



# : 양서류 질병 ‘항아리곰팡이병’ 과 검역

## 서론

양서류는 육지와 수중 생활을 동시에 하는 척추동물로, 지구온난화나 환경오염과 같은 환경변화에 가장 큰 영향을 받는 개체군 중 하나이다.

이러한 이유로 양서류는 주변 생태계 상태를 알려주는 중요한 환경지표종이다. 서식지파괴와 환경오염이 양서류 감소의 주요 원인으로 지목되고 있는데, 이러한 이유 이외의 큰 원인 중 하나가 양서류 질병인 항아리곰팡이병(Chytridiomycosis)이다.

항아리곰팡이병은 척추동물 중 유일하게 양서류에만 감염되는 질병으로, 곰팡이의 유주자낭이 항아리처럼 생겨서 붙여진 이름이며 *Batrachochytrium dendrobatidis*가 그 원인이다. 국제적인 양서류 교역이 항아리곰팡이의 전파 원인으로 지목되고 있으므로 적절한 국가적 양서류 검역체계 정립이 필요한 실정이다.

## 본론

### 양서류의 위기현황

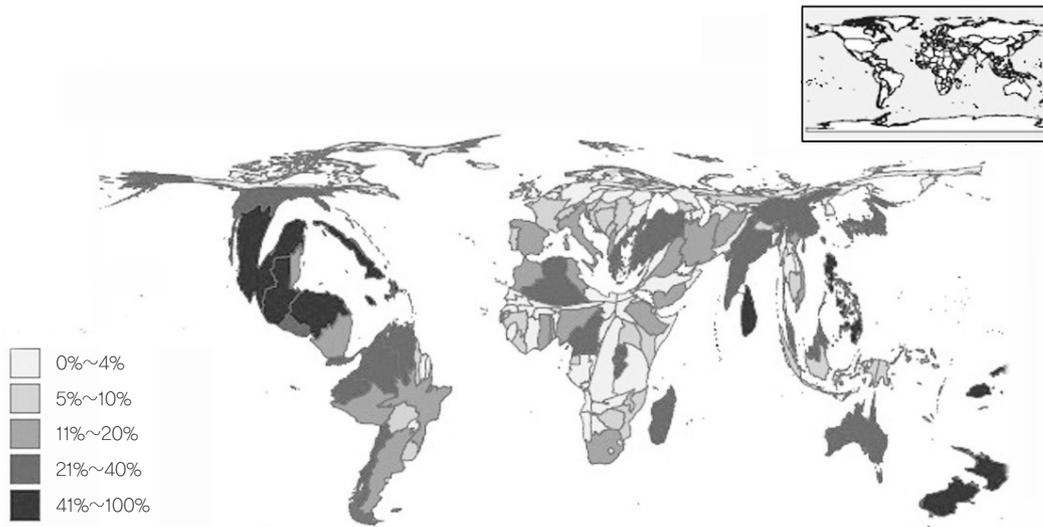
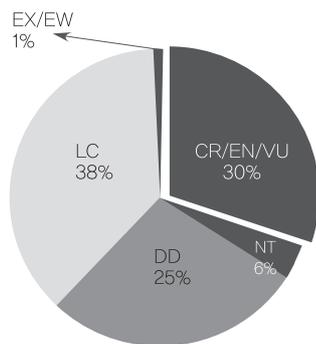


그림 1. 지역별 멸종위기 양서류 종의 비율 출처 Wake et al. (2008)

최근 전 세계적으로 양서류의 수가 줄어들거나 멸종되어가고 있다(그림 1). 2009년 IUCN(세계자연보전연맹)의 조사에 따르면, 현재까지 보고된 양서류는 6,638종이며 이 중 1/3인 31%(1,856종)가 멸종위기이거나 멸종되었고 25%는 자료 부족으로 그 실정을 파악하기 힘들다. 1980년 이래 적어도 9종이 멸종되었고, 113종은 최근 발견된 보고가 없어 멸종된 것으로 추측된다.

