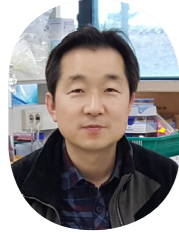




연구진



강석진

국립축산과학원  
수의연구원

전화 | 041-580-3409  
메일 | hjjin@korea.kr

| 공동연구진 |



김두완 한태석



조용일

# 동물의 인도적 안락사와 동물사체처리기술 개발로 국내 동물산업의 위생수준향상

“동물복지에 부합되는 표준모델 제시, 동물처리문화 정착”

## 연구배경 및 필요성 \_ 인도적, 친환경적 동물처리기술의 필요성

지속적으로 발생되고 있는 구제역, AI 등 가축전염병에 의해 살처분되는 가축과 유기동물, 실험동물 등 안락사가 필요한 동물들의 고통을 최소한으로 줄일 수 있는 방법, 안락사 처리자가 겪는 외상 후 스트레스 장애 문제들을 해결하기 위해 인도적인 안락사 처리법이 요구되고 있다. 또한, 오염물로만 여겨지는 동물사체를 처리하기 위해 환경오염 문제가 대두되는 기존의 소각·매몰방식이 아닌 친환경적 처리방법과 동물사체를 재활용 할 수 있는 자원순환형의 처리방법이 요구되고 있다.

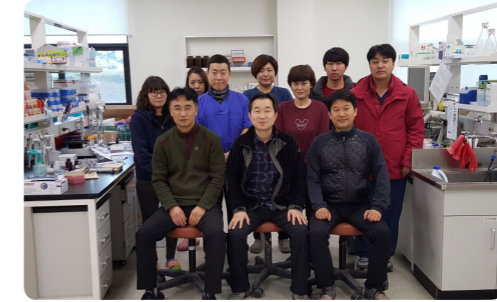
## 기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 \_ 질소거품 안락사, 동물사체 액상화처리의 표준기술 마련

동물의 고통을 최소화할 수 있는 안락사 방법으로 질소가스 활용법이 국제적으로 권장되고 있으나, 공기보다 가볍고 공기와 쉽게 섞이는 특징 때문에 활용이 어려웠다. 대신 고통이 동반되지만 공기보다 무거워 활용이 쉬운 이산화탄소 방법이 주로 이용되어 왔다. 이 문제를 해결하기 위해 거품 내 98% 이상의 질소 포집이 가능하고, 6시간 이상의 질소거품 형태를 유지할 수 있는 ‘동물 안락사용 거품생성 장비’를 개발하여, 세계 최초로 상용화하는데 성공했다. 산소가 2% 미만인 거품 속에서 동물은 수 십 초 내에 의식이 소실된다. 이후 동물들이 무의식상태에서 지속적인 호흡을 통해 고통 없이 무산소증(Anoxia)으로 안락사를 유도할 수 있게 하였으며, 거품으로 인한 처리과정의 비노출과 인체에 보다 안전한 질소를 이용함으로써 작업자의 외상후 스트레스 장애 발생을 최소화하였다. 안락사 처리된 동물사체는 부패로 인한 질병의 전파를 차단하기 위해 신속하게 처리하는 것이 매우 중요인데, 기존 매립이나 퇴비장 처리방식 등은 처리과정 중 발생하는 부산물 처리와 오염원의 신속한 멸균작업이 어려웠다. 하지만 동물사체를 알칼리(KOH)용액과 열, 압력으로 가수분해하고 액상물질 형태로 만들 수 있는 ‘동물사체 액상화 처리장치’를 개발하여 어려움을 해결했다. 가수분해 과정을 통해 동물사체에 있는 균을 완전히 죽일 수 있고 특히, 고온·고압이 아닌 저온·저압에서도 안정적으로 멸균처리가 가능하게 된 것이다. 처리과정 중 별도의 오염물질이 발생하지 않고, 액체상태의 처리산물은 토양 개량제나 비료, 사료, 공업용원료 등으로 바로 재활용할 수 있어 친환경 자원순환형 장비로 활용할 수 있게 되었다. 장비상용화 및 보급으로 동물사체 발생 시 빠르고 안정적인 방식으로 농장 내 자체처리가 가능하게 되었고, 가수분해 처리된 멸균 액상처리물을 재활용할 수 있어 농가의 동물처리 고충해결에 큰 도움을 주었다.

정부지원 내용

사업명 |  
국책기술개발사업

부처명 |  
농촌진흥청

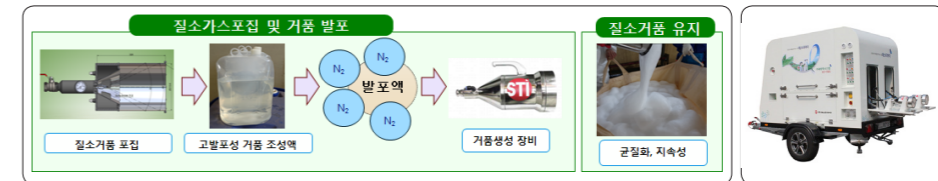


## 과학기술적 파급효과 \_ 동물처리 새로운 표준모델 제시, 친환경 처리문화 정착 마련

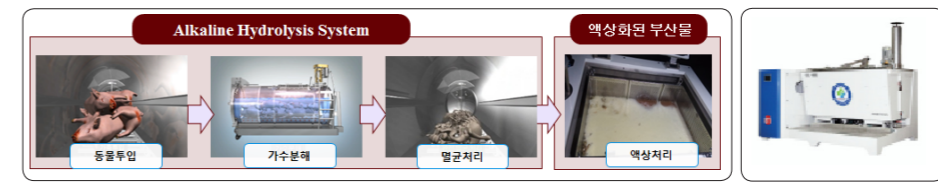
국제적으로 권장되는 동물윤리, 인도적, 친환경적 조건이 충족된 새로운 동물처리의 표준모델을 제시함으로써, 동물 및 작업자 모두의 복지실현에 기여하였다. 또한, 개발장비의 다양화를 통해 대학, 지자체, 산업체, 축산농장, 국가기반시설 등 모든 동물관련시설의 안락사 처리동물과 일반 폐사동물까지 멸균 및 친환경적 처리가 가능한 일체형 장비(안락사+사체처리)로 활용될 수 있는 기반을 마련했다. 동물사체를 폐기물이 아닌 유효자원으로 재생산한다는 국민인식 전환의 계기를 제공함과 동시에, 추후 반려·유기동물 처리의 장례문화정착을 위한 동물사체장비로의 활용가능성을 제시했다. 더 나아가 궁극적으로 동물처리의 친환경적 처리문화 정착 및 신 성장산업 창출이 가능할 것으로 기대된다.

