

한국과 미국의 수입화물 목재포장재(WPM) 검역 부적합 특성 비교 연구

A Comparative Study on the Characteristics of Quarantine Non-Compliance of Imported Wood Packaging Material between Korea and the United States

Jac Sung CHO^{1,†} · Yunseok ROH¹

¹ Korea Lumber Industry Cooperative, Seoul 07333, Korea

초록 : 목재포장재(wood packaging material, WPM)는 국제 교역 과정에서 검역 해충이 이동하는 주요 경로이며, 국제식물검역조치기준 제15호(ISPM 15)는 그 식물검역처리와 표지 표시를 규제한다. 본 연구는 한국과 미국의 목재포장재 검역 부적합 자료를 비교하여 무역 구조와 지리적 특성이 국경 검역 위험에 미치는 영향을 분석하였다. 한국 농림축산검역본부의 부적합 3,924건(2010-2026)과 미국 농무부의 부적합 7,822건(2020-2025)을 여섯 개 차원에서 분석하였다. 양국 모두 ISPM 15 표지 누락 등 행정적 위반이 다수였으나(한국 97.50%, 미국 91.26%), 실제 해충이 검출된 사례의 비중은 미국(8.74%)이 한국(0.48%)보다 높았다($\chi^2 = 312.1$, $p < 0.001$). 부적합은 한국에서 중국(31.2%), 미국에서 멕시코(34.2%)에 집중되었다. 미국은 육로(49.18%)가 최대 경로였던 반면 한국은 해상-항공 구조였다. 부적합 사례 내 해충 검출 비율은 양국 모두 해상에서 가장 높았다(한국 해상 0.69% 대 항공 0%, $\chi^2 = 6.85$, $p = 0.009$; 미국 해상 17.76% 대 육로 3.17%·항공 0%, $\chi^2 = 549.5$, $p < 0.001$). 미국의 검출 해충은 하늘소과(Cerambycidae)가 우점하였다. 이는 양국 검역이 규정 준수 단속과 해충 차단 사이에서 무게중심을 달리함을 시사하며, 운송수단·품목별 표적 검역(targeted inspection)의 근거를 제공한다.

1. 서론

국제 교역 화물의 적재·고정·보호에는 팔레트(pallet), 나무상자(crate), 받침목(dunnage) 등 목재포장재(wood packaging material, WPM)가 광범위하게 사용된다. 원목에 가까운 미가공 목재포장재는 천공성 해충(하늘소과, 나무좀과 등)과 선충 등 유해 생물의 잠재적 매개체로 작용하여, 외래 해충이 국경을 넘어 유입되는 핵심 경로로 지목되어 왔다(Haack *et al.*, 2014; Meurisse *et al.*, 2019). 목재포장재의 재료가 되는 수종과 가공 형태는 국가·산업별로 다양하며, 최근에는 이런 목재포장재의 위험을 회피하기 위해 폐목재 칩을 압축한 블록 팔레트와 같은 대체 재료도 개발되고 있다(Hermawan *et al.*, 2024b).

국제식물보호협약(IPPC)은 2002년 ISPM 15를 채택하여, 수출 전 열처리(heat treatment, HT) 또는 메틸브로마이드 훈증(methyl bromide, MB) 등 승인된 식물검역처리와 ISPM 15 표지(국가코드·생산자번호·처리방법) 표시를 의무화하였다(IPPC, 2018). Haack *et al.*(2022)은 미국 검역 모니터링 자료를 이용하여 ISPM 15 시행 이후 천공성 해충 검출률이 2003년 0.34%에서 2020년 0.21%로 약 61% 감소하였음을 보고하여 제도의 실효성을 입증하였으나, 동시에 검출이 완전히 사라지는 않았음을 지적하였다. 열처리의 살충 효과는 목재 심부 온도가 규정 조건에 도달하는지에 좌우되는데, 목재의 두께·초기 함수율·건조 방식에 따라 내부 온도 분포가 불균일할 수 있다(Lee *et al.*, 2024; Sumardi *et al.*, 2024). 또한 메틸브로마이드는 오존층 파괴 물질로 국제적 사용 규제가 강화되면서 열처리 의존도가 높아지고 있어, 처리 방식의 한계와 대체 처리 기술에 대한 관심이 커지고 있다(Priadi *et al.*, 2023).

