

한국양식학회
2003년 제1회
현장 세미나

넙치 선발 육종 프로젝트

국립수산과학원
거제수산종묘시험장
김경길

넙치 선발육종 프로젝트

국립수산과학원 어류육종연구팀 김경길

1. 육종의 필요성

양식산업의 사육에 관한 기술 등은 급격하게 발전하고 있지만 속성장 및 외부환경이나 병에 견디어낼 수 있는 품종개발의 기술은 아직도 농축산업에 비해서 초보적 단계에 있다. 양식산업의 수익성 향상을 위해서는 무엇보다도 우수한 품종의 선정과 양질의 종묘를 사용하는 것이 필요하다.

한 국가의 1차 산업 경쟁력은 그 나라 종묘산업의 발전 정도에 비례한다고 할 수 있을 만큼 우수한 종묘의 생산은 그 산업 자체의 손익분기점을 결정하는 가장 중요한 요인으로 작용하고 있다. 금후 양식업의 발전을 위해서는 기존의 양식 품종을 성장 및 생존율이 높고 환경에 대한 저항력이 강하며, 내병성이나 사료 효율이 높을 뿐 만 아니라, 맛과 외부형태 등이 우수한 품종으로 개량해 나갈 필요가 있다.

2. 육종의 개념

육종은 생물의 유전적 소질을 개량하여 새로운 형의 동물이나 식물을 만드는 일로 육종에 의하여 만들어진 새로운 품종을 신품종이라 한다. 육종이란 용어는 20세기 초에 만들어졌으며, 품종개량과 거의 같은 뜻으로 사용된다. 육종과정은 진화의 순서에 입각하여 이루어지고, 육종 내용 또한 진화처럼 유전적 변이를 추구하는 것이지만 진화의 방향이 자연적인데 비하여 육종은 인간 의지에 따라 그 방향이 정해지는 인위적인 진화라고 할 수 있다.

생물의 진화는 유전자 돌연변이, 염색체 돌연변이, 세포질 변이와 같은 유전적 변화와 감수분열시 유전적 재조합으로 생긴 여러 가지 유전자형 중에서 환경에 적응하는 것이 자연 선택된 다음, 그 유전자형의 집단이 격리

됨으로써 일어나게 된다. 여기서 유전적 변이의 생성과 선발 및 격리의 일부 또는 전부를 인위적으로 제어할 때 육종이 성립된다.

육종은 다음의 단계에 따라 이루어진다. 먼저, 문제점 인식→육종 목표 설정→육종방법 결정→변이의 확대→선발→생산성 및 지역적응성 검정→품종등록→종묘증식→보급→양식산업화 같은 과정을 거쳐 완성된다.

실질적인 협의의 육종에 있어서의 첫 단계는 새로운 변이를 창출해 내는 과정으로, 현재로서는 교배방법이 가장 중요하게 쓰이고 있다. 다음 단계는 다양한 변이를 포함하고 있는 교배 후 집단에서 우리가 목표로 하는 몇 개의 계통을 찾아내는 선발 과정으로 이 단계는 가장 힘들고 시일이 오래 걸리며 많은 노력이 소요되는 과정이다. 이 과정을 통과한 선택된 계통들은 대단히 엄격한 생산성·내병성 및 지역 특이성 등을 검정하는 과정을 거쳐 최종 우수품종이 탄생하게 되는 것이다. 따라서 선발이라고 하는 것은 육종의 한 방법이라기 보다는 육종을 행하는 데 있어 반드시 거쳐야 할 하나의 과정이라는 것을 인식할 필요가 있다. 이러한 선발은 육종방법에 따라 판이하게 달라지게 된다.

그러나, 최근까지의 육종 연구는 대상종의 유전 성분에 대한 정확한 분석 없이 선발을 행함으로써 대상종에 적합한 육종계획을 수립 할 수 없었다. 단지, 염색체 조작이나 성비의 조작 등의 기술을 이용한 영역에 머물러 있었으며, 최근에 들어서는 클론의 생산, 성장 호르몬 유전자의 도입 등의 방법이 수행되고 있다. 즉, 대상어종의 특유한 유전조성이나 유전양상을 바탕으로 하는 육종이 이루어지지 않고 있다. 그 결과, 일부 어종에서는 유전적 열성화 현상에 의한 내병성 저하 및 품질 저하 현상이 초래되고 있다.

현대 육종학은 확실한 유전학적 기반을 두고 구축되어야 하며, 그렇게 하지 않을 경우 그 효과는 미미하거나 오히려 역효과를 유발함으로써 돌이킬 수 없는 결과를 초래하기도 한다. 육종학적 방법에 의한 어류 품종 개량을 위해서는 우선 모든 생물에 공통적인 유전 법칙을 고려하는 것은 물론, 양식 대상종 특이의 유전학에 대한 충분한 자료를 근거로 고려되어야만 한다.

