후대 표현형기준(후대 전체)	500kg 이상	480kg 이상	480kg 미만
표현형기준 우량 암소표본(두)	60두	118두	365두
암소육종가 상위 25%	26	41	80

우량 암소 표현형 vs BLUP 육종가(n=483)

2. 우량암소 표현형(후대 상위 2두, 후대 전체) vs BLUP 육종가의 상위 25%에 속하는 개체들을 비교한 결과, 후대 표현형기준(상위2두)으로 500kg 이상의 우량암소 중에서 BLUP 육종가 상위 25%에 속하는 개체는 73두였고, 480kg 이상의 후대를 생산한 우량암소 중에서 육종가 상위 25%에 해당하는 개체는 약 94두로 분석되었음.

표15. 후대 표현형기준(상위2두) vs 혈통블립 육종가간 비교

후대 표현형기준(후대2두)	500kg 이상	480kg 이상	480kg 미만
표현형기준 우량 암소(두)	266두	360두	123두
암소육종가 상위 25%(두)	87(53)	101(61)	20(16)

암소육종가 상위 25% : 암소표본 483두 중, 육종가 기준 상위 25%(Q1)

(): 참조집단 15,982두 개체들의 육종가를 기준으로 상위 25% 비교

표16. 후대 표현형기준(후대 전체) vs 혈통블립 육종가간 비교

후대 표현형기준(후대전체)	500kg 이상	480kg 이상	480kg 미만
표현형기준 우량 암소(두)	60두	118두	365두
암소육종가 상위 25%	25(17)	43(31)	78(49)

암소육종가 상위 25% : 암소표본 483두 중, 육종가 기준 상위 25%(Q1)

(): 참조집단 15,982두 개체들의 육종가를 기준으로 상위 25% 비교

우량 암소 표현형 vs GBLUP 육종가

3. 우량암소 표현형(후대 상위 2두, 후대 전체) vs 혈통지수 육종가의 상위 25%에 속하는 개체들을 비교한 결과, 후대 표현형기준(상위2두)으로 500kg 이상의 우량암소 중에서 혈통지수 육종가 상위 25%에 속하는 개체는 73두였고, 480kg 이상의 후대를 생산한 우량암소 중에서 육종가 상위 25%에 해당하는 개체는 약 94두로 분석되었음.

표17. 후대 표현형기준(상위2두) vs 지블립 유전체육종가간 비교

후대 표현형기준(후대2두)	500kg 이상	480kg 이상	480kg 미만
표현형기준 우량 암소(두)	266두	360두	123두
암소육종가 상위 25%(두)	87(53)	101(61)	20(16)

암소육종가 상위 25% : 암소표본 483두 중, 육종가 기준 상위 25%(Q1)

() : 참조집단 15,982두 개체들의 육종가를 기준으로 상위 25% 비교

표18. 후대 표현형기준(후대 전체) vs 지블립 유전체육종가간 비교

후대 표현형기준(후대전체)	500kg 이상	480kg 이상	480kg 미만
표현형기준 우량 암소(두)	60두	118두	365두
암소육종가 상위 25%(두)	28(15)	49(29)	72(48)

암소육종가 상위 25% : 암소표본 483두 중, 육종가 기준 상위 25%(Q1)

() : 참조집단 15,982두 개체들의 육종가를 기준으로 상위 25% 비교

4. 우량암소의 육종가와 우량암소의 부 KPN(보증씨수소) 육종가 간의 상관분석을 수행한 결과 우량암소의 육종가는 보증씨수소(KPN) 육종가와 매우 높은 상관을 보임

가. 도체중의 경우, 현재 KPN200 ~ 500번 사이는 육종가가 (-)를 보였고, 이에 따라서 우량암소의 부가 이들 KPN(보증씨수소)일 경우 암소의 육종가도 (-)를 보였음

나. 아울러, 등심단면적의 경우, 그 패턴이 보다 확실하게 보이는데, KPN 300 ~ 399은 추정육종가가 (-)이고, 암소의 육종가도 (-)를 보임, 그러나, 그 외 KPN들의 경우 육종가가 (+)이고, 암소의 육종가도 (+)로 나타났음

다. 이러한 결과는, 현행 한우개량 체계에서 암소의 육종가는 그의 부계 KPN (보증씨수소)의 육종가와 매우 높은 상관을 보임(그림15)

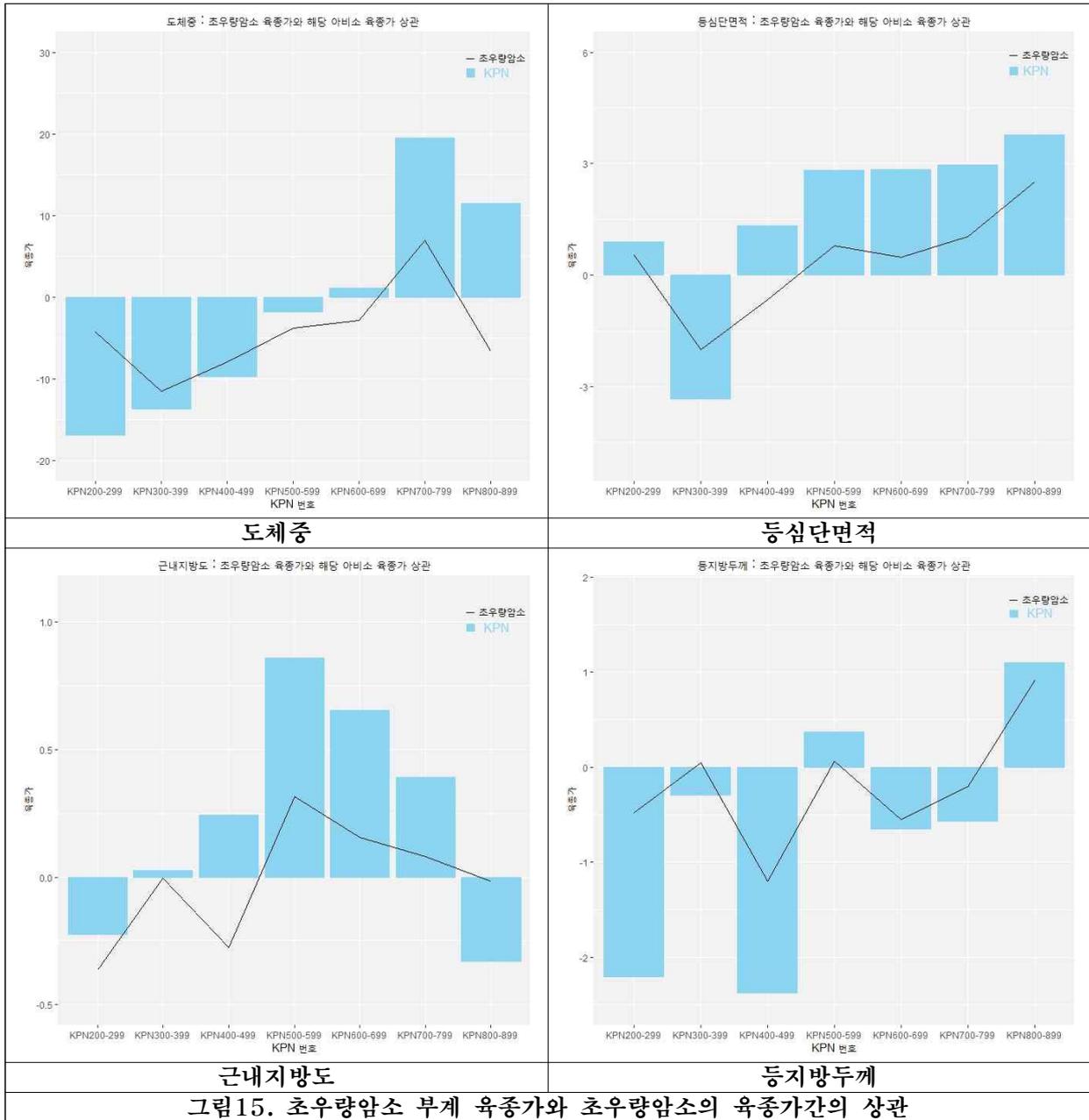


그림 15. 조우량암소 부계 육종가와 조우량암소의 육종가간의 상관

결론적으로, 세 방법을 비교 분석한 결과, 후대의 도체성적을 기준으로 우량 및 조우량 암소를 선정하는 기준은 **정확도가 약 17%**로 나타남. 이는 표현형으로 선발한 결과를 제공하여 정확도가 낮게 나타남. 혈통지수로 개체를 선발하는 방법보다 더 낮은 방법으로 평가됨. 따라서 유전적으로 우수한 개체의 선발을 위해 혈통등록기관에서 일부 선도 개량농가에게 제공하고 있는 육종가, 유전체육종가, 신뢰도 등을 전체 한우농가에 제공하여 서비스하고, 공신력있는 기관에서 유전평가에 의한 평가방법에 따라서 개체를 선발하고 활용해야 할 것으로 판단됨

