

고병원성 AI 백신 도입의 쟁점 및 제언

동물자유연대 이슈리포트

2026. 07.
Vol.16



고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 백신 도입의 쟁점 및 제언

2026. 07.

대 표	조 희 경
책임연구원	채 일 택
연 구 원	김 성 남

<제목 차례>

1. 고병원성 조류인플루엔자 및 백신	5
가. 인플루엔자의 구조 및 특성	5
나. 고병원성 조류인플루엔자의 특성	6
다. 조류인플루엔자 백신	10
2. 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생 및 방역	12
가. 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생 현황	12
나. 국내 고병원성 조류인플루엔자 방역 및 백신정책	15
3. 백신도입의 쟁점	18
가. 백신의 효과성	18
나. 변이에 따른 인체감염 위험	25
4. 백신 도입의 동향	28
가. 상시 접종 국가	28
나. 전략적 도입 국가	32
다. 세계동물보건기구(구 OIE) 전략(2007년)	38
라. 세계동물보건기구(WOAH) 전략(2024년 - 2033년)	41
마. EFSA 전략(2023년, 2024년)	42
5. 결론 및 제언	49
가. 결론	49
나. 제언	51
6. 참고문헌	52

<표 차례>

<표 1> 바이러스 생존력	8
<표 2> 감염 동물 바이러스 배설 기간	8
<표 3> 축종에 따른 고병원성 조류인플루엔자 증상	9
<표 4> 국내 연도별 조류인플루엔자 발생상황	12
<표 5> 국내 2024년, 2025년 12월 조류인플루엔자 발생 현황	15
<표 6> 백신 유형별 효능 비교	22
<표 7> 고병원성 조류인플루엔자 백신 투여 페럿 실험 모델	27
<표 8> 2000년~2005년 이탈리아 저병원성 조류인플루엔자 발생 현황	37
<표 9> 접종 전략 비교	46

<그림 차례>

<그림 1> 인플루엔자 바이러스	5
<그림 2> 인플루엔자 구조	6
<그림 3> 백신접종 결정 요인	12
<그림 4> 세계 철새 이동 경로 지도	14
<그림 5> 조류인플루엔자 방역실시 요령 제5장	17
<그림 6> 동종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 닭의 생존율	19
<그림 7> 동종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 혈구응집억제(HI) 역가	20
<그림 8> 이종의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 닭의 생존율	20
<그림 9> 이종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 혈구응집억제(HI) 역가	21
<그림 10> 사백신 포레스트 플랏(Forest Plot)	23
<그림 11> 생백신 포레스트 플랏(Forest Plot)	23
<그림 12> 재조합 사백신 포레스트 플랏(Forest Plot)	24
<그림 13> 시판용 백신 포레스트 플랏(Forest Plot)	25
<그림 14> 고병원성 조류인플루엔자 백신 페럿 실험 모델	27
<그림 15> 2025년 10월 1일 이후 관찰된 조류인플루엔자 바이러스의 전 세계적 분포	28
<그림 16> 베트남 백신 정책 전략	31
<그림 17> 2023/2024년도 프랑스 발생 예측치(건) 및 실제 관찰값의 차이	34
<그림 18> 접종군과 접촉군에서 HI 역가	35
<그림 19> 1999년부터 2006년까지 이탈리아에서 발생한 조류인플루엔자 발생 및 대응	36
<그림 20> 3개국 고위험 전파지역(HDPA)	43
<그림 21> 긴급 보호 예방접종	45
<그림 22> EFSA에서 권고하는 백신 선택 기준	45

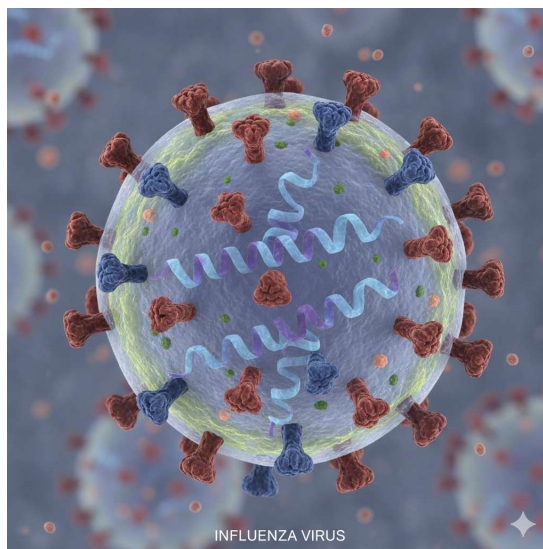
고병원성 조류인플루엔자(HPAI) 백신 도입의 쟁점 및 제언

1. 고병원성 조류인플루엔자 및 백신

가. 인플루엔자의 구조 및 특성

1) 인플루엔자¹⁾²⁾

- 인플루엔자는 오르토믹소바이러스(Orthomyxoviridae)에 속하는 음성 가닥 RNA(Negative-sense) 바이러스로, 서로 다른 8개의 RNA 분절로 구성
- 인플루엔자 바이러스는 구조단백질(matrix protein, M)과 핵단백질(Nucleoprotein, NP)의 항원적 차이에 따라 A형, B형, C형, D형으로 분류. 이 중 A형은 사람과 동물 모두에게 감염되며, 가장 변이가 많아 대유행의 원인으로 알려져 있음.
- 인플루엔자 A형 바이러스는 표면에 있는 두 가지 단백질, 즉 헤마글루티닌(hemagglutinin, HA)과 뉴라미니다제(Neuraminidase, NA)를 기준으로 아형으로 나누어짐. 현재까지 HA 아형은 18개, NA 아형은 11개로 알려져 있음.
- 인플루엔자 바이러스는 대변이(antigenic shift, major change) 또는 소변이(antigenic drift, minor change)로 인해 항원성이 달라질 수 있음. 이에 따라 기존 항체는 항원에 대해 신속히 방어할 수 없으며, 인플루엔자 바이러스의 중간 감염 능력의 획득은 신종 감염병의 출현과 팬데믹(pandemic)으로 이어질 수 있음.



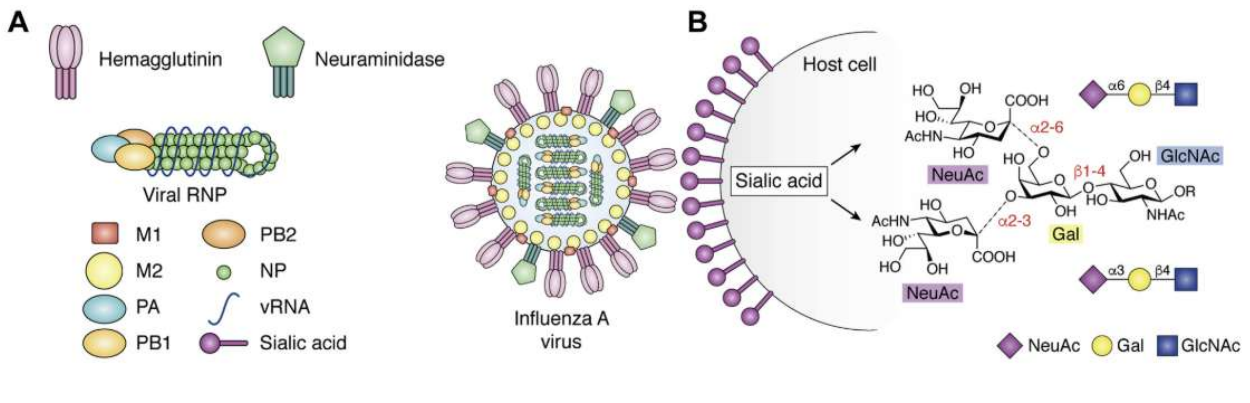
<그림 1> 인플루엔자 바이러스 (AI 생성 이미지)

1) Subtypes of Influenza A Viruses, CDC, <https://www.cdc.gov/bird-flu/about/avian-influenza-type-a.html>

2) 조류인플루엔자(AI) 인체감염증, 서울아산병원, https://www.amc.seoul.kr/asan/healthinfo/disease/diseaseDetail.do?contentId=33902&utm_source=copilot.com

2) 인플루엔자의 구조 및 특성³⁾

- 인플루엔자 바이러스는 증식 및 감염에 여러 단계를 거침. 바이러스의 아형을 결정하는 헤마글루티닌(HA)은 숙주 세포에 바이러스가 부착하고 세포막과 융합하는 데 관여하며, 뉴라미니다제(N A)는 당단백질 시알산(glycoprotein sialic acid)을 가수분해하여 숙주 세포 표면에서 바이러스 방출을 촉진함. 바이러스의 주요 구조 단백질 M1은 바이러스의 형태를 결정하는 데 있어 바이러스의 조립 및 출아에 중요한 역할을 하며, 구조 단백질 M2는 pH를 조절하는 이온 채널로, 바이러스가 숙주 세포로 침입한 후 일어나는 탈피 단계에 관여하며, 증식의 마지막 단계인 막 분열에서도 중요한 역할을 함.
- 한편 바이러스 번역을 시작하기 위해 생성된 양성 가닥 바이러스 mRNA는 핵공을 통해 세포질로 이동함. 숙주 세포의 세포질에서 'Polymerase Basic 단백질'(PB1, PB2), NP, M1, S, NS1 및 NS2 등이 합성되고, 이들 중 PB1, PB2, PA는 핵으로 이동하여 바이러스 RNA의 전사 및 복제에 관여함. 숙주 세포의 핵에서 새로 합성된 PB1, PB2, PA와 NP(핵단백질)는 결합하여 새로운 vRNP(viral RNP) 복합체를 형성함. NS2(NEP, Nuclear Export Protein)는 핵 내에서 vRNP와 M1 단백질의 상호작용을 매개하여 수송 과정에 관여함.
- 인플루엔자 바이러스의 HA 단백질은 숙주 세포 표면의 시알산(sialic acid) 잔기에 결합함. α 2, 3 결합은 주로 조류의 호흡기·장관 상피세포에 풍부하며, α 2,6 결합은 주로 사람의 상기도(코, 기관지)에 풍부함.



출처: JBC(Journal of Biological Chemistry)

<그림 2> 인플루엔자 구조

나. 고병원성 조류인플루엔자의 특성

1) 고병원성 조류인플루엔자⁴⁾⁵⁾⁶⁾

- 3) Rehman S, Effendi MH, Witaningruma AM, Nnabuikeb UE, Bilal M, Abbas A, Abbas RZ, Hussain K. Avian influenza (H5N1) virus, epidemiology and its effects on backyard poultry in Indonesia: a review. F1000Res. 2022 Nov 15;11:1321. doi: 10.12688/f1000research.125878.2. PMID: 36845324; PMCID: PMC9947427.

- 야생 조류, 특히 야생 수생 조류의 경우, 저병원성 조류인플루엔자(Low Pathogenicity Avian Influenza, LPAI) 바이러스의 숙주가 될 수 있으며, 이러한 감염은 숙주에게 질병이나 사망을 유발하지는 않았음. 하지만 오랜 기간에 걸쳐 일부 저병원성 조류인플루엔자 바이러스는 직접 또는 간접적인 노출을 통해 닭과 같은 가금류로 전파되어 적응 및 순환 과정을 거치며, 고병원성 조류인플루엔자(Highly Pathogenic Avian Influenza, HPAI)로 변이가 됨.
- 세계동물보건기구(World Organisation for Animal Health, WOAH)에서 고병원성 조류인플루엔자는 H5 또는 H7 아형 또는 병원성이 1.2 이상 IVPI(Intravenous Pathogenicity Index, 6주령의 SPF 닭에 정맥 접종 후, 10일 동안 임상증상을 0(정상)~3(사망)까지 점수화 한 값) 이거나 최소 75%의 치사율을 보이는 경우로 규정함. 다만, 염기서열 분석을 통하여 특정 아미노산의 서열이 다른 고병원성 조류인플루엔자와 유사할 경우, 해당 분리주는 고병원성 조류인플루엔자로 간주될 수 있음. 다만, 저병원성 조류인플루엔자와 고병원성 조류인플루엔자의 분류는 가금류에서 나타나는 증상의 심각도를 기준으로 하고 있어, 다른 종에서의 심각도를 판단할 수 있는 기준은 아님.)
- 저병원성 조류인플루엔자에 감염된 닭은 경미한 증상을 보이거나 무증상인 반면, 고병원성 조류인플루엔자는 심각한 호흡 곤란, 급격한 산란 저하, 폐사를 유발함. 다만, 저병원성 조류인플루엔자 바이러스도 고병원성 조류인플루엔자로 변환될 경우⁸⁾, 심각한 증상과 폐사를 야기할 수 있음.
- 우리나라에서는 고병원성 조류인플루엔자는 「가축전염병 예방법」 상 제1종 가축전염병으로 지정하고 있으며, 세계동물보건기구에서도 관리 대상 질병으로 지정하고 있어 발생 시에는 보고하도록 규정하고 있음.

가) 잠복기

- 닭에서의 고병원성 조류인플루엔자 잠복기는 수 시간에서 3일 정도이나, 이는 계군의 크기, 최초 감염경로, 사양관리, 환경 등에 따라 차이가 있음. 세계동물보건기구에서는 계군 수준에서 잠복기를 14일로 보고 있으나, 감염병 확산을 막고 질병의 관리를 위하여 잠복기를 21일로 규

4) Fournié G, de Glanville W, Pfeiffer D. Epidemiology of Highly Pathogenic Avian Influenza Virus Strain Type H5N1. *Health and Animal Agriculture in Developing Countries*. 2011 Jun 21;36:161-82. doi: 10.1007/978-1-4419-7077-0_10. PMID: 2122524.

5) Rehman S, Effendi MH, Witaningruma AM, Nnabuikeb UE, Bilal M, Abbas A, Abbas RZ, Hussain K. Avian influenza (H5N1) virus, epidemiology and its effects on backyard poultry in Indonesia: a review. *F1000Res*. 2022 Nov 15;11:1321. doi: 10.12688/f1000research.125878.2. PMID: 36845324; PMID: 36845324; PMID: 36845324.

6) '23/24 고병원성 조류인플루엔자 역학조사 분석보고서, 농림축산검역본부, 2024.11.

7) Avian Influenza in Birds, U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 14 June 2022. Retrieved 6 May 2024.

8) 'LPAI→HPAI 변환 사례: 멕시코 H5N2(1994), 이탈리아 H7N1(1999), 캐나다 H7N2(2004), 미국 H7N9(2017)', 23/24년 고병원성 조류인플루엔자 역학조사 분석보고서, 농림축산검역본부, 2024.

정(Terrestrial Animal Health code Ch 10.4)⁹⁾함.

나) 전파

- 직접 접촉 또는 간접 노출에 의해 전파되며, 농림축산검역본부 보고에 따르면 감염된 닭의 분변 1g에는 10만~100만 마리의 닭을 감염시키는 고농도의 바이러스를 포함함.
- 직접 접촉뿐 아니라, 분변에 오염된 차량이나 사람, 사료, 설비나 농기구 등을 통해서도 전파가 가능함. 특히 조류인플루엔자 바이러스는 저온에서도 장기간 생존이 가능하며, 바이러스 생존력은 다음과 같음.

<표 1> 바이러스 생존력

조건	생존기간
분뇨 속 바이러스	4°C 35일
호수 등 물 속 바이러스	22°C 4일
	0°C 30일
바이러스 감염 폐사체	실온 수일간
	냉장 보관시 23일

출처 : 농림축산검역본부

- 장거리 전파는 야생조류 이동에 따라 전파될 수 있음. 세계동물보건기구에 따르면, 이전 야생조류(물새 포함)는 가금류의 고병원성 조류인플루엔자 확산에 크게 영향을 주지 않았으나, 최근 질병의 역학적 양상이 변하면서, 철새의 이동 경로는 감염병의 주요 전파 경로가 되고 있음. 또 중국이나 동남아 등 발생 지역에서는 오염된 가금 생산물을 통해 바이러스가 유입되는 것으로 알려져 있음. 근거리 전파의 경우, 야생조류뿐 아니라, 쥐나 다른 동물에 의해서도 전파가 가능함.

<표 2> 감염 동물 바이러스 배설 기간

구분	종류	배설가능 기간	비고
야생조류	수금류	30일간 배설 가능	보균동물
	평, 기니아파울(불닭)	감염 후 7일간 배설 가능	
가금	닭, 칠면조	감염 후 2~3일 내 대부분 폐사하나, 회복된 경우 14~30일간 배설 가능	

출처 : 농림축산검역본부

다) 임상증상

9) Infection with avian influenza viruses, WOA, Terrestrial Animal Health Code Article 10.4.1

- 조류인플루엔자 바이러스 감염에 따른 임상증상은 개체 유전적 요인, 영양 상태, 다른 병원체의 동시 감염 여부에 따라 그 증상은 다양할 수 있음. 임상증상은 호흡기, 소화기, 심혈관계 증상과 산란 저하 등이 나타날 수 있음.
- 고병원성 조류인플루엔자 바이러스 감염은 일반적으로 사료 및 물 섭취량의 감소, 산란 저하를 동반하며, 이환율과 사망률이 급증함. 벼슬이나 육수(wattles)의 부종이나 자줏빛 변색이 나타나며 다리와 발 부위의 출혈 또는 신경 증상이 나타날 수 있음.
- 농림축산검역본부의 '고병원성 조류인플루엔자 역학조사 분석보고서'에 따르면 축종별 임상증상은 다음과 같음.

<표 3> 축종에 따른 고병원성 조류인플루엔자 증상

축종	임상증상
닭	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 감염시작 시점부터 사료 섭취량 감소, 침울, 졸음에 이어 급격히 폐사 ✓ 폐사 직전 다리에 청색증, 안면 종창과 호흡기 증상 동반 ✓ 백색변이나 녹색변 등의 소화기 증상 발현 ✓ 심급성 폐사의 경우 다른 병변이 관찰되지 않을 수 있으며, 산란계에서는 산란 저하가 관찰되기 전 폐사할 수 있음. ✓ 사육 형태에 따라 다르나, 보통 폐사 시작부터 50% 폐사율이 나타나기까지 4~5일 소요
오리	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 종오리의 경우 사료 섭취량이 급감하며, 약간의 호흡기 증상이 나타나고 사료 섭취량이 감소, 1~2일 후부터 급격한 산란 저하가 나타나기도 함. ✓ 육용오리의 경우 사료 섭취량이 급감되고 동시에 10% 폐사가 발생하는 경우가 있으며, 폐사 및 임상증상 다양
거위	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 1996년 및 1997년 거위에서 처음으로 고병원성 조류인플루엔자 감염 확인 ✓ 다른 축종과 유사하게 급사, 신경증상, 식욕부진과 같은 임상증상이 나타나나, 불현성 감염도 나타남. ✓ '22/'23 야생거위에서는 다른 숙주에 비해 다양한 유전자형을 보유하고 있어, 바이러스 전파에서 역학적으로 중요한 역할을 하는 것으로 추정
메추리	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 실험적으로 메추리는 고병원성 조류인플루엔자 감염에 감수성이 높은 것으로 밝혀짐. ✓ 인도네시아, 베트남 등에서 발생이 보고되고 있으며, 국내 농장에서도 '06/'07년 H5N1 및 '14년 H5N8, '16년 H5N6 발생 확인 ✓ 메추리는 분변보다 호흡기로 많은 양의 바이러스를 배출하는 것으로 알려져 있음.

출처 : 농림축산검역본부

- 최초의 고병원성 조류인플루엔자 발생은 1996년 중국 광둥성의 한 상업용 거위 농장에서 발생한 것으로 추정. 이후 H5N1의 경우 1997년 4월 홍콩의 한 농장에서 집단으로 발병을 일으켰으며, 인체감염 가능성이 거론되며 그 위험성이 알려짐.
- 2003년 11월부터 2004년 2월까지 세계동물보건기구에 우리나라를 포함한 베트남, 태국, 인도네시아, 일본, 캄보디아, 라오스, 중국 등 8개국에서 H5N1 발생이 보고되었음. 이후 2005

년 7월 시베리아 전역에서도 여러 차례 발생이 보고되었으며, 2006년 2월 이후에는 오스트리아, 크로아티아, 덴마크, 프랑스, 독일, 그리스, 스코틀랜드, 스웨덴, 스위스 등 여러 국가에서 감염 사례가 보고되어 발생은 유럽으로까지 확대되었음.