## 경제사회적 파급효과 \_ 원천기술 기반 제공으로 세계시장 주도적 역할 담당

전 세계적으로 유행하는 악성 가축질병에 의해 살처분되는 가축의 위생처리 및 국민의 삶과 연계된 반려·유기동물 처리의 선도국 위치선점의 기회를 제공할 것이다. 또한 한 단계 도약하는 동물복지실현으로 동물산업 위생수준에 대한 국민인식 전환과 만족도 향상에 기여할 것이다. 향후 지자체 및 농가의 장비보급 확대로 국가 차단방역 업무수행의 효율성 확보가 가능하다. 더불어 안락사 및 동물사체 처리 원천기술의 기반제공을 통한 새로운 시장 개척으로 국제적 동물처리 표준모델 장비로 정착되어 세계시장의 주도적 역할과 더불어 관련 산업 활성화에 기여할 것으로 기대한다.



질소거품 활용 동물 안락사 과정



동물사체 가수분해 액상화 과정



안락사 장비



동물사체 액상화 장비

Real Story

살아있는 동물을 치료하는 수의사로서 이번연구는 동물을 살리기 위한 질병만을 연구했던 기존의 틀에서 벗어나야 했다. 인도적으로 동물을 안락사 시킬 수 있는 방법과 죽은 동물을 친환경적으로 처리할 수 있는 방법 등을 폭넓게 연구한 새로운 도전이었다. 동물처리의 새로운 기술을 마련하고, 개발기술의 상용화를 통해 국내 동물산업의 위생수준 향상과 새로운 신 성장산업 창출에 기여한 이번 경험을 소중한 자산으로 삼도록 하겠다.

주요 연구개발 성과

- 논문 |
  - Proteomic Analysis to Elucidate the Antibacterial Action of Silver Ions Against Bovine Mastitis Pathogens, Biological Trace Element Research, (2015), Vol.168(1)

- 특허 |
  - 동물 안락사용 거품 생성 장치, 10-2015- 0082006
  - 동물 사체 및 동물성 잔재물 처리 장치, 10-2015- 0082005

- 사업화 |
  - 동물사체 및 동물성 잔재물 액상화 처리장비, STI, 390백만원

- 용어 해설 |
  - 가수분해 : 유기물을 산과 염기를 통해 물과 반응해서 분해시키는 반응. 알칼리 가수분해는 이중 알칼리(염기)를 통해 유기물을 분해시키는 것으로 최종분해산물은 화학반응을 통해 수용액(분자형태) 상태로 변함



연구진



지희정

농촌진흥청  
국립축산과학원 초지사료과  
품종개발실 농업연구사

전화 | 041-580-6749  
메일 | coomhc@korea.kr

# 내재해성 사료작물 신품종 개발 성공 국내 종자수출 확대의 신호탄

“풀 사료의 자존심, 이탈리아 라이그라스(IRG) 그린팜”

## 연구배경 및 필요성 \_ 우리 기후에 적합한 한국형 목초 신품종 개발로 기후변화에 대비

국내 일선 축산농가에서는 사료가치가 떨어지는 벼짚 위주의 축산경영으로 매년 경영비 부담이 증가되고 있는데, 이러한 농가의 사료비 절감을 위해 양질 조사료 생산 및 이용이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이와 함께 가을철 파종기의 잦은 비, 가뭄, 이상고온, 한파 등 기후변화에 대비하고, 안정적인 조사료 생산을 하기 위해 우리 기후에 알맞은 한국형 목초 신품종 개발과 생산성 향상을 위한 기술개발의 필요성이 점차 대두되고 있다.

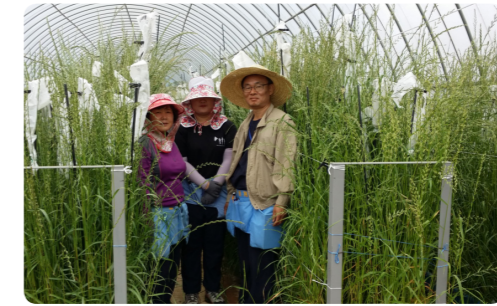
## 기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 \_ 국내 최초 지역별 맞춤형 목초 신품종 개발성공

국내 최초로 극조생종 ‘그린팜’을 미국 특허청에 국외 출원을 완료함과 동시에 국제 보증종자 인증협회(AOSCA)에 그린팜 등 4품종을 등록했다. 개발품종은 외국 품종에 비하여 추위에 강하고, 수확기가 10여일 정도 빨라 일찍 수확이 가능하다. 기존 수입품종을 재배할 때에는 이탈리아 라이그라스를 수확한 후에 모내기까지의 준비기간이 10~15일이었지만, 극조생종인 그린팜 품종이 개발되어 20~25일로 준비기간이 10여일 늘어남에 따라 충분한 이앙 준비기간이 확보되어 이모작 재배가 가능해졌다. 국내 개발 이탈리아 라이그라스 신품종의 종자 보급량은 2007년 30톤에서 2010년에 334톤, 2015년에 1,251톤으로 증가하여 국산 종자 자급률이 33.3%로 높아졌고, 종자소요량은 2015년에 3,753톤으로 종자시장규모가 100억 원대로 성장하는 계기가 되었다. 또한 이들 개발 품종들에 대한 생산성 향상을 위해 접이식 진압기를 개발하여 진압시간, 소음, 신속한 장거리 이동 등 효율성을 대폭 개선했다. 특히 접이식 진압기는 기존 로울러 이동에서 고무타이어 바퀴를 부착하여 이동함으로써 기존품에 비해 소음발생과 도로파손이 없으며 장거리 이동시에 고속주행이 가능해졌다. 이에 기존 작업소요시간이 ha당 기준에 30~40분이었으나 신제품인 접이식 진압기는 ha 당 15~20분으로 50% 정도 단축하였다. 벼 수확과 사료작물 파종이 겹치는 농번기에 작업효율성을 높여 가을철 파종기에 작업 효율성을 증대 시켜주고 진압 후에 생산량도 15% 이상 증대하였다. 개발된 품종을 종자생산 민간업체에 기술이전을 실시하고 풀사료 이용효율 제고를 위해서 개발된 접이식 진압기를 민간업체에 기술이전 함으로써 총 215백만 원의 실시료를 받았다. 또한 이들 업체들이 이를 이용한 사업화를 통해 2015년도에 2,588백만 원의 수익을 창출하였다. 이들 개발 품종의 경제적 파급효과에 대한 2016년 농업기술실용화재단 분석보고서에 따르면 경제적 파급효과는 475.1억 원이며, 품종가치는 23.9억원, 생산유발효과는 451.3억 원, 고용유발효과는 139명에 이른다.