제6절. 우량 암소 후대 표현형에 영향을 미치는 요인 분석(KPN 씨수소 및 우량암소 육종가의 기여도 추정연구)

1. 우량한우 암소의 후대(자손)의 표현형(도체형질)에 영향을 미치는 유전적 요인을 분석하기 위해서, 우량암소(483두)의 후대(자손) 2,448두의 도체형질을 확보하여 회귀분석(regression analysis)을 수행하였음. 회귀 모델은 아래와 같음

$$y \sim u + KPNBV + Dam.BV + e$$

여기서, y = 도체형질(도체중), u = 전체평균, $KPNBV$ = 우량암소와 교배된 씨수소의 육종가, $Dam.BV$ = 우량암소의 육종가, e = 임의 오차

2. 우량암소 후대의 표현형에 영향을 미치는 요인(회귀분석) 결과, 씨수소의 육종가 및 우량암소의 육종가 모두 통계적으로 유의한 결과를 보임(표19)

표19. 회귀분석결과

	추정치	표준오차	통계량	통계적유의확률값
절편 값	448.97	1.83	245.70	0
초우량암소 육종가	0.68	0.11	6.43	3.06E-10
보증씨수소 육종가	0.99	0.10	10.27	1.74E-22

3. 두 요인(우량암소의 육종가 및 씨수소의 육종가)의 기여도 분석결과, 우량암소의 후대성적에 영향을 미치는 요인은, 현행 한우개량체계에서 씨수소의 기여도가 약 18%였고, 우량암소의 기여도는 약 8%를 차지하고 있었음(표20)

표20. 기여도 분석

상업축(GEBV)	통계적유의확률값	기여도(설명력-R2)
우량암소 BV + 씨수소 BV	2.20E-16	0.252
씨수소 육종가(BV)	2.20E-16	0.176
우량암소 육종가(BV)	1.33E-10	0.081

제5장. 우량 한우암소 선발 및 이를 활용한 효율적 암소개량 모의실험

제1절. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 모의실험 설계

1. 우량암소의 선발 및 효율적인 활용을 위한 암소 기반의 모의실험을 실행하였으며, 선발된 우량암소를 기반으로 효율적이고 안정적인 집단을 구성하기 위한 목적으로 시뮬레이션(모의실험연구)을 진행하였음.
2. 모의실험은 최적선형불편추정(Best Linear Unbiased Prediction; BLUP)을 기반으로 가상의 가축 집단을 생성할 수 있으며, 다양한 모수 값을 추가 설정함으로써, 더욱 현실성 있고 다양한 목적에 맞는 가상의 가축 집단을 생성할 수 있음.
 - 가. 혈통 데이터뿐 아니라, 유전체 육종가 추정 방법(GBLUP)을 위한 유전체 데이터(SNPs)까지 생성
 - 나. 모의실험은 QMSim software를 사용하였으며, 프로그램의 경우 캐나다 겔프대학교 가축 및 가금류학과(University of Guelph, Canada의 Department of Animal and Poultry Science)에서 2013년에 프로그램 개발을 하였음.

제2절. 우량암소 관련 모의실험의 필요성 및 목적

1. 모의실험의 필요성 및 목적
 - 가. 효율적인 우량암소들의 개량은 집단유전학적 측면으로 보았을 때, 근친의 제거가 필수적 요소임. 근친으로 인한 집단의 멸종 및 근친퇴화가 일어날 수 있음. 집단의 근친 기준을 수립하고, 모의실험을 통하여 효율적인 암소개량의 기준을 수립하는 것이 우량암소 관련 모의실험의 목적임.
2. 근친의 정의 및 성질
 - 가. 근친이란, 직계 친척들과의 교배를 의미하며, 근친이 이루어지기 위해서는 공통조상을 가지고 있어야 하는데, 공통조상이란 둘 이상의 개인에게서 공통된 조상이라는 의미를 지니고 있음. 그러므로 근친계수는 개체들의 전형

매 또는 반형매 같은 혈연관계에 따라 민감하게 변화됨(표21).

- 나. 많은 근친이 일어나게 되면 해당 개체나 집단에서 동형 접합의 상동유전자 비율이 크게 증가를 함. 이는 다시 말해, 이형접합의 상동 유전자의 비율은 감소가 된다고도 말할 수 있음.
- 다. 집단에 있어 이형접합의 상동 유전자는 다른 의미로 집단의 유전적 다양성이라고도 말할 수 있으며, 이는 하디-웨인버그(Hardy-Weinberg Equilibrium) 가정을 충족한다는 가정하에, 근교계수 변화율 증가는 유효집단(Effective population size)에 크게 영향을 미치는 요인 중 하나가 될 수 있음.

3. 유효집단의 정의 및 근친계수와와의 연관성

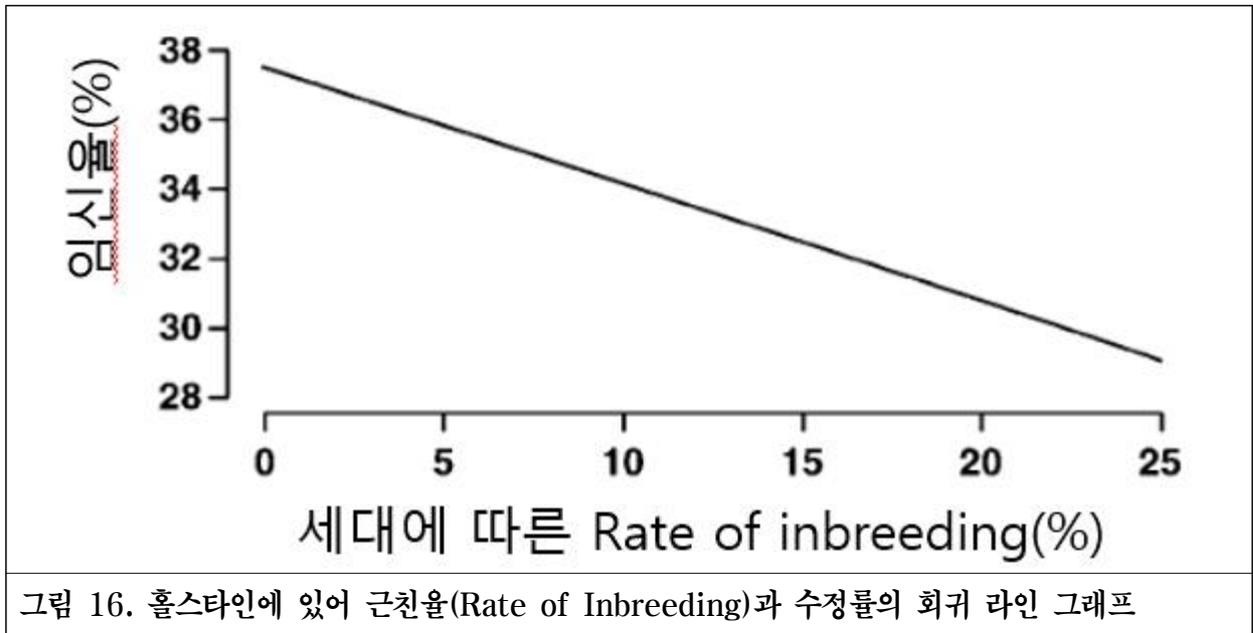
- 가. 유효집단이란 “세대가 거듭되더라도 집단내의 유전자 빈도(즉, 대립유전자의 빈도)가 변하지 않고 유지되는 개체수의 최소 숫자” 로 정의 될 수 있음.
- 나. 제한되고 적은 수의 가축들을 사용하거나, 임의적인 개체들의 계속된 선발은 근친계수(Inbreeding coefficient)를 증가시키고, 이에 따라 유효집단의 크기가 작아져 근친퇴화(Inbreeding depression)가 일어나거나 심각하면 집단의 멸종위기까지 일어날 수 있음.