다. 조류인플루엔자 백신¹⁰⁾

1) 조류인플루엔자 백신 유형

- 유럽식품안전청(European Food Safety Authority, 이하 EFSA)의 의견서(2023) 내용을 바탕으로, 고병원성 조류인플루엔자 방역에 사용 또는 개발 중인 백신 기술을 4가지 주요 플랫폼으로 분류하면 다음과 같음.

가) 불활화 백신(Inactivated and adjuvated whole virus AIV vaccines)

- 불활화 백신은 가장 널리 사용되며 종 특이적 제한이 없다는 장점이 있음. 또 현재 생산공정 과정이 안정적으로 확립되어 있음.
- 역전사 유전학(Reverse Genetics)¹¹⁾ 기술로 HPAI(고병원성)를 LPAI(저병원성)로 변환하여 생물안전등급-2(BSL-2)의 일반 실험실에서도 백신 생산이 가능함.
- 새로운 변이 바이러스가 출현해도, 해당 바이러스 유전자 서열 정보만으로 교체하여 백신주의 빠른 전환이 가능. 하지만 지속적 면역을 위해 추가 접종(booster)이 필요할 수 있음.
- 불활화 백신은 모체유래항체 간섭에 민감하여 접종 시기 결정 시 반드시 고려해야 하며, 유행하는 바이러스와 항원 불일치(Antigenic Distance)가 생기면 효능이 크게 떨어지며, 가끔 축종에 따른 추가적 연구가 필요한 상황.

나) 벡터 백신(Vectored vaccines)

- 재조합 바이러스 벡터(예: HVT)에 조류인플루엔자 바이러스 항원을 삽입하여 제조함.
- 가금류 분야에서 광범위하게 사용되고 있으며, 불활화 백신 대비 모체유래항체 간섭에 덜 민감함.
- 기본 접종 후 면역 획득 시점은 2~3주가 지나야 하며, 일부 HVT-벡터 백신의 경우 면역 획득까지 4주가 소요됨.
- 생벡터 백신은 불활성화 백신에 비해 모체유래항체의 간섭에 덜 민감하며, 항원이 일치하지 않는 바이러스에 대해서도 백신 효능이 상대적으로 덜 영향을 받음. 다만, 생백신(Live attenuated vaccines)의 경우, 저병원성의 H5, H7이라고 하더라도 고병원성으로 변이될 위험이 있어 공중

10) EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), European Union Reference Laboratory for Avian Influenza, Nielsen et al., 2023. Vaccination of poultry against highly pathogenic avian influenza - part 1. Available vaccines and vaccination strategies. EFSA Journal, 21(10), 1-87. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8271>

11) 불활화 백신 제조 과정에서 HPAI 다염기 절단 부위를 단일염기로 치환하여 바이러스의 독성을 낮추는 데 활용

보건학적 위험을 초래할 수 있음.

다) 재조합 아형 백신(Subunit vaccines)

- 바이러스 전체를 사용하는 대신, 보호 면역 유도에 핵심적인 특정 단백질(주로 HA 단백질)만을 유전자 재조합 기술을 통해 세포, 효모, 박테리아 등에 발현시켜 백신을 제조하여, 유전자 서열만으로 빠르게 업데이트가 가능해 변이주 대응에 유리함.
- 또한 내부 단백질(internal viral protein)을 발현하지 않아, 기존에 널리 사용되는 혈청학적 방법(NP-ELISA¹²⁾)을 활용하여 검사할 수 있음.

라) 핵산 백신(Nucleic acid vaccines)

- COVID-19 성공 사례 이후 가금 분야에서도 도입 검토 중인 차세대 기술로, 핵산(DNA/RNA)을 직접 주입하여 숙주 세포가 직접 항원을 합성하도록 유도함. 유전자 서열 정보만으로 항원을 신속하게 업데이트할 수 있어, 바이러스 변이 대응에 매우 유리함. 또한 일부 바이러스 벡터가 가지는 종 특이성 제한을 받지 않아 다양한 축종에 적용이 가능하며, 추가 접종(Booster) 시 불필요한 면역 간섭을 줄일 수 있음.
- 다만, RNA 백신의 경우 열에 매우 취약하여 유통 과정이 다소 까다로우며, 일부 백신의 경우 접종 후 초기 항체 생성이 가변적일 수 있어 면역 형성 여부를 확인할 때 주의가 필요함.
- ① DNA 백신(Plasmid DNA): 항원 유전자를 포함한 플라스미드 DNA를 직접 주입하는 방식
- ② RNA 리플리콘 백신(RNA Replicon): 체내에서 단회 복제가 가능하도록 설계된 재조합 RNA 백신으로, 이는 바이러스의 확산을 제한하면서도 안전하게 목표 단백질을 발현시킴.

2) DIVA(Differentiating Infected from Vaccinated Animals) 호환성

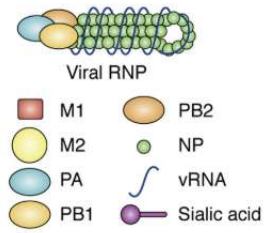
- DIVA 백신이란 백신을 접종한 동물과 바이러스에 감염된 동물을 혈청학적 검사로 구분할 수 있게 해주는 백신을 의미함.
- 백신접종이 임상증상을 감춰, 오히려 바이러스가 농장 내 조용히 퍼지는 '무증상 순환'(Silent circulation)을 유발할 수 있어, 조류인플루엔자 방역에서 DIVA 전략은 매우 중요함.

12) 재조합 백신의 경우, NP 항체가 나타나지 않아 NP-ELISA 검사를 통해 바이러스 감염 여부를 쉽게 구분할 수 있음.

❖ DIVA(Differentiation of Infected from Vaccinated Animals)

백신접종 개체와 바이러스 감염 개체를 혈청학적으로 구별하는 핵심 전략

- DIVA 호환 백신은 감염 개체와 백신접종 개체를 구분할 수 있도록 설계된 백신을 의미함.
- NP-ELISA를 통해 감염 시 생성되는 NP 항체를 감지함으로써 백신 접종군의 바이러스 감염 여부를 확인
- NP 항체는 모든 시험 종에서 감염 후 7~14일부터 검출 가능



3) 백신접종 결정 요인



<그림 3> 백신접종 결정 요인 (AI 생성 이미지)

2. 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생 및 방역

가. 국내 고병원성 조류인플루엔자 발생 현황

- 국내 고병원성 조류인플루엔자는 2003년 12월 10일 충북 음성에서 최초 발생. 이후 지속적으로 발생하고 있으며, 2020년 이후에는 매년 발생이 보고되고 있는 상황
- 최근 2025년 9월 12일부터 2026년 3월 19일까지 총 발생 건수는 149건(확진 59건, 예방적 살처분 90건)으로 총 12,054,166마리의 가금류가 살처분(확진 6,605,766마리, 예방적 살처분 5,448,400마리) 되었음. 이 중 산란계 발생이 72건으로 9,421,385마리가 살처분되었으며, 이는 전체 살처분 마릿수의 78.2%를 차지함.

<표 4> 국내 연도별 조류인플루엔자 발생상황

(2026. 3. 19.기준)

연도	형질형	발생기간	발생 (건수)	축종별(건수)		
				닭	오리	기타
2003/2004	H5N1	'03.12.10-'04.3.20.	총 19건	10	9	-
2006/2007	H5N1	'06.11.22-'07.3.6.	총 13건	5	6	2
2008	H5N1	'08.4.1-'08.5.12.	총 98건	79	18	1
2010/2011	H5N1	'10.12.29-'11.5.16.	총 91건	34	54	3
2014/2016	H5N8	① '14.1.16-'14.7.29. ② '14.9.24-'15.6.10. ③ '15.9.14-'15.11.15. ④ '16.3.23-'16.4.5.	① 212건 ② 162건 ③ 17건 ④ 2건 총 393건	84	290	19
2016/2017	H5N6	'16.11.16-'17.3.3.	총 343건	197	136	10
2017	H5N8	'17.2.6-'17.4.4. '17.6.2-'17.6.19.	총 76건	52	23	1
2017/2018	H5N6	'17.11.17-'18.3.17.	총 22건	8	14	-
2020/2021	H5N8	'20.11.26-'21.4.6.	총 109건	55	48	6
2021/2022	H5N1	'21.11.8-'22.4.7.	총 47건	22	23	2
2022/2023	H5N1	'22.10.17-'23.4.14.	총 75건	34	38	3
2023/2024	H5N6 H5N1	① '23.12.3-'24.2.8. ② '24.5.22	① 31건 ② 1건 총 32건	17	15	
2025/2026 13)	H5N1*	'25.9.12-'26.3.19.	총 149건	91	54	4

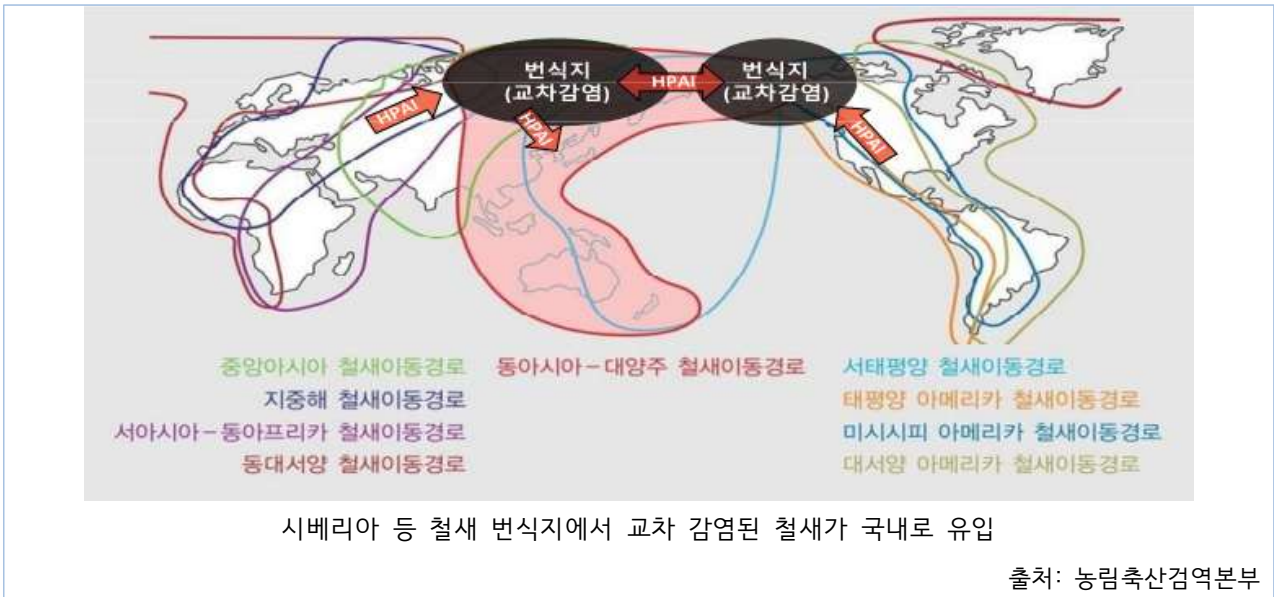
* H5 6건 포함

출처 : 농림축산검역본부

- 농림축산검역본부 『23/24 고병원성 조류인플루엔자 역학조사 분석보고서』에 따르면, 국내 발생의 주요 원인을 철새로 인해 오염원이 유입되었을 것으로 추정하고 있음. △국내외 발생현황 △철새이동경로 △유전자분석 등을 토대로 국내 유입 원인 분석을 종합적으로 검토한 결과, "시베리아 등 철새번식지에서 HPAI 교차감염된 철새에 의해 바이러스가 유입된 것으로 추정"하며, 농장 발생

13) 사단법인 대한양계협회, 2025/26년 고병원성 AI 발생 현황으로 AI확진 59건, 예방적 살처분 90건

원인으로는 "발생농장 간 직·간접적 역학 관계에 의한 발생보다는 야생조류에 의한 지역 내 오염원이 차량·사람 등에 의해 가금농장으로 유입, 개별적으로 발생 추정"하고 있음.



<그림 4> 세계 철새 이동 경로 지도

- 2025년 최근 발생의 특징은 예년보다 1~2개월 조기 발생했다는 점이며, 2025년 12월 발생은 22건으로 이는 2024년 12월 14건보다 57.1% 증가한 수치임.

<표 5> 국내 2024년, 2025년 12월 조류인플루엔자 발생 현황

2024년 12월										2025년 12월											
1 가금농장 * 총 49건										1 가금농장 * 총 28건											
연번	구분	신고일 (재취일)	시도	시군구	축종	품종	사육수	병원성	형질형	확진일	연번	구분	신고일 (재취일)	시도	시군구	축종	품종	사육수	병원성	형질형	확진일
1	신고	24.10.29	강원	동해	닭	산란계	850	고	H5N1	10.30	1	신고	25.9.12	경기	파주시	닭	토종닭	3,164	고	H5N1	9.13
2	신고	11.7	충북	음성	오리	육용오리	23,664	고	H5N1	11.8	2	예찰	10.21	광주	남구	기타	기러기	133	고	H5N1	10.27
3	신고	11.17	인천	강화	닭	육용종계	17,263	고	H5N1	11.18	3	신고	11.9	경기	화성시	닭	육용종계	19,550	고	H5N1	11.10
4	신고	11.24	전남	영암	닭	토종닭	18	고	H5N1	11.25	4	예찰	11.14	경기	평택시	닭	산란계	138,605	고	H5N1	11.15
5	예찰	11.25	충남	서산	오리	육용오리	32,700	고	H5N1	11.26	5	예찰	11.15	경기	화성시	닭	산란계	269,226	고	H5N1	11.17
6	신고	12.2	전남	강진	오리	육용오리	22,000	고	H5N1	12.3	6	신고	11.17	충북	영동군	오리	종오리	4,100	고	H5N1	11.18
7	신고	12.2	세종	세종	닭	산란계	233,054	고	H5N1	12.3	7	신고	12.1	경기	평택시	닭	산란계	148,973	고	H5N1	12.2
8	신고	12.5	전북	김제	오리	육용오리	17,868	고	H5N1	12.6	8	예찰	12.8	전남	영암군	오리	육용오리	20,633	고	H5N1	12.9
9	신고	12.11	경북	영천	닭	산란종계	88,638	고	H5N1	12.12	9	신고	12.9	충남	천안시	닭	산란계	32,159	고	H5N1	12.10
10	신고	12.12	전북	부안	오리	육용오리	22,000	고	H5N1	12.13	10	신고	12.9	경기	안성시	닭	산란계	26,367	고	H5N1	12.10
11	신고	12.15	충남	청양	닭	산란계	141,937	고	H5N1	12.16	11	신고	12.14	전북	남원시	닭	육용종계	39,764	고	H5N1	12.15
12	예찰	12.17	전북	부안	오리	육용오리	32,000	고	H5N1	12.18	12	신고	12.15	경기	안성시	닭	산란계	202,781	고	H5N1	12.16
13	예찰	12.19	경기	김포	닭	산란계	73,063	고	H5N1	12.20	13	신고	12.16	충북	괴산군	닭	산란계	243,418	고	H5N1	12.17
14	신고	12.21	경기	화성	닭	토종닭	269	고	H5N1	12.22	14	신고	12.16	충남	천안시	닭	산란계	263,166	고	H5N1	12.17
15	신고	12.22	전북	김제	닭	산란계	72,397	고	H5N1	12.23	15	신고	12.17	충남	보령시	닭	산란계	16,815	고	H5N1	12.18
16	신고	12.25	경기	여주	닭	산란계	71,630	고	H5N1	12.26	16	예찰	12.19	전남	나주시	오리	육용오리	22,245	고	H5N1	12.21
17	예찰	12.26	전북	부안	오리	육용오리	38,000	고	H5N1	12.27	17	신고	12.21	충북	진천군	기타	매추리	570,000	고	H5N1	12.22
18	예찰	12.27	충북	진천	닭	산란계	15,695	고	H5N1	12.28	18	예찰	12.22	충북	음성군	닭	산란계	85,318	고	H5N1	12.23
19	신고	12.30	충북	음성	닭	산란계	42,651	고	H5N1	12.31	19	신고	12.23	전남	나주시	오리	종오리	6,000	고	H5N1	12.24
20	예찰	25.1.3	경기	여주	닭	산란계	103,846	고	H5N1	1.4	20	신고	12.23	경기	안성시	닭	산란계	119,136	고	H5N1	12.24
21	신고	1.5	전북	김제	오리	육용오리	16,068	고	H5N1	1.6	21	예찰	12.23	전북	고창군	오리	육용오리	8,000	고	H5N1	12.24
22	신고	1.6	전남	마진	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.6	22	예찰	12.24	경기	평택시	닭	산란계	263,459	고	H5N1	12.25
23	신고	1.7	충남	서산	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.7	23	신고	12.25	충남	아산시	닭	육용종계	21,000	고	H5N1	12.26
24	신고	1.8	충남	서산	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.8	24	예찰	12.26	전남	영암군	오리	육용오리	32,900	고	H5N1	12.27
25	신고	1.9	충남	서산	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.9	25	예찰	12.28	충북	음성군	오리	종오리	10,000	고	H5N1	12.29
26	신고	1.10	충남	서산	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.10	26	신고	12.28	전남	나주시	닭	산란계	49,000	고	H5N1	12.29
27	신고	1.11	충남	서산	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.11	27	신고	12.29	충남	천안시	닭	산란계	94,538	고	H5N1	12.30
28	신고	1.12	충남	서산	오리	육용오리	21,700	고	H5N1	1.12	28	신고	12.29	충북	진천군	오리	종오리	7,800	고	H5N1	12.30

출처: 농림축산식품부 조류인플루엔자방역과

나. 국내 고병원성 조류인플루엔자 방역 및 백신정책

1) 방역정책

가) 특별방역대책기간 운영

- 국내 고병원성 조류인플루엔자는 주로 겨울철 철새 이동 시기와 맞물려 위험이 커지기 때문에, 정부는 매년 가을부터 봄까지 특별방역대책기간을 운영
- 2025/2026년 동절기에는 2025년 10월 1일부터 특별방역대책기간을 운영했고, 2026년 4월에는 위험도가 남아 있다고 보고 기간을 4월 15일까지 연장

나) 예찰·조기 발견 체계

- 농가 신고에만 의존하지 않고, 정기검사와 정밀검사를 통해 감염 개체를 조기에 찾는 방식을 병행. 2026년 3월 전남 무안 육용오리 농장 사례도 정기예찰 검사에서 H5형 항원이 확인된 뒤 정밀검사를 통해 H5N1형 고병원성 조류인플루엔자로 확진
- 농림축산식품부에 따르면 2025/2026년 시즌에 농장 정밀검사와 위험지역 집중점검 등 능동적 예찰을 통해 가금농장 발생 60건 중 22건을 조기에 발견

다) 차단방역

- 농장 출입차량 등록·통제, 사료·알·분뇨 차량의 소독, 외부인 출입 제한, 축사 전실 운영, 장화 갈아신기, 농장 내외부 소독, 철새도래지 방문 금지, 쥐·야생조류 차단, 물품 반입 시 소독 등 농장단위의 차단방역에 주력
- 2026년 1월 강화대책에서는 전국 5만 수 이상 산란계 농장 539호에 전담관을 1:1로 지정해 축산차량 출입통제와 방역사항 위반 여부 점검 및 철새도래지 주변 도로와 인근 가금농장 등에 매일 2회 이상 집중소독 실시

라) 살처분 및 이동제한

- 가금농장에서 고병원성 조류인플루엔자 의심 또는 항원 확인이 나오면, 정부는 긴급행동지침, SOP에 따라 초동대응팀을 투입. 발생농장을 중심으로 일정 반경 안의 농장과 시설은 방역대로 지정. 방역대 안에서는 가금류, 알, 분뇨, 사료, 왕겨, 차량, 물품 이동이 제한되거나 통제될 수 있고, 검사 결과와 위험도 평가에 따라 해제. 최근 실제 대응에서는 발생농장 반경 10km 내 방역대를 설정하고, 그 안의 가금농장에 대해 정밀검사와 이동제한, 소독, 전담관 배치 등을 실시
- 과거에는 발생농장 주변까지 넓게 예방적 살처분을 하는 방식이 강했지만, 최근 정책은 위험도 평가를 바탕으로 예방적 살처분 범위를 합리적으로 조정하는 방향으로 선회. 2025/2026 동절기 대책에서 정부는 원칙적으로 발생농장 반경 500m 이내 농장을 대상으로 하되, 전파 위험이 낮으면 살처분에서 제외하는 방침을 수립

마) 자율방역 유도

- 살처분이 이루어지면 보상금 제도가 적용되지만, 방역수칙을 위반한 농가는 보상금 감액이나 과태료 등 제재. 2025년에는 최근 1년간 고병원성 조류인플루엔자 발생이 없고 방역기준에 부합하는 산란계 농장에 대해 살처분 보상금 감액을 경감할 수 있는 근거 마련. 반대로 방역기준을 지키지 않거나 소독시설·방역시설을 제대로 갖추지 않은 농가에는 제재 적용
- 단순 처벌보다 성실한 방역 농가에는 인센티브, 위반 농가에는 제재를 주는 방식으로 농가의 자율방역을 유도

2) 국내 조류인플루엔자 백신 관련 규정 및 정책¹⁴⁾

- 농림축산식품부고시 제2026-25호 「조류인플루엔자 방역실시요령」은 방역 전반에 관한 사항을 규정하고 있으며, 제5장(제26조-제30조)에서는 긴급백신접종에 관한 사항을 명시

14) 조류인플루엔자 방역실시요령, 농림축산식품부고시 제2026-25호, 2026. 2. 2., 일부개정, 법제처

제26조(고려조건)

- ① 현행의 조류인플루엔자백신은 조류인플루엔자의 증상발현을 억제하는 효과는 있는 것으로 조류인플루엔자 감염을 완전히 방어할 수는 없어, 방역조치와 병행하여야 한다.
- ② 농림축산식품부장은 백신접종에 대해서 신중하게 판단하여야 하고, 고병원성 조류인플루엔자 방역조치는 예찰을 통한 조기검출과 환축 또는 의사환축의 신속한 살처분을 원칙으로 하며 평상시에 예방적 백신접종은 실시하지 않는다.
- ③ 제29조에 따른 긴급백신접종을 실시할 경우, 동 질병의 발생 또는 유행을 발견하지 못하게 할 우려가 있을 뿐만 아니라, 항체검사로는 백신접종축과 동 질병 감염축을 구분하기 어려워 청정화를 달성하기 위해서는 막대한 경제적 부담과 혼란을 초래할 우려가 있으므로 신중하여야 한다.