그럼에도 마크 위조, 처리 부실, 처리 후 재오염 및 팔레트의 반복 재사용 등으로 인한 검역 부적합은 전 세계 국경에서 지속적으로 적발되고 있으며, 각국 검역 당국은 한정된 자원으로 방대한 물동량을 단속해야 하는 과제에 직면해 있다(Brockhoff *et al.*, 2006).

한국과 미국은 모두 ISPM 15를 이행하는 주요 교역국이지만, 무역 상대국 구성과 지리적 조건이 뚜렷이 다르다. 한국은

본 문서는 출판된 영문논문의 국문서입니다. 출판된 영문논문은 아래의 DOI를 통해서 확인하실 수 있습니다.
Journal of The Korean Wood Science and Technology 54(5): 679-693. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2026.54.5.679>

반도국으로 해상·항공 운송에 의존하며 중국·베트남 등 아시아 역내 교역 비중이 높다(국내 주요 수종의 물성과 이용에 관해서는 Park *et al.*, 2024 참조). 반면 미국은 멕시코·캐나다와 광대한 육상 국경을 접하여 트럭·철도 육로 운송이 활발하다. 이러한 구조적 차이는 양국이 직면하는 검역 위험의 성격을 다르게 만들 가능성이 크다.

본 연구는 한·미 양국의 부적합 적발 자료를 변수 매핑으로 통합하고, 부적합 유형·원산국·운송수단·품목·계절성·검출 해충의 여섯 차원에서 비교함으로써 (1) 양국 규제 접근법의 차이를 진단하고, (2) 지리·물류 환경이 검역 위험에 미치는 영향을 규명하며, (3) 표적 검역(targeted inspection)으로의 정책 방향을 제안하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 분석 대상 자료

한국 자료는 농림축산검역본부(Animal and Plant Quarantine Agency, APQA)의 수입화물 목재포장재 검역 결과 중 불합격(부적합) 내역으로, 2010년부터 2026년 초까지 총 3,924건이다. 미국 자료는 미국 농무부 동식물검역소(United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, USDA APHIS)의 목재포장재 부적합 적발 기록으로, 2020년부터 2025년까지 총 7,822건이다.

두 자료의 국가 변수는 정의가 완전히 동일하지 않다. 미국 자료는 원산국(country of origin)을 기록하는 반면, 한국 자료는 수출국을 기록한다. 중계무역이 개입되면 두 개념이 달라질 수 있으므로, 본 연구에서는 이를 ‘원산국’으로 통칭하되 엄밀히 동일한 개념이 아님을 명시하고 연구의 한계에서 다시 논의하였다. 이하 본문에서는 용어 혼용을 피하기 위해 ‘원산국’으로 통일하였다.

두 자료는 수집 기간과 기록 구조가 상이하므로, 절대 건수의 직접 비교보다 전체 부적합 대비 비율(%) 분석을 병행하여 모집단 차이에 따른 통계적 착시를 통제하였다. 시계열 비교 시에는 양국 자료가 중첩되는 2020-2025년 구간을 보조적으로 활용하였다.

2.2. 변수 매핑 및 파생변수

양국의 상이한 자료 구조를 통일하기 위해 핵심 분석 변수를 매핑하였다(Table 1). 부적합 유형은 ISPM 15 표지 누락과 박피 불량 등 규정 위반을 ‘행정적 위반’으로, 실제 해충이 검출된 건을 ‘생물학적 위반’으로 분류하였으며, 어느 쪽으로도 분류되지 않는 소수 사례(한국 자료의 ETC 및 사유 미기재는 ‘기타’로 별도 유지하여 구성비의 합이 100%가 되도록 하였다.