정부지원 내용

사업명 | 축산시험연구

부처명 | 농촌진흥청



## 과학기술적 파급효과 \_ 세계 풀 사료 종자시장 진출의 신호탄

연간 1만 톤 이상의 목초 종자를 수입에 의존하던 우리나라가 20년간 꾸준한 목초 품종개발에 매진하여 수확기가 다양한 지역별 맞춤형 풀사료 25품종을 개발하는 성과를 이루어냈다. 이는 곧 2015년 국산종자 자급률 33.3% 달성으로 이어졌다. 2013년부터 미국 오레곤주 등 11개소에서 국외적응성 시험을 추진했으며, 국외품종 출원 및 국제보증종자인증협회(AOSCA)에 등록하여 우리 종자의 우수성을 입증하기도 했다. 세계 풀사료 종자시장규모(총 17만 3천 톤)의 1% 시장점유를 목표로, 한걸음씩 꾸준하게 세계 종자시장으로의 진출을 준비하고 있으며, 육종 목표도 국내에서 해외로 시야를 넓혀가고 있다. 신품종 개발은 우리 축산농가의 소득증대뿐만 아니라 국산종자의 자존심을 지켜주고, 세계 종자 강국의 대열에 우뚝 서게 될 교두보 역할을 담당하게 될 것이다.

## 경제사회적 파급효과 \_ 내재해성 사료작물 신품종 개발로 풀 사료 자급시대 도약

세계 각국은 기상이변으로 인한 자국의 식량안보의 중요성에 자구책을 강구하고 있으며, 이에 영향을 받는 우리나라의 종자업체들은 매년 더 치열한 생존경쟁에 직면하고 있다. 우리나라의 목초 종자 품종개발은 선진국의 연구 인력과 예산에 비하면 아직까지 뒤쳐져 있는 것이 현실이다. 하지만 본 기술의 개발로 우리나라 기후에 재배하기 알맞은 신품종을 개발하고 해외시장을 겨냥한 적응성 시험을 추진 수행하면서 우리 품종도 세계시장에 우뚝 서게 될 날이 곧 도래하고 있다고 본다. 본 기술이 국내조사료 시장에 대한 ‘그린팜’ 한 품종의 경제적 파급효과를 보면 생산 유발효과가 45,125백만 원에 이르고, 품종 가치만으로도 2,385백만 원에 달한 것으로 평가되고 있으며, 이를 바탕으로 국내시장뿐만 아니라 국외 수출을 이루어 로열티를 매년 받게 된다면 경제적 파급효과는 점차로 커질 것으로 본다.



그린팜 신품종

이탈리안 라이그라스 인공교배

접이식 진압기

Real Story

우리나라 기후에 알맞고, 지역별 농가가 원하는 품종 개발은 축산농가 사료비의 절감과 함께 농가소득증대에 도움이 될 것이라 기대한다. 또한 신품종 이용 효율성 증대를 위한 접이식 진압기의 개발 및 보급으로, 안정적인 양질 조사료 생산에 이바지하고, 국외품종출원 및 등록을 통해 세계종자시장에 진출할 수 있는 교두보를 확보했다는 자부심을 갖는 기회가 되었다.

주요 연구개발 성과

- 품종 |
  - 등록 : 그린팜 2호(2015, 국립종자원)
  - 그린팜(미국, AOSCA)
  - 출원 : 그린팜 3호(2015, 국립종자원) 등

- 기술이전 |
  - 그린팜 등 9품종 10개업체, 실시료 48,467천원
  - 접이식 진압기: 대동테크 등 3개업체, 기술료 167,040천원

- 사업화 |
  - 목초 신품종 종자 보급량 및 매출액(ABS코리아, 한울상사 등 4개업체) : 969.4톤, 2,588백만원(2015)

용어 해설

- **이탈리안 라이그라스(IRG)** : 기후가 온화한 이탈리아 등지에서 연안이 원산지인 전 세계 온대지방에서 재배되며, 토양 수분이 풍부하고 비옥한 토양에서 매우 잘 자라지만 일반적으로 추위에 약한 벼과작물
- **접이식 진압기** : 세 개의 로울러를 이용하여 작업 시에 양쪽 로울러를 퍼서 작업하고, 이동시에는 접어서 이동하는 장비



연구진



최기춘

국립축산과학원  
농업연구사

전화 | 041-580-6752  
메일 | choiwh@korea.kr

| 공동연구진 |



김지혜 박형수

정부지원 내용

사업명 |  
축산시험연구

부처명 |  
농촌진흥청

# 곰팡이 억제하는 토종 젖산균 개발 축산 강국으로서의 도약 발판 마련

“하얀 곰팡 알(곤포 사일리지) 만들 때 꼭 첨가”

## 연구배경 및 필요성 \_ 사일리지 품질 향상을 좌우하는 곰팡이 억제 토종 젖산균 개발

최근 눈을 이용한 사일리지 생산이 166천ha에서 1,443천 톤으로 확대되고 있으나 저장과 유통과정에서 부패와 곰팡이가 발생하여 매년 1천 5백억 원 이상의 경제적 손실이 발생하고 있다. 특히 사일리지 내 독소 생성 곰팡이의 발생은 사일리지 품질 저하 뿐 아니라 가축이 곰팡이에 오염된 사일리지를 섭취할 경우 간과 폐의 손상, 임신율 저하, 산유량 감소, 신경독소 축적 등 가축 생산성에 커다란 영향을 주기 때문에 젖산균을 이용한 사일리지 내 곰팡이 제어는 매우 중요하다. 따라서 사일리지의 품질 및 저장성 향상을 위해 곰팡이 억제능력이 탁월하고, 젖산생산 능력이 우수하며 개봉 후 2차 발효에 의한 부패를 방지하기 위한 토종 젖산균 첨가제의 개발이 시급한 실정이다.