제27조(긴급백신접종 결정)

- ① 농림축산식품부장은 고병원성 조류인플루엔자의 이동제한, 살처분 등 방역조치만으로 통제가 어려워 전국 확산이 우려되는 경우로서 검역본부장의 긴급백신접종 건의 등 긴급백신접종이 필요한 상황 발생시 가축방역심의회의 심의와 질병관리청 등 관계부처 협의를 거쳐 긴급백신접종을 실시하도록 지시할 수 있다.
- ② 검역본부장은 제1항의 긴급 백신접종 건의시 환축에서 분리한 바이러스와 비축중인 백신제조용 항원간의 유전자 상동성검사 등을 실시하여 그 결과를 농림축산식품부장관에게 보고하여야 한다.

제28조(공포) 농림축산식품부장은 조류인플루엔자 전파차단을 위한 긴급백신 결정시에 다음 각 호의 사항이 포함된 방법을 정하여 공포한다.

- 1.접종 시기 2.접종 지역 3.접종 대상가금 4.기타 필요한 사항(이동제한 등 방역조치, 사후관리 등)

제29조(긴급백신접종 실시)

- ① 긴급백신 접종은 가축의 소유자가 하는 것을 원칙으로 하되, 긴급 상황을 고려하여 시·도지사 및 시장·군수·구청장이 실시할 수 있다.
- ② 시·도지사 및 시장·군수·구청장은 긴급 백신접종시 문제가 없도록 준비하여야 한다.

제30조(사후관리 등) 시·도지사 및 시장·군수·구청장은 긴급 백신접종축과 미접종축이 구분이 가능하도록 기록 관리를 실시하며, 기록 관리는 도축 또는 폐사 등 해당가축이 없어질 때까지 실시한다.

출처: 국가법령정보센터

- 관련 규정은 백신이 증상 발현은 억제할 수 있으나 감염 자체를 완벽히 차단하지 못한다는 점을 들어 기존의 차단 방역을 대체할 수 없음을 강조. 더불어 백신접종시 질병의 발생 또는 유행을 발견하기 어려우므로 신중한 접근이 필요함을 명시하며 예방적 백신접종을 배제(제26조)
- 백신접종은 기존의 차단방역만으로는 통제가 어렵고 전국 확산이 우려되는 경우에 한해 검역본부장이 긴급백신접종을 건의해 가축방역심의회의 심의와 질병관리청 등 관계부처 협의를 거쳐야 실시 가능(제27조)
- 이와 같이 현 조류인플루엔자 방역에 있어 백신접종은 예방적 접종을 포함해 상시 접종을 인정하지 않고 있으며, 차단방역의 최후 보루로서만 허용
- 한편 농림축산식품부는 고병원성 조류인플루엔자 발생에 대비해 관련 백신 연구·개발을 추진하고 있으나, 2003년 국내 가금농장에서 최초 발생한 이후 현재(2026년 3월 기준)까지 예방적 백신접종은 물론 긴급백신의 접종 사례도 없음.

3. 백신도입의 쟁점

- 조류인플루엔자 방역 백신과 관련한 주요 쟁점은 하나는 백신 효과에 대한 불확실성임. 조류인플루엔자 바이러스는 구조상 변이가 매우 빈번하게 일어나기 때문에, 특정 백신이 실질적 예방 효과를 발휘하지 못할 수 있다는 우려가 있음. 이러한 변이 특성으로 인해 백신접종을 하더라도 새로운 변종 바이러스가 출현하면 방역 효과가 제한적일 수 있음.
- 또 다른 쟁점은 백신 회피 변이로 인한 인체감염에 대한 우려임. 이는 바이러스가 선택 압력을 받아 변이를 일으킬 경우, 기존 백신으로는 방어되지 않는 새로운 변종이 발생할 수 있음. 이러한 변종의 출현은 가금류뿐 아니라 포유류나 사람에게도 감염 가능성을 높여 공중보건적 위험을 초래할 수 있어, 백신 정책의 도입 여부는 단순히 가금류 보호 차원을 넘어, 인체감염 위험까지 고려해야 하는 복합적인 문제임.

가. 백신의 효과성

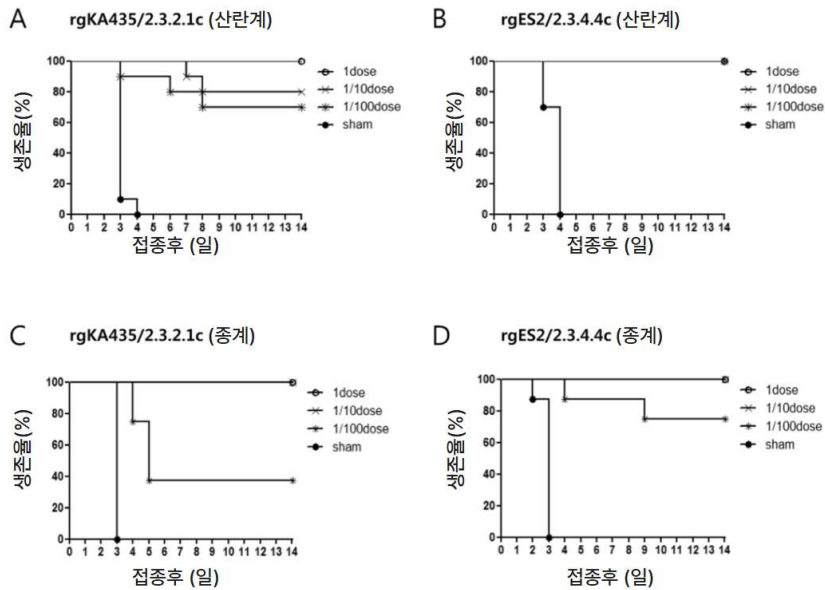
1) 국내 연구결과

- 농림축산검역본부에서는 2020년 국내 항원 은행의 백신을 이용한 고병원성 조류인플루엔자 백신 효과에 관한 연구를 시행. 해당 연구는 긴급백신에 적용 가능하도록 설계되었으며, 백신 효력은 세계동물보건기구의 최소 항원 요구 조건을 충족하도록 PD50¹⁵⁾을 기준으로 하였음.
- 해당 연구는 당시 조류인플루엔자 항원뱅크에 비축해 두었던 항원 중, 국내 유입 위험이 높은 2.3.2.1c와 2.3.4.4a, b, c, d(H5Nx)계통의 rgKA435/2.3.2.1c와 rgES2/2.3.4.4c 백신의 효능과 예방 효과를 평가
- 실험에는 국내 상업용 양계장에서 공급받은 35주령의 산란계(하이라인 브라운) 40마리와 동일

15) Protective Dose 50%로 실험동물의 50%를 보호할 수 있는 최소 항원 농도

주령의 종계(로스) 32마리를 대상으로 근육 주사로 백신을 접종하였음. 백신 희석액은 PBS(희석액)와 Montanide(adjuvant) ISA VG70을 30:70으로 사용, 대조군에는 PBS와 Montanide ISA VG70만을 투여

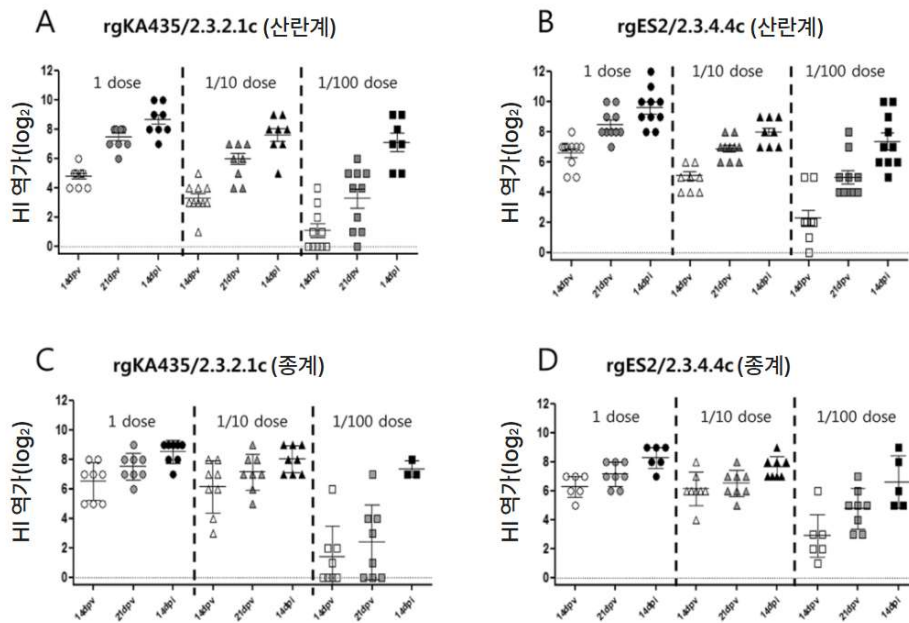
가) 동종계통(homologous clade)의 조류인플루엔자 백신



출처: Yong-Myung Kang et al.

<그림 6> 동종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 닭의 생존율

- 동종계통의 고병원성 조류인플루엔자 실험 결과 rgKA435/2.3.2.1c 표준 접종량(1dose)를 투여하였을 때 산란계와 종계에서 100% 임상적 보호 효과를 나타냈으며, 0.1로 희석한 경우에는 산란계에서 접종 후 6일째 20%의 폐사율을 보였으며, 0.01로 희석한 경우에는 접종 후 7~8일 사이에 두 마리가 신경학적 증상과 설사를 보이다 폐사하였으며, 8일째에는 30%의 폐사율을 보였음. 종계에서는 0.01로 희석한 경우에 접종 후 5일째 60%의 폐사율을 보였음. 한편 rgES2/2.3.4.4c 표준 접종량(1dose) 또는 0.1로 희석한 백신을 산란계에 투여하였을 때 폐사하는 닭이 없었지만, 종계에서는 9일째에 25%의 폐사율을 보였음.
- 두 백신의 대조군에서의 평균 폐사까지 걸린 시간은 2.9~3.8일이었으나, 0.01 희석액 투여 시 평균 폐사 시간(mean death times, MDT)은 4.6~6.5일로 폐사까지 보다 긴 시간이 소요 되었음.

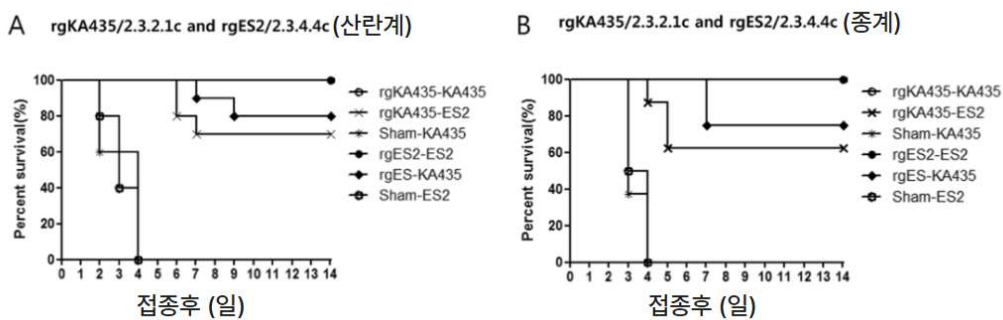


출처: Yong-Myung Kang et al.

<그림 7> 동종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 혈구응집억제(HI) 역가

- 동종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 결과 혈청학적 검사에서 항체 역가가 모두 증가한 것으로 나타남. 표준 접종량(1dose)과 0.1로 희석한 경우, 산란계와 종계 모두 바이러스 노출(공격 접종) 전에 항체역가가 생성되었음. 반면 0.01로 희석한 경우에는 바이러스 노출 전 2.4~5.0log₂로 항체반응은 다양하게 나타남.

나) 이종계통(heterologous clade)의 조류인플루엔자 백신

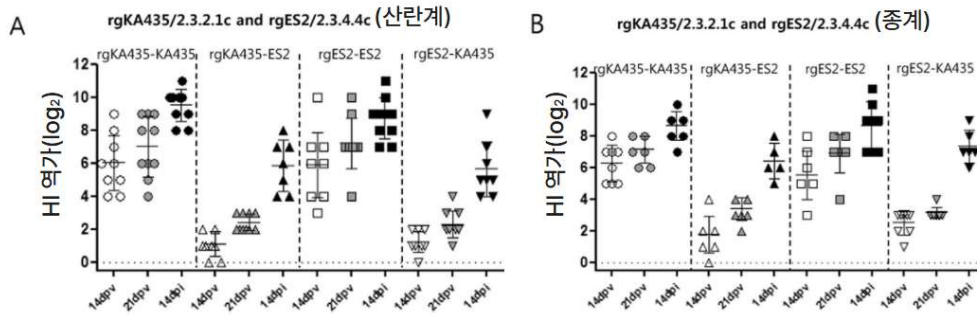


출처: Yong-Myung Kang et al.

<그림 8> 이종의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 닭의 생존율

- 이종계통의 고병원성 조류인플루엔자 실험 결과 산란계에 rgKA435/2.3.2.1c를 투여하였을 경우 30%의 폐사율, rgES2/2.3.4.4c를 투여하였을 경우 20%의 폐사율을 보였음. 종계의 경우 rgKA435/2.3.2.1c를 투여하였을 경우 37.5%의 폐사율, rgES2/2.3.4.4c를 투여하였을 경우에는 25%의 폐사율을 보였음.

- 두 백신의 대조군에서 폐사까지 걸린 시간은 최대 4일인 반면, 백신 투여군의 평균 폐사 시간은 4.7~8.5일 소요되었음.



출처: Yong-Myung Kang et al.

<그림 9> 이종계통의 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 후 혈구응집억제(HI) 역가

- 이종계통의 백신접종의 경우, 모든 백신 접종군은 바이러스 노출(공격 접종) 전후 모두 해당 이종계통 항원에 대한 항체 역가가 낮게 나타났음. 이종계통 항원에 대한 평균 항체 역가는 2.3~5.4log₂였음.

2) 해외 연구결과

- 2024년 대만 국립대학교 역학 및 예방의학 연구소와 대만 질병통제센터 연구진은 백신 유형에 따른 효과에 대한 메타분석을 실시하였음.
- 총 223편의 조류인플루엔자 관련 논문을 검토하였고, 중복 등을 제외하여 54편의 논문 전문(Full-text)을 분석하였으나, 실험설계에서 SPF(Specific Pathogen Free) 닭이 아니거나 저병원성 조류인플루엔자 실험으로 해당 논문에 적절하지 않은 논문을 제외, 46건의 실험 데이터를 분석하였음. 이 중 실험군(백신접종)이 596마리, 대조군(위약접종) 267마리로 총 863마리의 SPF 화이트 레그혼 닭을 실험 대상으로 함.
- 해당 연구의 Begg검정¹⁶⁾의 p값은 0.7507로 출판편향의 가능성은 통계적으로 유의미하지 않음.
- 고병원성 조류인플루엔자 치사율에 대한 백신의 효능은 73%~97%로 분포되어 있으며, 이종계통보다는 동종계통의 백신 효능이 더 높음. 백신 유형별 효능은 다음의 표와 같음.

16) Begg검정은 메타분석에서 출판편향(Publicaiton Bias)의 유무를 통계적으로 검정하는 방법

<표 6> 백신 유형별 효능 비교

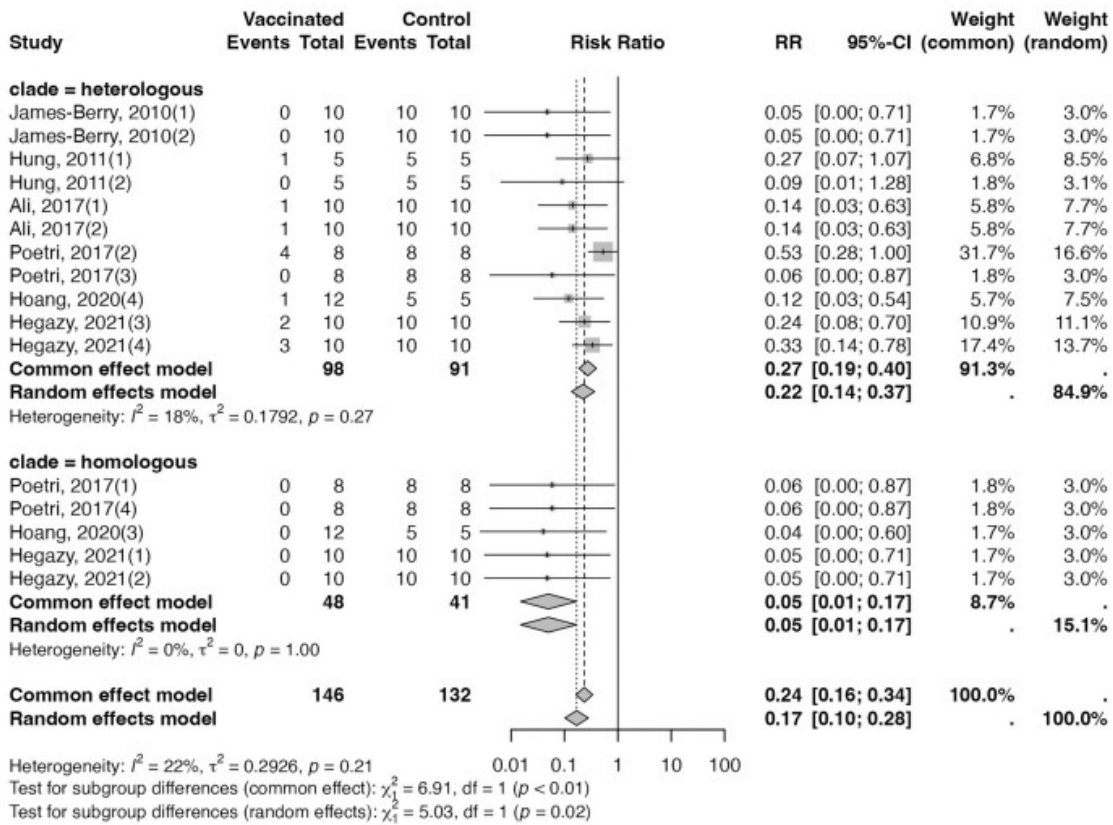
백신유형			백신군(n)	대조군(n)	상대위험도(RR)	연구간이질성(I ²)
사백신	이종계통	고정효과모형	98	91	0.27	
		랜덤효과모형			0.22	18%
	동종계통	고정효과모형	48	41	0.05	
		랜덤효과모형			0.05	0%
재조합 생백신		고정효과모형	60	132	0.03	
		랜덤효과모형			0.03	0%
재조합 사백신	이종계통	고정효과모형	256	180	0.21	
		랜덤효과모형			0.10	60%
	동종계통	고정효과모형	87	70	0.10	
		랜덤효과모형			0.10	0%
시판용 백신	이종계통	고정효과모형	192	125	0.16	
		랜덤효과모형			0.10	31%
	동종계통	고정효과모형	32	97	0.04	
		랜덤효과모형			0.04	0%

출처: I. Tseng et al.