양서류 중 484종이 Critically Endangered(CR), 754종이 Endangered(EN), 657종이 Vulnerable(VU)로 분류되어 있다(그림 2). 어떤 양서류의 경우 그 수가 증가하는 경우도 있지만 그런 종은 전체 양서류의 약1% 이하에 불과하다. 반면 전체 양서류종의 42%이상이 감소하고 있으며 멸종위기 양서류의 수는 더욱 더 늘어날 전망이다.



Status	Number	
EX	Extinct	37
EW	Extinct in the wild	2
CR	Critically endangered	484
EN	Endangered	754
VU	Vulnerable	657
NT	Near threatened	382
DD	Data deficient	1597
LC	Least concern	2372

그림 2. 세계 양서류의 멸종위기 중 현황 출처 IUCN

## 항아리곰팡이의 세계적인 영향

코스타리카와 파나마의 Harlequin toad는 1980년대 중반부터 그 수가 급격히 감소하며 몇 년 간 서식지에서 발견되지 않았다. 1998년 이후로 야생에서 관찰되지 않아, IUCN은 이 양서류를 Critically Endangered 목록에 올렸다. 7년 후에야 작은 개체군이 발견되었지만 이미 이 개구리의 2/3이 사라진 상태였다. 그 원인은 항아리곰팡이였다. 양서류의 피부는 매우 민감하기 때문에 항아리곰팡이로 인한 피해가 더욱 컸다. 대량폐사가 관찰될 때마다 4~6개월 안에 개체군이 빠르게 감소했

고, 향아리곰팡이의 발생은 1년에 20~29km를 이동하여 중미에 서식하는 양서류를 휩쓸고 지나갔다(그림 3).

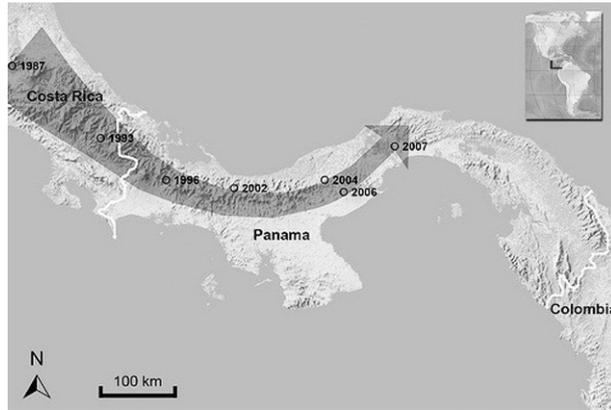


그림 3. 코스타리카와 파나마의 향아리곰팡이 전파 상황  
< 출처 taken from Lips et al. (2006) >

이 질병은 전 세계적 규모로 진행되고 있는 양서류의 극적인 감소와 멸종을 초래하는 주요한 원인의 하나이다. 북미, 중남미, 아프리카, 호주, 뉴질랜드, 유럽, 일본 등 전 세계적으로 전파되고 있다.

현재, 향아리곰팡이는 IUCN에 의하여 최악의 외래생물 목록에 올라 있으며 OIE (국제수역사무국)는 2008년에 향아리곰팡이병을 신고해야할 질병으로 지정해 발생상황에 주목하고 있다.

### 향아리곰팡이가 양서류에 미치는 영향



그림 4. 향아리곰팡이로 인해 개체수가 급격히 줄어 Panamanian golden frog (*Atelopus zeteki*)  
< 출처 <http://amphibianrescue.org/about/> >

향아리곰팡이에 감염되면 많은 양서류 중에서 빠르고 심각한 질병 양상이 나타난다. 향아리곰팡이는 지금까지 350종 이상의 양서류를 감염시켰으며 이 중 200종 이상을 감소시켰다. Australian gastric brooding frogs (*Rheobatrachus* sp.), Panamanian golden frog (*Atelopus zeteki*), sharp-snouted day frog (*Taudactylus acutirostris*)의 경우 이로 인해 야생에서 멸종하게 되었다(그림 4).

## 항아리곰팡이의 특징

항아리곰팡이는 케라틴을 영양원으로 하기 때문에 케라틴이 존재하는 양서류의 피부, 올챙이의 입에 감염된다. 편모를 가진 유주자(zoospore)는 24시간까지 움직이다가 정착하여 편모(flagella)는 재흡수되고 발아체(germling)를 형성한다(그림 6).