3. 선발육종

생물체는 형태학적, 생리학적 및 생화학적인 다양한 변이를 가지고 있다. 이러한 변이들은 크게 유전이 가능한 것과 단순히 환경요인에 의한 것으로 나눌 수 있다. 선발육종이란 유전이 가능한 변이 중 경제적으로 유용한 변이를 가진 개체가 세대를 거듭하여 교배함으로써 유용 유전자 변이를 축적하여 개체가 가지고 있는 유전적 한계를 극대화하는 것이다(그림 1). 즉 종이 갖고 있는 유전자 자체를 개량하는 것이지 유전자수를 추가하거나 감소시키는 것은 아니며, 각 유전자 좌(locus)에 있는 불량한 대립유전자(allele)를 우량한 대립유전자로 교체하는 것이다. 다시 말하면 목적하는 유용 유전자 빈도를 높여 집단 평균을 좋은 방향으로 이동시킴으로서 유전적 개량 값을 최대로 얻고자 하는 것이 선발육종의 목표이다.

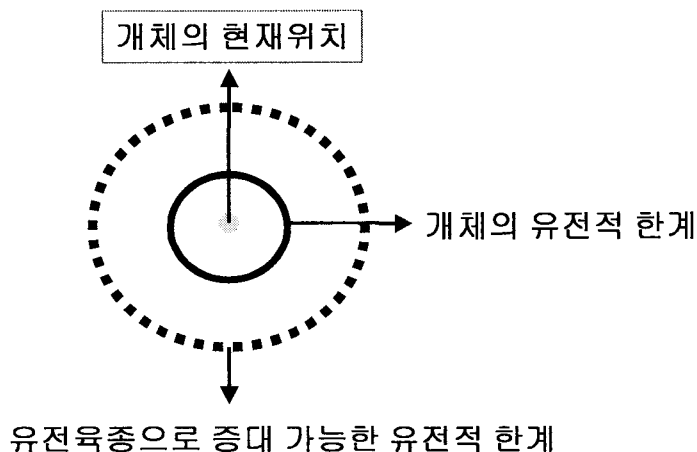


그림 1. 육종의 개념

선발을 통한 육종 즉 선발육종은 다음과 같은 과정으로 진행된다. 각각의 형질에 대한 유전성분 추정을 위한 기반기술의 확립→계획적 인공수정 디자인에 의한 세대 생산→유전성분의 추정→선발육종 방법 확립→육종가의 계산→선발육종 방법에 따른 육종효과 예측 및 비교 분석→우량품종의 생산 등을 통하여 품종개량이 효율적으로 이루어지게 된다. 지금까지 고전적인 선발육종에 의하여 산업화가 성공한 어종은 무지개송어, 연어, 잉어, 틸라피아, 참돔 등이며 그 대상 형질은 성장이 대부분을 차지하고 있다(표 1). 이러한

이유는 성장이 외형적 관찰이 용이하여 가장 쉽게 육종이 가능하기 때문이다. 기술개발까지의 기간은 최소 20년으로 모두 장기간이 소요되었다.

표 1. 선발육종 성공 사례

| 대상종 | 선발 년도 | 선발방법 | 대상형질 | 선발효과 |
|-----------|----------|-------|-----------|--|
| 무지개 송어 | 1936 | 집단선발 | 조기산란 | 선발 6세대를 통해 한세대당 산란시기 7일 앞당김 |
| | 1932 | 집단선발 | 성장 | 사료효율 우수, 대형으로 성장(도날드슨 strain) |
| | 1978 | 집단선발 | 연2회 산란 | 선발 2세대에서 연2회 산란 계통 확보 |
| | 1972 | 가계선발 | 성장 | 선발 6세대를 통해 한 세대당 13% 체중 증가 (한 세대당 120 full-sib, 30 half-sib가계를 test함) |
| 연어 | 1971 | 집단선발 | 성장 | 선발 3세대를 통해 한세대당 10~14.6% 체중 증가 |
| | 1990 | 가계선발 | 질병내성 | 120개 full-sib에서 조사 중 |
| 잉어 | 1965 | 집단선발 | 성장 | Dor-70 strain 확보(이스라엘 잉어 strain) |
| 틸라피아 | 1988 | 집단선발 | 성장 | 선발 2세대만에 15.7% 체중 증가 |
| | 1988 | 가계+집단 | 성장 | 선발 4세대를 통해 23% 체중 증가 |
| 참돔 | 1964 | 집단선발 | 성장 | 선발 5세대를 통해 1kg까지 사육기간 1.5배 단축 |

3-1. 양적형질

어류 뿐 만 아니라 생물의 형질(trait)을 크게 유전학적으로 정의한다면, 질적형질(qualitative character)과 양적형질(quantitative character)로 분류할 수 있다. 전자는 단순한 멘델 유전에 의해 발현되기 때문에 유전적 변이를 관찰하기 쉬운 형질을 말하지만, 후자는 많은 유전자(polygene)가 관여함과 동시에 발현 과정에서 환경의 영향을 받기 때문에 유전적 변이성 파악이 비교적 어려운 형질이다.

육종 연구는 크기나 무게 등과 같은 성장 관련 형질, 색조 등의 형태적인 것에서부터 생리적 반응 등, 생물변이의 많은 부분을 차지하는 연속적 변이를 나타내는 경제형질의 유전적 개량을 목적으로 하고 있다. 이들 형질의 대부분은 양적형질에 속하므로 양적 형질의 유전학적 연구, 즉 유전을 및 유전상관 등에 대한 연구의 중요성은 매우 크다.