4. 근친퇴화의 정의 및 문제점

- 가. 근친퇴화란, 근친의 증가에 따라 일어나는 문제점들을 나타내며, 근친계수가 증가함에 따라 양적 형질의 능력이 저하하거나 선천성 불량 형질이 많아지고, 가축의 번식률이나 성장률, 산란율 및 생존율 또한 저하 시킬 수 있음을 의미함.
- 나. 근친퇴화에 있어, 이미 수많은 선행연구가 진행되고 있으며, 이전의 연구 논문에 의하면, 홀스타인(Holstein)에서 근친계수와 수정률이 반대의 상관성을 나타내고 있다고 발표된 논문(Gonzalez-Recio et al., 2007)이 있음(그림16). 그러므로, 전국 농가단위 우량암소의 선발 및 이를 활용한 집단의 유전학적 모의실험이 필수적이며, 모의실험을 통하여 근친도 및 집단의 효율적인 선발을 위한 다양한 요소들을 평가하고자 함.

표21. 다양한 혈연관계에 따른 근친계수

유전적 관계(유사도)	근친계수 (%)
자신의 부모와 교배한 개체 (eg 아버소 / 어미소)	25%
반형매 교배	12.50%
전형매 교배	25%
증조부 혹은 증조모를 공통조상으로 가진 개체	3.10%



제3절. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 모의실험 모수 값 설정 및 가상의 가축 집단 구축

1. 모의실험 프로그램 모수 값 설정 및 집단 구축

가. QMSim software를 활용하여 모의실험을 진행하였으며, 프로그램을 실행하기 위해서는 분석에 사용될 집단의 사이즈, 유전 모수 및 부가적 설정을 해주어야 함.

- 나. 모의실험에 사용된 집단의 유전력은 0.4, 표현형 분산은 1.0의 값을 지닌 모의실험 집단을 생성하였음. 모의실험 1단계 (역사적 세대)에서는 초기집단의 사이즈를 생성해주었고, 0세대부터 250마리의 집단 사이즈를 시작으로 100세대 까지 2,000두의 한우 집단을 생성하였음. 연관불평형(LD; Linkage Disequilibrium) 및 유전적 구조를 생성하는 단계를 역사적 세대에서 진행하였음.
- 다. 모의실험 2단계 (최근 세대)에서 각 집단에 사용되어질 초기 수소(male) 그리고 암소(female)의 수를 지정해주었음. 수소(male)의 수가 5두, 10두, 25두, 50두일 때, 암소(female)의 수가 100, 500, 그리고 1,000두라는 시나리오를 각각 생성함.
- 우량암소, 우량암소와 교배할 씨수소의 교체율에 대해서는 암소의 경우 교체율 10%, 30%, 그리고 씨수소의 경우에는 교체율 20%, 70%로 설정함

<보충설명>

- 암소의 교체율: 10%(총 100두중 10%인 10두를 다음 세대 유전능력이 우수한 암소로 교체)
- 수소의 교체율: 교체율 20%는 우수한 씨수소의 교체를 세대별로 20%로 교체한다는 의미(즉 1세대에서 5두의 씨수소를 사용하면, 다음 세대에서는 4마리는 1세대에서 사용한 씨수소, 그리고 1마리는 유전적으로 거리가 먼 씨수소 사용) 이고, 70% 설정은 매 세대마다 100% 다른 씨수소를 사용해야 하지만, 씨수소의 유전적 유사도를 고려하여 70% 교체율을 모의실험하였음

2. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 가상의 가축 집단 설정

- 가. 암소집단의 사이즈 크기에 따른 집단의 근친계수 및 유효집단의 사이즈를 확인하기 위하여, 다양한 사이즈의 암소 집단을 생성함. 또한, 집단의 초기 수소(male) 사이즈 또한 5두, 10두, 25두, 50두(그리고 교체율 20%, 70%)로 나누어 수소의 다양성이 집단의 근친계수 및 유효집단의 사이즈에 미치는 영향을 확인하고자 각각 생성해주었음.
- 나. 모든 집단은 1세대부터 15세대까지 생성하였고, 생성되는 가축의 성비는 수소, 암소 각각 50%씩으로 입력을 함. 각 암소마다 생성되는 자손의 수는 항상 1두로 지정을 해주었으며, 모든 개체들의 교배체계(Mating system)는 추정 육종가(EBV)를 기준으로 선택교배(Assortative selection)를 설정함. 수소

의 교체율은 20%로 하여, 현재 세대에서 다음 세대로 넘어가는 수소의 두수를 항상 일정하게 유지해 주었음. 우량암소의 교체율은 10% or 30%로 2가지의 비율을 유지하여 주며, 다음 세대로 교체되어 내려가는 개체들의 수가 10% 혹은 30%일 때 집단의 근친계수 및 유효집단의 크기에 미치는 영향을 확인하고자 함. 모든 개체들의 선발과 도태는 개체들의 EBV를 기준으로 선발 및 도태를 진행하였으며, 동물 최적선형불편추정 모델(animal BLUP model)을 기반으로 진행함. 유전체 육종가 추정(GBLUP)을 위한 개체들의 유전자형(Genotype)데이터, 단일염기다형성(Single Nucleotide Polymorphism; SNP)을 생성해 주었으며, 염색체(chromosome)의 수는 한우와 같이 총 29개를 생성해 주었으며, 성 염색체는 이번 분석에서 제외됨.

- 다. 총 생성된 단일염기다형성(SNP)의 수는 약 80,000개 이며, 양적형질좌위(QTL)의 수는 각 염색체 당 50개씩 총 1,450개의 QTL을 생성함. 양적형질좌위효과의 경우 정규분포를 기반으로 랜덤하게 추출 되어졌으며, 생성되는 마커들의 돌연변이 생성률은 0.0001%로 지정함
- 라. 유전자형 오류(Genotyping Error)는 데이터의 보다 정확한 분석을 위하여, 이번 모의실험에서는 지정해주지 않았으며, 이와 같은 모수들을 사용하여 분석의 목적성과 유사한 한우 집단을 생성함.

표22. QMSim 모의실험을 위한 유전모수(parameter) 파일 정보.

유전모수 정보(Global parameters)	
유전력	0.40
표현형 분산	1.00
유전 분산	0.4
잔차 분산	0.6
1단계: 역사적 세대-기초집단(HG)	
세대 수(집단 크기) - 단계 1	250 (0)
세대 수(집단 크기) - 단계 2	2,000 (100)
2단계: 최근세대-개량세대(RG)	
초기집단으로부터 선발된 최초 수소 개체 수	5 or 10 or 25 or 50
초기집단으로부터 선발된 최초 암소 개체 수	100 or 500 or 1,000
세대 수	15
어미 당 자손 수	1
수컷 비율	50%
교배 체계	선택교배 (Assortative)
수소의 교체율	20% 와 70%

암소의 교체율	10% 와 30%
선발 / 도태	육종가 추정
육종가 추정 방법	가축 최적선형불평추정(BLUP)
유전체(Genome)	
염색체 수	29
총 길이	5,000
마커 수	80k
마커 위치	무작위(random)
대립유전자 빈도 수	eql
양적 형질 좌위 위치	50
양적 형질 좌위 대립유전자 수	all 2
양적 형질 좌위 대립유전자 빈도 수	from 정규분포 (normal distribution)
유전자 돌연변이 비율	1.00E-04

3. 가상의 가축 집단 근친 정도 분석

가. 총 24가지의 시나리오로 구성이 되었고, 이 분석의 목적은 집단을 유지하는 개체의 두수 혹은 교체율에 따라 집단의 근친계수 변화 정도 및 양상을 보고자 하는 것이 목적임. 근친계수는 아래와 같은 방정식을 통하여 개체들의 근친계수를 구하였으며, 세대별 집단의 근친계수 또한 아래와 같은 식 (1)을 사용하여 계산을 진행함.

$$F_X = \sum [(1/2)^{n+1} (1 + F_A)] \dots \dots \dots (1)$$

나. F_X 는 근친계수이며, n 은 X 개체의 아버지(Sire)와 어머니(Dam)를 통하여 공통 선조까지 도달하는 세대수를 의미하며, F_A 는 공통선조 A 의 근친계수를 의미함. 위와 같은 방정식을 통하여 개체들의 근친계수를 계산한 뒤 집단의 평균 근친계수 또한 계산을 수행함.