한 개 이상의 가근(rhizoid)이 나타나며 성숙한 유주자낭(sporangia)이 되는데 4~5일이 걸리며 17~23°C에서 가장 활발하다. 유주자낭에 방출관이 만들어지고 이는 플러그로 막혀 있다가 유주자낭에서 만들어진 유주자가 방출될 준비가 되면 플러그는 없어진다.

일부 유주자낭에는 내부를 둘로 나누는 격벽이 생겨 각각의 튜브에서 유주자가 방출된다. 항아리곰팡이는 온도에 상당히 민감하여 온도가 32°C일 경우 약 4일이면 죽고 37°C일 경우 약 4시간이면 죽는다.

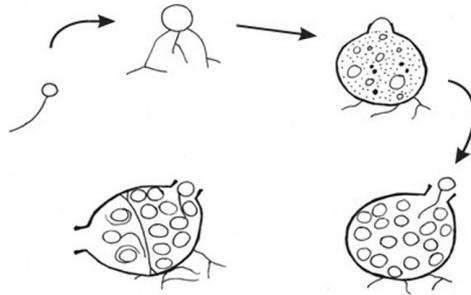


그림 6. 항아리곰팡이의 life cycle < 출처 Berger et al (2005) >

## 항아리곰팡이병 임상증상

항아리곰팡이병의 임상증상은 식욕부진, 침울 같은 다른 병과 구별이 되지 않는 증상부터 시작해서, 병이 진행됨에 따라 눈동자의 수축 현상, 근육계의 수축이완작용, 움츠린 독특한 자세, 반사능력 소실, 입을 벌림, 광범위한 피부의 탈락 같은 현상이 나타나며, 처음 증상이 나타난 후 2~5주 만에 사망한다(그림 7).

실제 감염되고 난 후 3~4일에 사망하거나 개구리의 종류에 따라 표면에 대량의 점액이 분비되는 현상도 보인다. 전혀 겉으로 보기에는 이상이 없다가 돌연사 하는 경우도 있다.



그림 7. 향아리곰팡이에 감염된 개구리들. 이상한 자세로 앉아있거나 뒤집어져도 일어나지 못한다. (출처 문헌 및 그림 참조 참고)

향아리곰팡이는 양서류 피부의 각질층과 과립층에 감염된다. 양서류의 피부구조는 사람과 비슷하지만 각질층과 과립층이 매우 얇다. 그러나 향아리곰팡이에 감염되면 피부가 과각질화되며 탈락하게 된다. 그렇기 때문에 피부호흡과 삼투압 조절 기능이 저해되거나, 향아리곰팡이가 독소를 생산하는 등의 여러 가지 원인이 복합적으로 작용해 죽음에 이르게 된다고 알려져 있다. 또한 피부의 생체방어 기능이 파괴되어 세균 등에 의한 이차 감염이 쉽다(그림 8).

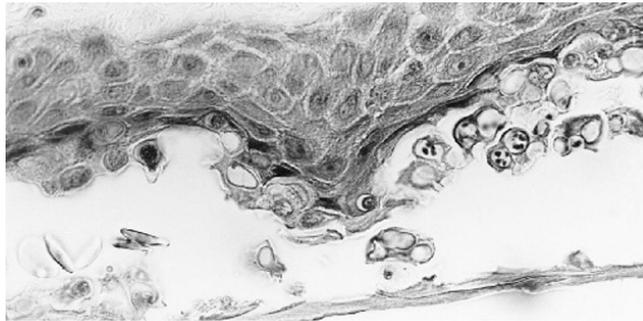


그림 8. 향아리곰팡이에 감염된 피부 조직 슬라이드. H&E염색. 심각한 감염으로 각질층에 여러 개의 유주자낭들이 존재한다. 유주자를 포함하기도 하고 이미 유주자를 방출하여 비어있는 유주자낭도 관찰된다. < 출처 <http://www.jcu.edu.au/school/phtm/PHTML/frogs/anzcart.htm> >

감염은 심각성에 따라 세 단계로 나뉜다. 약한 감염일 경우에는 유주자낭이 몇 개밖에 없거나 발견되는 곳이 피부의 극히 일부, 발가락 하나정도이다. 그리고 표피, 특히 상피의 병리적 변화와 관련되지 않는다. 중간 감염일 경우는 모여 있는 유주자낭의 개수가 10개 이하이고 모여 있는 정도가 크다.