가) 사백신(inactivated vaccine)

- 사백신의 경우 이종보다 동종계통에서 효능이 유의미하게 더 높음. 이종계통의 경우 78% 효능(I²=18%)¹⁷⁾을 보이며, 동종계통은 95%(I²=0%)의 효능을 보여주고 있음.

17) 메타분석에서 연구 간 결과의 일관성을 수치로 보여주는 지표로, 값이 높을수록 연구들 사이의 차이가 크다는 뜻



출처: I. Tseng et al.

<그림 10> 사백신 포레스트 플랏(Forest Plot)

나) 재조합 생백신(live recombinant vaccine)

- 재조합 생백신의 경우 97%($R=0\%$)의 높은 효능을 보여주고 있음.

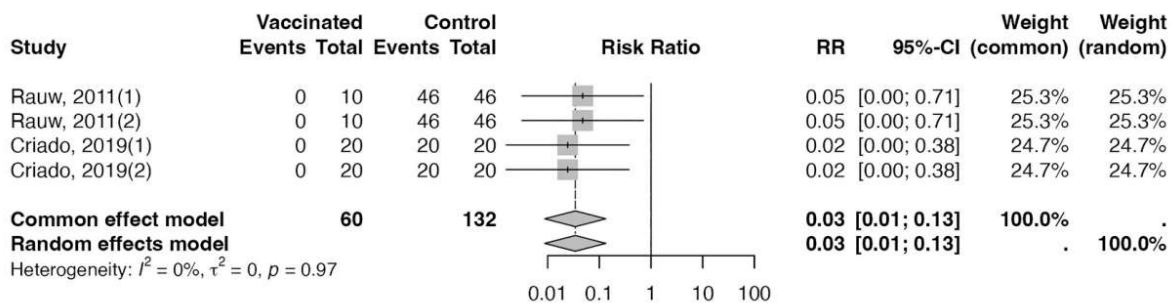


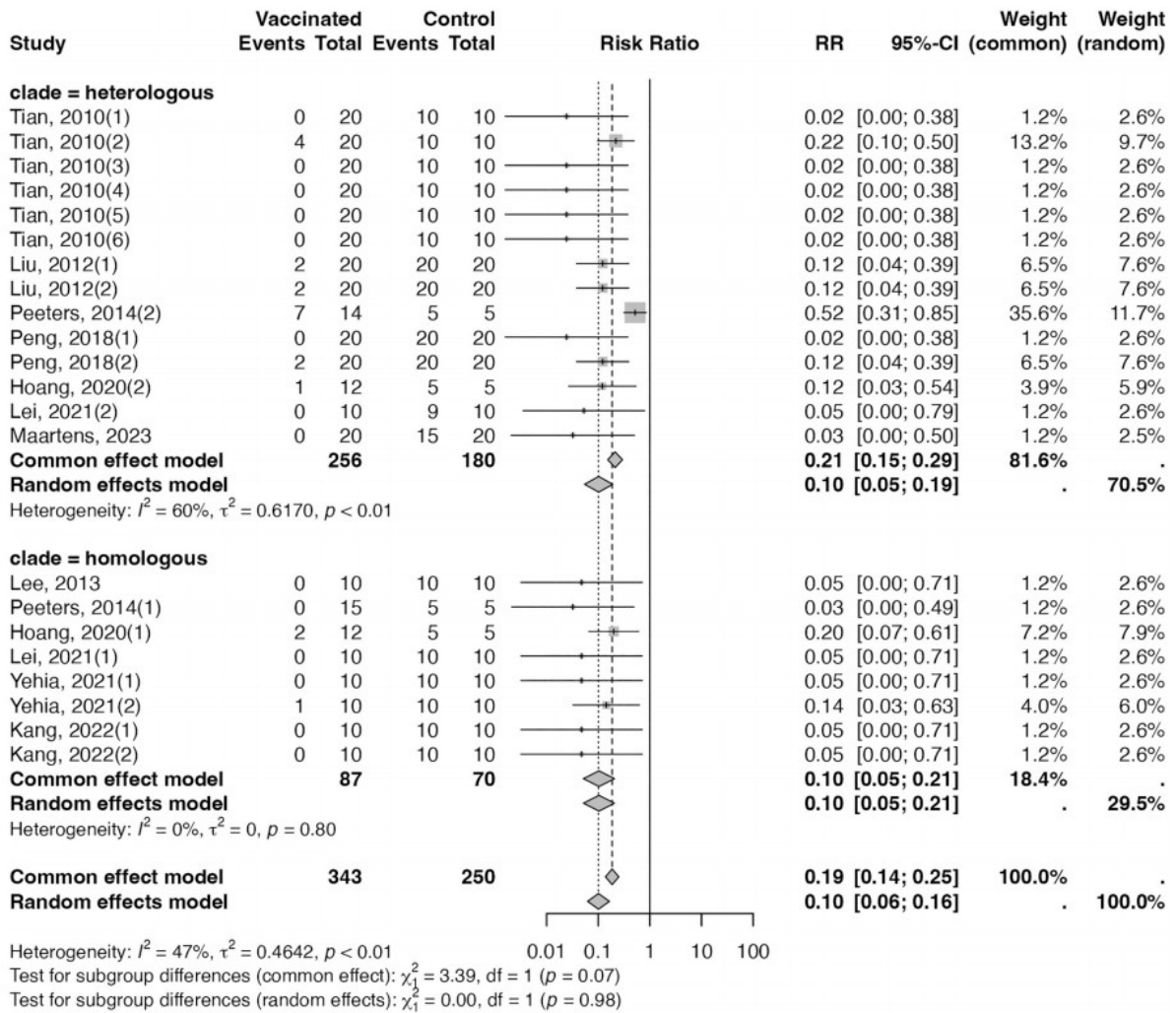
Fig. 3. Forest plot of live recombinant vaccines illustrating efficacy in reducing mortality.

출처: I. Tseng et al.

<그림 11> 생백신 포레스트 플랏(Forest Plot)

다) 재조합 사백신(inactivated recombinant vaccine)

- 재조합 사백신의 경우, 이종계통 90%($R=60\%^{18}$)의 효능, 동종계통에서 90%($R=0\%$)의 효능을 보여줌.



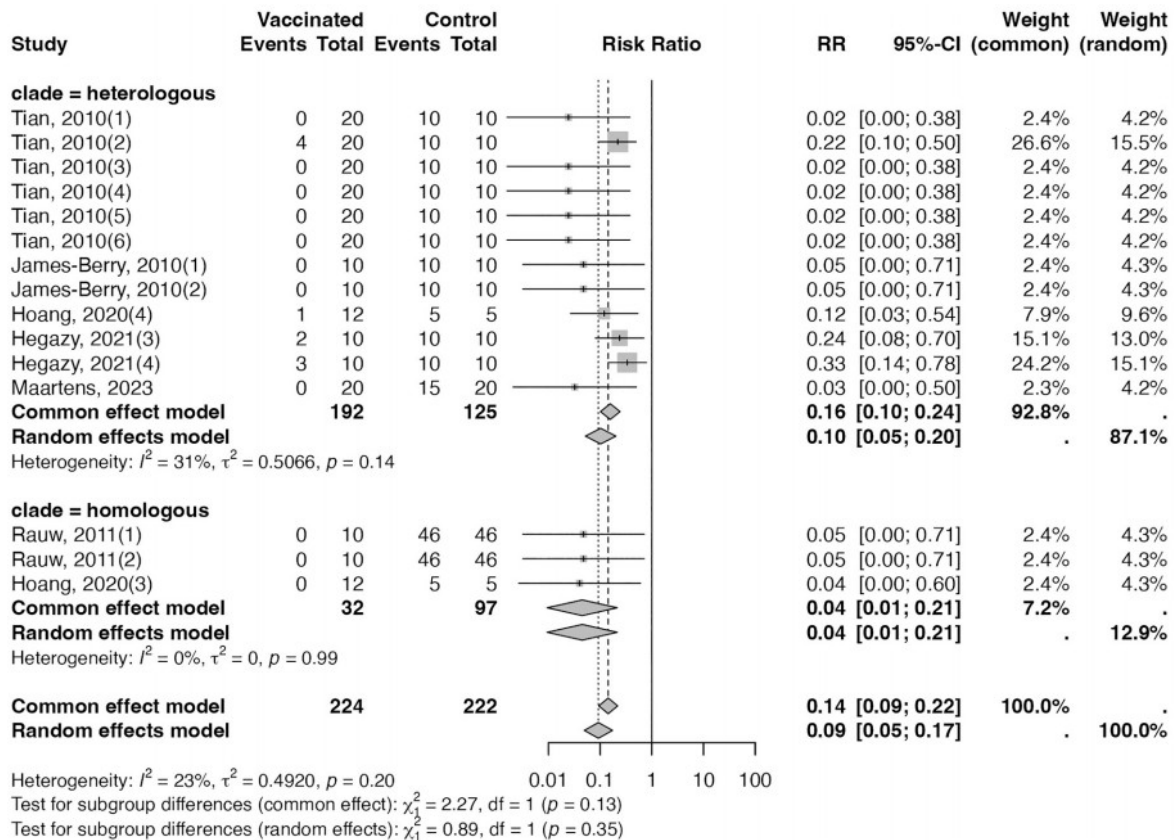
출처: I. Tseng et al.

<그림 12> 재조합 사백신 포레스트 플랏(Forest Plot)

라) 시판용 백신(commercial vaccine)

- 시판용 백신은 91%($I^2=23\%$) 효능을 가지고 있음. 동종계통은 96%($I^2=0\%$) 효능을 가지고 있어, 이종계통의 효능 90%($I^2=31\%$) 대비 우수

18) 이질성이 60%로, random effect의 상대위험도(RR)=0.10에 대한 효능은 90%



출처: I. Tseng et al.

<그림 13> 시판용 백신 포레스트 플랏(Forest Plot)

나. 변이에 따른 인체감염 위험

1) 백신 회피 변이주의 위험성

- 인플루엔자 바이러스의 변이로 인한 백신 도입 시 인체감염 위험성에 대한 문제는 꾸준히 제기되어 왔음. 이와 관련하여 전문가 토론회가 여러 차례 이루어졌지만, 인체감염에 대한 우려는 여전히 해소되지 않아 백신 도입의 걸림돌로 작용
- 이와 관련해 권혁준 서울대 수의대 교수팀은 백신접종이 체액성 면역을 회피하는 바이러스의 돌연변이 출현을 촉진할 수 있으나, 헤마글루티닌 구조를(HA trimer) 불안정하게 만들고 포유류에서의 증식성과 병원성을 감소시킬 수 있다고 설명함¹⁹⁾
- 연구진은 가금류에서 면역 반응을 회피하기 위해 인플루엔자 바이러스의 HA 단백질 특정 위치에 변이가 일어나고, 이러한 변이가 바이러스 구조를 덜 안정적으로 만들어 포유류에서 병원성이 감소할 수 있음을 보여줌.

19) An SH, Lee CY, Hong SM, Song CS, Kim JH, Kwon HJ. Novel Mutations Evading Avian Immunity around the Receptor Binding Site of the Clade 2.3.2.1c Hemagglutinin Gene Reduce Viral Thermostability and Mammalian Pathogenicity. Viruses. 2019 Oct 9;11(10):923. doi: 10.3390/v11100923. PMID: 31600990; PMCID: PMC6832455.

- 백신접종 가금류에서 적응 과정 중 획득한 S144N 및 V223I 돌연변이는 α 2,3 시알산(avian-type) 수용체에 대한 친화도를 조절하여 바이러스 적합성을 유지하는 한편, HA 구조의 열 안정성(thermostability)을 크게 저하시키는 것으로 나타났음. 반면, 이들 면역 회피 돌연변이를 역전시킨 rH5N1-N144S-I223V는 마우스에서 100% 치사율을 보이는 등 더 높은 병원성을 나타냈으며, MDCK²⁰⁾ 및 A549²¹⁾ 세포에서도 유의미하게 강한 복제 효율을 보여 포유류에게 더 위험한 잠재력을 지니고 있음을 시사
- 결과적으로 가금류의 면역 압박을 회피하기 위해 선택된 변이(S144N, V223I)는 조류 내에서의 생존력을 높이는 데는 유리하지만, 그 대가로 포유류에서의 병원성과 바이러스의 구조적 안정성을 저해하는 반면, 이러한 회피 변이가 없는 초기 형태의 바이러스는 포유류 모델에서 오히려 더 강력한 복제 효율과 치사율을 보이고 있음. 이는 가금류용 백신 적응 과정이 포유류에 대한 위험성을 낮추는 방향으로 작용했음을 시사함.

2) 인체감염에 대비한 백신 연구

- 고병원성 조류인플루엔자(H5N1)의 인체감염 사례는 2023년 3월 29일 칠레에서 처음 보고되었음. 이후 미국 젓소 무리의 조류인플루엔자 발생에서 70건의 인체감염 사례와 1건의 사망 사례가 보고되었음. 이처럼 고병원성 조류인플루엔자가 과거와 달리 포유류에서도 지속적 발생 보고가 있어 잠재적 팬데믹으로 이어질 수 있다는 우려가 있음.
- 미국 식품의약국(Food and Drug Administration, FDA)이 세 가지 H5N1 사백신을 승인한 바 있으나, 현재 전 세계적으로 유행하는 2.3.4.4b계통 바이러스에 대해서는 충분한 방어 효과를 기대하기는 어려운 실정이지만, 인체감염 위험에 대비한 백신의 연구·개발이 활발히 이루어지고 있음.
- 최근 Masato Hatta(npj Vaccine) 외 연구진은 인체감염 발생에 대비해 페럿을 대상으로 mRNA 백신을 연구하였음.²²⁾ H5 mRNA 백신 후보군은 호흡기 및 소화기에서 바이러스 복제를 유의미하게 억제하며, 특히 폐 병변 완화를 통해 폐렴 예방과 치사율을 감소에 효과를 보여주고 있음. 또한 2.3.4.4b와 2.3.2.1e계통의 인체 바이러스에 대해 강력한 교차 중화 항체 반응을 유도함으로써, 향후 바이러스 확산 및 전파를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였음.
- 해당 연구의 실험에서는 H5 mRNA 백신 후보 물질이 바이러스 전파를 감소시킬 수 있는지 평가하기 위해 페럿 모델을 사용하였음. 총 4그룹으로 나누어 실험을 설계하였으며, 백신접종은 3

20) MDCK 세포(Madin-Darby Canine Kidney): 정상적인 개의 신장(Canine Kidney) 조직 유래 세포

21) A549 세포(Adenocarcinomic Human Alveolar Basal Epithelial cells): 인간 폐포 상피의 폐암 조직 유래 세포

22) Hatta, M., Brock, N., Hauguel, T. et al. Influenza mRNA vaccine reduces pathogenicity and transmission of A(H5N1) virus in a ferret model. npj Vaccines 10, 263 (2025).

<https://doi.org/10.1038/s41541-025-01318-3>

주 간격으로 2회 근육주사 하였음. 두 번째 백신접종 후 5주 후, 접종군 동물에게 MI/24 10⁶ P FU를 투여하여 조류인플루엔자 바이러스에 감염시켰으며, 감염 24시간 후, 접촉군 동물을 접종군 동물과 같은 우리에 넣었음.

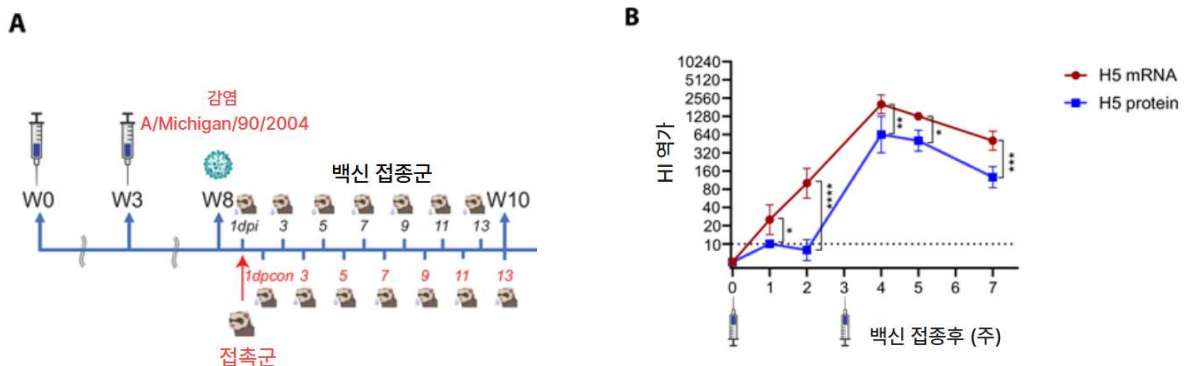
<표 7> 고병원성 조류인플루엔자 백신 투여 페럿 실험 모델

그룹	접종군	접촉군
	백신투여/ 종류	백신투여/ 종류
1	비접종	비접종
2	H5 mRNA 백신(30μg)	비접종
3	H5 protein 백신*(30μg)	비접종
4	비접종	H5 mRNA 백신(30μg)

* AddaVax를 백신 보조제(adjuvant)로 사용한 재조합 Ast/20 H5 protein 백신 30μg

출처: Hatta, M. et al.

- 각 그룹 내에 실제로 바이러스에 감염시킨 동물(접종군)과, 그 옆에 감염병 전파 여부를 확인하기 위한 동물(접촉군)을 같이 두었음. 그룹1은 대조군 백신 투여 없이 감염시킨 동물(접종)과 백신을 안 맞은 동물(동물), 그룹2는 H5 mRNA 백신을 투여한 뒤 바이러스에 감염시킨 동물(접종)과 백신을 안 맞은 동물(접촉), 그룹3은 H5 protein 백신을 투여한 뒤 바이러스에 감염시킨 동물(접종)과 백신을 안 맞은 동물(접촉), 그룹4는 백신 투여 없이 바이러스에 감염시킨 동물(접종)과 H5 mRNA 백신을 접종시킨 동물(접촉)로 설계하였음.
- 실험 결과 대조군(그룹1)에서는 접촉군 동물 100% 감염이 되었으며, 그룹2에서는 접촉군 3마리 중 2마리만 감염(전파율 감소), 그룹3에서는 바이러스 배출은 줄었지만 접촉군 모두 감염되어 전파 차단에 효과가 없음을 보여줌. 한편 그룹4에서는 접촉군 모두에서 바이러스 검출이나 항체 반응이 관찰되지 않아 전파가 완전히 차단되었음을 설명함.