## 기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 \_ 사일리지 장기 보관으로 국산첨가제 보급 활성화

사일리지 제조 시 젖산 생성이 우수하고 곰팡이 억제능력 우수한 젖산균 선발은 사일리지의 발효 품질 개선 및 개봉 후 2차 발효에 의한 부패로 인한 사일리지 손실을 감소 시킬 수 있다. 그러나 반대로 사일리지 개봉 후 곰팡이가 우점하게 되어 2차 발효(부패)가 발생하면 심한 악취가 발생되고, 가축에 급여했을 때 치명적인 타격(치사)을 줄 수 있기 때문에 사일리지 발효 및 저장에 있어서 젖산균은 매우 중요하다. 그래서 기존 사일리지 제조는 발효(혐기) 초기 단계에 초점을 두고 젖산생산 능력이 우수한 균주 위주로 개발되었다. 그러나 이번 연구에서 개발된 토종 젖산균은 성장속도가 빠르고, 젖산생산능력이 우수하며 곰팡이 억제능력이 탁월하여 사일리지 개봉 후 2차 발효에 의한 부패 방지 능력이 우수하기 때문에 장기간 사일리지 품질유지가 가능하다. 이로써 양질의 사일리지 제조 및 장기간 보관이 가능해졌고 토종 젖산균 첨가제 보급을 통한 첨가제 처리 비용 절감, 경종농가와 축산농가간의 신뢰도를 향상시켜 국내산 조사료 증산 및 유통 활성화에 기여하고 있다. 궁극적으로 사일리지 품질 향상 및 2차 발효(부패) 억제를 통한 사일리지 손실예방 및 가축생산성 향상이 가능케 된 것이다. 이처럼 사일리지 품질 향상 및 저장성 향상에 관한 연구결과는 표준화 영향력 지수의 상위 15% 이내 SCI논문 2편과 표준화 영향력 지수의 상위 50% 이내 비SCI논문 8편에 발표되어 본 연구의 우수성을 널리 알렸다. 또한 본 연구에서 얻어진 토종 젖산균의 주요 특성과 우수성을 알리기 위해 한국 농업미생물은행(KACC) 기탁(8건) 및 미국국립생물정보센터(NCBI) 생물정보에 등록(26건)했다. 그리고 토종 기능성 사일리지용 젖산균 첨가제 개발(특허출원 8건) 및 기술이전-창업(당해년도 매출액 21,507천 원)을 통해서 장기간 사일리지 품질을 유지하고 부패를 방지하여 경종농가와 양축농가의 어려움을 해결했다.



## 과학기술적 파급효과 \_ 가축 건강식 사일리지의 혁명

우리나라 저장 조사료는 대부분 사일리지 형태로 저장되고 유통되기 때문에 양질의 사일리지 제조 및 저장성 향상은 매우 중요하다. 따라서 사일리지 품질 향상 및 2차 발효(부패) 억제를 위한 젖산균 첨가제 개발은 시급한 상황이었다. 이번 연구에서 조사료 품질·저장성 향상을 위한 기능성 첨가제 개발을 통하여 양질의 사일리지 공급 체계를 확립하고, 사일리지 손실예방 및 반추가축 생리활성을 극대화할 수 있기 때문에 조사료 자금뿐만 아니라 가축 사료비 절감과 친환경 축산 등 축산업의 파급효과는 매우 클 것으로 보인다. 곰팡이 억제능력과 젖산 생성능력이 동시에 우수한 균주를 이용한 사일리지 첨가제 개발로 사일리지 조제 가공 선진 국가보다 사일리지 과학적 우위를 확보하였을 뿐만 아니라 재배농가와 축산농가 그리고 산업체의 요구에 부응하는 맞춤형 고품질 사일리지 생산 및 품질관리 체계 구축에 이바지 할 것으로 보인다.

## 경제사회적 파급효과 \_ 조사료 강국으로 제2의 도약으로 4천억 원 외화 절감 효과 기대

국내 사일리지 시장은 약 1조 7천억 원으로 사일리지 제조기술 부족과 유통 및 보관 부주의로 인한 곰팡이 발생으로 매년 1천 5백억 원 이상의 경제적 손실이 발생하고 있는 실정이다. 특히 가축이 곰팡이에 오염된 사일리지 섭취 시 간과 폐의 손상, 임신율 저하, 산유량 감소 등 가축 생산성에 커다란 영향을 주기 때문에 젖산균 첨가제를 이용한 사일리지 내 곰팡이 제어는 가축의 생산성 측면에서 돈으로 환산이 불가능 할 정도로 매우 중요하다. 사일리지 젖산균 첨가제 개발은 연간 약 22억 원의 수입대체효과와 국산 첨가제 보급 활성화로 연간 100만 톤 이상 수입되는 조사료를 대체하고 4천억 원의 외화절감 효과가 기대된다. 품질 향상 및 2차 발효(부패)에 의한 손실 예방을 통해서 경종농가(생산자)와 축산농가(소비자)의 불신해소가 가능하다. 특히 국내산 유통사일리지는 수분함량 과다 및 곰팡이 오염 등으로 국내산 소비 확대가 정체되고 있으나 토종 젖산균 첨가제를 이용하여 고품질의 사일리지 생산을 유도하고 조사료 증산 및 유통 활성화를 촉진시킴으로써 1차적으로 수입조사료 5%로만 대체하여도 연간 250억 원 정도의 절감효과를 얻을 수 있다.