양적 형질에 대한 육종학적 적용은 양적 유전학이 확립되면서 활발하게 되었다. 최근 수산생물의 육종을 검토할 목적으로 양적 유전학의 이론을 도입하는 예가 많아지고 있다. 막대한 노력, 시설, 예산 등을 들여가면서 유전율이나 유전상관을 추정하지 않으면 안 되는 중요한 이유는 유전율이나 유전상관이 선발효과의 예측을 가능하게 하고, 선발방법의 지표이기도 하며, 더욱이 표현형으로부터 파악하기 어려운 유전정보를 추정할 수 있기 때문이다.

이러한 양적 형질을 기초로 한 육종 프로그램은 연어과 어류나 잉어과 어류의 육종 프로그램 도입에 주로 행하여져 빠른 성장에 의한 양성기간 단축으로 비용 절감뿐 아니라 우수한 품질의 어류를 생산함으로써 경제적 효과를 창출해 내고 있다. 그러므로 양적 형질의 연구는 해양생물종의 가축화 및 생산량을 늘리기 위한 육종 프로그램을 시작하기 위해 필수 불가결한 것이다. 더욱이, 우리나라에서는 어류의 양적형질에 대한 연구가 전무한 실정이다.

3-2. 양식 산업에 주로 이용되는 양적형질

3-2-1. 성장을

어류 양식시 모든 종에 있어 성장 형질은 공통적으로 매우 중요하다. 특히 성장 형질은 무게나 길이를 측정함으로써 쉽게 연구될 수 있어 가장 많은 연구가 집중되어 있으나 일반적으로 그 유전율이 낮은 것이 단점이다. 성장이 빠른 특히, 상품 크기까지 빨리 성장하는 개체의 생산이 목표이다.

3-2-2. 사료 전환 효율

인공 사료를 섭취 후 효율적으로 에너지를 전환할 수 있는 개체로의

육종이 필요하다. 초식 또는 잡식성보다 동물성 식성 개체들의 경우 경제적인 측면에서 더 중요 시 된다.

3-2-3. 병에 대한 저항력

매우 중요한 형질이나 그 유전율이 매우 낮아 연구가 어려우며, 같은 질병이라도 환경 요인이 크게 작용하는 복잡한 형질이므로 지금까지 연구가 대단히 미진하다.

3-2-4. 육질

맛과 육질의 향상을 위한 방향으로 선택 교배를 하는 것은 중요하나 육질의 학문적인 정의와 그 판단기준을 정하기가 매우 어려워 확실히 측정할 수 있는 방법론의 개발이 시급하다.

3-2-5. 성숙 시기

성 성숙기에 육질이 떨어지고 성장이 저해되며 성숙기를 지난 후 상품 크기에 도달하는 종의 경우 산업성을 높이기 위해 성숙기를 늦추는 방향으로 육종을 시도한다.

3-3. 유전율

육종 연구는 경제형질의 유전적 개량을 목표로 한다. 경제형질의 대부분은 양적형질에 속하여 다양한 유전자와 환경요인에 의해 표현형질이 다르게 나타난다. 그러기 때문에 대상형질이 가지고 있는 유전적 요인이 어느 정도인지를 파악하여야 선발시기 및 선발방법을 결정할 수 있을 뿐만 아니라 선발효과 또한 예측할 수 있다. 대상형질의 유전적 능력은 유전율을 통해 파악할 수 있다.

유전율은 집단이 나타내는 변이 중 유전적 요인에 의한 변이와 환경 요인에 의하여 일어난 변이를 구별하여 전체 변이에 대한 유전적 변이의 비율을 말한다. 그림 2에서 보면 원래 집단에서의 분산이 모두 유전분산이면 P1과 Ps는 일치할 것이지만, 일반적으로는 P1은 P0와 Ps의 중간 값을 취한다.

최초의 분산이 모두 환경분산만으로 되어 있으면 P1은 P0와 동일하게 되어 선발효과는 없어진다. ΔP 와 ΔG 의 관계는 $\Delta G = h^2 \Delta P$ 이며 h^2 는 유전율이다. 즉, 선발차와 유전율에서 1세대에서의 유전획득량을 예측할 수 있어서 선발육종을 실시하는데 유용한 식이다.