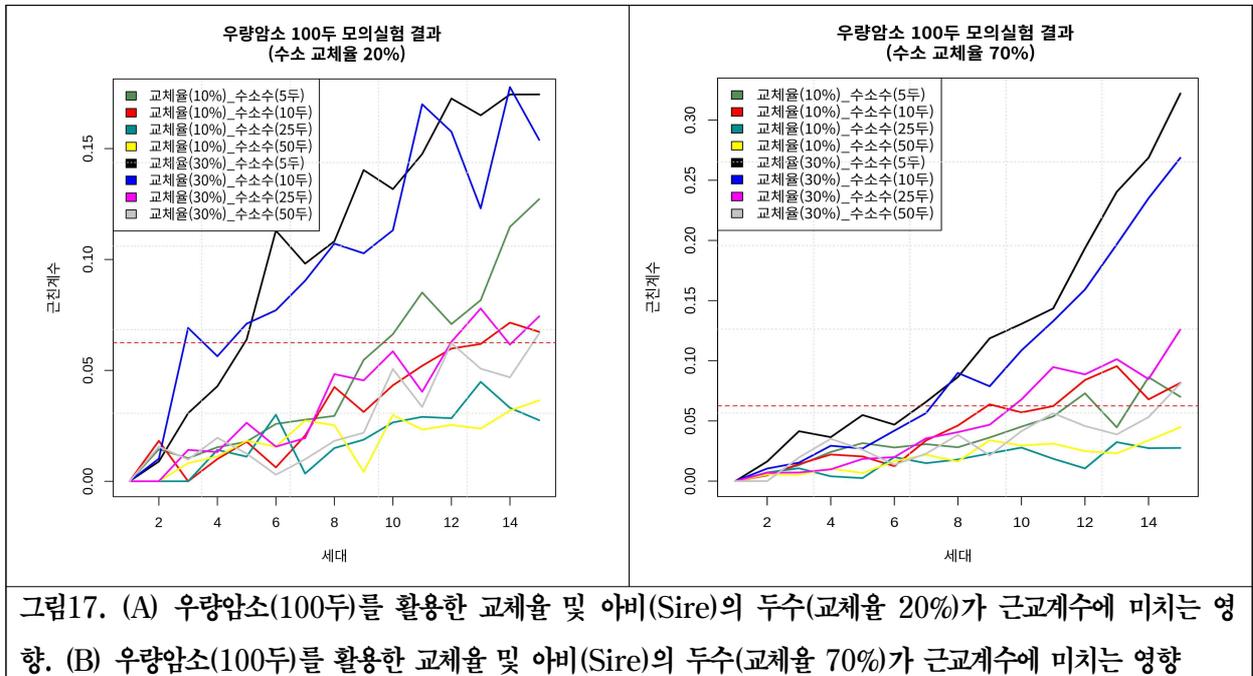
제4절. 우량암소 선발 방안 연구를 위한 모의실험 결과

1. 모의 실험에 대한 가상 가축 집단의 근친 분석 결과 및 선발 방안

가. 100마리의 우량암소 집단을 시작으로 암소집단의 크기를 유지하면서, 다음 세대 자손 생산을 위하여 우량암소에 교배할 씨수소(Sire)의 수를 5두, 10

두, 25두, 50두로 교체한다는 가정하에 모의실험을 진행하였음. 모의실험에서 암소집단의 세대간 교체율을 10% 혹은 30%로 설정하였고, 씨수소의 교체율은 20% 및 70%로 설정하여 우량암소 100마리 집단을 8가지 시나리오로 나누어서 분석을 실행함(그림17).

나. 모의실험 결과, 우량암소 100마리를 기준으로 가장 근친의 계수가 빠르게 증가하고 이로 인해 유효집단의 크기가 급격하게 줄어들어 근친누적이 발생하는 시나리오는 암소 교체율 30%, 그리고 씨수소 교체율 20%(특히 적은수의 씨수소 5두, 10두)였음. 이 경우 약 3~4세가 지나면 현행 한우 교배계획프로그램에서 설정한 근친계수 임계점 6.25%를 상회하고 있었음. 그러나 동일한 조건에서 씨수소의 교체율을 70%로 설정할 경우, 근친 누적이 점진적으로 증가하여 약 7세대 후에 근친계수 6.25%를 상회함. 그러나, 암소의 교체율을 10%로 하고, 사용하는 씨수소의 수를 10두 이상 그리고 교체율을 70%로 한다면 매우 안정적으로 근친을 제어할 수 있을 것으로 분석됨.



다. 우량암소 집단을 구축한 뒤 다음 세대 암소를 선발하는 개념의 교체율을 크게 하면 할수록, 우량암소 집단의 평균 근친계수는 같이 증가하는 양의 상관관계를 보였으며, 교체율이 10%일 경우의 집단들은, 50두의 씨수소를 이용하여 자손을 생산하는 집단에서 보다 5두의 씨수소를 이용하여 자손을 생산하는 집단의 평균 근친계수가 더 높은 것을 확인 할 수 있음. 여기에서 각 세대마다

씨수소의 교체율은 20%와 70%로 설정하였음.

라. 우량암소의 두수를 500두와 1,000두를 기준으로 집단을 구축한 모의실험 결과, 마찬가지로 교체율이 증가하고, 씨수소의 두수가 적고 교체율이 적을 수록 집단의 근친계수가 급격하게 상승하며 빠르게 근친퇴화의 영향을 받을 수 있다는 결과를 볼 수 있었음. 우량암소 500두 기준으로 암소 교체율이 30%, 그리고 씨수소 교체율이 20%인 경우 평균 3~4세대 만에 근친이 임계점에 도달하였고, 씨수소 교체율이 70%인 경우에서도 사용하는 씨수소의 숫자가 적을 때 6~7세대만에 근친이 증가하는 것으로 분석되었음(그림18,19)