운송수단은 입항지·검역기관 정보로부터 파생하였다. 한국은 검역기관명에 ‘공항’이 포함되면 항공, 그 외 항만 사무소는 해상으로 분류하였다. 한국은 육상 국경이 없으므로 육로는 해당 없음(N/A)이며, 검역기관이 ‘자료없음’으로 기재된 10건(0.25%)은 ‘미상’으로 유지하였다. 미국은 입항지(port of entry)를 항공(airport-courier 허브), 육로(멕시코·캐나다 접경 육상 통관지), 해상(그 외 항만)으로 3분류하였다. 계절은 3-5월 봄, 6-8월 여름, 9-11월 가을, 12-2월 겨울로 정의하였다.

2.3. 지표의 정의

본 연구에서 사용한 두 비율 지표의 분모는 서로 다르므로 다음과 같이 구분하여 정의한다. 첫째, ‘전체 부적합 대비 비율’은 해당 국가의 전체 부적합 건수를 분모로 하는 구성비이다. 둘째, ‘부적합 사례 내 해충 검출 비율’은 특정 범주(운송수단 또는 품목)에서 적발된 부적합 건수를 분모로, 그중 해충이 검출된 건수를 분자로 하는 비율이다. 후자는 해당 범주로 수입된 전체 화물 중 해충이 검출된 비율을 의미하지 않는다. 예컨대 타일의 해충 검출 비율 36.0%는 수입된 타일 화물의 36.0%에서 해충이 검출되었다는 뜻이 아니라, 타일 화물에서 적발된 부적합 275건 가운데 99건(36.0%)에서 해충이 확인되었음을 의미한다. 전체 수입 물동량을 분모로 하는 진정한 의미의 검출률(detection rate)은 품목별 총 수입 건수 자료를 확보하지 못하여 산출할 수 없었다.

2.4. 분석 방법

기술통계와 교차분석(cross-tabulation)을 중심으로 부적합 유형 구성비, 원산국 순위, 운송수단별 분포, 품목별 해충 검출 비율, 월별·계절별 추이를 산출하였다. 범주 간 차이의 통계적 유의성은 Pearson 카이제곱 검정으로 평가하였으며, 2 × 2 분할표에는 Yates 연속성 보정을 적용하였다. 한국의 해상 대 항공 비교는 한 칸의 관측빈도가 0이고 해충 검출의 주변합이 3,914건 중 19건으로 희소하므로, 카이제곱 검정 결과를 Fisher 정확검정으로 함께 확인하였다. 효과크기는 Cramér’s V로 제시하되, 해충 검출과 같이 발생이 드문 결과에서는 V가 집단 간 실질적 격차를 과소 표현할 수 있으므로 필요한

경우 위험비(risk ratio, RR)를 병기하였다. 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 하였다. 자료 처리와 시각화에는 Python 3.10(pandas, matplotlib, SciPy)을 사용하였다.

국가별 부적합 유형 비교는 ‘행정적 위반’과 ‘해충 검출’의 2개 범주로 수행하였으며, 두 범주 어디에도 속하지 않는 ‘기타’ 37건은 검정에서 제외하였다. 따라서 검정에 사용된 한국의 분모는 3,887건으로, 구성비 산출에 사용한 전체 부적합 3,924건과 차이가 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 부적합 유형

양국 모두 부적합의 다수는 ISPM 15 표지 누락 등 행정적 위반이었다(Fig. 1). 한국은 전체 3,924건 중 표지 누락 97.50%(3,826건), 박피 불량 1.07%(42건), 해충 검출 0.48%(19건), 기타 0.94%(37건)로 네 범주의 건수 합이 3,924건이 되어 합계 100%를 구성한다. 미국은 표지 누락 91.26%(7,138건), 해충 검출 8.74%(684건)였다. 행정적 위반과 해충 검출의 2개 범주로 수행한 검정에서 해충이 검출된 사례의 비중은 미국($684/7,822 = 8.74\%$)이 한국($19/3,887 = 0.49\%$)보다 유의하게 높았다($\chi^2 = 312.1$, $df = 1$, $p < 0.001$). 효과크기는 Cramér's $V = 0.163$ 으로 크지 않게 산출되었으나, 이는 양국 모두 행정적 위반이 절대다수를 차지하여 국가 정보가 개별 건의 유형을 예측하는 힘이 제한적이기 때문이다. 두 집단의 해충 검출 비율 자체는 위험비 17.9배로 상당한 격차를 보인다.