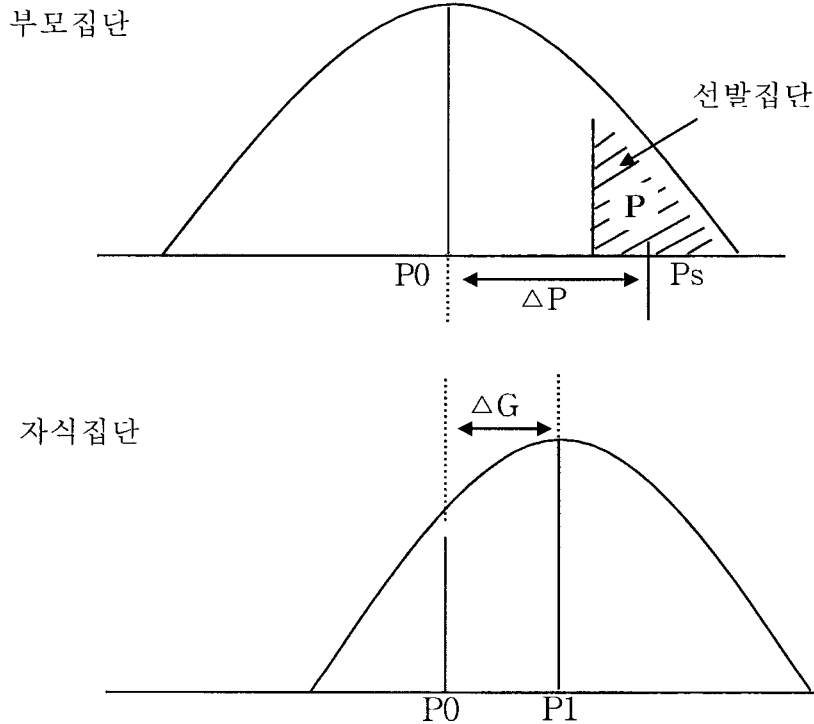


그림 2. 선발에 의한 집단의 변화.

- P0 : 부모세대집단의 평균
- Ps : 선발된 개체군의 평균
- P1 : 자식세대집단의 평균
- P : 선발강도(다음세대 선택된 비율)
- ΔP (선발차) = $P_s - P_0$
- ΔG (유전적 획득량) = $P_1 - P_0$

또한 양적형질의 유전학 연구에서 유전율의 가장 중요한 역할은 예측 기능이라 할 수 있다. 유전율은 표현형치로부터 육종가를 예측할 때의 신뢰성

을 나타낸다. 직접 측정할 수 있는 것은 개체의 표현형 뿐이지만, 다음 세대에 영향을 결정하는 것은 육종가이다. 따라서, 실험자가 표현형을 기준으로 부모를 선택할 때, 집단의 성질을 바꾸려고 하는 목적에 대한 성패는 표현형과 육종가가 어느 정도 일치하고 있는가를 알 수 있으면 예측이 가능하다. 이들이 어느 정도 일치하는가는 유전율로서 나타낼 수 있다. 이러한 이유로, 유전율은 육종에 관련한 거의 모든 공식에 사용되어지고, 더욱이 어느 육종 방법을 선택할까 하는 것에서도 사실상 유전율의 크기에 좌우된다. 유전율을 추정하는 방법은 부모와 자식의 상관 또는 회귀에 의한 방법, 형제 또는 반형제의 분산분석에 의한 방법 및 선발실험 결과에 의한 방법 등이 있다.

유전율과 집단간의 평균관계를 보면 그림 3에서와 같이 유전율이 1이면 자손의 평균치는 부모세대에서 선발집단의 평균치와 동일하며, 유전율이 0 이면 선발된 양친집단의 표현형은 자손에 아무런 영향을 미치지 않으므로 자손의 평균치는 단순히 원래 집단의 평균치가 된다. 즉, 유전율이 낮은 형질에 대해서는 아무리 선발을 시행하여도 대상형질은 환경변화에 더욱 민감하게 반응하기 때문에 선발효과를 얻지 못한다. 일반적으로 0.2 이상의 유전율을 나타내는 형질에 대해서만 선발효과가 나타난다.

유전율이 높은 형질의 개량에 있어서는 집단선발법이 유리하고 반면 유전율이 낮은 형질의 개량에는 가계선발법이 이용된다. 유전율은 어떤 특성의 집단을 이용하여 특성의 환경에 있어서 값이므로 이용한 집단의 유전적 배경 및 주어진 환경에 따라 다소 다르게 나타난다.

일반적으로 성장, 환경내성, 내병성 등의 경제적으로 유용한 형질에 대한 유전율은 종에 따라 차이는 있지만 대개는 0.2~0.3의 범위에 있는 것으로 보고되어지고 있다. 이러한 점을 고려해 볼 때, 지금까지 행하여 온 선발육종에 대해서는 선발육종의 방법적인 면에서부터 반드시 재검토되어질 필요가 있다.

3-4. 선발방법

선발육종의 선발방법에는 개체선발, 가족선발, 조합선발이 있다 선발

방법에 대한 선발반응은 유전율의 크기에 의존하고 있으며, 유전율이 0.5미만일 경우는 가족선발(F)이 개체선발(I)에 비해 유리하고, 반대로 유전율이 0.5를 초과할 경우에는 개체선발이 가족선발 보다 유리하다. 또한, 유전율이 0.5일 경우에는 어느 방법이나 동등한 결과를 나타낸다(그림 4).

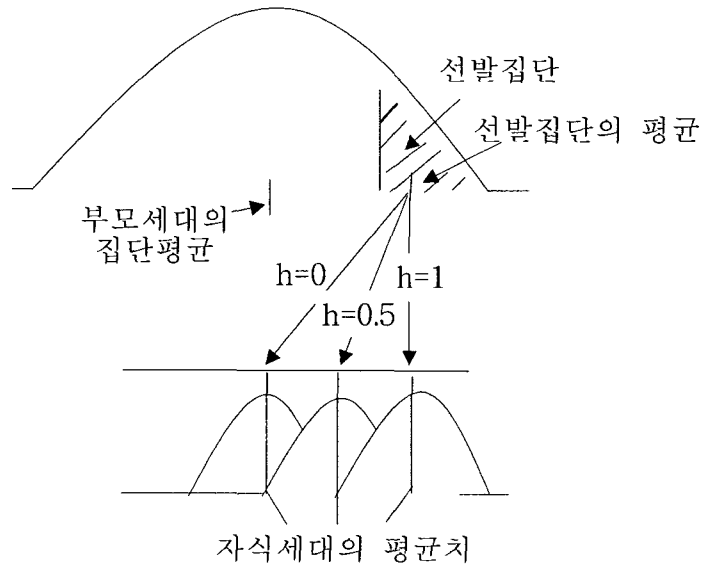


그림 3. 유전율과 집단평균과의 관계.