또한 발가락의 50% 이하가 감염되었을 때와 과각질화같은 병리적 변화가 가끔 눈에 띈 때이다. 심각한 감염의 경우 10개 이상의 유주자낭이 모여 있다. 또한 감염의 진행에 따라 초기, 중기, 말기로 나눌 수 있다. 초기에는 대부분의 유주자낭이 발달의 초기단계에 있고 유주자를 만들기 전이다. 유주자낭이 과립층에 가까운 표피의 깊은 곳에서 관찰된다. 중기에는 모든 단계의 유주자낭이 각질층과 과립층에 있다.

말기가 되면 유주자낭의 대부분이 발달 후기단계에 있으며 유주자가 방출된 후이기 때문에 비어 있다. 과립층은 심각하게 감염되어 있지 않으며 병리적 변화는 대개 각질층에 있다. 감염의 활동성에 따라 불활성과 활성으로 나눌 수 있는데, 불활성일 경우 유주자낭의 대부분이 발달 후기에 있고 대부분은 각질층에 유주자낭을 방출하고 난 후이며 내부가 비어있고 어떤 경우는 모양이 찌그러져 있다. 활성일 경우 유주자낭의 대부분이 각질층과 과립층 모두에서 관찰되고 유주자 방출 전인 발달의 초기단계에 있다. 또는 유주자를 방출할 준비가 되어 있거나 방출하고 있다. 진단은 개구리의 종류에 따라서 증상이 매우 다르기 때문에 눈으로 관찰하는 것만으로는 감염 여부를 판단하기 어려울 수도 있다. 항아리곰팡이병의 진단법에는 병리조직검사나 PCR이 있는데 이를 위한 전문인력이 있어야 한다.

## 항아리곰팡이의 확산과 예방

항아리곰팡이는 원래 아프리카에 살던 아프리카 발톱개구리가 실험용으로 세계적으로 수출되면서, 항아리곰팡이도 같이 확산되었다고 생각되어진다. 황소개구리나 애완용 또는 전시용으로서 거래 되는 양서류가 전파 매개체의 역할을 할 가능성도 있으며 양식어나 관상어와 같이 수송되는 물에 항아리곰팡이가 포함되어 확산되었을 수도 있다. 또한 곰팡이 유주자가 들어있는 흙이나 물을 사람들이 무의식적으로 이곳저곳에 옮기는 것도 가능하다. 이런 식으로 양서류의 피부에 감염된 항아리곰팡이가 피부세포에서 증식하고, 편모가 달려있는 유주자를 물 속에 방출하면 유주자가 물 속을 헤엄쳐 다른 양서류에 접촉함으로써 감염되므로 항아리곰팡이의 예방에는 물 관리가 매우 중요하다. 하지만 똑 같이 감염될지라도 개구리의 종류에 따라서 그 감수성이 매우 다르다. 적어도 원래 숙주인 아프리카 발톱개구리와 외래종인 황소개구리는 감염되어도 증상이 없고 이 곰팡이에 저항성이 있으나, 다른 많은 종류의 개구리는 항아리곰팡이에 감염되면 발병한다.

한 편, 항아리곰팡이는 사람에게 감염되지는 않는다. 단, 사람이 손이나 신발에 부착된 병원체를 다른 장소로 옮길 수 있는 위험성이 있기 때문에 항아리곰팡이에 오염되어 있을 가능성이 있는 개구리를 잡는 다든지, 개구리 서식지에 가는 경우에는 손이나 신발 같은 것을 철저히 소독하는 것이 필요하다(표1).