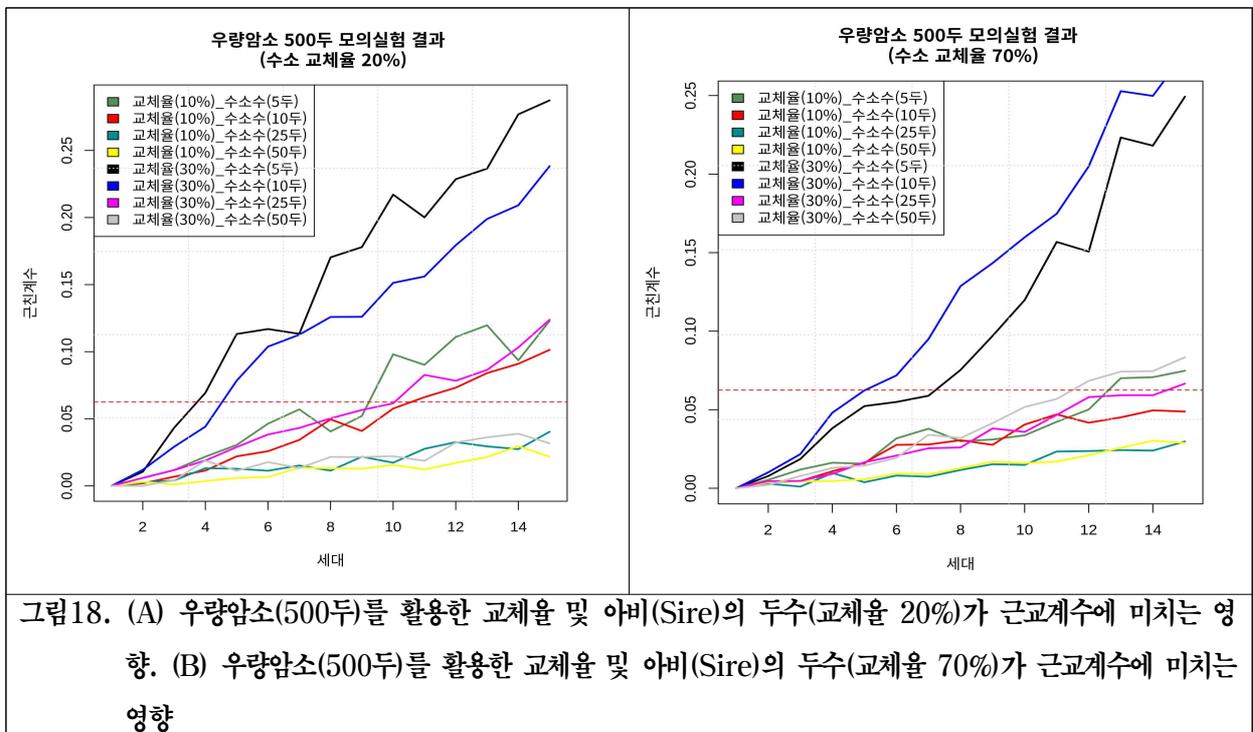
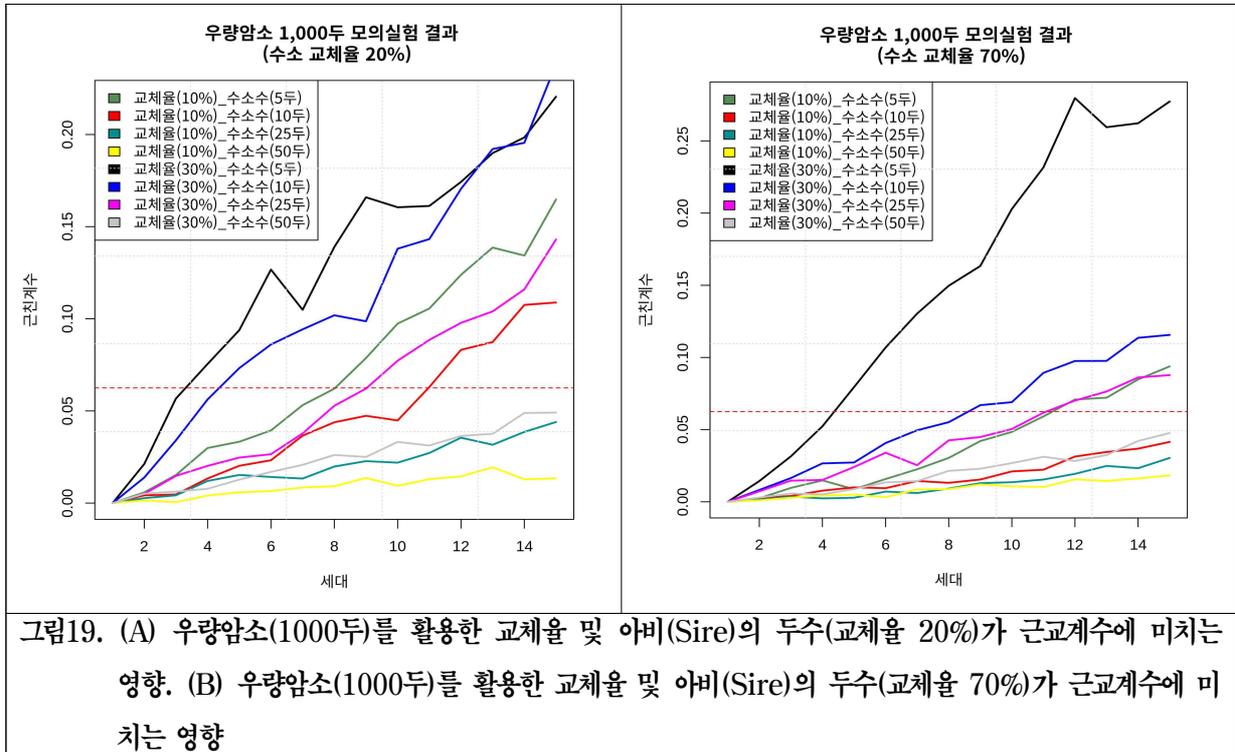


그림18. (A) 우량암소(500두)를 활용한 교체율 및 아버(Sire)의 두수(교체율 20%)가 근교계수에 미치는 영향. (B) 우량암소(500두)를 활용한 교체율 및 아버(Sire)의 두수(교체율 70%)가 근교계수에 미치는 영향



마. 전체적으로 유지 가능한 수소(Sire) 및 암소(Dam)의 두수가 많고 다양할수록 집단의 다양성은 증가하고 집단의 평균 근친계수 또한 낮게 유지할 수 있음. 이번 모의실험의 기본 전제조건은 우량암소 집단을 생성한 이후 타 집단의 개입이 전혀 일어나지 않는 폐쇄적인 집단육종을 진행하였음. 타 집단의 유입 없이 오로지 기초 집단 크기를 기준으로 개량을 진행하여 나갔으며, 씨수소의 가계 수 및 두수의 다양성이 집단의 유지에 큰 영향을 미치는 요인으로 확인하였음. 이와 같은 여러 가지 집단의 유전적 다양성을 위한 요인들을 고려하며, 집단을 유전적으로 다양하게 유지해 나가는 것이 매우 중요함.

제5절. 우량암소 선발 모의실험 연구에 대한 유효집단 크기 추정 및 결과

1. 집단의 유효집단 크기 추정

가. 근친계수는 집단의 유효집단크기에도 큰 영향을 미친다는 연구 결과가 존재함. 유효집단의 크기가 작은 집단은 유전적 부동의 발생 시 유전적 다양성의 소실을 가져 올 가능성이 매우 크며, 집단의 유지가 매우 어렵기에 집단유전학적 관점에서도 매우 중요하게 고려해야 되는 부분임.

나. 미국 국제연합식량농업기구(FAO, 2004)에서 가축의 유전적 다양성을 위하

여 유효집단의 크기를 최소한 50 이상을 유지하라고 권장하고 있으며, Meuwissen (1999)은 집단의 적응도가 줄어드는 때를 유효집단의 크기가 100 이하 일 때라고 제안하였음. 집단 또는 보존 유전학적 시각으로 볼 때, 유효집단의 크기는 매우 중요한 요소 중 하나라는 것을 확인할 수 있음. 유효집단의 크기는 근교계수 변화율에 크게 영향을 미치며, 아래와 같은 수식 (2)에 의해 계산됨 (Falconer & Mackay, 1996).

$$N_e = \frac{1}{2 \Delta F} \dots \dots \dots (2)$$

위 (2)에서, ΔF 는 평균 세대 당 근교계수 증가량이며, 세대 간 이형접합의 상동 유전자 비율의 상대적 감소 크기로 아래와 같은 공식 (3)에 의해 계산됨.

$$\Delta F = \frac{F_n - F_{n-1}}{1 - F_{n-1}} \dots \dots \dots (3)$$

(3)에서, ΔF 는 평균 세대 당 근교계수 증가량이며, F_n 은 n 세대의 근교계수이며, F_{n-1} 은 n-1 세대의 근교계수를 의미함.