*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001; ****P < 0.0001.

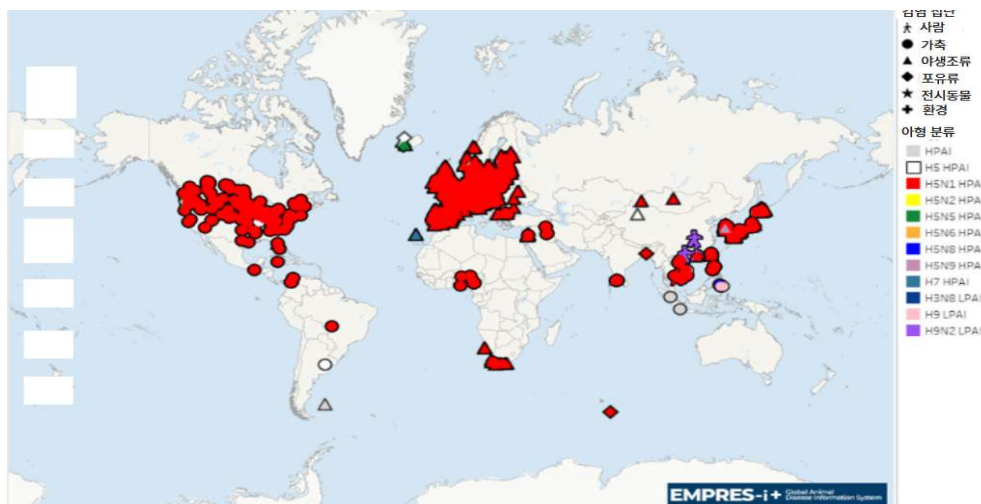
출처: Hatta, M. et al.

<그림 14> 고병원성 조류인플루엔자 백신 페럿 실험 모델

- 위 그림 B는 백신접종 후 1, 2, 4, 5, 7주차에 백신접종 페럿의 혈청 샘플을 채취하여 HI역가를 측정하였음. 역가는 기하 평균과 기하 표준편차로 기술되었으며, 점선은 검사의 검출 한계(10HI)를 나타낸 것임. 그 결과 H5 mRNA 백신을 접종한 페럿은 강력한 항체 반응을 보이고 있으며, HI 역가도 H5 protein 백신을 접종한 동물보다 유의미하게 높았음(7주차 $p < 0.001$).
- 결과적으로, 백신접종을 통해 바이러스 배출량이 유의미하게 감소함에 따라 주변으로의 감염 확산 가능성을 효과적으로 낮출 수 있음. 특히 접촉군에 mRNA 백신을 접종했을 경우 감염이 완전히 차단되는 뛰어난 방어 효과를 보여, 이는 mRNA 백신이 단순한 개체 보호를 넘어 바이러스 전파 억제를 위한 강력한 예방 수단이 될 수 있음을 시사함.

4. 백신 도입의 동향

- 다음의 그림은 전 세계적으로 H5N1의 발생 분포를 보여줌. 유럽과 아시아, 미국에서 발생 분포가 두드러지며, 아시아에서는 가축과 야생조류에서 발생이 두드러짐.



출처: Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO)

<그림 15> 2025년 10월 1일 이후 관찰된 조류인플루엔자 바이러스(AIV)의 전 세계적 분포(2026.1.22.기준)

가. 상시 접종 국가

* 조류인플루엔자가 이미 상재화되어 차단방역만으로는 통제가 불가능한 국가

1) 중국²³⁾

- 중국은 2005년부터 의무 백신접종 정책을 오리류를 포함한 모든 감수성 가금류에 시행. 약 20년간의 시행을 통해 의무 백신접종이 가금류 및 조류에서 사람으로의 고병원성 조류인플루엔자 전파를 효과적으로 차단할 수 있음이 입증되었음.

23) Hualei Liu, Prevention and Control of HPAI and ND in China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, WOA

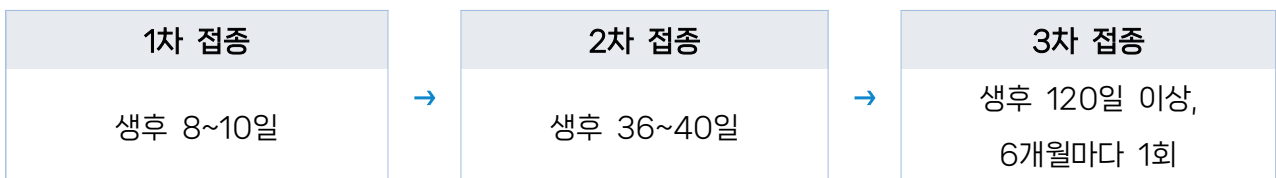
- 백신 생산 및 공급 시스템이 개선으로, 현재 11개의 공인된 생산 업체에서 백신 생산
- 사백신(H5 및 H7 아형)이 널리 사용되었으며, 2022년에는 54억mL의 백신 사용
- 백신 정책 후, 2022년 면역 항체 형성률은 97.3%

2) 홍콩²⁴⁾

- 1997년부터 홍콩에서는 H5 아형의 고병원성 조류인플루엔자가 산발적으로 발생. 이러한 발생의 주요 조치는 살처분이었으나, 2003년부터는 고병원성 조류인플루엔자 백신 정책을 도입함.
- 현재 홍콩에서는 29곳의 허가받은 닭 농장이 있으며, 각 농장당 사육 두수는 10,000~162,300 두수
- 2025년 기준, 홍콩 농장에서 가장 최근 발생(H5 아형)은 2008년이었으며, 야생 조류에서는 2024년 야생조류에서 H5N1(클레이드 2.3.4.4b)가 확인되었음
- 홍콩에서의 조류인플루엔자에 대한 예방은 가금류 농장, 가금류 시장, 소매 시장, 야생조류 등 여러 경로에서 질병의 확산을 차단하고 있음.

가) 가금류 농장

- 가금류 농장의 최소 주 1회 정기적 점검
- 가금류 농장의 닭 사육밀도(Farm capacity) 월 1회 모니터링
- 허가 사항의 하나로 개별 바이오시큐리티 조치 이행 요건
- 고병원성 조류인플루엔자 백신접종 의무



- 정기적 고병원성 조류인플루엔자 검사 실시 (예: 구강인두 및 총배설강, 혈액, 환경 등 시료 채취)
- 기타 고병원성 조류인플루엔자 검사

24) Jeremy Ho, Hong Kong Special Administrative Region, WOA, China, East Asia CVO Meeting 2025,

- ✓ 시장으로 유통 전 접종된 닭을 대상 무작위 추출 (n=30), 구강인두 및 총배설강에서 스왑 (swab)하여 H5 및 H7 아형에 대하여 PCR검사 실시
- ✓ 2차 접종 이후, 4주가 지난 무리를 대상으로 무작위 추출(n=30), 백신의 효능(H5 및 H7 아형의 혈청학적 HI검사²⁵⁾) 평가
- ✓ 백신접종된 종계를 대상으로 무작위 추출(n=30), 백신의 효능(H5 및 H7 아형의 혈청학적 HI검사) 평가
- ✓ 정기적으로 사육환경에서 시료를 채취 후 조류인플루엔자 감염여부 모니터링
- ✓ 농장에서 폐사한 닭의 경우 조류인플루엔자 감염여부 검사

*백신접종된 닭의 혈액 시료 중 70% 이상에서 HI역가가 1:16 이상인 경우에 한해 닭의 유통 판매가 가능

나) 가금류 도매시장

- 모든 살아있는 가금류는 경로 추적을 위해 지정된 도매시장을 거쳐야 함
- 아침 유통·거래 후 매일 청소와 소독 필수
- 폐사한 닭의 경우 매일 수거, 필요시 고병원성 조류인플루엔자 검사 실시

다) 가금류 소매시장

- 모든 소매시장의 가금류 판매는 허가 사항임.
- 2008년 이후 판매 후 살아있는 가금류는 매일 오후 8시까지 도축 완료 필수(야간 방치 금지)
- 분변 및 환경에서 시료 채취로 조류인플루엔자 감염 여부의 지속적 모니터링

라) 가정 사육의 금지

- 2006년 이후 가정에서 닭, 오리, 거위, 비둘기, 메추리와 같은 가금류 사육 금지
- 관할 기관에서 가정용 가금류 사육 여부에 대한 순찰 및 단속

마) 야생조류 모니터링

- 발견된 모든 조류 사체는 정부 산하 기관으로 보내져 조류인플루엔자 감염 여부 검사
- 구강인두 및 총배설강에서 스왑(swab)하여 H5 및 H7 아형에 대하여 PCR검사 시행

3) 베트남

- 2005년 고병원성 조류인플루엔자 백신 정책 실시

25) 혈청학적 혈구응집 억제(Hemagglutination Inhibition, HI) 여부를 통해 백신접종 후 항체가 제대로 형성되었는지 백신의 효과 평가에 활용

- 2007년 클레이드 1에서 클레이드 2.3.4로 변이되었으나, Re-1 백신이 두 변종 모두에 효과적이었으므로 백신변경 없음.
- 2009-2010년에는 클레이드 2.3.4에서 클레이드 2.3.2.1a 및 b로 변이되었고, 클레이드 2.3.2.1b에는 Re-6 백신이 사용되도록 변경. 2012년에는 클레이드 2.3.2.1c에 대해서도 Re-6 백신이 사용
- 2014년에 클레이드 2.3.4.4(H5N6)가 출현함에 따라 Re-6 백신이 클레이드 2.3.4.4에 속하는 변종에 효과가 없으므로 Re-5 백신을 다시 사용

VACCINATION HISTORY

		Clade	Vaccine use
2003, 2004	• 1 st outbreak of HPAI H5N1	1; 5	- NA
2005	• Vaccination campaign start & new clades appear	0; 1; 2.3.2; & 2.3.4	- Re-1 (clade 0, 1)
2006 to 2009	• Vaccination & new clades appear	1; 2.3.4; 2.3.2.1a	- Re-1
2010	• Start to use Re-5 vaccine & stop using Re-1 • 2 regionals were divided by vaccination for virus clade circulation	1; 2.3.4; 2.3.2.1a	- Re-5 (clade 2.3.4)
2011 to 2014	• The appearance of new H5 virus strain • New vaccine was introduced Re-6 & using local vaccine	1; 5; 7; 2.3.4; 2.3.2.1a (b, c) and 2.3.4.4	- Re-5 - Re-6 & Navet-Vifluvac (clade 1)
Now	• Re-6 + Re-8 in progress		

Note:

- Navet-vifluvac: A/Viet Nam/1194/2004(H5N1)-NIBRG-14, clade 1
- Re-5: A/duck/Anhui/1/06 (H5N1), clade 2.3.4
- Re-6: A/duck/Guangdong/S1322/2006 (H5N1), clade 2.3.2.1b
- Re-8: A/chicken/Guizhou/2013 (H5N1), clade 2.3.4.4

출처: WHOA

<그림 16> 베트남 백신 정책 전략

4) 인도네시아

- 2004년부터 인도네시아 정부는 고병원성 조류인플루엔자에 대한 전략적 통제 조치로 질병 감시 및 살처분과 함께 백신접종을 실시해 왔음.
- 인도네시아 정부의 백신 정책은 산란계 가금류를 대상으로 실시(육계 및 가정용 가금류 제외)
- 인도네시아 정부는 가금류 수출을 위해 세계동물보건기구의 지침에 따르고 있으나, 세계동물보건기구의 인정 여부는 별도 확인 필요.
- 변이로 인한 신종 조류인플루엔자에 대비하여, 3E(①Early detection, ②Early response, ③ Early reporting) 프로그램 시행

<인도네시아 정부의 고병원성 조류인플루엔자 예방 조치>

1. 가금류 조류인플루엔자 감시: 인도네시아 정부는 6개월마다 세계동물보건기구에 조류인플루엔자 발생 현황 보고
2. 수동감시: 농장주는 가금류의 식욕부진, 산란 중단, 신경학적 징후, 혈액순환 장애로 인한 벗과 육수의 부종 및 청색증, 기침과 재채기 설사와 같은 임상징후를 동반하거나 징후 없이 폐사하는 경우 담당기관에 보고
3. 능동감시: 담당기관은 농장 단위로 바이러스 검출 및 혈청학적 방법을 사용하여 무작위 검사 시행
4. 표적감시: 바이러스 모니터링을 위해 조류시장(live bird markets)과 야생조류(거위)에 대한 표적 감시 시행
5. 바이러스 모니터링: DIC(Animal Disease Investigation Centers)는 바이러스 항원 및 유전자 데이터를 확보. 이를 근거로 백신접종(LPAI H9N2 결합주)

출처: Nasrullah

나. 전략적 도입 국가

1) 미국

- 과거 미국 정부는 교역 마찰과 정치적 부담 등을 이유로 가금류 백신접종에 보수적인 입장을 취해왔으나, 2025년 2월 H5N1 바이러스의 급격한 확산에 따른 계란 가격 폭등으로 인해 미국 농무부(USDA)는 가금류 백신 사용을 조건부 승인하였음.
- 그간 미국은 고병원성 조류인플루엔자에 대해 살처분 위주의 엄격한 방역 정책을 고수해 왔으나, 2022년 2월 출현한 클레이드 2.3.4.4b 계통의 확산은 기존 방역 체계의 한계를 여실히 드러내었음.
- 이에 대응하여 조에티스(Zoetis)가 개발한 백신은 가금류뿐만 아니라 최근 포유류(소 및 인간)로 전파된 변이주까지 겨냥하여 설계되었음. 특히 미국 질병통제예방센터(CDC) 연구진이 젓소 모델에서의 유의미한 항체 형성 효과를 입증함에 따라, 해당 백신은 가축 방역을 넘어 잠재적 팬데믹 위협에 대응할 유망한 대안으로 주목받고 있음.
- 2025년 3월 20일, 미국 농무부 장관은 보건복지부(HHS), CDC, 국립보건원(NIH), 식품의약국(FDA) 등 관계부처와의 협의를 통해, H5N1 확산 저지를 위한 백신·진단·치료법 개발 및 전폭적인 연구 지원 계획을 발표하였음.²⁶⁾

* 최근 유럽에서도 조류인플루엔자에 대한 정책적 변화가 있음

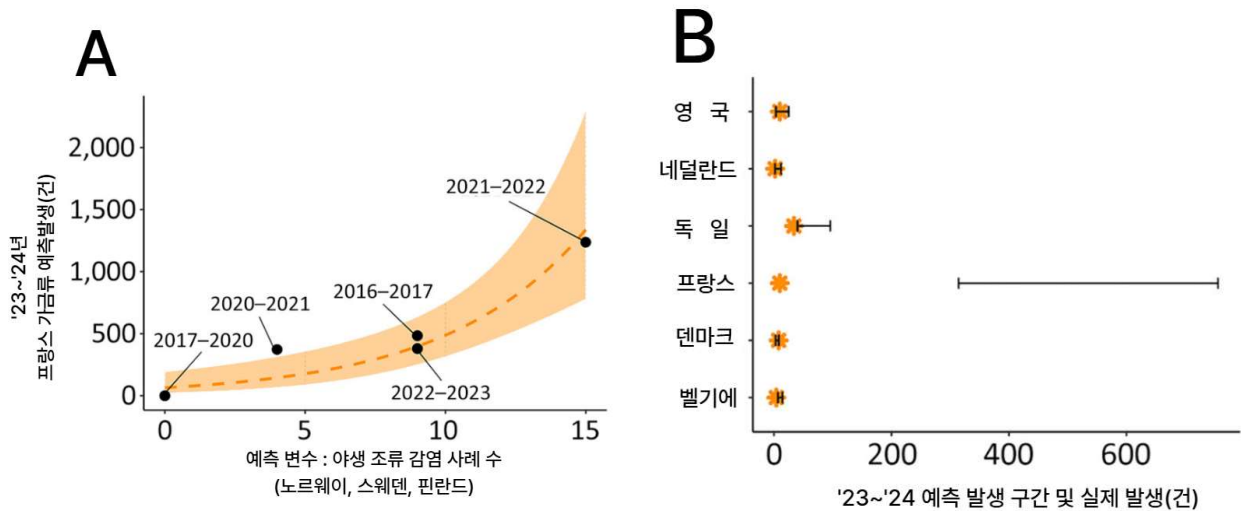
26) USDA Announces Next Steps in the Effort to Support the Fight Against Avian Influenza, USDA, March 20, 2025, <https://www.aphis.usda.gov/news/agency-announcements/usda-announces-next-steps-effort-support-fight-against-avian-influenza>

2) 프랑스²⁷⁾²⁸⁾

- 프랑스는 2023년 10월부터 예방적 백신접종을 도입하였음. Volvac B.E.S.T. AI+ND 백신은 부화 후 10일령, 28일령, 56일령에 걸쳐 세 차례 접종되었으며, 그 결과 발병 건수가 크게 감소하였음. 2021-2022년 1,374건, 2022-2023년 396건에서 2023-2024년에는 단 10건(칠면조 6건, 오리 3건, 닭 1건)만 보고되었음.
- 가금류 집단 발병 건수는 첫 발생 한 달 전 해당 지역의 야생조류 감염 사례 수를 통해 예측할 수 있음. 이 방법은 인과관계를 설명하는 것은 아니지만, 다른 국가에서도 유사한 예측 정확도를 보여왔음. 그러나 프랑스의 경우 예측치가 487건(95% 신뢰구간, 314-756)이었던 반면 실제 발생은 10건에 불과해 큰 차이를 보였음.
- 야생조류 감염 사례를 활용한 발생 예측은 프랑스를 제외한 대부분 국가에서 실제 발생 건수와 유사한 양상을 보였음. 아래 그림의 A에서는 백신 도입 이전 프랑스 내 가금류 발생(검은 점)이 예측 구간에 근접했으나, 백신 도입 시기였던 2023-2024년의 실제 발생 건수는 예측치를 크게 벗어남. 반면 B에서는 영국, 네덜란드, 덴마크 등 비백신 정책 국가의 실제 발생 수가 예측 구간과 매우 근접하고 있음. 다만 독일의 경우 구간의 하한값에 가까웠는데, 이는 독일의 방역 정책 변화에 따른 결과로 추정됨.

27) Official Vaccination Plan Highly Pathogenic Avian Influenza(HPAI) Fact sheet-4 Description of The Vaccine Used. Ministere de l'agriculture et de la souverainete alimentaire

28) Guinat C, Fournet L, Lambert S, Martin E, Gerbier G, Pellicer AJ, Guérin JL, Vergne T. Promising Effects of Duck Vaccination against Highly Pathogenic Avian Influenza, France, 2023-2024. *Emerg Infect Dis.* 2025 Jul;31(7):1468-1471. doi: 10.3201/eid3107.241445. Epub 2025 Jun 11. PMID: 40498635; PMCID: PMC12205464.



주변 국가 야생 조류 감염 사례 수에 따른 프랑스 내 발생 예측 건수. 검은 점은 2016~2023년 프랑스에서 관찰된 발생 건수를 나타냄.

2023~2024년 프랑스와 유럽 내 조류독감(H5) 감염률이 높은 비백신접종 국가에서 예측된 가금류 발생 건수와 관찰된 발생 건수. 주황색 별은 관찰된 발생 건수를 나타내고, 오차 막대는 95% 예측 구간을 나타냄.

출처: Guinat C et al.

