

[임업종요기사 필기] 임목육종학 핵심 요약

임업종요기사 국가기술자격시험의 출제 경향을 정밀 분석하여, 수험생이 반드시 숙지해야 할 임목육종학의 핵심 이론과 실전 계산법, 관련 법규를 구조화한 고효율 요약서입니다. 임목은 생육 기간이 길고 환경 조절이 어렵다는 특수성이 있으므로, 본서에서 제시하는 유전적 원리와 통계적 설계 원칙을 논리적으로 이해하는 것이 단기 합격의 핵심입니다.

1. 유전 및 집단 유전의 기본 원리

임목육종의 성패는 집단 내 유전적 변동을 얼마나 정확히 파악하느냐에 달려 있습니다.

1.1 멘델의 유전법칙

- 우성의 법칙: F1에서 대립형질 중 우성 형질만 발현되는 현상.
- 분리의 법칙: 생식세포 형성 시 대립유전자가 분리되어 각각의 생식세포로 들어가는 원리.
- 독립의 법칙: 두 쌍 이상의 대립형질이 서로 간섭 없이 독립적으로 유전되는 법칙.

1.2 하디-바인베르크(Hardy-Weinberg) 법칙의 5대 전제 조건

집단의 유전자 빈도가 세대를 거듭해도 변하지 않는 평형 상태를 유지하기 위한 조건입니다.

1. 대집단: 유전자 표류(Genetic drift)에 의한 우연한 변동을 방지할 수 있는 충분한 크기.
2. 무작위 교배: 집단 내 모든 개체가 동일한 확률로 교배에 참여.
3. 도태(선택) 부재: 특정 유전자형에 유리하거나 불리한 선택적 압력이 없음.
4. 돌연변이 부재: 유전자 자체의 본질적인 변화가 발생하지 않음.
5. 유전자 이동(이주) 부재: 외부 집단과의 유전적 유입이나 유출이 차단됨.

1.3 자식약세와 잡종강세의 메커니즘

- 자식약세(Inbreeding Depression): 근친교배 시 유해 열성 유전자가 동형접합(Homozygosity)으로 고정되어 활력이 저하되는 현상.
- 잡종강세(Hybrid Vigor/Heterosis): 양친보다 우수한 형질이 나타나는 현상.

- 초우성설: 이형접합(**Hetero**) 상태 자체가 우성 동형접합보다 생리적으로 우월하다는 가설.
- 우성유전자연쇄설: 연쇄된 우성 유전자들이 서로의 열성 결함을 상호 보완한다는 가설.
- 상가적 효과설: 여러 유전자의 개별 효과가 누적되어 전체 형질을 강화한다는 분석.
- 세대별 변화 추이: 잡종강세는 **F1** 세대에서 극대화됩니다. 그러나 **F2** 세대에서는 유전자 분리(**Segregation**) 및 이형접합성 감소로 인해 효과가 반감되며, **F3** 이후에는 점차 유전적 평형을 찾아갑니다. 따라서 육종 전략상 매대 **F1** 종자를 생산·보급하는 것이 경제적으로 가장 유리합니다.

유전의 기본 원리는 개별 유전자의 상호작용과 특수 발현 현상을 통해 실제 형질로 구체화됩니다.

2. 유전자 상호작용 및 특수 발현 현상

2.1 다면발현과 상위성

- 다면발현(**Pleiotropy**): 단일 유전자가 두 개 이상의 독립적인 형질 발현에 동시에 관여하는 현상.
- 상위성(**Epistasis**): 한 좌위의 유전자가 다른 좌위 유전자의 발현을 억제하거나 변형시키는 비대립유전자 간 상호작용입니다. 이는 선발 시 예상치 못한 형질 고착을 방해하는 변수로 작용합니다.