다. 총 24가지의 시나리오를 분석한 결과, 교체율(Replacement ratio), 아버지(Sire)의 두수 그리고 우량암소 집단의 암소 두수의 차이에 따른 각 시나리오별 유효집단의 크기를 추정할 수 있었으며, Replacement ratio가 30% 이면서, Sire의 두수가 5두 일 때 작은 유효집단의 크기를 가지는 것을 확인할 수 있음. 높은 유효집단의 크기 기준은 Replacement ratio 30%, Sire의 두수가 50두 일 때 비교적 높은 유효집단의 크기를 나타내고 있음.

2. 모의실험의 한계점 및 결론

가. 모의실험을 통하여 기초축이 되는 수소와 암소들은 똑같은 개체들을 가지고 시뮬레이션을 하였지만, 시뮬레이션을 시행 할 때마다 다음 세대부터 선발되는 개체들의 순위 혹은 근교계수의 비율이 일정치가 않기에 암소집단의 두수

크기에 의한 근교계수의 비율 차이 및 유효집단의 크기를 비교하기는 매우 어려움. 추가적으로, 암소집단의 두수 증가가 일어나더라도 수소 마리당 교배 되어지는 암소의 비율은 변함이 없기 때문에, 위와 같은 시나리오와 모의실험을 통한 한계점 또한 존재함.

나. 집단의 유지 및 육종을 위한 집단의 선발 기준은 위의 시나리오와 같이 폐쇄적이지 않은 유전적인 다양성을 지닌 집단들을 보유하며 유지하는 것이 첫째 중요한 포인트이며, 두 번째는 교체율과 암소와 수소의 비율을 동등하며 다양하게 지니고 가는 것이 집단의 멸종을 오랫동안 방지하고 다양한 유전적 자원을 지닐 수 있다는 결론임(그림 20).

표 23. 근교계수를 이용한 유효집단의 크기 추정 결과

교체율 수소 암소	10%				30%			
	5두	10두	25두	50두	5두	10두	25두	50두
100두	55.84	109.3	278.82	206.28	39.89	47.13	99.14	111.43
500두	58.52	70.6	183.38	342.76	22.67	27.90	57.14	235.27
1,000두	42.07	65.58	167.3	558.53	30.63	28.02	48.96	149.46

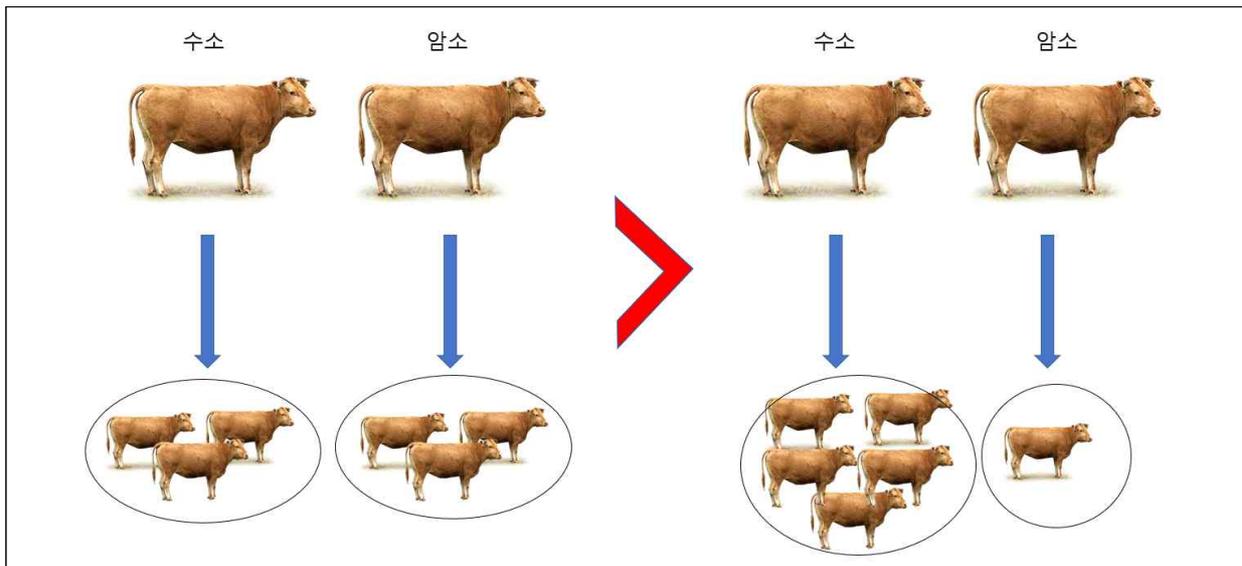


그림 20. 근교계수의 최소화를 위한 수소와 암소의 다양성 예시

제6장. 연구 결론 및 정책 제언

〈유전능력기반 암소선발 및 증식방향〉

제1절. 유전능력평가를 통한 암소 선발

1. 상가적 유전모델(Additive Genetic Effects)과 멘델리안 오류(Mendelian sampling error)를 고려한 평가방법

가. 상가적인 유전효과(Additive Genetic Effects; 육종가)를 예측하기 위해서 부모의 유전적 능력이 자손에게 전달되는 유전모델을 이해해야 함. 아래 그림 21를 보면, 부모는 각각 두 개의 서로 다른 유전자 복사본(상동염색체)을 가지고 있지만, 그들은 단지 한 개만 그들의 자손에게 물려줌. 그리고 어떤 유전자가 자손에게 어떻게 내려가는지 알 수 없음. 즉 대립유전자의 쌍을 예측하기 어려움. 따라서, 각 유전자는 각 부모 당 두 개의 대립유전자가 있고, 자손은 4가지의 대립유전자 조합이 가능함

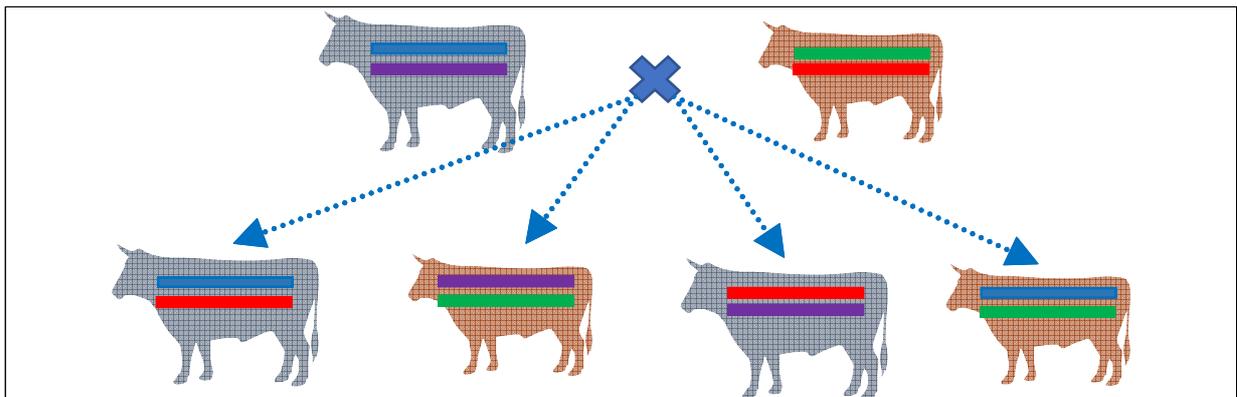


그림 21. 자손은 부모로부터 한쌍의 염색체를 받고, 어떤 염색체를 받을지는 우연의 문제로 이러한 우연이 멘델리안 오류를 발생시킨다.