곤포 사일리지 곰팡이 발생



탑 사일리지 첨가제



현장기술 적용

Real Story

연구 과제를 통해 개인적인 결실은 물론, 개발된 곰팡이 억제 토종 젖산균 첨가제 개발이 사일리지의 품질 및 저장성 향상이라는 커다란 문제를 해결하여 재배농가와 축산농가간의 불신을 해소 시키는데 도움을 주게 되어 보람을 느낀다

주요 연구개발 성과

- 논문 | Identification and phylogenetic characterization of novel Lactobacillus plantarum species and their metabolite profiles in grass silage, Annals of Microbiology, (2015), Vol.65(1)

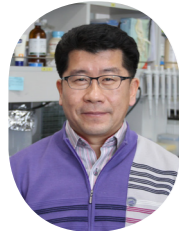
- 기술이전 | 4개회사: (주)우진 B&G, (주)정농바이오, (주)마이크로소프트, (주)클로버, 27백만원
- 창업 | 탑사일리지, (주)정농바이오, 21백만원

- 용어 해설
  - 조사료: 섬유소가 다양 함유되어 있는 사료, 일명 풀 사료.
  - 사일리지(silage): 수분함량이 많은 목초류 등 사료작물을 사일로(Silo)용기에 진공 저장하여 유산균 발효시킨 다즙질사료로 김치처럼 발효시킨 사료
  - 젖산균: 글루코오스 등 당류를 분해하여 젖산을 생성하는 세균으로 젖산발효에 의해 생성되는 젖산에 의해서 병원균과 유해세균의 생육이 저지되는 성질을 보유

Chapter 03



연구진



차영록

국립식량과학원  
바이오에너지작물연구소  
농업연구사/이학박사

전화 | 061-450-0131  
메일 | biocha@korea.kr

공동연구진



안종웅 최인후



문윤호 유경단



이지은 안기홍

# 농업 바이오매스로 원유대체, 이제 한국은 산유국

“바이오연료용 발효당 생산 효율증진 기술 개발”

## 연구배경 및 필요성 \_ 온실가스 저감을 위한 바이오매스 전환기술 절실

정부는 2015년 파리협정에서 온실가스 저감 목표를 2030년까지 37%로 설정하고 화석연료 대체를 위한 바이오에너지 등 신재생에너지 개발에 박차를 가할 예정이다. 바이오에너지의 주요 원료인 섬유질계 바이오매스는 셀룰로오스 등 섬유소와 리그닌 등으로 구성되어 있으며, 이를 효율적으로 이용하기 위해서는 가수분해 등의 열화학적 전환공정을 통해 셀룰로오스 같은 필요한 성분을 추출해야 한다. 이번에 개발된 기술은 역사 등 섬유질계 바이오매스로부터 발효 가능한 당을 연속적으로 대량 추출할 수 있는 방법이다.

## 기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 \_ 생산비 절감 경쟁력 확보, 발효당 생산 기술

섬유질계 바이오매스는 고온고압 상태에서 가수분해를 통해 탄수화물을 추출할 수 있다. 전통적인 회분식 반응기(1회씩 처리하는 반응기)는 실험으로는 우수하지만 당화 효율이 낮아 산업화를 위해서는 보다 효율적인 연속식 처리공정 기술이 필요하다. 본 연구에서는 대용량으로 연속처리 가능한 스크류형 반응 시스템을 개발하였으며, 이는 고온·고압상태를 유지하면서 반응시킬 수 있는 반응장치이다.

바이오매스로부터 셀룰로오스 등 탄수화물을 효율적으로 추출하기 위해서는 적당한 온도, 압력 및 가수분해 조건을 유지해야만 한다. 본 연구에서는 0.2%의 가성소다 알칼리수를 용매로 사용하고 140℃에서 5~10분 동안 가수분해 반응시켜 리그닌은 용해시키고 탄수화물은 고형물상태로 90% 이상 연속적으로 회수할 수 있는 기술을 개발하였다. 이 기술을 적용하면 기존의 회분식 반응기를 이용할 때보다 당 전환율을 10%(80%→90%) 높이고, 효소 투입량을 1/3(20%→7%)로 줄일 수 있어 향후 바이오에탄올 생산비 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

정부지원 내용

사업명 |  
작물시험

부처명 |  
농촌진흥청

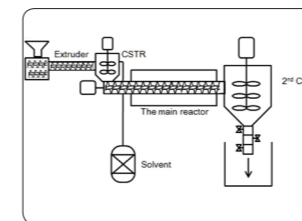


## 과학기술적 파급효과 \_ 바이오에탄올 상용화 기반 마련

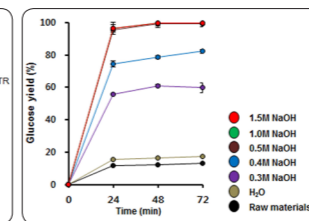
석유화학산업은 에너지, 연료, 플라스틱 등 생필품에 이르기까지 우리 사회 전반에 걸쳐 영향을 미쳐 왔지만, 석유자원 과다 사용으로 인한 지구온난화는 갈수록 심각한 실정이다. 이를 대체할 수 있는 지속 가능한 신재생자원인 농업 바이오매스는 친환경 자원순환 자원으로 미래 수송용 바이오연료 및 바이오화학 산업의 원료로 각광받고 있다. 섬유질계 바이오매스에 포함된 셀룰로오스와 같은 탄수화물을 저비용·고효율로 대량 생산이 가능하면 바이오에탄올 상용화 기반구축에 활용할 수 있을 것이다.

## 경제사회적 파급효과 \_ 친환경 바이오연료 산업화를 통한 산유국의 비전

바이오에탄올은 휘발유를 대체할 수 있는 연료로서 세계 생산량은 2014년 기준 1,056억 리터이며, 2020년까지 1,550억 리터에 이를 전망이다. 우리나라는 휘발유에 에탄올 3%를 혼합하여 사용하는 E3 제도를 도입할 예정이다. 이 제도가 시행되면 3억 4천만 리터의 바이오에탄올 생산이 필요한데, 원료공급 및 에탄올 발효에 필요한 발효당을 효율적으로 생산할 수 있는 이 기술은 향후 국가에너지 정책에 크게 기여 할 수 있을 것이다. 향후 역사 재배단지 5천ha를 조성한다면 국내 바이오에탄올 E3 도입에 필요한 바이오에탄올 생산 원료의 10%정도를 공급할 수 있을 것이다.