이 격차는 수집 기간 차이만으로 설명되지 않는다. 중첩 기간인 2020-2025년 한국 자료로 한정하여도 해충 검출 비중은 0.38%에 그쳤다. 다만 이 차이를 곧바로 양국의 실제 해충 유입 압력 차이로 해석하는 데에는 신중할 필요가 있다. 미국 APHIS는 해충 검출을 별도 사유(U.S. pest of concern)로 분리 기록하는 반면, 한국은 표지 누락 단계에서 반송·소독 조치로 처리가 종결되어 해충 동정까지 이르는 비중이 낮을 수 있다. 즉 관찰된 격차에는 실제 해충 발생률의 차이와 검역 기록 관행의 차이가 함께 반영되어 있을 가능성이 높으며, 본 자료만으로 두 요인을 분리하기는 어렵다.

3.2. 원산국 비교

주요 부적합 원산국 상위 10개국을 비교한 결과(Fig. 2, Table 2), 양국의 무역 구조 차이가 드러났다. 한국은 중국이 전체의 31.2%(1,226건)로 1위였고 베트남(13.8%), 미국(11.9%)이 뒤를 이었다. 미국은 멕시코가 34.2%(2,675건)로 최다였으며, 중국(7.3%), 터키(5.7%), 인도(4.7%), 독일(4.1%) 순이었다.

멕시코의 부적합 2,675건 중 2,430건(90.8%)이 육로로 유입되었다. 멕시코발 부적합의 95.7%가 행정적 위반인데, 이는 국경 지대를 반복 왕복하는 팔레트의 표지 마모·재사용과 관련된 것으로 추정된다. 다만 본 자료에는 팔레트의 재사용 이력이 기록되어 있지 않으므로 이는 직접 검증된 결과가 아니라 하나의 해석 가설임을 밝혀 둔다. 한국의 중국 편중은 지리적 근접성과 교역 규모를 반영하는 것으로 보인다.

3.3. 운송수단별 특성

운송수단별 부적합 분포는 양국 물류 구조의 차이를 보여준다(Fig. 3). 한국은 해상 69.72%, 항공 30.02%, 미상 0.25%로 구성되며, 육상 국경이 없어 육로는 해당 없음(N/A)이다. 미국은 육로 49.18%, 해상 40.46%, 항공 10.36%였다.

한국 자료의 운송수단별 부적합 유형은 Table 3과 같다. 해충이 검출된 19건은 모두 해상 운송에서 발생하였고 항공에서는 한 건도 확인되지 않았다(해상 $19/2,736 = 0.69\%$, 항공 $0/1,178 = 0\%$). 이 차이는 통계적으로 유의하였다($\chi^2 = 6.85$, $df = 1$, $p = 0.009$; Fisher 정확검정 $p = 0.002$). 미국에서도 해상의 해충 검출 비율이 17.76%로 육로(3.17%)·항공(0%)보다 높았다(Table 4; $\chi^2 = 549.5$, $df = 2$, $p < 0.001$, Cramér's $V = 0.265$). 따라서 해상 운송에서 해충 검출 비율이 상대적으로 높다는 경향은 양국 모두에서 확인된다. 다만 그 절대 수준은 한국 0.69%와 미국 17.76%로 크게 달라 동일한 크기의 현상으로 해석해서는 안 된다(Fig. 4). 또한 한국의 해충 검출 사례가 19건에 불과하여 이 비교의 통계적 검정력은 제한적이다.

해상 운송에서 해충 검출 비율이 높은 것은 장거리·장기간 이동과 중량물 반입목 사용, 그리고 항해 중 온·습도 조건이 목재 내 잠복 해충의 생존에 유리하게 작용할 가능성과 관련된 것으로 보인다. 반면 육로는 적발 건수는 많으나 대부분 표지 관련 행정적 위반이었다.