멘델리안 샘플링: 각 부모로부터 자손에게 유전 물질의 절반을 배분(분배)할 기회 요인을 나타낸다. 즉 부모로부터 50%를 물려 받지만, 나머지 50%는 어떤 대립유전자를 받을지 알지 못하는 오류. 이러한 오류로 인해서 부모의 능력만으로 자손의 능력을 예측하는데 오류가 발생함

- 나. 가축의 참육종가(True Breeding Value; TBV)는 상가적 유전효과의 값이며, 그 값의 절반이 자손으로 유전됨.
- 다. 아래의 개체육종가에 대한 양적유전학적 이론을 설명하면, 실제 참육종가(TBV)는 부의 육종가의 반($1/2A_{sire}$), 모의 육종가의 반($1/2A_{dam}$) 그리고 멘델리안 오류(MS)로 구성되어 있음
- 라. 여기서 이들 구성을 분산의 개념으로 설명하면, 0.25의 부의 상가적유전의 분산, 0.25의 모의 상가적 유전의 분산, 그리고 0.5의 전체 상가적유전분산(멘델리안오류)로 설명이 가능함.
- 마. 이러한 결과는, 개체의 육종가를 추정할 때, 자손의 표현형, 혈통지수 및 혈통정보를 이용하여 평가하는 BLUP 평가는 멘델리안 오류에 대한 효과는 추정이 불가능함

$$TBV_{offspring} = 1/2A_{sire} + 1/2A_{dam} + MS$$

$$\sigma_A^2 = 1/4var(A_{sire}) + 1/4var(A_{dam}) + var(MS)$$

$$var(A_{sire}) = var(A_{dam}) = var(A)$$

따라서, $var(MS) = 1/2var(A)$

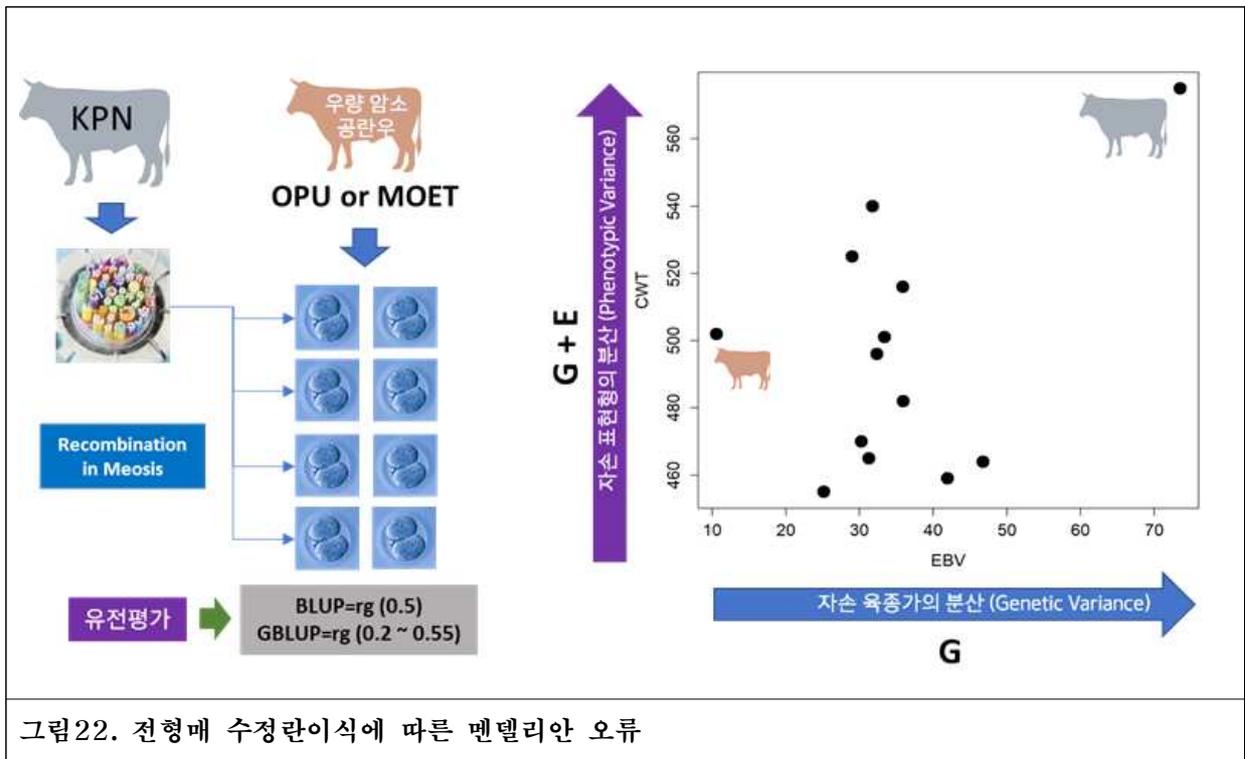
- 바. 멘델리안 오류(Mendelian sampling)는 대립유전자가 동형접합인 경우보다, 이형접합인 경우에서 보다 크게 발생하기 때문에, 부모의 대립유전자상의 조합에 의해서 분산이 크거나 작게 나타남
- 사. 따라서 개체의 유전자형(부모의 대립유전자 쌍 확인 가능)을 이용한 유전체육종가는 상가적유전효과 추정시 기존 방법의 불완전성을 어느정도 상쇄하면서 개체의 육종가를 정확하게 추정 가능함

2. 그림 22과 같이, 능력이 우수한 공란우로부터 난(embryo)를 채취하여 능력이 매우 우수한 씨수소의 정액으로 수정란을 생산하여 다수의 전형매 자손을 생산하더라도, 이들 다수의 자손의 능력은 부모의 우수성을 모두 갖지 않음. 그 이유는 멘델리안 오류(유전자의 재조합 포함)로 인하여 발생함
- 가. 다수의 자손을 BLUP으로 평가한다면, 이들 다수의 자손은 모두 같은 육종가를 보임(혈연관계의 평균값을 이용하기 때문, 즉 반형매 25%, 전형매 50%).

나. 그 이유는 다수의 자손간 유전적 유사도가 평균 50%로 같기 때문이다.

다. 그러나, 유전체정보를 활용하여 GBLUP으로 평가한다면 유전체의 대립유전자를 정확히 설명하기 때문에 다수의 자손간 유전적 유사도(즉 DNA 유사도)가 적게는 0.25에서 많게는 0.55까지 다양하게 추정(유전자 재조합 및 멘델리안 샘플링)되어, 개체의 육종가의 차이 및 다양성을 보임

라. 이러한 이유로, 개체의 유전체정보를 이용하여 유전평가를 진행하여 우량 암소를 선발하는 방법이 가장 정확하다고 할 수 있음



마. 결론적으로, 개체가 갖는 유전체의 대립유전자 쌍으로 개체의 능력을 평가하는 유전체 선발방법이 멘델리안 오류를 그나마 예측하고 정확하게 평가함으로써 개체의 유전능력을 정확하게 평가할 수 있음

제2절. 유전능력기반 암소 증식방향

1. 농가에서 유전능력이 우수한 암소의 선발은 최근 개발된 개체의 유전체정보를 활용하여 능력을 평가하는 유전체선발방법을 적용하는 것이 가장 정확한 방법으로

평가할 수 있음

- 가. 축산 현장에서 유전능력이 우수한 초우량암소를 선발하고, 이들 유전자원을 활용하여 농가의 암소개체를 빠르게 증식하기 위해서는 그림23과 같은 과정을 이용하여 유전체도움-수정란이식(Genomic Assisted Embryo Transfer, GAET)방법을 수행하는 것이 매우 효율적임
- 나. 배양된 수정란으로부터 생검을 채취하여 수정란의 유전체를 분석한 후 수정란의 유전능력을 추정(성감별)
- 다. 우수한 능력의 수정란을 수란우에 이식한 후 초우량 암소 증식