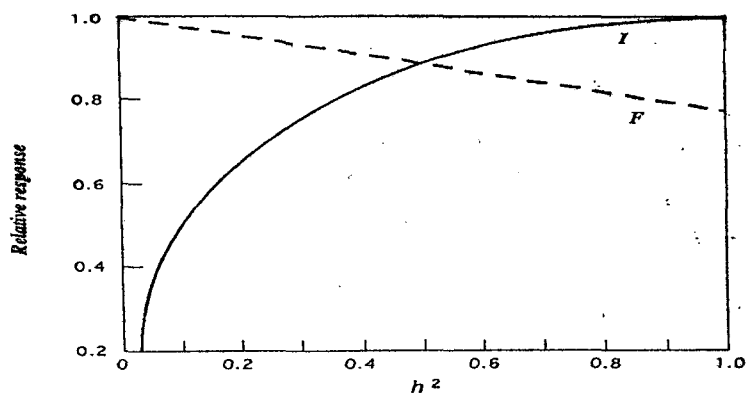


그림 4. 유전율의 크기에 따른 육종 방법과 육종반응(Falconer, 1960).
 h^2 은 유전율(heritability).

4. 우리나라의 넙치 육종 프로그램 개발

4-1. 넙치 육종의 배경 및 필요성

우리나라 해산어 양식은 80년대 중반부터 넙치를 중심으로 본격적으로 시작되어 생산량은 1997년 39,000톤으로 최대 생산을 보인 이후 2000년에는 26,000톤으로 계속 감소 추세에 있을 뿐 아니라 생산성 하락에 의한 수익 감소로 위기에 직면해 있다. 이와 같은 현상의 가장 중요한 원인은 값싼 외국산 활어의 수입증대에 있다. 특히 중국으로부터 들어오는 막대한 양의 수입 활어는 우리나라 어류 양식업 전체를 위기에 몰아 넣고 있다. 우리나라의 넙치 양식의 역사를 보면 1980년대초 일본으로부터 수입한 알과 치어를 이용하여 종묘생산 및 양성을 시작하였고, 1980년대 중반부터는 이들 일본산 넙치가 실내 수조에서 자연산란이 이루어지면서 본격적인 산업으로 성립이 되었다. 1990년대부터는 생활수준의 향상에 따른 소비확대와 생산량 증대 위주의 기술개발에 힘입어 넙치 양식 생산량은 비약적인 증가를 보였다.

그러나 2000년대에 들어서면서 넙치 양식산업은 앞에서 언급한 중국산 활어에 밀려 새로운 국면에 접어들고 있다. 이제는 우리나라 넙치 산업은 외국과의 경쟁에서 살아 남아야 하며 한 걸음 더 나아가 외국으로 수출하는 어종으로 다시 태어나야 한다. 그렇기 위해서는 생산에 투입되는 모든 경비를 최소화하는 방법 즉 생산성 향상 밖에 없다. 생산성 향상을 위한 기술개발로는 사육시설의 개선, 좋은 배합사료의 개발, 어병발생의 예방 등 여러 가지가 있겠지만 근본적인 해결책은 지금보다 우량한 종묘를 생산할 수 있는지의 여부가 대단히 중요하다.

4-2. 육종 프로그램이란

육종 프로그램은 우수한 생산 효과 및 이익을 얻을 수 있는 생물을 효율적으로 육종하기 위한 계획을 말한다. 육종 계획은 육종 목표의 설정에

서 육종 시스템의 최적화까지의 광범위한 문제를 포괄적으로 검토해야 한다. 육종 목표의 설정에는 어떠한 형질을 목표로 개선하는가를 결정하여야 하고 그 다음에는 어떠한 집단에서 실시하는 가를 정해야 한다. 또한 유전적 요소를 추정하여 육종을 하였을 때의 가치를 예측하여야 한다.

현대의 육종프로그램은 고전적인 선발육종 방법과 최근 눈부시게 발전하고 있는 생물정보공학을 접목시켜 지금까지 생각하지 못했던 우량 유전적인 형질의 선택을 가능하게 만들면서 양식업에 획기적인 변혁을 일으키고 있다. 양적 유전학적 교배법의 근본원리는 가장 우수한 형질을 가진 것끼리의 교배를 통해서 우량형질들을 계속해서 개발하는 것이며, 또한 근친교배를 방지하는 데 있다. 우량 암수를 선택하기 위해서는 각 개체의 외적 표현형(무게 길이등)을 1차적 근거로 하여 그 개체 뿐 만 아니라 그 개체의 근친등을 관찰 기록하여 교배 값어치에 따라 등급을 나누어야 한다. 만약 선택하기를 원하는 외적 형질이 유전학적 원리에 따라 유전이 된다면 다음 세대의 개체들은 그 이전 세대의 개체들이 보인 형질의 평균값 보다 좋은 수치를 나타내야 한다. 이러한 세대간의 차이를 유전적 획득이라고 부르며 일반적으로 세대간 증가율은 10~15% 정도가 되어야 한다. 이러한 증가율을 얻기 위해서는 아무리 좋은 외적 형질을 가지 개체라도 그들의 유전적 유연관계를 알아서 근친간의 교배를 방지해야 가능한 것이다.