<그림 17> 2023/2024년도 프랑스 발생 예측치(건) 및 실제 관찰값의 차이

2023-2024년 백신접종 사업	추진 사업용 백신 총 1억 4,100만 도스를 구매 - Volvac B.E.S.T. AI+ND 백신 (베링거링겔하임) 8천만 도스 - Ceva Respons AI H5 (Ceva Santé animale) 6,100만 도스
↓	
2024-2025년 백신접종 사업	추진 사업용 백신 1억 4,226만 도스의 백신을 주문 - Volvac B.E.S.T. AI+ND 백신 - Ceva Respons AI H5 백신
↓	
2025-2026년 백신접종 사업	백신 구매는 운영자의 책임이며, 수의보건 담당자를 통해 주문

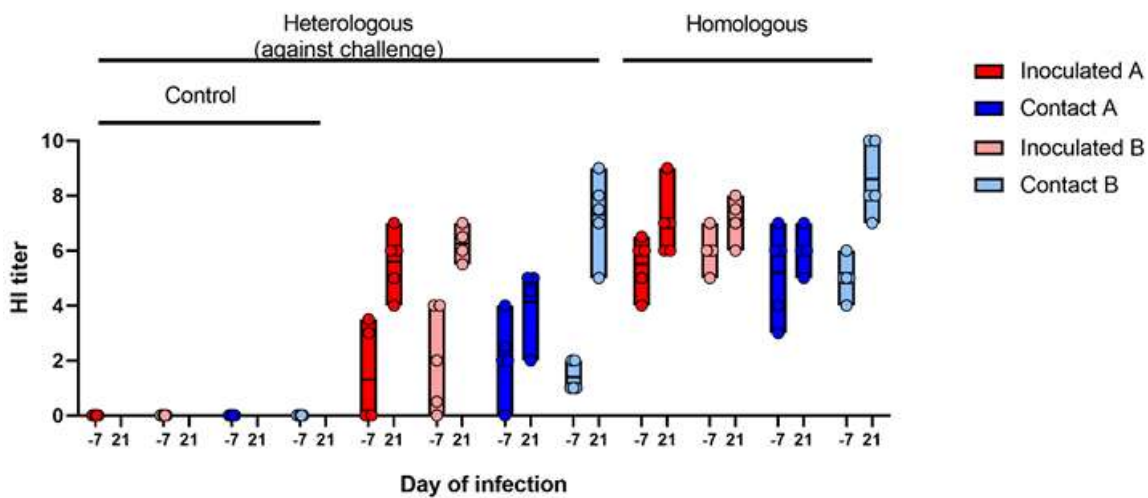
* 2016/429 규정을 보완하는 2022년 11월 28일자 위임 규정(EU) 2023/361에 따라 백신은 공수의사 감독하 투여

3) 네덜란드²⁹⁾

- 네덜란드는 매년 수억 마리의 철새가 거쳐 가는 주요 경유지로, 조류인플루엔자 확산에 매우 취약한 지리적 요건을 갖추고 있음. 과거 네덜란드의 가금 농장 내 조류인플루엔자 발생은 수년 주기로 겨울철에만 국한되는 양상을 보였으나, 2021년 겨울을 기점으로 이전과는 비교할 수 없을 만큼 많은 농가에서 감염 사례가 보고되며 발병 패턴의 급격한 변화를 맞이하고 있음.

29) Bird flu (avian influenza), National Institute for Public Health and the Environment Ministry of Health, Welfare and Sport, <https://www.rivm.nl/en/bird-flu>

- 네덜란드 농림부(LNV)는 2023년, 조류인플루엔자 백신접종을 위한 현장 시험을 개시하며, 갓 부화한 병아리 1,800마리를 대상으로 고병원성 H5N1 백신을 접종하였음. 2025년 말까지 진행된 해당 시험 결과, 접종 대상군에서 감염 사례가 전혀 발생하지 않았으므로 백신의 유효성을 입증하였음.
- 2025년부터는 앞선 시험에서 검증된 백신 중 하나를 선정하여 대규모 시범 접종 사업을 확대 시행하였음. 다만, 백신접종 농가의 계란 수출이 제한되는 국제 통상 규범을 고려하여, 이번 시범 사업은 네덜란드 내수 시장에만 계란을 공급하는 양계장을 대상으로 진행함. 펌케 보어스마(Femke Boersma) 농림부 장관은 해당 시범 사업을 향후 2년간 지속할 예정이라고 밝혔음.



출처: K.M. Bouwman et al.

<그림 18> 접종군과 접촉군에서 HI 역가 (Log₂)

- 이 외에도 와닝겐 대학에서 백신(VECTORMUNE®) 효과에 대한 실험이 이루어졌고, 위 그림은 접종 7일 전(-7dpi)과 접종 21일 후(21dpi) 수집된 혈청을 백신 바이러스(동종) 및 현재 고병원성 조류인플루엔자 H5N1 접종 바이러스(이종)와 관련성이 높은 항원에 대해 HI에서 테스트한 결과를 보여주고 있음. 대조군의 경우 연구가 끝나기 전에 폐사하여 혈청학적 테스트를 수행이 불가하였으며, 이종계통보다는 동종계통의 백신에서 높은 역가를 보여주고 있음.³⁰⁾
- 해당 연구의 주요 결과는 다음과 같음.

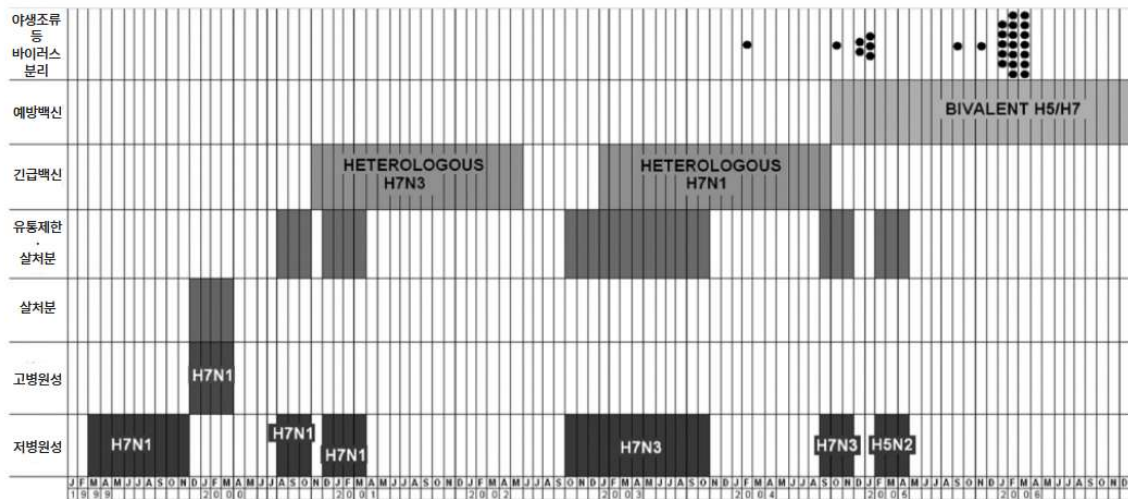
30) K.M. Bouwman, C.A. Jansen, M.C.M. de Jong, et al. "Progress report: Transmission study testing HVT-H5 vaccine against highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5N1 virus (clade 2.3.4.4b)." Wageningen Bioveterinary Research Publications. September 2024. DOI: 10.18174/669647

- ✓ 조류인플루엔자 백신을 접종하지 않은 대조 그룹에서 모든 닭(20/20 접종 및 접촉)은 바이러스 노출(공격접종) 후 감염되었으며 추정 감염재생산지수는 1보다 상당히 큼. 즉 $R(95\% \text{ 신뢰구간}) = 15.4(6.0 - 33.0)$. 반면 백신접종군에서는 R이 대조군에 비해 상당히 감소하여, $R = 1(0.5 - 2.1)$ 또는 $R = 1.9(0.5 - 5.2)$ 였음.
- ✓ 백신을 접종하지 않은 대조군에서는 접종 및 접촉감염 닭에서 5일 이후(5dpi) 100% 폐사율이 발생하였으나, 백신접종군에서는 폐사율이 10%로 현저히 감소하여 임상증상과 폐사율 측면에서 그 효과를 보여줌.
- ✓ 예방접종을 한 닭은 대조군의 닭과 비교했을 때 바이러스의 양이 감소하였음. 접종 후 혈청학적 반응에서 대부분의 개체는 병원균에 대하여 반응하여 항체를 생성한 것으로 나타났음. 백신 접종 후 24주차(산란 생산성이 높은 시기)에 향상된 생존율을 보여주고 있으며, 대조군(백신 미접종)에 비하여 고병원성 조류인플루엔자 H5N1(2.3.4.4b) 공격에 대한 체액성 및 세포성 면역 반응이 유도되었음.

출처: K.M. Bouwman et al.

4) 이탈리아³¹⁾

- 1999년 이후 이탈리아 북부 가금류 밀집 지역에서는 H5 및 H7 아형의 조류인플루엔자가 지속적으로 발생하였음.



출처: Ilaria Capua, Stefano Marangon

<그림 19> 1999년부터 2006년까지 이탈리아에서 발생한 조류인플루엔자 발생 및 대응

- 2007년 이탈리아 '뉴캐슬병 및 조류인플루엔자 연구소'(OIE/FAO Reference Laboratory fo

31) Ilaria Capua, Stefano Marangon, The use of vaccination to combat multiple introductions of Notifiable Avian Influenza viruses of the H5 and H7 subtypes, Science direct, 16 February 2007

r Newcastle Disease and Avian Influenza)의 발표에 따르면, 6년간 조류인플루엔자 백신 투여 결과 바이러스 감염의 확산을 억제하고, 감수성 개체군으로 바이러스 유입을 예방하는 데 유의미한 효과가 있었음.

<표 8> 2000년~2005년 이탈리아 저병원성 조류인플루엔자 발생 현황

발생년도(년)	인플루엔자 아형	발생기간	발생건수	비고
2000~2001	LPAI H7N1	7.2개월	78	H7 이종계통 백신 투여
2002~2003	LPAI H7N3	11.6개월	388	H5/H7 이가백신 투여
2004	LPAI H7N3	2.8개월	28	17개 농장에 1회 또는 2회 백신 투여*
2005	LPAI H5N2	1.1개월	15	모든 가축을 대상으로 1회 투여

*당시 백신접종 권장 횟수는 3회였으나, 1~2회 백신접종 이후에 감염되어 3회차 접종은 불가

출처: Ilaria Capua, Stefano Marangon

- 2002~2003년 (H7N3 저병원성 조류인플루엔자): 388개 농장에서 약 766만 마리가 감염되었으며, 이 중 163개 농장의 423만 마리가 살처분되었음. 긴급백신 접종에도 불구하고 육용 칠면조 농장 내 확산을 완전히 저지하지는 못했으나, 주변 지역으로의 대규모 확산은 방어하였음. 이 시기 감염재생산지수(R)³²는 2.9(95% 신뢰구간: 2.3~3.9)에서 0.6(95% 신뢰구간: 0.5~0.7)로 크게 낮아졌으며, 이는 바이러스의 확산세가 꺾였음을 의미함.
- 2004년: 2월부터 감염 지역 전체 예방접종을, 10월부터는 고위험군을 대상으로 집중 접종을 실시하였음. 권장 횟수(3회)를 채우지 못한 1~2회 접종 시점에서 감염 사례가 발생하기도 했으나, 전년도 388건에 달했던 발생 건수가 28건으로 대폭 감소했음.
- 2005년: 15개 칠면조 농장에서 조류인플루엔자가 발생하였음. 발생농장 중 13곳은 백신접종을 마친 상태였는데, 이는 칠면조(성체)의 면역 지속 기간이 산란계보다 짧다는 생물학적 특성을 보임.
- 해당 연구 기간에 사용된 백신은 사백신(Inactivated Vaccine)으로, 최근 개발된 백신들에 비해 상대적으로 면역 효과가 낮을 수 있다는 점을 고려해야 함. 그럼에도 불구하고 이탈리아의 사례는 적절한 백신 전략과 철저한 방역 조치의 병행이 대규모 확산을 막는 주요 대안이라는 점을 시사
- 다만 이탈리아에서 백신접종은 목표했던 LPAI H7N1, H7N3, H5N2 감염을 성공적으로 막아내고, 가금류 및 가금 제품에 대한 무역 제한 우려, EU 재정 지원 중단 등의 이유로 2006년 12월 종료

32) 감염 기간 동안 감수성 인구에서 발생하는 평균 신규 감염자 수

다. 세계동물보건기구(구 OIE) 전략(2007년)

- 세계동물보건기구 특별위원회는 조류인플루엔자 확산을 효과적으로 차단하기 위해, 기존의 방역 체계와 백신접종의 전략적 병행을 권고하였음. 백신은 단독 수단이 아닌, 살처분, 이동제한 명령, 고강도의 소독 및 위생 관리와 같은 차단방역과 함께 보완 조치로서 전략적 도입이 필요하다고 설명. 동시에 어떤 방식의 백신접종이든 출구전략으로 포함해야 함을 강조³³⁾
- AI 백신접종을 독립적 처방이 아니라, 국제기준에 따른 위험기반 의사결정, 국가 비상계획, 감시체계, 법제도, 민관협력, 연구개발, 소통전략이 결합된 종합 방역정책으로 설계할 것을 권고하고 있으며, 주요 내용은 다음과 같음.

1) 백신접종 정책의 기본원칙과 전략수립 필요

- 조류인플루엔자 발생 상황과 시행 중인 예방 및 방역 전략의 성공 여부를 지속적으로 평가하여, 필요할 때 이러한 전략을 수정 또는 조정할 수 있도록 질병 예방과 방역에 반복적 접근법을 채택
- 백신접종 계획은 비상계획 및 긴급대비계획의 통합적 일부로 포함
- 국가 또는 지역에서 백신접종 전략을 시행하기 전에 그 목표를 정의하도록 명시. △유행 상황에서의 긴급 백신접종 △바이러스 유입 위험이 높고 조기 발견 및 신속 대응 조치만으로는 충분하지 않을 수 있다고 판단될 때 시행하는 예방적 백신접종 △상재 지역에서 시행하는 정기 백신접종을 구분하여 목적에 따른 전략 제시

가) 긴급백신접종

- (1) 적용 상황: AI가 이미 유입되었거나, 역학적으로 감염이 빠르고 대규모로 확산될 가능성이 있을 때 선택
- (2) 목적: 발생 상황에서 바이러스 확산을 최대한 빠르게 줄이고, 방역 조치가 따라잡을 시간을 확보
- (3) 운영방식
 - 보호적 백신접종: 백신을 맞은 동물을 살려 두고 정상적인 경제수명을 유지하게 하는 방식. 이 경우 백신접종 개체와 감염 개체를 구분할 수 있는 DIVA 전략이 필수
 - 억제적 백신접종: 확산 억제를 위해 백신을 접종하되, 이후 살처분 등 제거 조치와 결합
- (4) 병행조치: 감염 농장 살처분, 의심 농장 관리, 이동제한, 구역화, 계열화·구획화, 통제된 출하, 강화된 예찰을 함께 시행

나) 예방백신접종

- (1) 적용 상황: 아직 감염이 확인되지 않았더라도, H5 또는 H7형 조류인플루엔자 바이러스가 유

33) Avian Influenza vaccination, OIE information document/ Verona Recommendations

- 입될 위험이 높고 조기 발견과 신속 대응만으로는 충분하지 않다고 판단될 때 시행
- (2) 목적: 바이러스 유입 가능성이 높은 지역·국가·구획에서 사전에 감수성 조류의 면역 수준을 높여 감염과 확산 위험을 저감
- (3) 백신 선택: 위험이 H5 또는 H7 모두에 해당하면 2가 백신을 고려하고, 특정 아형의 유입 위험이 명확하면 단가 백신을 권고
- (4) 운영방식: 예방백신접종도 DIVA 전략 또는 미접종 감시조류를 활용한 감시체계와 함께 운영해야 하며, 위험이 지속되는 동안만 시행하고, 시행 전부터 명확한 종료전략 수립

다) 정기백신접종

- (1) 적용 상황: 질병이 이미 풍토병화되어 있고, 현지 여건상 감염을 단기간에 봉쇄하거나 근절하기 어려운 경우 적용
- (2) 목적: 장기적으로 폐사율과 생산 손실을 줄이고, 감염 수준을 낮춰 향후 살처분과 예찰 중심의 근절 전략으로 전환할 수 있는 기반 마련
- (3) 운영방식: 정기백신접종은 비용과 행정 부담이 크고, 부적절하게 운영되면 바이러스가 계속 순환하면서 풍토화 위험 존재. 따라서 정기접종도 영구적 조치가 아니라, 질병 상황을 정기적으로 평가하면서 중단 가능성 검토 필요

2) 백신접종을 위한 역량 강화 및 자원확보

- 필요한 경우 백신은행 설치, 전략적 백신 비축 또는 백신 생산자와의 특정 협약을 통해, 비상계획 내에서 충분한 품질관리 백신의 가용성을 보장
- 역학, 질병 예찰 및 신고, 현장 및 실험실 진단, 백신접종 기술, 캠페인 시행, 사육 체계 지도, 사회 경제 분석, 프로그램 평가, 의사결정 및 정책 개발 교육을 포함한 적절한 역량 강화 프로그램을 개발
- 백신접종을 포함한 조류인플루엔자 방역 조치를 시행하고 이를 집행할 수단을 마련하며, 백신 허가의 규제 절차를 간소화하기 위해 적절한 법률과 거버넌스를 제공
- 다음 분야의 연구 프로그램을 개발하고 자금을 지원
 - ✓ 분자역학, 야생조류와 다른 동물 종의 역할을 포함한 조류인플루엔자 바이러스의 역학
 - ✓ 모든 관련 요인을 고려한 의사결정 지원 모델 개발
 - ✓ 실험실 및 현장 조건에서 다양한 종에 대한 백신접종 후 면역의 발생, 수준, 지속 기간과 면역 형성을 방해할 수 있는 면역억제 요인
 - ✓ 조류인플루엔자 백신접종과 다른 가금 질병, 특히 뉴캐슬병 방역의 결합
 - ✓ 동반 진단검사를 포함한 새롭고 개선된 백신 개발 및 고품질 백신 요건의 정의
 - ✓ 항원은행 개발

- ✓ 예찰 전략 방법의 최적화
- ✓ 백신접종과 다른 방역 방법을 비교한 생산, 소비, 교역에 대한 영향을 포함한 백신접종의 잠재적 사회경제적 영향
- ✓ 특히 소규모 농가와 뒤뜰 사육 체계에 관한 비용 효과적인 백신 투여 방법("1회 접종")과 전달체계 설계(참여적 접근, 민간 부문 전달)
- ✓ 역학적 및 경제적 분석을 목적으로 백신접종 캠페인 중 생성된 자료의 수집과 분석
- ✓ 조류인플루엔자에 관한 세계 연구 노력을 조정하기 위해 OFFLU³⁴⁾ 및 ETPGAH³⁵⁾와 같은 플랫폼과 이해관계자 연합을 고려

3) 보완적, 제한적 활용

- 백신접종을 살처분 및 차단방역 강화와 같은 전통적 방법에 추가되는 수단으로 고려하되, 항상 이러한 전통적 방법과 결합하여 사용
- 백신접종 시 아래의 사항을 고려하여 국가 상황과 맥락에 대한 위험평가를 포함한 포괄적 분석에 근거하여 시행
 - ✓ 국가 내 질병 상황(예: 상재 여부, 발생 건수와 위치)
 - ✓ 상재 감염국에서 바이러스를 통제하기 위한 예방적 전면 백신접종의 고려
 - ✓ 가금류 생산 및 사육 구조³⁶⁾, 시장 체계, 가금 밀도
 - ✓ 유입 및 그 이후 2차 확산 위험
 - ✓ 농촌 및 도시 환경에서의 소비, 다양한 사육 체계에서의 생산과 교역에 미치는 영향을 고려한 이해관계자별 백신접종의 예상 비용과 편익
 - ✓ 다른 방법과 비교하거나 결합했을 때 백신접종 적용의 실행 가능성, 제약, 비용
 - ✓ 수의 진단 실험실의 가용성과 품질
 - ✓ 수의 서비스의 품질과 제도적 환경
 - ✓ 백신접종을 포함한 다양한 예방 및 방역 조치를 시행할 수 있는 동물보건체계의 역량
 - ✓ 현지 규제 기준에 따라 허가된 품질관리 백신의 가용성
 - ✓ 소비자 행동(식품안전에 관한 우려) 및 이후 시장가격 형성에 미칠 수 있는 영향
 - ✓ 가금류 소유자를 포함한 이해관계자들의 정책 수용

34) OFFLU(OIE/FAO Network on Animal Influenza): 동물의 조류인플루엔자 대응을 위한 국제 WOAH(구 OIE)와 FAO가 공동으로 만든 네트워크

35) ETPGAH(Expertise and Transparency Platform for the Global Animal Health): WOAH(구 OIE)가 운영하는 글로벌 동물 보건 전문가 협력·정보 공유 플랫폼.