표1. 향아리곰팡이 소독제 목록 < 출처 Phillott et al. 2010 >

소독대상	소독약	농도	노출시간
수술기구 및 장비	Benzalkonium chloride	2mg/ml	1분
	Ethanol	70%	1분
사육도구, 수조	Sodium hypochlorite(락스)	1%	1분
	Path X 또는 quaternary ammonium compound 128	1/500배 희석	30초
	Trigene	1/5000배 희석	1분
	F10	1/1500배 희석	1분
	Virkon	2mg/ml	1분
	Potassium permanganate	1%	10분
	완전한 건조		3시간 이상
	열	60°C	30분
신발	Sodium hypochlorite(락스)	1%	1분
	Path X 또는 quaternary ammonium compound 128	1/500배 희석	30초
	Trigene	1/5000배 희석	1분
	F10	1/1500배 희석	1분
	완전한 건조		3시간 이상
옷, 가방	뜨거운 물	60°C 이상	30분
차량	Benzalkonium chloride	2mg/ml	1분
	Virkon	2mg/ml	1분

향아리곰팡이는 동물에 기생하지 않고 야생에서 길게 7주간 생존할 수 있으며 그 동안에 개구리에 접촉하게 되면 다시 감염시킬 수 있다. 개체 치료는 가능하지만 종마다 다르기 때문에 정확한 치료방법은 없지만 이상적인 치료방법을 위해 노력 중이다(표2). Itraconazole의 경우 올챙이와 갓 변태한 개구리에 독성이 있고 Chloramphenicol은 Itraconazole에 비해 싸지만 오래 걸린다는 단점이 있다.

표2. 향아리곰팡이병 치료방법 < 참고 Exotic animal formulary 3rd edition >

Agent	Dosage
Itraconazole	0.01% in 0.6% salt solution as 5min bath q24h x 11days 10mg/kg PO q24h
Ketoconazole	10~20mg/kg PO q24h Topical cream
Chloramphenicol	20ppm in water for 2~4weeks
Heat	32°C for 5days or 37°C for 8hrs

야생에 향아리곰팡이가 널리 퍼지게 되면 자연에서 향아리곰팡이를 제거하는 것은 거의 불가능하다. 그러므로 향아리곰팡이를 야생으로 절대 내보내지 말아야 한다. 이로 인한 개구리의 멸종은 자연생태계의 먹이사슬 구조에 심각한 악영향을 준다. 즉, 개구리의 수가 줄어들면 개구리를 먹이로 하

는 동물의 수도 감소하므로 개구리의 절멸이 다른 동물의 절멸을 부를 가능성이 있다는 것이다. 항아리곰팡이는 이미 전 세계적으로 유행하고 있기 때문에 어느 국가가 위험하고, 어느 국가가 안전하다고 말하기 어렵다. 남미는 항아리곰팡이로 인해 이미 많은 수의 양서류가 감염되어 있는 국가이며, 특히 2000년부터 2005년 미국에서 조사된 바에 따르면 대만, 브라질, 에콰도르, 중국 등에서 수입된 황소개구리의 62%(493마리)가 항아리곰팡이에 감염되어 있었다. 이는 다른 나라에서 항아리곰팡이가 유입되고 있다는 증거이다. 아시아는 일본과 한국 등에서 항아리곰팡이의 존재가 확인되었다.

일본은 야생과 사육 개체에서 항아리곰팡이가 발견되었지만 다른 나라들처럼 야생개체군들이 큰 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 유전자 분석 결과, 항아리곰팡이가 다른 나라의 항아리곰팡이보다 분화되었기 때문에 항아리곰팡이의 근원이 아시아라고 주장하고 있지만 좀 더 정밀한 자료가 필요하다. 우리나라도 마찬가지로, 존재하는 항아리곰팡이로 인한 양서류의 영향에 대해 알려진 바가 없다. 국내에서 3년간 양서류 약 770마리를 조사한 결과, 총 50마리(8종:도롱뇽, 두꺼비, 무당개구리, 북방산개구리, 움개구리, 청개구리, 참개구리, 황소개구리)의 야생 양서류에서 항아리곰팡이가 검출되었다(양성률 약 6.5%). 지역은 임의적으로 조사했기 때문에 어떤 지역이 항아리곰팡이에 특히 감염되었다고 말하기는 어려우나, 강원도부터 제주도까지 우리나라 전역에 퍼져있는 것으로 보인다. 또한 미국에서 수입된 호주청개구리 한 마리가 항아리곰팡이에 감염된 것이 확인되었다(그림 9). 그러나 조사기간 동안 양서류가 대량 폐사되거나 비정상적인 행동을 보이는 항아리곰팡이와 관련된 사례는 나타나지 않았다(Yang et al. 2009, Jeong et al. in press).