2.2 제니아(**Xenia**)와 메타제니아(**Metaxenia**) 비교 분석

비교 항목	제니아 (Xenia)	메타제니아 (Metaxenia)
발현 부위	배(Embryo), 배유(Endosperm) 등 종자 내부	종피, 과육 등 모체 조직 (과실 외형)
유전 정보 출처	부계(화분)의 직접적인 유전 정보 반영	부계 화분의 호르몬적·생리적 자극

모체 조직 영향	영향 없음 (차대 조직에서 발현)	직접적 영향 (당대 모체 조직에서 발현)
대표 예시	옥수수 낱알의 색깔 변화	밤의 크기, 대추의 성숙기 변화

2.3 염색체 변이의 육종적 가치

- **반수체(Haploid):** 염색체 수가 n 인 개체로, 콜히친 처리를 통해 단기간에 ****완전 순계(Pure line)****를 얻을 수 있어 육종 기간 단축에 결정적입니다.
- **콜히친(Colchicine) 처리:** 세포 분열 시 방추사 형성을 억제하여 염색체를 배가시킵니다. **0.1~0.5%** 농도의 수용액을 종자나 생장점(**Growing point**)에 처리하는 것이 표준입니다.
- **3배체(Triploid):** 2배체와 4배체의 교잡으로 유도하며, 종자 결실은 불가능하나(불임) 세포 거대화로 인해 영양생장이 매우 왕성합니다. 목재 생산량 극대화를 위한 육종에 주로 활용됩니다.

이러한 유전적 특성을 실제 임목 개량에 적용하기 위해서는 우수 자원을 선별하고 채종원을 통해 고정하는 과정이 필수적입니다.

3. 수형목 선발 및 채종원 조성 전략

3.1 선발 기준의 명확화

- **수형목(Plus tree):** 외형적 표현형이 주변 우세목보다 월등히 우수한 개체입니다. 단, 주변과 격리된 고립목은 유전적 우수성보다 환경 효과에 의한 생장일 가능성이 크므로 선발에서 제외합니다.
- **정영목(Elite tree):** 수형목 중에서 ****차대검정(Progeny test)****을 거쳐 유전적 우수성이 객관적으로 입증된 개체만을 지칭합니다.

3.2 채종원(Seed orchard) 고도화 운영

- **1.5세대 채종원:** 기존 채종원에서 차대검정 결과를 기반으로 유전적 능력이 떨어지는 클론을 제거(**Thinning**)하거나, 검증된 최우수 클론만을 별도로 모아 재배치한 형태입니다.

- 자식약세 방지 전략: 임목은 타식성 식물로서 근친교배 시 활력이 급감합니다. 이를 방지하기 위해 채종원 설계 시 동일 클론 간 수분이 일어나지 않도록 거리 격리 식재 및 클론의 무작위 배치를 엄격히 시행합니다.

3.3 조합능력(Combining Ability) 검정

- 일반조합능력(**GCA**): 한 개체가 여러 상대와 교배되었을 때 나타나는 평균적 성적이며, 상가적 유전 효과와 관련이 깊습니다. 주로 반형매(**Half-sib**) 차대검정으로 확인합니다.
- 특수조합능력(**SCA**): 특정 양친 조합에서만 나타나는 특출난 성적(잡종강세)이며, 전형매(**Full-sib**) 차대검정을 통해 검정합니다.

선발된 자원을 바탕으로 인공 교잡을 실시하거나 기후 조건이 유사한 외래 수종을 도입함으로써 육종 성과를 가속화합니다.

4. 교잡, 도입 육종 및 조기검정 기법

4.1 인공 교잡 육종의 실례

- 리기테다소나무(***P. rigitaeda***): 1956년 서울대학교와 임목육종연구소의 주도로 시작되었습니다. 리기다소나무의 내한성과 데다소나무의 속성수 특성을 결합한 대표적 성공 사례로, 약 **81**개 이상의 교잡 조합 분석을 통해 최적의 계통을 선발하였습니다.
- 현사시나무: 은백양과 사시나무의 교잡종(***P. alba* × *P. glandulosa***)으로 산지 적응력이 탁월합니다.

4.2 도입 육종과 리스크 관리

- 도입 시 원산지와 도입지 간의 기후 유사성 분석은 기본이며, 특히 평균치보다는 ****기후 극한값(최저기온, 가뭄 임계점 등)****에 대한 적응 여부가 성패를 좌우합니다.
- 구주소나무와 같이 지리적 분포가 넓고 유전 변이가 큰 수종은 산지(**Provenance**)에 따른 적응성 차이가 극심하므로 도입 전 산지 시험이 선행되어야 합니다.

4.3 조기검정(Early test)의 실무적 방법

수십 년이 소요되는 임목 육종의 시간을 단축하기 위한 기법입니다.

1. 유묘-성목 상관: 묘목기의 생장 특성과 성목기의 형질 간 상관계수를 산출하여 조기에 선발.