36) sector1: 산업형 대규모 상업 농장, 외부와 완전 차단된 높은 높은 생물안전 수준
 sector2: 상업적 규모이나 sector1 보다는 생물안전 수준은 낮음
 sector3: 소규모 상업 농장 또는 시장 출하 소농으로 감염에 취약
 sector4: 농가 뒤뜰에서 방사 사육하는 수준으로, 감염에 매우 취약

- 필요한 접종 후 모니터링을 위한 모든 부대 조치, 방법 및 절차 설계 요구
 - ✓ 접종 후 면역 평가
 - ✓ 백신접종 무리 내 바이러스 순환 모니터링
 - ✓ 농장 내 폐사 조류의 정기 검사
 - ✓ 살아있는 조류 시장의 임상검사 및 모니터링
 - ✓ 유행하는 바이러스의 유전적 및 항원적 특성 모니터링
- 모든 백신접종 정책에는 지역 및 국가 수준에서 지배적인 조건을 재검토함에 따라 백신접종을 종료하는 결과로 이어지는 출구전략 포함

라. 세계동물보건기구(WOAH) 전략³⁷⁾(2024년-2033년)

1) 2026년 고병원성 조류인플루엔자 국외 발생 현황

- 2020년 이후 H5N1 2.3.4.4b 클레이드 바이러스가 출현하여 아시아, 유럽, 아프리카를 넘어 2021년 북미, 2022년 중남미, 그리고 2024년 2월에는 남극 대륙까지 도달하며 전 지구적인 팬조틱(Panzootic)³⁸⁾ 상황임.
- 현재까지 고병원성 조류 인플루엔자 바이러스 감염이 확인된 야생조류, 가금류 및 관상조류는 489종 이상으로 숙주 범위가 폭발적으로 확대되고 있으며, 2008년 이후 가금류 내 저병원성에서 고병원성으로 변이하여 발생한 사례는 15건에 달함.
- 현재 Gs/GD H5Nx 계통은 범대륙적으로 확산되어 일부 국가·지역에서 가금류 및 야생조류 내 풍토병화가 진행되고 있으며, 유라시아 계통 H7N9은 중국 내 가금류에 고착화된 상태로 지속되고 있음. 중국에서는 2017년 강제 백신접종 도입 이후 저병원성 H7N9은 거의 검출되지 않으나, 고병원성 H7N9 바이러스는 전통 시장 등을 중심으로 여전히 감지되고 있음
- 동아시아는 가금 사육 밀도가 매우 높고, 방목형 오리 사육과 야생 수조류 간의 접점이 많아 바이러스 유전자가 섞이는 유전자 변이가 빈번하게 일어남. 따라서 동아시아와 같은 고밀도 가금 사육 지역에서 백신접종과 강화된 감시를 병행하는 것이 전 세계적인 바이러스 확산 속도(Virus burden)를 늦추는 데 결정적인 역할을 할 것으로 보고 있음.

2) 고병원성 조류인플루엔자 글로벌 전략

- WOAH와 FAO는 '예방(Prevent), 보호(Protect), 전환(Transform)'이라는 세 가지 주제를 중심으로 10개년 전략을 수립하였음.

가) 예방: 조기 탐지 및 신속 대응 체계 강화

37) Global Strategy for the prevention and Control of High Pathogenicity AI(2024-2033), WOAH

38) 여러 동물 종에 걸쳐 넓은 지역에 발생하는 전염병(동물의 대규모 유행),

- 원헬스(One Health)적 접근으로, 가금류뿐만 아니라 야생조류, 포유류 및 인간 사례에 대한 데이터를 조기에 통합 수집하여 바이러스의 유입 경로와 확산 경로를 파악
- 국가, 지역, 글로벌 수준에서 정보를 공유하고 투명하게 보고함으로써 질병 위험을 관리하고 안전한 교역을 지원함.
- 자원이 부족한 국가에서도 분자 진단 및 현장 검사가 가능하도록 하여, 바이러스의 변이와 확산을 신속히 감지함.

나) 보호: 가금 산업 및 생태계 보호

- 가금류 농장뿐만 아니라 야생동물과 가금류가 만나는 지점 및 가금 산업의 전반에서 바이러스 확산을 차단하는 과학적 정책을 시행함.
- WOAH는 적절한 방역 체계와 함께 백신접종을 주요 질병 통제 수단으로 인정하고 있음. 재조합 생백신(Recombinant live vaccines)은 생물학적 안전이 확보된 부화장에서 부화 1일령 대량 투여하여 조기 보호를 유도할 수 있고, 백신접종 조류와 감염된 조류를 혈청학적으로 쉽게 구분할 수 있는 DIVA 전략이 될 수 있지만, 백신의 효능에서 제한적이라는 한계가 있음.³⁹⁾
- 바이러스와 백신주 사이의 항원적 적합성을 주기적으로 평가하고, 면역 회피 변이주가 나오지 않도록 고역가 백신을 사용하며 사후 감시를 철저히 수행해야 함.

3) 전환: 지속 가능하고 회복력 있는 시스템으로 변화

- 생산자, 소비자, 과학자 등 다양한 이해관계자가 협력하여 질병 확산 동인을 찾아내고 실현 가능한 위험 관리 옵션을 설계함.
- 저비용의 대량 접종 기술(분무, 물 또는 사료 투여 등)을 통해 농장 또는 축사 내에서 1차 또는 추가 접종으로 쉽게 적용할 수 있는 효과적인 백신을 개발해야 하며, 신규 백신의 개발과 보급을 위해 효능 시험의 표준화와 국가 간의 조화가 필요.
- 비용 효율적인 '환경 시료' 활용 등 고감도 진단법을 활용하여 백신접종 농장의 안전성을 증명하고 백신접종으로 인한 교역 장벽을 낮추기 위한 증거를 제공함.

마. EFSA 전략(2023년, 2024년)

- EFSA는 유럽위원회 요청에 따라 2023년(Part1)과 2024년(Part2)에 걸쳐 백신접종 전략 및 방역 전략에 관한 의견서를 발표하였음.⁴⁰⁾⁴¹⁾

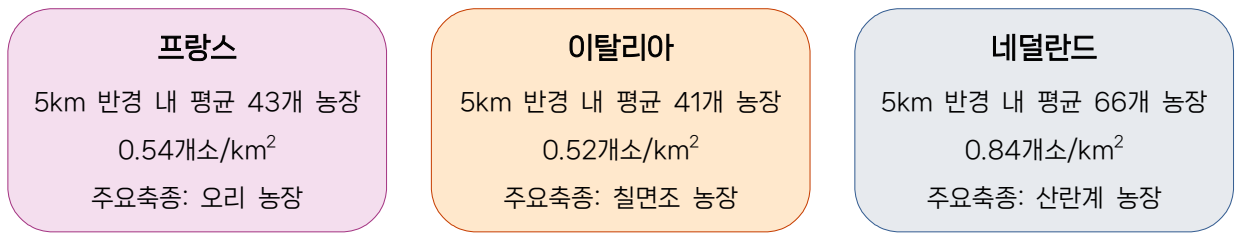
39) Swayne, David E., David L. Suarez, and Leslie Sims. "Influenza." Diseases of Poultry. 14th ed., edited by David E. Swayne et al., John Wiley & Sons Inc., 2020, pp. 219-256. DOI: 10.1002/9781119371199.

40) EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), European Union Reference Laboratory for Avian Influenza, Nielsen et al., 2023. Vaccination of poultry against highly pathogenic

1) EFSA 방역 모델

가) 전파 커널 모델(Spatial Transmission Kernel)

- EFSA는 농장 간 고병원성 조류독감 전파 위험을 공간적으로 분석하기 위해 전파 커널 함수를 활용함. 해당 모델은 프랑스(오리), 이탈리아(칠면조), 네덜란드(산란계)의 최근 대규모 발생 데이터를 기반으로 매개변수를 추정하여, 핵심 지표인 농장 재생산지수(R_h)⁴²⁾를 산출하여 '고위험 전파지역(High Density Poultry Area, HDPA)'을 지도화하였음.
- 농장 재생산지수 $R_h > 1$ 이면 유행확산, $R_h < 1$ 이면 자연 소멸을 의미함. EFSA는 $R_h > 0.8$ 인 지역을 유행 확산 위험이 높은 '고위험 전파지역'으로 분류하고 있으며, 5 km 반경 안에 프랑스 43개, 이탈리아 41개, 네덜란드 66개 이상의 농장이 있으면, 농장이 밀집한 '고위험 전파지역'으로 보고 있음.



<그림 20> 3개국 고위험 전파지역(HDPA) - $R_h > 0.8$

나) 시나리오별 시뮬레이션 결과

- 해당 연구에서는 6가지 방역 시나리오(S0~S5)를 설정하고, 그에 따른 평가 결과를 설명함.
- ① S0: 감염 농장 실처분 실시
 - 전략: EU 규정에 따른 최소한의 의무 조치만을 시행하며, 감염된 가금 농장의 개체들만 제거
 - 효과: 모든 시나리오 중 감염 농장 수가 가장 많았으며, 질병 유행 기간도 가장 길었음.
 - 평가: 단순히 감염 농장만 처분하는 방식은 질병의 확산을 억제하고 유행을 조기에 종식시키는 데 한계가 명확함을 보여주는 대조군(Baseline) 역할
- ② S1: 1km 반경 예방적 살처분 (Ring Culling)
 - 전략: 감염 농장뿐만 아니라, 발생 지점 주변 1km 이내의 모든 가금 농장을 백신접종 없이 선제

avian influenza - part 1. Available vaccines and vaccination strategies. EFSA Journal, 21(10), 1-87. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8271>

41) EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), European Union Reference Laboratory for Avian Influenza, Nielsen et al., 2024. Vaccination of poultry against highly pathogenic avian influenza - Part 2. Surveillance and mitigation measures. EFSA Journal, 22(4), e8755. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8755>

42) 농장 재생산지수: farm-level-reproduction number, 감염병 역학의 기초재생산지수(R_0)와 유사한 개념을 농장 단위에 적용한 것, 1개 감염 농장으로부터 야기된 2차 감염 농장의 수를 의미함.

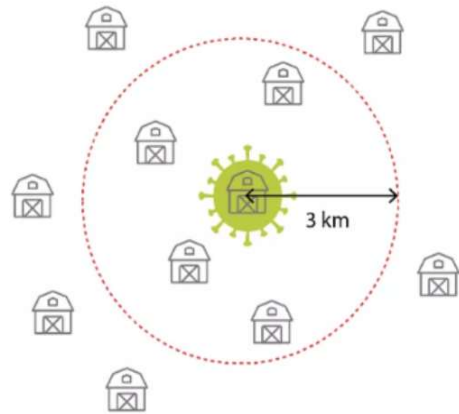
적으로 살처분하는 방식.

- 효과: 단순히 감염 농장만 처분하는 것(S0)보다 감염 농장 수와 유행 기간을 줄이는 데 효과적.
 - 단점: 모든 시나리오 중 가장 많은 수의 가금류가 살처분되었음.
- ③ S2: 1km 반경 긴급 보호 예방접종 (Emergency Protective Vaccination)
- 전략: 감염 농장 주변 1km 이내 농장에 백신을 접종하고, 감염된 농장은 살처분
 - 특징: 접종 범위가 좁아 백신 소모량은 적지만, 바이러스가 1km 범위를 넘어 다른 농장으로 확산될 확률이 높음
 - 한계: 백신접종 후 면역이 형성되기까지 약 3주의 시간이 필요한데, 이 기간에 바이러스가 이미 1km 구역 밖으로 퍼져나가는 경우가 많아 방역 효과가 떨어지는 것으로 분석
- ④ S3: 3km 반경 긴급 보호 예방접종 (Emergency Protective Vaccination)
- 전략: 감염 농장 주변 3km 이내 농장에 백신접종
 - 평가: EFSA 시뮬레이션 결과, 가장 효율적(efficient)인 전략
 - 장점: 1km(S2)보다 넓은 차단벽을 형성하여 바이러스 확산을 효과적으로 억제하면서도, 10km (S4)보다 접종해야 할 농장 수가 적어 방역 자원(백신, 인력)을 효율적으로 사용할 수 있으며, 감염 농장 수, 살처분 농장 수, 유행 기간을 모두 적절한 수준으로 관리 가능
- ⑤ S4: 10km 반경 긴급 보호 예방접종 (Emergency Protective Vaccination)
- 전략: 감염 농장 주변 10km 이내 농장에 백신접종
 - 특징: 이론적으로는 가장 강력한 차단벽을 형성하지만, 자원 등 실효성이 떨어짐.
 - 단점: 접종해야 할 농장이 너무 많아져 하루 접종 역량(예: 하루 20개 농장)을 초과하기 쉬움. 접종이 지연되는 사이 바이러스가 구역 밖으로 퍼져나가면, 오히려 3km 반경(S3)보다 감염 농장 수가 더 늘어나는 역효과가 발생할 수 있음.
- ⑥ S5: 고위험 구역 내 표적 종 예방적 접종 (Preventive Vaccination)
- 전략: 바이러스 유입 전(주로 여름철 등 비발생기), 감염 확산 위험이 큰 지역(HDPA)의 고위험 가금종에게 백신접종
 - 효과: 모든 시나리오 중 감염되는 농장 수가 가장 적으며, 질병 유행 기간도 가장 짧음.
 - 평가: 가장 감수성이 높고 전파력이 강한 종을 미리 보호함으로써 바이러스가 유입되더라도 2차 전파가 일어날 확률을 근본적으로 차단하는 가장 효과적(effective)인 전략
- 시나리오 S5가 최소 감염과 최단기간 유행을 달성하였으나, 긴급 접종 중에서는 시나리오 S3가 가장 효율적이었음.

Emergency protective vaccination

고병원성 조류인플루엔자 발생 시, 발병지 반경 3km 내의 가금류에 대해 긴급 보호 접종을 권장

-  백신접종 구역
-  가금농장
-  발생농장



출처: EFSA

<그림 21> 긴급 보호 예방접종

2) 백신접종 전략

가) 적합한 백신 선택 기준

- ESFA의 권고에 따르면 적합한 백신을 선택할 때 Δ 항원 일치도 Δ DIVA 호환성(감시 전략을 위해 우선적으로 고려), Δ 대상 축종의 적합성, Δ 투여의 용이성, Δ 면역 발현 및 지속성 Δ 모체유래항체(Maternal-derived antibody, MDA) 간섭의 영향 등을 종합적으로 고려해야 함. 다만, 모든 상황에 적합한 최적의 백신은 존재하지 않으며, 제시된 기준들은 서로 복잡하게 얽혀 있음. 따라서 백신접종의 목적(예: 긴급차단 또는 예방)에 따라 우선순위를 설정하고 선택하는 것이 필요함.



<그림 22> EFSA에서 권고하는 백신 선택 기준 (AI 생성 이미지)

- ① 항원 일치도: 백신주와 순환 바이러스 항원적 거리(Antigenic distance)를 최소화하는 것이 백신 효능을 보장하는데 필수적. 유럽에서 유행하는 H5N1(clade 2.3.4.4.b) 바이러스와 항원적으로 가까운 백신은 소수에 불과함.
- ② DIVA 호환성: EFSA는 농장 내 무증상 감염을 막기 위해, DIVA 호환 백신을 우선적으로 선택할 것을 권고함.
- ③ 대상축종 적합성: 대부분의 백신은 닭을 대상으로 개발 및 승인되었으나, 칠면조, 오리, 거위 등 다른 축종의 면역 반응과 효능은 크게 상이할 수 있음.
- ④ 투여의 용이성: 현재 유럽에서 가능한 백신 대부분은 개체별 주사 접종 방식으로, 이는 대규모 사육 환경에서 시간이 많이 걸리고 노동 집약적인 작업임. 특히 긴급 접종 시에는 대량 적용이 가능한 분무(Spray)나 음수 투여 방식이 효율적임.
- ⑤ 면역 발현 및 지속성: 백신접종 후 방어 면역이 형성되는 시기와 그 지속 기간은 방역 계획 수립의 핵심적 고려 대상임. 일반적으로 접종 후 2~3주 후에 면역이 형성되지만, 산란계나 종계와 같이 사육 기간이 긴 축종의 경우, 면역 지속이 어려워 추가 접종(Booster)이 필요함.
- ⑥ 모체유래항체 간섭: 모체유래항체는 백신의 효능을 감소시킬 수 있음. 특히 불활화 백신의 경우, 접종 시기 결정 시 반드시 고려해야 하는 요소임.

나) 접종 전략의 비교

<표 9> 접종 전략 비교

구분	긴급 억제 접종 (Emergency Suppressive)	긴급 보호 접종 (Emergency Protective)	예방적 접종 (Preventive)
목적	단기간, 임시적 방역 조치	감염병 확산 방지	상시적 적용
적용 시점	발병 농장 내 즉시	발병 인근 지역	발병 전 상시
주요 결과	H5N1 청정 지역 지위	신속한 근절과 손실 최소화	감염 최소화, 유행 기간 단축
방역 모델 (시나리오)	즉시 살처분이 더 효과적	시나리오 S3(3km 링 접종)	시나리오 S5

다) 백신접종의 주요 위험

- EFSA는 백신접종이 오히려 방역을 복잡하게 만들 수 있는 4가지 주요 위험에 대하여 명시함.

① 낮은 백신 효능으로 인한 신규 발생 예방 실패

- 유행하는 바이러스와 백신주 사이의 항원이 불일치하여, 백신 효능이 충분하지 않을 경우 접종에

도 불구하고 발생이 지속될 수 있음.

② 숙주 특이적 면역 형성의 장애

- 모체유래항체의 간섭이나 면역억제 질환(예: 전염성 파브리키우스낭병(IBM))과 같은 외인적 요인으로 면역 형성을 방해할 수 있음.

③ 불충분한 접종 범위

- 백신 공급의 부족이나 접종 방식의 제약, 특정 축종의 사용 불가 등 다양한 원인으로 인해 농장 내 또는 지역 내 '집단 면역'를 형성하지 못할 정도로 접종 범위가 불충분할 경우 바이러스의 전파를 막기 어려움.

④ 무증상 감염에 대한 부적절한 감시 대응

- 백신접종군 내 바이러스가 유입이 되었음에도 불구하고 임상증상이 나타나지 않아 이를 감지하지 못하는 조용한 전파가 발생할 수 있음. 이는 바이러스 근절을 지연시킬 뿐 아니라, 바이러스가 변이할 시간을 벌어주며, 가금류 집단 내에 조류인플루엔자가 토착화되는 결과를 초래

3) 감시 전략

- 감시 전략의 핵심 목표는 △접종 농장에서의 고병원성 조류독감 발생의 조기 발견 △접종 집단의 비감염 상태를 입증 △바이러스 변이 출현의 모니터링이라 할 수 있음.

가) 주요 진단 방법

① 바이러스학적 검사

- 백신접종은 바이러스 배출 기간을 단축하고 배출량을 줄이기 때문에, 낮은 농도의 바이러스를 감지하기 위해 높은 민감도를 가진 고감도 분자 진단법이 우선 권고됨.
- RT-qPCR은 빠른 처리 속도와 뛰어난 민감도로 현재 가금류 진단의 표준 방법으로 널리 사용되고 있음.
- 백신접종군에서 '면역 회피 변이주'를 가능한 조기에 발견하기 위해 정기적인 분자 모니터링 외에도, 고병원성 조류인플루엔자에 대한 바이러스 분리, 유전적 염기서열 분석, 표현형 분석을 수행할 것을 권고함.
- 환경 샘플링은 동물의 개체 샘플링 대비 시간이나 노력을 절약할 수 있는 대안이나, 효능 검증과 표준화 프로토콜에 대한 추가적 연구가 필요.

② 혈청학적 검사

- 혈청학적 검사는 바이러스학적 검사 결과의 신뢰도를 높이는 보완 수단으로 활용
- 혈구응집억제(HI) 검사는 접종 후 3~7주 시점부터 백신으로 유도된 면역 수준을 모니터링할 수 있으며, 정확한 측정을 위해 필수적으로 백신주와 일치하거나 매우 유사한 항원을 사용해야

함.