최근에는 유전자의 지문을 이용한 교배방법을 이용하고 있다. 각 개체의 유전자 지문을 쉽게 얻을 수 있고 그 특징을 통해서 그 개체의 전 세대(부모)를 100% 확실하게 찾을 수 있다(그림 5)

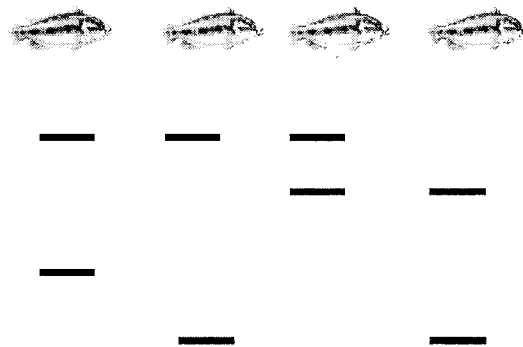


그림 5. 유전자 표시(microsatellite)를 이용한 개체간 식별.

따라서 과거와는 달리 훨씬 많은 개체와 가계(family)을 한정된 교배 공간에 키울 수 있게 되었으며, 그 개체들의 혈통과약을 위해서 행해지던 값비싼 물리적 표시방법도 불필요하게 되었다. 결과적으로 선택할 수 있는 개체의 수가 많아짐에 따라 유전적 획득율도 양적유전학에만 의존할 때보다 2배 이상 증가하고 물리적 표시에 들어가는 막대한 비용도 절감할 수 있게 되었다.

양적유전학은 앞서 언급한 것처럼 외적인 형질에 따라서 교배 값어치를 계산하지만 유전자 표시를 이용하면 기본적으로 각 개체의 유전적 특성에 따라서 교배 값어치가 계산된다. 유전적 분석을 외형적 관찰과는 달리 아주 이른 시기(부화자어 혹은 치어 상태)에 이루어질 수 있으므로 그 개체의 교배 값어치는 매우 빨리 결정된다. 이렇게 측정된 교배 값어치에 따라서 선택된 개체들을 이용했을 경우 고전적 방법을 이용했을 때보다 한 형질에 대해서 10~15배 이상의 빠른 유전적 획득이 가능하며, 특별히 외관으로 측정하기 힘든 형질들(면역성, 사료소비에 대한 체중 증가율, 내염성, 내온성, 육질 및 색깔, 지방의 분포 등)까지도 가능하게 된다. 수산분야에서 이러한 유전학 개념을 받아들여 육종에 성공한 예는 노르웨이 연어가 대표적이고 그 잠재력은 상당하다고 할 수 있다. 노르웨이 연어인 경우 1971년 정부주도 하에 꾸준한 가계선발을 통한 육종 프로그램이 수립되었고 현재는 AquaGen(주)이라는 종묘회사에 의해 우량 종묘가 공급되고 있고 그 규모는 전체 노르웨이 연어 약 70%이상을 차지하고 있다. 또한 노르웨이 모든 양식장은 자체 개발된 육종 프로그램에 의해 지속적으로 연어의 품종을 개량하고 있다(그림 6).

| 연어 성장 효과 | |
|----------|----------------------------|
| 구분 | 체중 3.5kg까지의 사육에 소요되는 기간 |
| 선발전 | 18~20개월 |
| 선발 2세대 | 17개월 |
| 선발 3세대 | 14개월 |
| 선발 5세대 | 10~12개월 |

그림 6. 노르웨이에서의 육종에 의한 연어 성장 효과.

4-3. 넙치 육종프로그램 추진 내용

우리나라의 넙치 양식은 대부분이 영세하고 경영수지가 악화되고 있으므로 장기적 안목에서의 육종사업을 추진할 여유가 없는 것이 현실이므로 국가 기관에서 대학 등 관련 전문기관과의 연계를 통해 넙치 육종 프로그램을 개발하여야 한다.

이러한 시대적 흐름에 맞추어 국립수산물과학원에서는 먼저 넙치를 중심으로 육종 프로그램을 수립하였으며, 2003년부터 10년 계획으로 본격적으로 추진하고자 한다(표 3). 1차적인 목표는 10년후에 성장이 지금보다 30~50% 빠른 새로운 넙치 품종을 개발하는 것이다.

본 연구는 2003년도부터 운영되는 어류 육종 연구팀에서 주도적으로 수행하며 거제수산물시험장에서는 종합계획 수립과 넙치의 사육 및 관리를, 본원 생명공학연구단에서는 유전학적 분석 및 교배시스템 확립을, 민간 양식장에서는 산업성 평가 및 활용 업무를 담당할 예정이다.