2. 효소 분석: 동위효소(Isoenzyme/Allozyme) 분석을 통해 특정 유전자형과 표현형의 연관성을 파악.
3. 환경 변이 배제: 유전력이 낮은 형질을 제외하고, 유전적으로 고정된 형질 위주로 조기 평가하여 정확도를 높임.

육종의 모든 성과는 객관적인 수치와 통계적 설계를 통해 검증되어야만 그 가치를 인정받습니다.

5. 시험 설계 및 유전 통계학적 분석

5.1 시험림 설계 및 배치 원칙

임지 변이를 최소화하기 위한 배치 전략이 필수적입니다.

- 난괴법(RCBD): 지력 차이를 블록(반복) 내에서 균일하게 제어하는 방법으로 가장 널리 쓰입니다.
- 경사지 배치 원칙: 지력(토양 비옥도)의 경사는 대개 등고선에 수직 방향으로 형성됩니다. 따라서 반복구(Block)는 등고선과 평행하게 배치하여 블록 내 지력을 균일하게 유지하고, 시험구(Plot)는 등고선과 수직으로 배치하여 모든 반복구가 동일한 지력 구배를 포함하도록 설계해야 합니다.

5.2 유전력 및 유전획득량 산출

유전 통계학의 핵심은 분산(V)의 분할입니다.

- 유전력(H^2 , h^2): 표현형 분산(V_P) 중 유전 분산(V_G)이 차지하는 비중입니다.
 - $V_P = V_G + V_E = (V_A + V_{\{NA\}}) + V_E$
 - 광의의 유전력(H^2): V_G / V_P
 - 협의의 유전력(h^2): V_A / V_P
 - 용어 정의: V_A (상가적 유전분산), $V_{\{NA\}}$ (비상가적 유전분산; 우성 및 상위성 효과), V_E (환경분산).
- 유전획득량(ΔG): 개량된 세대에서 얻는 기대 효과입니다.
 - $\Delta G = S \times h^2$ (여기서 S는 선발차)

5.3 [실전 예제] 유전력 산출 과정

문제: 소나무 3본의 수고가 1m, 3m, 5m일 때, 환경 분산(V_E)이 1.5라면 광의의 유전력을 구하시오.

1. 평균($\bar{x}$) 산출: $(1+3+5) / 3 = 3m$
2. 표현형 분산(V_P) 산출:
 - $\sum(x - \bar{x})^2 = (1-3)^2 + (3-3)^2 + (5-3)^2 = 4 + 0 + 4 = 8$
 - 불편분산 $V_P = 8 / (3-1) = 4$
3. 유전 분산(V_G) 산출: $V_G = V_P - V_E = 4 - 1.5 = 2.5$
4. 유전력 산출: $H^2 = 2.5 / 4 = 0.625$ (답: **62.5%**)

육종 기술의 성과물인 신품종의 권리는 법적으로 보호되며, 종자 산업의 질서를 유지하기 위한 규정을 준수해야 합니다.

6. 식물 신품종 보호 및 종자 관련 법규

6.1 품종보호권 및 존속기간

수험 시 기간 수치를 명확히 암기해야 합니다.

- 품종보호권 존속기간: 일반 작물은 **20년**이지만, 영년생 식물인 과수 및 임목은 **25년**으로 설정되어 있습니다.
- 품종목록 등재 유효기간: 등재된 날로부터 **10년**입니다.

6.2 신품종 보호의 4대 요건 (DUS 요건 + 신규성)

1. 신규성(**Novelty**): 출원일 이전 일정 기간 상업적으로 이용되지 않았을 것.
2. 구별성(**Distinctness**): 기존 품종과 하나 이상의 형질이 명확히 다를 것.
3. 균일성(**Uniformity**): 동일 세대 내 개체 간 형질이 충분히 동일할 것.
4. 안정성(**Stability**): 반복 증식 후에도 고유 형질이 변하지 않을 것.

6.3 종자산업법 및 실무

종자의 생산 및 유통 관리를 위해 종자관리사 제도를 운영하며, 국가 표준에 따른 품질 검사(순량률, 발아율 등)를 통과해야 합니다. 특히 채종원은 국가의 엄격한 설계 기준에 따라 조성·관리되어야 하며, 이는 우량 종자 공급의 법적 기반이 됩니다.

이상의 핵심 개념과 통계적 분석법, 그리고 법적 기준을 체계적으로 정리하고 반복 숙지한다면 임업종묘기사 합격을 위한 완벽한 대비가 가능합니다.