- NP-ELISA는 재조합 백신처럼 핵단백(NP)⁴³⁾을 포함하지 않는 백신 사용 시, 바이러스 감염 여부를 확인하는 핵심 도구임.
- 다만, DIVA 전략에 부합하지 않는 백신을 사용하면 혈청학적 감시를 통한 식별이 불가능하며, 감시 신뢰도가 크게 저하됨.

③ 센티넬 조류(Sentinel Birds)

- 백신접종 농장에 미접종 개체인 센티넬 조류를 도입하는 방식은 현장 관리가 매우 까다롭고 복잡함. 또한 조류인플루엔자에 감수성을 가진 센티넬 개체는 오히려 바이러스가 농장으로 유입되는 통로가 될 수 있어, 최근에는 실용성이 낮다고 평가되고 있음.

나) 접종 유형별 감시 전략

❖ EU 위임규정(Delegated Regulation EU 2023/361) 기준

EU 규정에 따르면 5% 설계 유병률, 95% 신뢰수준으로 고병원성 조류인플루엔자를 검출하기 위해서는 살아있는 개체 60마리를 검사하도록 함.

① 긴급 보호 접종

- 긴급 상황에서 조기에 발견하여 감염 농장을 신속하게 제거하여 바이러스 전파($R_s < 1$)⁴⁴⁾를 차단하는 것이 주된 목적임.
- 폐사체 대상 검사(Bucket sampling) 방법은 EU 규정에서 권장하는 살아있는 개체의 검사 방법보다 유용하며, 효과적으로 감지할 수 있어 EFSA에서는 우선적으로 권고하고 있음. 검사는 최근 48시간 이내에 폐사한 조류를 대상으로 검사를 실시 해야 함.
- 매주 최대 5마리의 폐사 조류를 샘플링하는 경우 20일(중앙값)만에 조류인플루엔자 발생을 조기에 발견할 수 있었으며, R_s 값을 0.13(95% 신뢰구간: 0.10~0.16)으로 감소시켰음. 14일 또는 21일 단위로 각각 최대 10마리 또는 15마리 폐사체를 검사하는 경우 99% 이상의 높은 수준으로 발생을 감지할 수 있었으며, 검출 시점 중앙값은 각각 21과 22일이었음. 다만, 이러한 결과는 가축 규모에 따라 상이함.
- EFSA는 3,000마리 이상의 산란계 농장에서는 매주 폐사한 개체 5마리 이상(최대 15마리) 무작위 검사를 실시하고, 3,000마리 미만의 농장에서는 폐사체 검사만으로 부족하므로 매주 10마

43) NP 항체: 모든 종축에서 감염 후 7~14일부터 검출이 가능, 감염 후 14일에 HI 역가가 최대 $9\log_2$ 까지 상승하는 것으로 관찰되었음.

44) R_s : R_0 (프랑스, 이탈리아, 네덜란드의 실제 데이터를 분석하여 산출한 농장 간 기본 재생산지수)값을 기반으로, 감시·모니터링 상황에서 기대되는 농장 간 재생산 지수로

- 리의 폐사체 검사와 함께 2주 간격으로 살아있는 개체 대상의 분자 검사를 병행할 것을 권고함.
- 또한 긴급 보호 접종 시, 10km 반경의 접종 구역을 설정하여 추가 확산을 모니터링해야 함.

② 예방접종

- 예방접종은 바이러스 유행이 없는 상황에서 질병 청정 지역임을 증명하고, 유입 시 조기에 발견하기 위함임.
- 농장에서는 매월 각 무리에서 폐사한 개체(최대 15마리)의 분자 바이러스 검사를 시행하고, 접종 또는 비접종 무리에 대해 수동 감시를 병행하도록 권장함. 이러한 감시 전략은 감염병으로부터 안전하다는 사실을 99% 이상의 신뢰도를 확보할 수 있음. 다만, 발생의 조기 발견을 위해서는 검사 간격을 14일 또는 7일로 단축할 수 있음.
- 산란계의 경우, 백신접종 농장 중 25%를 표본으로 선정하여 매주 추가 검사를 시행하여도 92% 이상의 (조기 발견)민감도를 유지할 수 있음.

다) 이동 제한의 해제 기준

① 긴급 보호 접종

- 모든 이동 전 72시간 이내에 실시한 임상 검사와 폐사체 분자 검사(RT-qPCR) 음성이 필수
- 소규모 농장(3,000마리 이하의 산란계)이나 접종 구역 밖으로 이동 시에는 폐사체 검사 외에 EU 규정에 따른 살아있는 개체의 분자 검사를 반드시 병행해야 함.
- 상차 등이 72시간 내 완료되지 않으면 완료될 때까지 48시간마다 반복 검사를 수행함.

② 예방접종

- 상시 검사(폐사체 15마리/1개월)에서 지속해서 음성이 나오고, 이동 전 72시간 내 임상검사 결과가 정상이어야 함.

③ 이동제한 및 감시 해제 기간

- 마지막 백신접종 완료 후 28일이 경과하면 회복 기간이 종료되고 일반적인 제한이 해제됨.
- 고병원성 조류인플루엔자 발생으로 인한 이동 제한 구역과 겹칠 경우, 해당 제한 해제일과 접종 후 28일이 되는 날 중 더 늦은 날짜까지 강화된 기준으로 적용

5. 결론 및 제언

가. 결론

- 인플루엔자 바이러스는 오르토믹소바이러스과(Orthomyxoviridae)에 속하는 음성 가닥 RNA (N

egative-sense RNA) 바이러스로, 서로 다른 8개의 유전자 분절로 구성되어 있음. 이러한 독특한 분절 구조는 유전자 재조합과 변이를 용이하게 하여 신종 감염병의 출현과 세계적 대유행으로 이어질 위험이 큼. 조류인플루엔자의 경우 가금류에서 나타나는 증상의 심각도에 따라 저병원성과 고병원성으로 분류되는데, 저병원성 바이러스라 할지라도 가금 집단 내에서 적응 및 순환 과정을 거치며 고병원성으로 변이될 가능성이 존재함.

- 고병원성 조류인플루엔자는 전염성이 강하고 피해가 막대하여 국내 「가축전염병 예방법」 상 제1종 가축전염병으로 지정되어 있으며, 세계동물보건기구에서도 중점 관리 대상 질병으로 분류하고 있음. 국내에서는 2003년 12월 충북 음성에서 최초 발생한 이후 현재까지 주기적으로 유행이 지속되고 있어, 국가 방역 차원에서의 엄격한 관리와 대응이 요구되는 상황임.
- 농림축산검역본부의 『고병원성 조류인플루엔자 역학조사 분석보고서』에 따르면, 국내 가금농장의 고병원성 조류인플루엔자 발생 양상은 농장 간의 직접적인 수평 전파보다는 외부 오염원의 유입에 의한 영향이 큰 것으로 나타남. 즉, 농장 간의 역학적 관계에 의한 확산보다는 야생조류로부터 유래한 지역 내 오염원이 개별 가금농장으로 유입되어 발생하는 사례가 주를 이루는 것으로 추정됨.
- 농림축산식품부고시 제2026-25호 「조류인플루엔자 방역실시요령」에서는 조류인플루엔자 발생 시 살처분, 이동제한 명령 등의 조치와 함께 긴급백신 접종에 관한 사항을 규정하고 있음. 주요 방역 정책으로는 발생농장에 대한 역학조사와 환경시료 검사, 이동제한 명령 및 살처분, '오리 사육 휴지기' 등의 방역 활동이 이루어지고 있으나, 현재까지 백신접종 정책은 시행한 바 없음.
- 농림축산검역본부의 2020년 연구에 따르면, 국내 항원 은행의 동종계통 백신을 표준 접종량(1dose)으로 투여했을 때 산란계와 증계에서 100%의 이상적인 보호 효과와 유의미한 항체 역가 상승이 확인되었음. 이와 관련하여 대만 질병통제센터가 실시한 백신 유형별 상대위험도 분석 결과, 재조합 생백신이 0.03으로 가장 우수한 효과를 보였으며 뒤이어 시판용 백신(0.04), 사백신(0.05~0.27), 재조합 사백신(0.10~0.21) 순으로 나타나 백신의 종류에 따라 방어 효율에 차이를 보였음.
- 백신 도입 시 우려되는 '백신 회피 변이주'의 인체감염 위험과 관련하여, 국내 연구진은 가금류 내 면역 회피 변이가 바이러스의 적합성은 향상시키지만 HA 구조의 불안정성을 초래하여 포유류에 대한 병원성은 오히려 낮아진다는 결과를 발표하였음. 아울러 해외 연구에서도 백신접종이 바이러스 배출량을 유의미하게 감소시키고 접촉 동물로의 전파를 차단함으로써, 결과적으로 바이러스 확산 억제를 위한 효과적인 예방책이 될 수 있음을 입증하고 있음.
- 전 세계적인 H5N1 고병원성 조류인플루엔자 확산에 대응하여 중국, 베트남, 인도네시아 등은 이미 상시 접종 전략을 시행 중이며, 그간 백신 도입에 신중했던 미국, 프랑스, 네덜란드 등 주요 선진국들도 최근 전략적 도입으로 정책 방향을 전환함. 세계동물보건기구와 EFSA 또한 감염 확산 방지를 위한 방역 모델과 백신접종 전략, 감시 전략을 구체적으로 제시하였음. 다만, 이러한 백신 전략은 반드시 기존의 살처분, 이동제한 등 강력한 차단 방역 정책과 병행될 때만 실효성을 거둘 수 있음을 강조하고 있음.

나. 제언

- 「조류인플루엔자 방역실시요령」 제8조 및 제9조에 의거하여, 농림축산검역본부는 국내외 유행에 대비하여 항원뱅크를 구축하여 긴급백신 항원을 비축·보관하고 철저히 관리해야 할 법적 의무가 있음. 실제로 농림축산검역본부의 연구 결과, 국내 항원뱅크 백신은 산란계와 종계에서 탁월한 임상적 보호 효과와 항체 역가 상승을 입증한 바 있음. 인플루엔자 바이러스의 잦은 변이와 물량 확보의 불확실성으로 인해 수입 백신에 의존하는 것은 한계가 있는 만큼, 국내 항원뱅크의 고도화와 학계와의 기술 협력을 통해, 국가 방역 시스템이 통제 불가한 상황에서 적극적 백신 도입이 이루어질 수 있도록 해야 함.
- 고병원성 조류인플루엔자 발생 시 백신을 효율적으로 도입하기 위해서는 감염병 위기 상황에서 병원체 확인부터 후보 물질 확보까지의 기간을 최소화할 수 있는 '백신신속개발 플랫폼' 구축이 시급함. 기존의 사백신이나 약독화 생백신은 병원체의 배양·증식 공정 개발과 안전성 검증, 변이주 획득에 상당한 시일이 걸려 긴박한 현장 대응에 한계가 있으므로, 관련 부처는 긴급 상황에서 즉각적인 임상 적용이 가능한 혁신적인 플랫폼 기술을 마련하여 방역의 골든타임을 확보해야 함.
- 「조류인플루엔자 방역실시 요령」 제27조(긴급백신접종 결정) 제1항에서는 "고병원성 조류인플루엔자 긴급백신접종 필요한 상황 발생 시 가축방역심의회의 심의와 질병관리청 등 관계부처 협의를 거쳐"야 한다고 명시. 이 때문에 백신 도입 전략의 주요 장벽 중 하나인 인체감염에 대한 우려가 해소되지 않는 한 백신정책 시행은 사실상 어려움. 백신 회피 변이주와 '조용한 전파'가 바이러스 변이를 촉진할 수 있다는 우려에도 불구하고, 면역 회피 변이가 오히려 바이러스의 구조적 불안정성을 초래해 포유류에 대한 병원성을 감소시킨다는 연구 결과에 주목할 필요가 있음. 따라서 인체감염 위험성에 관하여 막연한 이론적 가능성에 매몰되기보다, 실제 백신을 도입한 국가들의 사례 연구와 객관적 근거를 바탕으로 백신 정책의 실효성을 재논의해야 함.
- 「조류인플루엔자 방역실시 요령」 제26조(고려조건)에서 "고병원성 조류인플루엔자 방역조치는 예찰을 통한 조기검출과 환축 또는 의사환축의 신속한 살처분을 원칙으로 하며 평상시에 예방적 백신 접종은 실시하지 않는다."라고 명시. 이는 2018년 11월 23일 '예방접종'에서 '긴급백신접종'으로 개정되어, 백신 전략의 도입은 긴급백신접종에 한하여 시행할 수 있음. 하지만 고병원성 조류인플루엔자의 발생 양상이 갈수록 심각해짐에 따라 미국과 유럽의 주요 선진국들도 기존 방역 체계의 한계를 인정하고 백신 도입을 점진적으로 추진하는 추세이며, 국내 농가 현장에서도 백신 도입에 대한 요구가 지속적으로 제기되고 있음. 따라서 변화된 감염병 발생 상황에 맞추어 고위험 지역이나 개체군을 대상으로 한 예방적 백신의 점진적 도입이 가능하도록 실효성 있는 법적 근거 마련이 시급함.
- 다만, 백신 도입만으로는 조류인플루엔자 방역에 한계가 분명하므로, 농장 유입 경로 파악을 위한 철저한 역학조사와 농장 내외부의 감염 확산을 막기 위한 차단 방역 관리 노력이 반드시 병행되어야 함. 결국 백신은 보조적 수단으로서 기존의 방역 시스템과 유기적으로 결합되어야 하며, 이를 바탕으로 국가 차원의 실효성 있고 면밀한 방역 대책 검토가 지속적으로 이루어져야 함.

6. 참고문헌

- 가축전염병의 발생 및 역학에 관한 정보수집·분석을 위한 조사·탐문·임상검사·검진·혈청검사 및 병성감정 등의 방역활동, 가축전염병 예찰 실시요령, 농림축산식품부고시 제2020-81호, 2020. 10. 20., 일부개정, 법제처
- 사단법인 대한양계협회, 2025/26년 고병원성 AI 발생 현황
- 여상구, 신종감염병 대비 백신신속개발 플랫폼기술 개발, 질병관리청, 2016.
- 조류인플루엔자 방역실시요령, 농림축산식품부고시 제2026-25호, 법제처
- 조류인플루엔자(AI) 인체감염증, 서울아산병원,
<https://www.amc.seoul.kr/asan/healthinfo/disease/disease>
- '23/'24 고병원성 조류인플루엔자 역학조사 분석보고서, 농림축산검역본부, 2024.11.
- An SH, Lee CY, Hong SM, Song CS, Kim JH, Kwon HJ. Novel Mutations Evading Avian Immunity around the Receptor Binding Site of the Clade 2.3.2.1c Hemagglutinin Gene Reduce Viral Thermostability and Mammalian Pathogenicity. *Viruses*. 2019 Oct 9;11(10):923. doi: 10.3390/v11100923. PMID: 31600990; PMCID: PMC6832455.
- Avian Influenza in Birds, U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 14 June 2022. Retrieved 6 May 2024.
- Avian Influenza vaccination, OIE information document/ Verona Recommendations
- Avian Influenza (AI) Vaccination: Following H5N1 outbreaks, Italy utilizes EU-authorized vaccines to control highly pathogenic avian influenza (HPAI) in poultry, with a focus on DIVA strategies (Differentiation of Infected from Vaccinated Animals) to monitor efficacy. 2007, Verona vaccination
- Bird flu (avian influenza), National Institute for Public Health and the Environment Ministry of Health, Welfare and Sport, <https://www.rivm.nl/en/bird-flu>
- Developments in Biologicals. 2007 ;130:151-158. PMID: 18411946.
- EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), European Union Reference Laboratory for Avian Influenza, et al. 2023. Vaccination of poultry against highly pathogenic avian influenza – part 1. Available vaccines and vaccination strategies. *EFSA Journal*, 21(10), 1–87.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8271>
- EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), European Union Reference Laboratory for Avian Influenza, Nielsen et al., 2024. Vaccination of poultry against highly pathogenic avian influenza – Part 2. Surveillance and

mitigation measures. *EFSA Journal*, 22(4), e8755.

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8755>

- FAO recommendations on the prevention, control and eradication of HPAI in Asia, September, 2004.
- Fournié G, de Glanville W, Pfeiffer D. Epidemiology of Highly Pathogenic Avian Influenza Virus Strain Type H5N1. *Health and Animal Agriculture in Developing Countries*. 2011 Jun 21;36:161–82. doi: 10.1007/978-1-4419-7077-0_10. PMID: PMC7122524.
- Guinat C, Fournié L, Lambert S, Martin E, Gerbier G, Pellicer AJ, Guerin JL, Vergne T. Promising Effects of Duck Vaccination against Highly Pathogenic Avian Influenza, France, 2023-2024. *Emerg Infect Dis*. 2025 Jul;31(7):1468-1471. doi: 10.3201/eid3107.241445. Epub 2025 Jun 11. PMID: 40498635; PMID: PMC12205464.
- Hatta, M., Brock, N., Hauguel, T. et al. Influenza mRNA vaccine reduces pathogenicity and transmission of A(H5N1) virus in a ferret model. *npj Vaccines* 10, 263 (2025).
<https://doi.org/10.1038/s41541-025-01318-3>
- Hualei Liu, Prevention and Control of HPAI and ND in China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, WOAHA
- Iaria Capua, Stefano Marangon, The use of vaccination to combat multiple introductions of Notifiable Avian Influenza viruses of the H5 and H7 subtypes, *Science direct*, 16 February 2007
- Infection with avian influenza viruses, WOAHA, Terrestrial Animal Health Code Article 10. 4.1.
- IShin Tseng et al. Re-evaluating efficacy of vaccines against highly pathogenic avian influenza virus in poultry: A systematic review and meta-analysis, *ELSEVIER*, March 2024.
- Jaesung Cho, Yonggeon Lee, Hyunjoong Kim, Effects of duck farming restriction measures on the incidence of avian influenza, Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Department of Environment & Resources Research, Korea Rural Economic Institute, April 20. 2023.
- Jeremy Ho, Hong Kong Special Administrative Region, WOAHA, China, East Asia CVO Meeting 2025,

- Jon Cohen, U.S. conditionally approves vaccine to protect poultry from avian flu, Science, 14 Feb 2025, <https://www.science.org/content/article/u-s-conditionally-approves-vaccine-protect-poultry-avian-flu>
- K.M. Bouwman, C.A. Jansen, M.C.M. de Jong, et al. "Progress report: Transmission study testing HVT-H5 vaccine against highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5N1 virus (clade 2.3.4.4b)." Wageningen Bioveterinary Research Publications. September 2024. DOI: 10.18174/669647
- Official Vaccination Plan Highly Pathogenic Avian Influenza(HPAI) Fact sheet-4 Description of The Vaccine Used. Ministere de l'agriculture et de la souverainete alimentaire
- Minister of Agriculture Decree No. 28/ Permentan/OT.140/5/2008 (Zoning and Compartmentalisation)
- Rehman S, Effendi MH, Witaningruma AM, Nnabuikue UE, Bilal M, Abbas A, Abbas RZ, Hussain K. Avian influenza (H5N1) virus, epidemiology and its effects on backyard poultry in Indonesia: a review. F1000Res. 2022 Nov 15;11:1321. doi: 10.12688/f1000research.125878.2. PMID: 36845324; PMCID: PMC9947427.
- Review on Biosecurity in Extensive Poultry Production in Developing Countries with Respect to Highly Pathogenic Avian Influenza
- Subtypes of Influenza A Viruses, CDC, <https://www.cdc.gov/bird-flu/about/avian-influenza-type-a.html>
- USDA Announces Next Steps in the Effort to Support the Fight Against Avian Influenza, USDA, March 20, 2025,
- Vaccination: a tool for the control of avian influenza. Proceedings of a meeting. March 20-22, 2007. Verona, Italy. Dev Biol (Basel). 2007;130:3-167. PMID: 18655239.



ISBN 979-11-985653-9-6 (PDF)