육종 방법은 유전자표지(DNA marker)를 이용한 분자육종 및 전통적인 선발육종(selective breeding)을 접목하여 실시할 것이며, 근친방지 및 육종 효율 향상에 최적한 방법을 개발할 예정이다.

단계별 추진전략을 보면 1단계인 2003년도에는 유전적 다양성 확보를 위한 넙치 어미집단 수집 및 유전학적 분석을 실시하여 육종을 위한 어미집단을 확정하며, 2004~2009년의 2단계에서는 선발 1세대 및 2세대를 생산하여 육종 효율을 조사한 후 가시적인 효과가 있을 시 우량 수정란을 양식어민에게 공급할 예정이다. 3단계인 2010~2012년에는 선발 3세대 생산하여 생산된 품종의 육종 효과를 최종적으로 검증함과 동시에 우량 품종의 수정란 및 어미를 양식어민에게 본격적으로 보급할 것이다. 그 이후에도 가시적인 효과가 확실할 시 지속적인 어미관리 및 가계생산을 통하여 선발을 계속 추진할 것이다.

또한 넙치 품종개량 외에 전복 등 우리나라 주요 양식종을 대상으로 육종 프로그램을 점차적으로 확대할 계획이다.

표 3. 넙치 육종 프로그램 개발을 위한 단계적 추진 내용

| 목 표 | 기 간 | 세 부 내 용 |
|------------------------|-------------------|---|
| 육종 기초 기반 확립 | 2003 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 어미집단의 유전자 분석 선발지침 수립 - 유전적 다양성 확보를 위한 어미집단 수집 - 수집된 어미의 유전자 분석 - 유전정보 및 표현형에 의한 최적의 교배 시스템 개발 및 교배 지침 수립 - 육종을 위한 어미집단 확정 및 관리 |
| 가계선발 및 육종 효율 조사 | 2004 ~ 2009 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 선발 1세대 생산(2004 ~ 2006) - 가계선발 시작 - 육종 효율 조사 ◦ 선발 2세대 생산(2007 ~ 2009) - 유전정보 및 표현형에 의한 교배 계획 수립 - 가계선발 계속 - 육종효율 조사 ※ 선발 2세대에서 가시적인 육종효과가 있을 시 수정란을 양식어민에게 공급 ※ 가계별 체계적인 관리 및 보급 체계 확립 |
| 육종 품종의 브랜드화 및 보급 | 2010 ~ 2012 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 선발 3세대 생산(2010 ~ 2012) - 유전정보 및 표현형에 의한 교배 계획 수립 - 가계선발 계속 - 육종효율 조사 ◦ 선발 3세대에서 생산된 품종의 최종 육종 효과 조사 및 브랜드화를 위한 가계 관리 ◦ 우량 품종의 수정란 및 어미의 보급 |

4-3-1. 어미집단의 유전적 평가

우리나라에서 생산되는 종묘는 1980년대 일본으로부터 수입된 소수 집단에서 시작되어 5~6세대를 거치는 동안 근친교배가 계속되어져 왔다. 이론적으로는 1세대의 근친만으로도 눈에 확연하게 띄지는 않지만 유전적으로

는 열성화가 되어 성장의 저하, 질병 및 환경 내성 저하, 원인 모를 대량 폐사 등 생산성 저하의 요인으로 작용하고 있다고 추정된다. 따라서 우리나라에서 관리되고 있는 넙치 어미 집단이 유전적으로 근친이 얼마나 되어 있는가를 먼저 알아야 하고, 만약 근친 정도가 높을 경우는 자연집단에서 어미를 구입하여 보충해 주어야 한다.

4-3-2. 지속적인 어미집단의 유전적 관리

보다 효율적인 육종을 위해서는 넙치 어미집단의 유전적 다양성을 확보하여야 한다. 육종을 위한 넙치 어미집단의 유전적 다양성이 부족할 시 육종 사업은 그 효과가 미비할 것이며, 역으로 좋지 못한 결과까지도 초래할 수가 있다. 따라서 1차적으로 기존의 양식산 외에 자연에 서식하는 자연산 넙치를 포함하여 약 300마리의 정도의 어미를 먼저 확보하여야 한다. 다음에는 어미의 유전자 분석을 통한 유전적 거리에 의하여 최적의 교배 시스템도 구축하여야 한다.

4-3-3. 선발을 통한 우량 종묘 개발

넙치의 경우 성장에 대한 유전율이 조사된 바는 없지만 0.2 전후로 예상이 되므로 근친을 방지하고 선발의 효율을 높이기 위해서는 가계선발이 효과적이다. 가계별 사육을 통해 표현형을 기준으로 상위 우수 가계를 선별할 수 있고 다음 세대 어미를 정할 수가 있다. 같은 조건에서 사육하여도 성장 등 양적형질에 많은 차이가 나타나는 경우를 경험할 수 있다. 우선적으로 성장이 좋은 개체들을 선발하여 다음 세대의 어미로 사용하는 것은 좋은 착상이다. 하지만 여기서 고려해야 할 점은 그 세대에서는 성장이 좋게 나타났을지 모르지만 그 다음 세대에서도 예상하는 것과 같은 성장을 기대하기 위해서는 유전적으로 성장이 큰 것인지를 알아야 하고 또한 만약 그렇다면 그 개체를 어떠한 교배를 통해 차세대를 얻는가 하는 문제가 있다. 성장이 잘 된 두 개체를 교배시키면 당연히 자손들은 더 큰 개체들이 생산되어야 하는데 그렇지가 못한 이유는 사용된 어미 개체들이 근친인 경우 또는 유전적으로 잘 크는 개체가 아니라 환경에 적응하여 유전적 요인과는 관계없이 환경적 요인에 의한 경우가 있으므로 반드시 표현형과 함께 유전적인 면을 함께

검토하여야 한다.