바이오매스 전처리장치



전처리물 당화율 비교



바이오에탄올 파일럿플랜트

Real Story

최근 신기후체제 출범이후 온실가스 저감을 위한 기술 개발이 시급하다. 이에 맞춰 역사와 같은 농업 바이오매스를 이용한 바이오연료 생산 기술은 국가 에너지 안보에 매우 중요한 부분이다. 본 연구 과정을 통해 국내에서는 유일하게 원료개발에서부터 바이오에탄올 원제품까지 생산하는 파일럿규모(바이오매스 처리량 100kg/톤)의 연구를 수행하고 있으며, 국내 바이오연료 산업화를 선도하고 있다고 자부하고 있다.

주요 연구개발 성과

논문

- Continuous alkaline pretreatment of Miscanthus sacchariflorus using a bench scale single screw reactor, Bioresource Technology, (2015), Vol.181(4)

용어 해설

- **바이오매스**: 태양에너지를 받은 식물과 미생물, 광합성으로 생성되는 식물체
- **회분식반응기**: 원료를 반응기에 한번 넣으면 반응이 종료된 후에 반응물을 회수하는 반응기
- **E3**: 휘발유에 무수에탄올 3%를 혼합한 바이오에탄올

Chapter 06



연구진

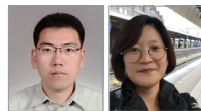


류 충 민

한국생명공학연구원  
감염병연구센터 책임연구원

전화 | 042-879-8229  
메일 | cmryu@kribb.re.kr

공동연구진



김광선 이수현

# 세균 간 무선 대화 시스템 세계 최초 규명

“세균은 냄새로 소통한다!”

연구배경 및 필요성 \_ ‘세균 간 무선 통신은 없을까?’하는 단순한 호기심에서 출발

지금까지 세균과 세균의 대화는 세균이 분비하는 화학물질이 직접적으로 세균의 수용체에 인지되어 일어난다는 것이 정설이었다. 이를 직접적인 유선 통신이라고 한다면, ‘직접적인 접촉 없이 무선 통신도 일어나지 않을까?’라는 단순한 질문에서 이번 연구가 시작됐다. 이러한 질문의 답을 찾기 위해 ‘무선통신을 이용한 세균 간 대화는 냄새로 가능할 것’이라는 가설을 세우고, 세균을 공간적으로 분리한 상태에서 다른 세균과 냄새를 매개로 소통하는지를 연구하였다. 이러한 연구는 지금까지 연구된 바 없는 새로운 세균 간 대화를 밝혀 세균 상호작용 연구의 전기를 마련할 수 있다.

기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 \_ 냄새로 소통하는 세균 간 대화 메커니즘 세계 최초 규명

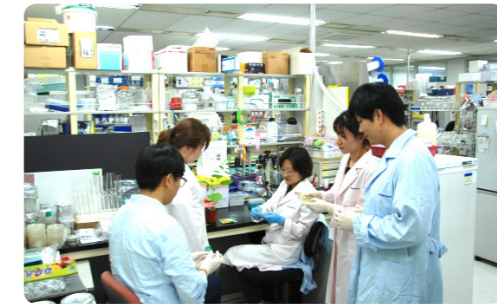
연구팀은 세균을 키우는 배지의 중간을 막은 다음 한쪽에는 된장 냄새를 풍기는(된장에서 많이 분리되는) 고초균(*Bacillus subtilis*)과 반대쪽에는 대장균(*E. coli*)을 각각 자라게 한 후, 공간적으로 분리된 조건에서 고초균의 냄새가 대장균에 어떤 영향을 주는지를 유전체 기술을 이용하여 분석했다. 그 결과 냄새를 풍기지 6시간 만에 대장균의 160개 유전자의 발현이 급격하게 변했다. 그 중 운동성 관련 유전자 및 세균 스트레스 저항성 관련 유전자가 냄새에 특이하게 반응하는 것을 관찰하였고 이로 인해 표현형이 변하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 고초균의 냄새에 대한 항생제에 대한 반응성을 조사한 결과, 총 13종 항생제에 대하여 대장균의 민감도에 변화가 있었고, 그 중 3종의 세파로스포린 계열(Cephalosporin) 항생제 대한 유효성이 증가했다.

이번 연구를 통해 서로 다른 세균들이 냄새를 이용하여 소통하며 이러한 결과로 항생제에 대한 저항성을 변화시키고 운동성에 영향을 주는 사실과 관련 메커니즘을 세계 최초로 규명할 수 있었다. 고초균의 휘발성 물질이 대장균의 항생제에 대한 감수성을 변화시킨다는 결과를 통해 연구팀은 냄새 물질을 이용하여 기존에 병원 내 감염이 문제가 되는 슈퍼박테리아의 제어에 대한 새로운 가능성도 제시할 수 있었다. 이러한 연구 결과를 Nature 자매지인 'Nature Communications(IF = 11)'지에 발표하였고, 유럽 미생물 최고 권위지인 'FEMS Microbiology Reviews(IF = 13)'에 초청 리뷰를 작성하기도 했다.

정부지원 내용

사업명 | 차세대바이오그린21

부처명 | 농촌진흥청



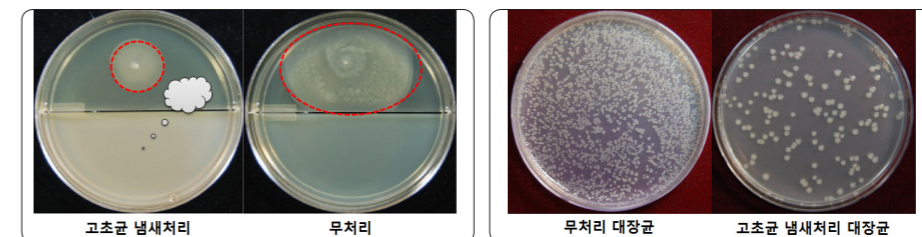
과학기술적 파급효과 \_ 휘발성 물질에 의한 다제내성 세균 제어방법 모색

세균 휘발성 물질의 신호전달 체계를 이해함으로써 항생제 저항성을 극복하고, 생체막 제거, 장내 미생물의 조절과 관련된 기술을 개발할 수 있다. 세균의 휘발성 물질을 진단하는 것은 병원성 세균의 진단을 위한 중요한 바이오마커로 이용할 수 있을 것이다. 이와 함께 유전체 기술과 최신 가스스크로마토그래피 질량분석기(GC-MS)를 이용하여 세균총(microbiome) 연구에서 냄새 성분(휘발성 물질)에 의한 역할을 분석하고 슈퍼박테리아를 손쉽게 진단하는 기술을 개발할 수 있다.