3.4. 품목별 차이

미국 자료에서 가장 빈번한 품목은 목재포장재 자체(1,105건)였으며, 기계부품(648건), 기타 장비(438건), 금속·광물제품

(416건), 타일(275건), 건설자재(246건) 순이었다. 부적합 사례 내 해충 검출 비율은 타일이 36.0%로 가장 높았고, 금속·광물 제품 15.4%, 기타 장비 10.3% 순이었다(Table 5; $\chi^2 = 201.4$, $df = 6$, $p < 0.001$). 앞서 2.3절에서 정의한 바와 같이 이 값은 수입된 타일 화물의 36.0%에서 해충이 나왔다는 뜻이 아니라, 타일 화물에서 적발된 부적합 275건 중 99건에서 해충이 확인되었다는 의미이다.

한국 자료의 품목별 부적합 분포는 Table 6과 같다. 한국은 목재 및 목제품(HS 44)이 1,645건으로 전체의 41.92%를 차지하여 압도적이었고, 기계류(6.42%), 석재·시멘트 제품(4.36%), 음료·주류(4.23%), 가구·조명(3.82%)이 뒤를 이었다. 목재 및 목제품 내부를 보면 목재 펠릿 553건, 반침목(dunnage) 535건, 목재 팔레트 73건으로, 목재 연료와 목재포장재 자체의 수입이 이 범주의 대부분을 구성한다. 이는 한국의 목재 부적합 비중이 목재포장재의 결함 때문이라기보다 해당 품목의 수입 물동량이 많은 데 기인할 가능성을 시사하며, 품목별 총 수입 건수를 분모로 하는 위험도 산출이 필요한 이유이기도 하다.

한국 자료에 대해서는 품목별 해충 검출 비율을 산출하지 않았다. 해충이 검출된 사례가 19건에 불과하여 이를 79개 품목 범주에 배분하면 대부분의 칸에서 기대빈도가 1 미만이 되어 카이제곱 검정의 근사 조건을 충족하지 못하며, Fisher 정확검정을 적용하더라도 해석 가능한 결론을 얻기 어렵기 때문이다. 따라서 품목별 해충 검출 비율 분석은 미국 자료에 한정하였다. 다만 기술적 관찰로서, 한국의 해충 검출 19건은 차량(오토바이) 5건, 식물성 편조재료(코코피트 등) 5건, 석재·시멘트 제품 2건, 공구·날붙이 2건 순으로 분포하여, 중량 화물과 식물성 원료에 상대적으로 집중되는 경향을 보였다. 이는 미국에서 타일·금속 등 중량 화물의 해충 검출 비율이 높게 나타난 결과와 방향이 일치하나, 사례 수가 적어 통계적 검정을 통해 확인된 것은 아니다.

한편 양국의 품목 분류 체계가 상이하(한국은 HS 2단위 코드, 미국은 APHIS 자체 품목 분류 264종) 품목 범주를 직접 대응시킨 통계적 비교는 수행하지 않았으며, 각국 자료 내에서의 분포를 병렬적으로 제시하는 데 그쳤다. 공통 분류 체계의 구축은 향후 과제이다.

한편 양국 모두에서 목재포장재 자체가 최상위 품목으로 집계된 점은 해석에 주의가 필요하다. 미국 자료에서 ‘목재포장재(wood packaging material)’는 1,105건으로 단일 품목 중 가장 많았고(전체의 14.1%), 한국 자료에서도 반침목·팔레트·나무상자 등 목재포장재 자체가 수입화물명으로 기록된 사례가 705건(전체의 18.0%)에 달하여 목재 및 목제품(HS 44) 1,645건의 42.2%를 차지하였다. 이는 목재포장재가 실제로 가장 위험한 화물군임을 의미한다기보다, 부적합 적발 시점의 기록 방식에서 비롯된 측면이 있을 것으로 판단된다. 검역 현장에서 본 화물의 품목을 특정하기 어렵거나 화물 정보가 충분히 확보되지 않은 경우, 검역관이 실제 적발 대상인 목재포장재를 그대로 품목란에 입력하였을 가능성이 있기 때문이다. 미국 자료에서 ‘기타 비규제 물품(miscellaneous non-regulated material)’ 698건(8.9%)과 ‘자료 없음(no data available)’ 68건(0.9%)이 별도로 존재하는 것도 품목 기록이 일정 부분 포괄적·간여적으로 이루어짐을 시사한다.