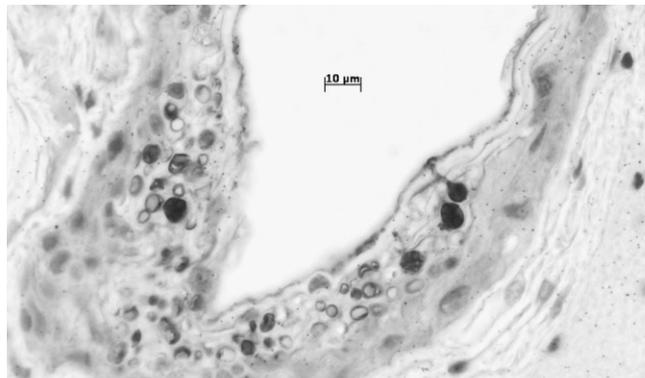


그림 9. 항아리곰팡이에 감염된 수입 개구리(*Litoria caerulea*)의 피부 조직 슬라이드, IPX염색. 심각한 감염으로 과각질화 현상이 관찰된다.  
(출처 Yang et al. 2009)

## 우리나라의 양서류 수입현황

관세청의 통계에 따라 조사한 결과 2005년에는 9,049kg (총 25203달러)의 양서류가 수입된 반면 2009년에는 33,178kg (총 40268달러)를 수입해 그 수요가 늘어났음을 알 수 있다. 수입목적은 주로 식용, 실험용이며 수입국은 2005년부터 2010년까지 가나, 나이지리아, 뉴질랜드, 말레이시아, 미국, 미얀마, 바베이도스, 브라질, 스위스, 싱가포르, 우크라이나, 인도네시아, 일본, 중국, 캐나다, 탄자니아, 파나마, 프랑스, 홍콩으로 총 19개국이다. 미국과 중국이 한국의 양서류 수입국 중 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 수입되는 수량은 중국이 가장 많고 금액은 미국이 가장 크다.

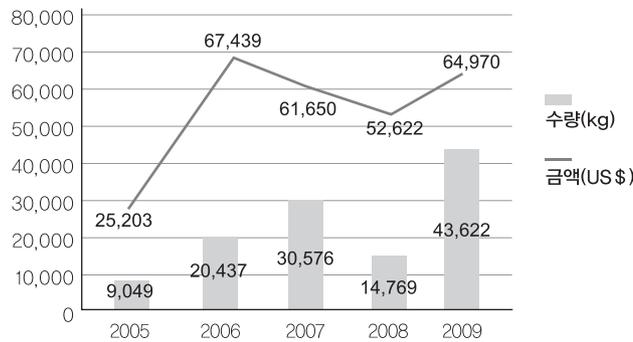


그림 10. 양서류 수입현황 < 참고 2010년 9월 관세청 통계자료 >

항아리곰팡이병 발생국가인 미국, 중국, 캐나다, 일본 등지에서 매년 우리나라에 수입되는 개구리의 양은 점차 늘어나고 있으나 한국에는 아직까지 어떠한 검역체계도 마련되어 있지 않은 실정이다.

## 결론

외래성 항아리곰팡이가 한국 토종 양서류들에게 어떠한 영향을 미치는지는 현재 정확히 알 수는 없으나, 양서류에 치명적인 외래성 병원체가 국내에 유입되고 있다는 사실이 확인되었고 이 병원체가 야생 생태계로 유출되어 국내 야생 양서류 개체군을 위협할 가능성이 큰 만큼 이에 대한 국가적 대책 마련이 시급해 보인다. 국가적 방역 대책에는 다음과 같은 3가지 요소가 포함된다; 1) 해외로부터 양

서류 항아리곰팡이 병원체의 국내 유입 차단, 2) 국내사육 개체군에서 야생으로의 병원체 유출 차단, 3) 야생 개체군 사이의 병원체 전파 차단. 먼저, 해외에서의 병원체 유입 차단을 위해서는 적절한 국가적 양서류 검역체계 정비가 필요하다(그림 11).