현재 선발된 휘발성 물질에 의한 다제내성 세균을 제어하는 방법을 모색하고 있는데 특히 기존 항생제의 성능을 향상시키기 위한 첨가제(adjuvant) 선발이 가능하다.

경제사회적 파급효과 \_ 휘발성 물질 이용한 병원균 제어 가능성 열어

세균의 냄새를 분석하는 기존 방법은 화학적인 추출에 의한 것으로, 많은 시간과 유독한 화학물질이 요구된다. 이번 연구에서 휘발성 물질 분석 방법으로 제시한 SPME-GC-MS 방법은 간단하면서 추가적인 화학 추출과정을 거치지 않은 방법으로, 앞으로 비슷한 연구를 하는 과학자들에게 많은 도움을 줄 것이다. 지금까지 몰랐던 세균 간 상호작용 시 병원성, 장내 환경 적응, 생체막, 항생제 저항성, 토양 생존성 등 다양한 방면에서 휘발성 물질의 역할을 재조명 할 수 있을 것이다. 앞으로 세균의 휘발성 물질을 이용하여 병원균을 제어하거나 유용한 세균의 능력을 증진시킬 수 있어 농업과 의료에도 이용할 수 있을 것이다.



고초균 냄새처리 무처리  
고초균 냄새에 의한 대장균의 운동성 감소

무처리 대장균 고초균 냄새처리 대장균  
고초균 냄새에 의한 항생제 내성 대장균의 민감도 증가

Real Story

본 연구는 지난 6년 동안 아이디어 차원에서 지속적인 실험을 한 연구원이 끈질기게 한 우물을 파서 얻은 결과였다. 중간 중간에 많은 어려움이 있었지만 원래 다양한 경험을 가진 연구진들, 특히 현재 부산대로 가신 김광선 박사님과 매주 커피와 도넛을 먹으며 나는 지속적인 토론은 논문을 낼 수 있는 결정적인 계기가 되었다. 비슷한 시기에 발표된 프랑스 그룹과의 경쟁 속에서 학회 참석차 파리를 방문할 때 파스퇴르 연구소를 방문하고 경쟁이 아닌 협력관계를 맺었다. 이후 첫 번째 공동 프로젝트로 본 논문을 작성하였고 현재 각자의 장기를 발휘하여 공동연구를 진행하고 있다.

주요 연구개발 성과

- Role of bacterial volatile compounds in bacterial biology, Fems Microbiology Reviews, (2015), Vol.39(2)
- Deciphering the conserved genetic loci implicated in plant disease control through comparative genomics of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum*, Frontiers in Plant Science, (2015), Vol.6(631)

용어 해설

- 휘발성 물질 : 일반적인 온도 조건에서 높은 증기압을 가지는 세균에서 자연적으로 방출되는 유기화합물질
- 슈퍼박테리아 : 항생제가 듣지 않는 다제내성 세균



연구진



홍 승 범

국립농업과학원  
농업미생물과 농업연구사

전화 | 063-238-3025  
메일 | funguy@korea.kr

| 공동연구진 |



권순우

석순자



김순진

정부지원 내용

사업명 |  
농업기초기반연구

부처명 |  
농촌진흥청

# 메주 토종 곰팡이 다양성 확보와 종균 개발로 국가 생물주권 확립

“우리 장(醬)은 우리 곰팡이로”

## 연구배경 및 필요성 \_ 우리 고유의 맛을 잃고 있는 장(醬)

콩을 재료로 하는 장(醬, 구체적으로는 豆醬)은 콩의 원산지인 우리나라와 만주에서 기원하여 중국과 일본으로 전파되었다. 우리나라와 중국은 콩으로 메주를 만들고 자연 미생물을 이용하여 발효하는 방법으로 장을 만들었다. 그러나 일본은 낱 콩과 밀에 미생물을 접종하여 그들만의 방식으로 장을 만들고 이를 산업화하여 동아시아뿐만 아니라 세계 조미료 시장으로 진출하고 있다. 우리나라는 일제강점기를 거치면서 일본식 장류생산 방식이 역수입되고 현재는 산업화된 일본식 장류생산이 전체의 60~80%를 차지하여 전통 방식에 의한 장류 생산이 오히려 소멸 위기에 있다. 이에 우리 전통 메주에서 장류 발효의 핵심을 담당하고 있는 미생물과 곰팡이를 발굴하고 이를 종균으로 하여 장을 제조함으로써 우리 장맛을 지키고자 하였다.

## 기술의 내용 및 성과의 차별성 · 우수성 \_ 메주 토종 곰팡이 균주 등록 및 종 다양성 확보

제주도를 포함한 전국의 농가, 맛집, 시장으로부터 323개의 메주를 수집하고 곰팡이 26속 101종 1479균주를 분리 동정하였다. 이중 *Aspergillus cibarius*라는 곰팡이는 메주에서 세계 최초로 분리했으며 콩단백질 분해력이 우수하여 우리 전통식품이 발효미생물의 보고임을 확인할 수 있었다. 남부지방 메주는 털곰팡이(*Mucor*), 푸른곰팡이(*Penicillium*)가, 중부지방 메주는 아스페르길루스(*Aspergillus*), 분곰팡이(*Scopulariopsis*)가 주로 분리되었다. 일본은 황국균(*Aspergillus oryzae*)만으로 미소와 간장을 만드는데 우리 메주의 다양한 곰팡이는 우리 된장, 간장의 독특한 깊은 맛을 내는데 기여하는 것으로 조사되었다. 수집한 곰팡이 중에서 전통 메주에 많이 서식하고 단백질, 전분 분해효소 생산이 우수한 것을 선발하여 장을 담그고 특성을 조사하였다. 이중에서 장의 구수한 맛을 내는 글루탐산 등 유리아미노산을 다량 생산하고 좋은 장맛을 내는 곰팡이 10균주를 선발하고 특허출원 하였다. 미생물을 식품산업에 활용하기 위해서는 식약처에 식품원재료로 등록이 되어야 하는데 황국균만이 등록되어 있어 이를 산업화하였다. 경기도 농가의 전통 메주에서 분리한 황국균(KACC 93210)은 기존 국내 유통 황국균에 비해 1.3~1.5배의 글루탐산과 아스파르트산을 생산하여 구수한 장을 만들어냈고, 아플라톡신 등 어떤 곰팡이 독소도 생성하지 않는 안전한 균이었다. 이 곰팡이를 유전자 분석한 결과 국내에서 유통되는 기존의 일본 유래 종균과는 명확한 차이를 보였으며 세계적으로 보고된 어떤 종균과도 유전적인 차이를 보여 한국 토종임을 확인했다. 이 토종균은 곰팡이를 생산하여 공급하는 중국회사에 제공되어 장류공장 및 농가에 보급되고 있다.