따라서 목재포장재 범주의 높은 비중에는 실제 화물 구성과 기록 관행이 함께 반영되어 있을 수 있으며, 본 연구의 품목별 분석 결과를 화물군별 위험도로 직접 환산하는 데에는 한계가 있다. 향후 품목 기록의 표준화, 즉 목재포장재가 적재된 본 화물의 품목을 별도 필드로 분리하여 기록하는 체계가 마련된다면 품목 기반 표적 검역의 정밀도를 높일 수 있을 것이다.

타일·석재는 터키·이탈리아·인도 등지에서 미가공 반침목에 적재되어 운송되는 경우가 많아 천공성 해충의 잠입 위험이 상대적으로 클 것으로 추정된다. 중량 화물용 팔레트·반침목은 반복 하중과 야외 보관에 노출되는 경우가 많아 표지 마모와 생물학적 열화가 함께 진행될 수 있으며, 이러한 사용 환경이 검역 위험을 높이는 요인으로 작용할 수 있다(Hermawan *et al.*, 2024b; Liu *et al.*, 2022).

3.5. 계절성

월별 부적합 비중은 양국 모두 봄철(3-5월)에 증가하고 12월에 최저를 보였다(Fig. 5). 미국은 3월, 한국은 5월에 정점을 보였으며, 계절별로는 양국 모두 봄이 최다였다(한국 28.3%, 미국 27.7%). 국가 간 계절 분포 차이는 통계적으로 유의하였으나 효과크기는 매우 작았다($\chi^2 = 14.5$, $df = 3$, $p = 0.002$, Cramér's $V = 0.035$). 즉 계절 패턴은 양국이 사실상 유사하다고 보는 것이 타당하다.

봄철 집중은 물리적 요인(연초 재고 보충과 봄철 건설·제조 성수기의 물동량 증가)과 생물학적 요인(천공성 해충의 우화·활동 증가)이 함께 작용한 결과로 해석된다. 수목의 성장과 목재 내 곤충 활동이 계절에 따라 뚜렷한 주기를 보인다는 점은 연륜 분석 연구에서도 확인된다(Ju *et al.*, 2023). 다만 본 자료만으로 두 요인의 기여도를 분리하기는 어려우며, 물동량

통계와 결합한 정규화 분석이 필요하다.

3.6. 검출 해충

미국은 해충이 동정된 684건 중 하늘소과(Cerambycidae)가 356건(52.0%)으로 우점하였고, 바구미과(Curculionidae, 148건), 비단벌레과(Buprestidae, 130건), 나무벌레과(Siricidae, 47건) 등이 뒤를 이었다(Fig. 6). 이는 ISPM 15 시행 이후에도 천공성 해충이 목재포장재 경로에서 지속적으로 검출된다는 Haack *et al.*(2022)의 보고와 일치한다.

반면 한국은 해충이 명시적으로 기록된 건이 19건에 불과하였으며, 개나무좀과(Bostrichidae)의 *Sinoxylon anale*, *S. conigerum*, 흰개미류(*Coptotermes* spp., *Reticulitermes speratus*), *Bursaphelenchus* sp. 등이 확인되었다. 한국 19건 중 1건은 곤충이 아닌 선충(*Bursaphelenchus* sp.)이므로, 본 논문에서 ‘검출 해충’은 곤충과 선충을 포괄하는 의미로 사용하였다.