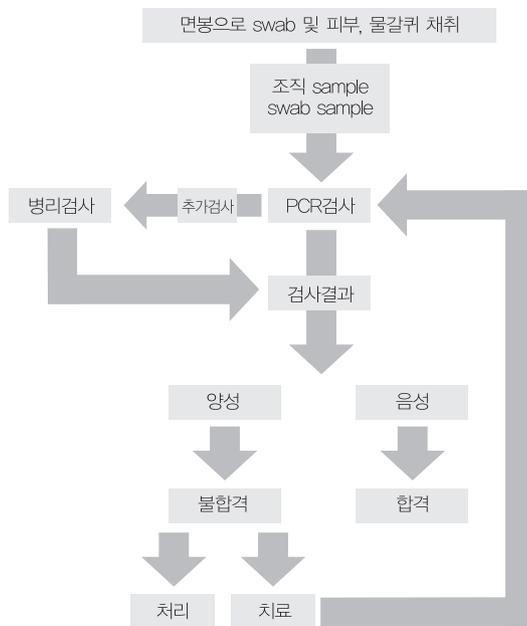


그림 11. 항아리곰팡이병 검역 과정

수입된 양서류 개체군이건 국내 야생에서 유래한 양서류 개체군이건 사육 개체군에서 병원체가 야생으로 유출될 가능성은 상존한다. 특히 우리나라에는 현재 생태계 복원, 영리적 목적 또는 종교적 목적이나 개인적인 이유 등으로 살아있는 양서류를 야생으로 방생, 유기하는 경우가 많이 있기 때문에 이러한 경로로 항아리곰팡이병이 전파될 가능성이 크다.

이를 막기 위해서는 대대적인 대국민 홍보와 교육, 그리고 적절한 규제가 필요할 것이다. 또한 야생개체군 사이의 병원체 전파를 차단하기 위해서는 살아있는 양서류를 함부로 잡거나 옮기지 않도록 계몽과 교육이 필요하다.

#### 문헌 및 그림 참조

- [http://www.oie.int/eng/maladies/en\\_classification2009.htm?e1d7](http://www.oie.int/eng/maladies/en_classification2009.htm?e1d7)
- [http://www.natureserve.org/library/amphibian\\_fact\\_sheet.pdf](http://www.natureserve.org/library/amphibian_fact_sheet.pdf)
- <http://www.iucnredlist.org/initiatives/amphibians/analysis>
- <http://amphibiaweb.org/declines/diseases.html>
- <http://www.puce.edu.ec/zoologia/publicaciones/sitiosweb/VanishingFrogs.html>
- <http://www.jcu.edu.au/school/phtm/PHTM/frogs/chyspec.html>
- <http://www.jcu.edu.au/school/phtm/PHTM/frogs/anzcartt.htm>
- <http://www.nzfrogs.org/NZ+Frogs/Conservation.html>
- Exotic animal formulary 3rd edition by James W. Carpenter

## 참고 문헌

- Berger et al. Life cycle stages of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis* (2005)
- Fisher et al. Global Emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and Amphibian Chytridiomycosis in Space, Time, and Host (2009)
- Goka et al. Biosecurity measures to prevent the incursion of invasive alien species into Japan and to mitigate their impact (2010)
- Jeong et al. Distribution of chytridiomycosis in amphibian of South Korea (in press)
- Lips et al. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community (2006)
- Phillott et al. Minimising exposure of amphibians to pathogens during field studies (2010)
- Schloegel et al. Magnitude of the US trade in amphibians and presence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and ranavirus infection in imported North American bullfrogs (*Rana catesbeiana*) (2009)
- Wake et al. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians (2008)
- World Organisation for Animal Health Diseases listed by the OIE. Chap 1,2,3, Art 1,2,3,4. In: Aquatic Animal Health Code 2008. OIE, Paris (2008)
- Yang et al. First detection of the amphibian chytrid fungus, *Batrachochytrium dendrobatidis*, in free-ranging populations of amphibians in Korea (2009)
- Yang et al. Case report of chytridiomycosis in an exotic frog species, green tree frog (*Litoria caerulea*), in South Korea (2009)