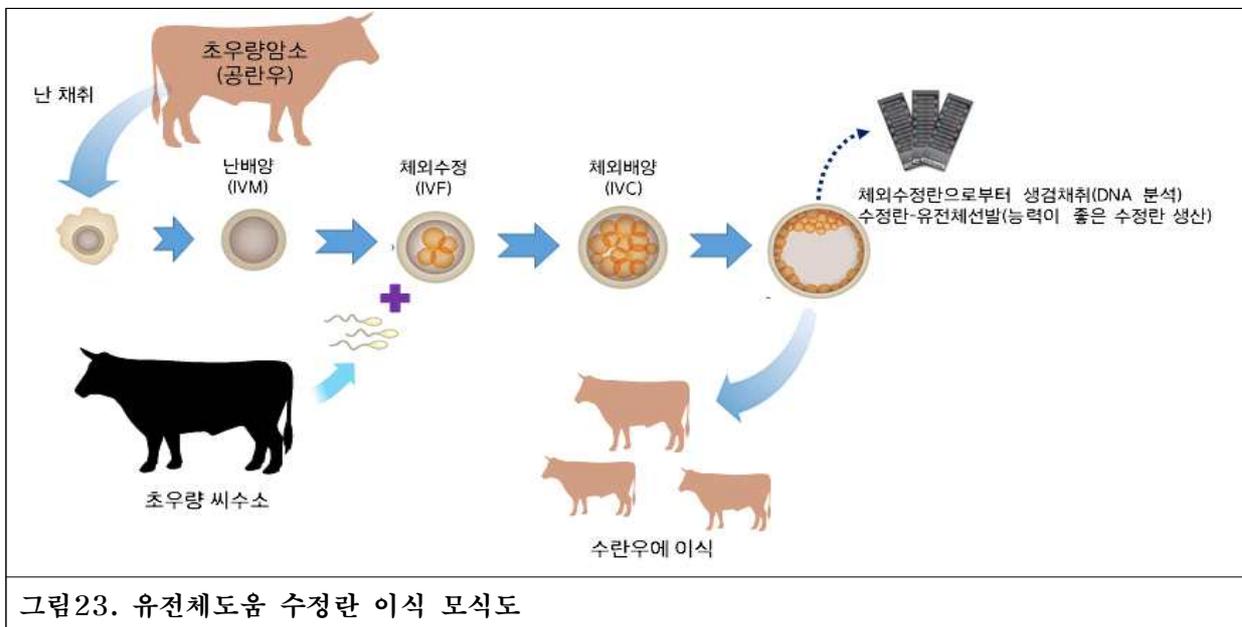
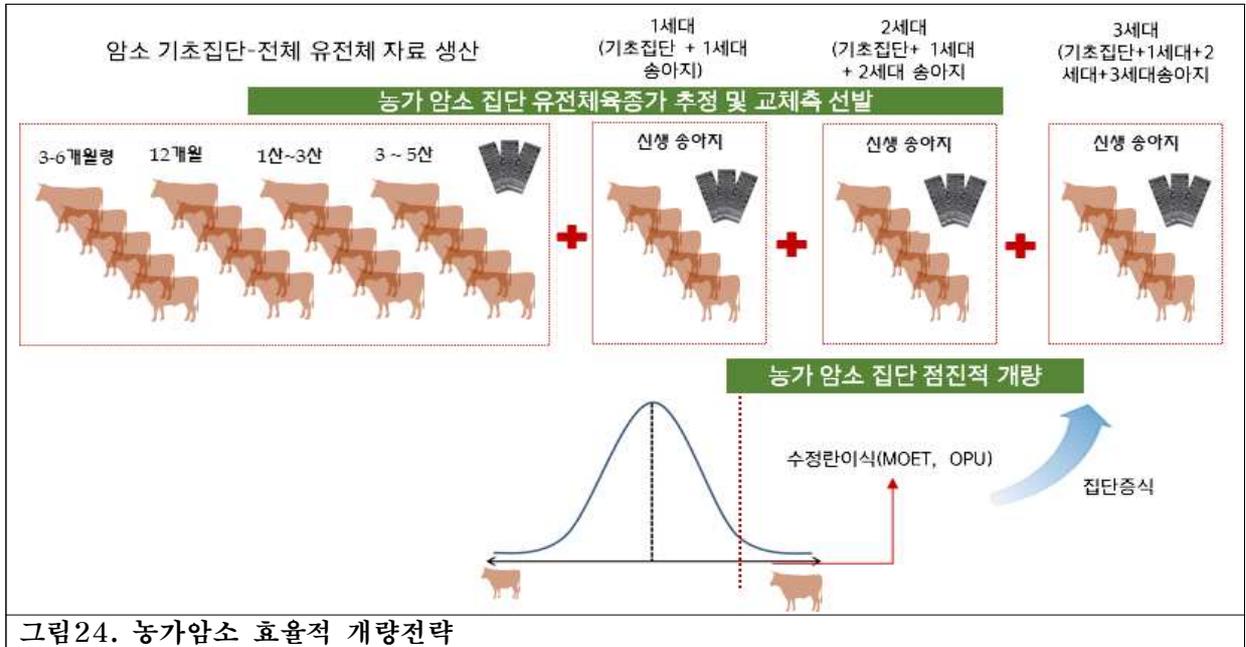


그림23. 유전체도움 수정란 이식 모식도

- 2. 유전체선발(GS) - 수정란이식(MOET, OPU) 방법을 병행한 암소개량 효율화를 위해서 농가단위 유전능력이 우수한 암소를 유전체선발방법을 통하여 조기선발(교체축선발)함으로 농가 암소집단의 점진적 개량
- 가. 이들 암소 집단 중에서 유전능력이 가장 우수한 암소에 대해서 수정란을 생산하고, 이들 수정란의 유전체검정을 통하여 우수한 개체 증식(그림24)



제3절. 정책 제언

1. 가축의 유전적 개량은 개량목표형질을 조절하는 유전자의 점진적인 누적효과에 의한 유전능력의 향상을 기대함으로, 단기간에 개체의 개량을 유도하는 것이 아님.
 - 가. 따라서 농가가 보유하고 있는 암소의 능력을 유전체정보를 활용하여 평가하고, 순위를 결정한 후에 능력이 떨어지는 개체들에 대해서 교체하는 암소관리시스템 도입이 필요
 - 나. 현재, 국가연구기관-농협-지자체를 중심으로 “한우암소 유전체컨설팅사업”을 진행 중에 있음
 - 다. 수정란이식은 유전적으로 우수한 개체를 증식하는 중요한 수단임에 분명함, 그러나 농가에서 유전평가를 우선 수행하고, 이들 개체들 중에서 우수한 개체의 수정란기술을 병행도입하면 농가의 암소개량을 증가시킬 수 있을 것으로 사료됨
2. 대규모 농가 한우 암소유전평가를 진행하기 위해서는 유전체육종가 평가와 관련된 참조집단(Reference population; 현행 국가 보유)활용, 유전체정보 생산에 필요한 산업 육성 및 보다 빠르고 사용하기 쉬운 서비스체계 구축을 위한 논의 및 연구 필요
 - 가. 한우 참조집단 대규모 구축(추정 육종가의 신뢰도 향상을 위해 필요)
 - 암소개량은 도체형질 뿐만 아니라 번식형질도 매우 중요한 형질로서 향후 대규모 참조집단 구축시 추가적으로 암소 번식형질에 대한 형질을 추가함으로써 번식 및 도체형질이 우수한 암소 개체 선발에 활용
 - 국가 연구과제를 기반으로 구축된 참조집단을 기반으로 향후 한우자조금 및 한우협회가 한우 참조집단(유전체선발) 구축의 필요한 연구자금 지원
 - 나. 유전체정보 생산(산업-유전체회사 육성)
 - 농가한우 암소의 유전체정보를 빠르고 정확하게 생산할 수 있는 서비스체계 구축 필요
 - 유전체 정보 기반 한우암소개량 방법은 기존 한우 동일성 검사(초위성체마커 활용) 방법을 대체하는 방법으로 한우 동일성 검사기관과 유전체회사가 어떻게 유기적인 협업을 할 수 있을지 대안 마련(예산 중복성 및 검사기관 지정 등)
 - 다. 유전체정보 생산을 위해서는 현장에서 보다 쉽고 빠르게 개체의 시료(모근,

혈액 등)를 채취하여 유전체회사에 전달하고 평가하여 농가에 서비스 될수 있는 유전체서비스체계(유전체정보생산-유전체평가-농가서비스 등) 구축이 필요

본 보고서에 대한 지적재산권은 한우자조금관리위원회에 있으며, 본 연구결과 및 내용의 일부 또는 전부를 인용하는 경우에는 한우자조금관리위원회 자료 인용에 대한 내용을 명기한 경우에만 사전 승인 없이 무상으로 인용할 수 있음