본 실험에서 분리되고 특성이 평가된 곰팡이 중에서 종, 지역, 맛을 대표하는 310균주를 선발하여 국가의 생명자원으로 등록하고 영구 보전하였다.

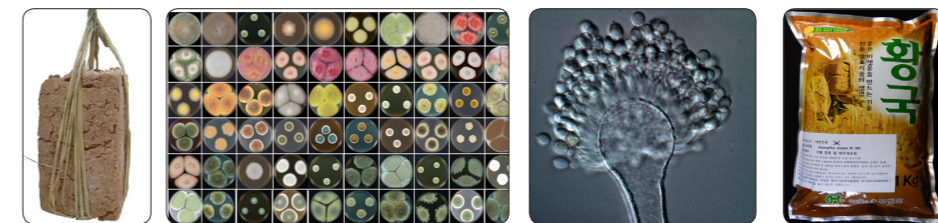


## 과학기술적 파급효과 \_ 장류 토종곰팡이 산업화 기반 마련

일반인에게 곰팡이는 귀찮고 해로운 존재다. 특히 서양에서 곰팡이는 식품을 오염시키는 주범이며 식품생산 측면에서는 치즈발효용 또는 생햄(살라미) 제조의 조력자 정도로만 인식되어 왔다. 하지만 동양에서 곰팡이는 발효식품을 만드는 중요한 존재이며 특히 일본은 아스페르길루스균을 발굴하여 주류, 장류 등에서 연 50조 원의 경제 효과를 창출하고 있다. 본 연구에서는 아스페르길루스 외에도 털곰팡이(*Mucor*), 분곰팡이(*Scopulariopsis*), 푸른곰팡이(*Penicillium*) 등이 우리나라와 중국의 장류 제조에 중요한 역할을 수행함을 밝혔다. 특히 전국의 메주로부터 분리하여 특성 평가한 곰팡이들을 국가생명자원으로 등록하여 영구보존하고 이를 DB화하여 국내외에 알림으로써 우리 맛 보존은 물론 장류 토종곰팡이 연구 및 산업화 기반을 마련하였다.

## 경제사회적 파급효과 \_ 산업화된 토종 된장, 골라먹는 된장을 위한 해결 과제

우리 전통메주에는 다양한 곰팡이가 있고 이들은 우리 장의 독특하고 깊은 맛에 기여한다. 하지만 현재와 같이 자연발효에 의존해서는 다른 오염균 때문에 원하는 곰팡이에 의한 특정한 맛을 낼 수 없다. 본 연구에서는 전통 메주에 존재하는 곰팡이를 순수 분리하고 특성을 분석하였으며 우수한 맛을 내는 곰팡이 10종을 특허출원 하였다. 이들을 산업화하여 장을 만들면 안전한 토종된장을 입맛에 따라 골라 먹을 수 있을 것이다. 하지만 규정 때문에 이들 중 일부만 산업화 할 수 있었다. 우리 조상들은 예전부터 이 곰팡이들을 이용하여 장을 만들어 먹었음에도 불구하고 현재의 인식과 법률은 이 곰팡이들의 산업화를 허용하지 않고 있다. 이를 해결하기 위해서는 이들 토종 곰팡이의 안전성을 과학적으로 입증하여 식약처의 식품원재료로 등록해야한다. 또한 이들 곰팡이가 기존 유통 균주에 비하여 산업적으로 경쟁력이 있다는 것을 입증하여 기업에서 이들을 활용하게 해야 한다. 이러한 숙제를 해결하고 우리 메주의 다양한 토종 곰팡이들이 산업화되어 안전한 토종된장을 입맛에 따라 골라 먹을 수 있기를 기대한다. 또한 한류 열풍을 타고 우리 토종 된장이 중국인의 밥상에 그리고 세계인의 식탁에 오르기를 기대한다.



전통메주

다양한 메주곰팡이 배양체

곰팡이 현미경 사진

곰팡이 종균 제품 생산

Real Story

된장을 만드는 주인은 발효를 맡은 곰팡이와 세균 등의 미생물이다. 그런데 이렇게 중요한 미생물에 대하여 종합적인 자원관리는 물론이고 어떤 곰팡이들이 분포하는지도 종합적으로 조사되지 않아 곰팡이 채집부터 원점에서 시작하였다. 주로 염동설한에 전국을 다니며 메주를 모으고 곰팡이를 분리했다. 조사해 보니 이때까지 산업화된 된장에 사용되는 미생물과 실제 토종 된장을 만드는 미생물은 매우 달랐다. 전통 메주에서 분리한 토종 곰팡이를 산업화하였으나 일부 종일뿐이고 많은 종은 아직 식품산업화 선례가 없어 법률적으로 허용되지 않는다. 다양한 토종곰팡이에 의한 진정한 우리된장의 산업화생산은 아직 숙제로 남아 있다.

주요 연구개발 성과

논문 |  
• The Mycobiota of air inside and outside the Meju fermentation room and the origin of Meju fungi. *Mycobiology*, (2015), Vol.43

특허 |  
• 신규 균주 시르시넬로이데스 M2638 균주 및 이의 용도, 10-2015-0006049

용어 해설 |  
• **종균**: 발효산업에 이용되는 미생물 씨앗