5. 기대 효과 및 전망

현재 우리나라 넙치 양식은 5~6개소의 양식장에서 넙치 수정란을 대량으로 공급하고 있다. 수정란 공급업체는 최적의 어미 관리를 통해 우량한 수정란을 생산하여야 하고, 종묘생산업체에서 우량 수정란을 이용하여 좋은 종묘를 생산하면 자연적으로 양성장에는 좋은 식용 넙치를 소비자에게 공급할 수 있을 것이다. 즉, 우리나라 넙치 양식의 돌파구는 우량 종묘생산 즉 철저한 어미관리에 의한 우량 수정란 공급이 그 해결책이다. 특히 현재 우리나라 사육 기술은 세계적인 수준이어서 양식산업의 성공 여부는 유전적으로 우수한 종묘를 얻는 길이라 해도 과언은 아니다.

체계적이고 과학적인 교배방법이 축산업이나 양식업에서 가장 확실하고 효과가 높다는 것이 과학적으로 밝혀졌음에도 불구하고 전체 양식의 약 3%만이 과학적이고 체계적인 교배방법에 따른 우량종으로 운영되고 있다는 사실은 앞으로 양식산업의 막대한 이익증대가 기대된다는 근거가 된다.

노르웨이의 연어양식과 국제적인 협력으로 필리핀에서 행해지고 있는 틸라피아의 양식에서 보여진 체계적인 유전학적 번식의 효과는 한 예에 불과하다. 노르웨이의 연어양식은 바다에서의 성장기간을 7세대 동안 무려 300%이상 줄였고 틸라피아의 경우 7세대동안 성장률을 100% 증가시켰다. 그러므로 유전적으로 선택된 우량종을 바탕으로 하여 과학적인 양식방법과 질병을 예방하면 양식업의 이윤을 극대화할 수 있다.

생명공학기술을 이용한 수산업의 경제적 이윤을 노르웨이 연어를 기준으로 계산해 보면, 노르웨이 연어의 경우 대략 한 세대(4년/세대)에 12%의 성장률 증가를 얻고 있다. 즉 매년 3% 증가율이 가능하며 이것은 kg당 연어의 가격에서 매년 3센트의 이익이 증가한다는 것을 의미한다. 연어의 연간 생산량이 100만톤을 넘고 있으므로 매년 3,000만 달러의 이익이 증가하는 것이다. 이것을 연어 외에 다른 어종의 양식에도 적용된다면 이익의 증가는 이보다 훨씬 크게 될 것이다.

그러나 지금까지 언급한 육종 기술을 산업화하기 위해서는 무엇보다

도 효율성이 높은 사육 시설 및 관리 시스템 뿐 만 아니라 및 유전적 분석을 위한 국가차원의 연구시스템이 선결되어야 한다. 이를 위해서는 정부의 장기적 안목에서의 투자가 선행되어야 함은 너무도 분명하다.

참고문헌

- Davis G. P. and DeNise S. K. 1998. The impact of genetic markers on selection. *J. Anim. Sci.* 76: 2331-2339.
- Donaldson L. R. and Olson P. R. 1955. Development of rainbow trout broodstock by selective breeding. *Trans. Amer. Fish Soc.* 85: 93-101.
- Donaldson L. R. 1961. Selective Breeding of chinook salmon. *Trans. Amer. Fish Soc.* 90: 160-164.
- Falconer D. S. 1989. *Introduction to Quantitative genetics.*
- Gideon H. 1986. Mass selection for growth rate in the Nile tilapia. *Aquaculture.* 57: 177-184.
- Kevan L. Main and Betsy Reynolds. 1993. Selective breeding of fishes in Asia and the United States. *Proceedings of a workshop in Honolulu, Hawaii.*
- Moav R. and Wohlfarth G. 1976. Two-way selection for growth rate in the Common carp. *Genetics.* 82: 83-101.
- Murata O. the late Harada T. Miyashita S. Izumi K. Maeda S. Kato K. Kumai H. 1996. Selective breeding for growth in red sea bream. *Fisheries science.* 62(6): 845-849.
- Refstie T. 1990. Application of breeding schemes. *Aquaculture* 85: 163-169
- Siitonen L. and Gall G. A. E. 1989. Response to selection for early spawn date in rainbow trout. *Aquaculture.* 78: 153-161.
- Trygve Gjedrem. 1992. Breeding plans for rainbow trout. *Aquaculture.* 100: 73-83.
- Trygve Gjedrem. 1997. Selective breeding to improve aquaculture production. *World aquaculture.* 28 (1): 33-45.