검출된 흰개미류는 국내 목조 문화재와 목조 건축물의 주요 가해 생물이기도 하다. Im and Han(2024)은 국내 주요 목조 건축문화재 부재 수종의 *Reticulitermes speratus*에 대한 저항성이 수종별로 뚜렷이 다름을 보고하였는데, 이는 유입된 흰개미가 정착할 경우의 피해 규모가 기주 수종에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 또한 *Coptotermes* 속 흰개미의 유입·방제에 관한 연구(Arinana *et al.*, 2024; Subekti *et al.*, 2024)와 약제 처리 목재의 흰개미 저항성 연구(Hermawan *et al.*, 2024a)는 유입 이후 단계의 관리 수단에 관한 정보를 제공한다. 국경 단계의 차단과 유입 이후의 방제를 연계하여 검토할 필요가 있다.

한국에서 하늘소과·나무좀과가 주요 규제 해충임에도 검출 기록이 적은 것은, 표지 누락 단계에서 처리가 종결되어 해충 동정 단계까지 진행되는 비중이 낮기 때문으로 해석된다. 이는 한국 자료에서 생물학적 위험이 과소 기록되었을 가능성을 시사하며, 3.1절에서 관찰된 양국 격차의 상당 부분이 기록 관행 차이에 기인할 수 있음을 뒷받침한다.

3.7. 통계적 유의성 검정 결과 종합

주요 비교 항목의 통계적 유의성을 검정하여 Table 7에 종합하였다. 국가별 부적합 유형, 운송수단별 해충 검출 비율, 품목별 해충 검출 비율의 차이는 모두 유의하였다($p < 0.001$). 다만 효과크기(Cramér's V)는 0.163-0.265 범위로 중간 이하였고, 계절 분포의 차이는 유의하였으나 효과크기가 0.035로 매우 작아 실질적 차이는 크지 않은 것으로 판단된다. 표본 수가 큰 경우 작은 차이도 통계적으로 유의해질 수 있으므로, 유의확률과 함께 효과크기를 병행하여 해석하였다. 특히 해충 검출과 같이 발생이 드문 결과에서는 Cramér's V가 실질적 격차를 과소 표현할 수 있으므로, 국가 간 비교에서는 위험비(17.9배)를 함께 제시하였다.

4. 결론

본 연구는 한·미 양국의 목재포장재 검역 부적합 자료를 여섯 차원에서 비교하였다. 첫째, 양국 모두 부적합의 다수는 ISPM 15 표지 관련 행정적 위반이었으나, 해충이 검출된 사례의 비중은 미국(8.74%)이 한국(0.48%)보다 유의하게 높았다. 다만 이 격차에는 검역 기록 관행의 차이가 상당 부분 반영되어 있을 수 있다. 둘째, 원산국은 한국이 중국에, 미국이 멕시코에 집중되어 각국 공급망 구조를 반영하였다. 셋째, 부적합 사례 내 해충 검출 비율은 양국 모두 해상 운송에서 가장 높았으나(한국 0.69%, 미국 17.76%) 절대 수준의 차이가 커 동일 현상으로 보기는 어렵다. 넷째, 품목별로는 타일 등 중량 화물에 높은 해충 검출 비율을 보였다. 다섯째, 계절성은 양국 모두 봄철 집중·12월 최저로 유사하였다. 여섯째, 미국의 검출 해충은 하늘소과가 우점하였다.

정책적으로는 (1) 해상 중량 화물(타일·석재·금속·기계류)의 반침묵·크레이트에 대한 정밀검사 강화, (2) [운송수단 × 품목 × 원산국] 결합 프로파일에 기반한 표적 검역 체계 구축, (3) 한국 검역에서 표지 누락 적발 시에도 해충 동정·기록을 체계화하여 생물학적 위험을 가시화할 것, (4) ISPM 15 이행국 간 부적합 자료의 변수·코드 체계 표준화를 제안한다. 아울러 열처리 조건의 균일성 확보와 대체 처리 기술의 검토도 병행될 필요가 있다(Hadi *et al.*, 2022; Na and Kim, 2022; Park *et al.*, 2022; Priadi *et al.*, 2023).

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 양국 자료의 수집 기간과 기록 구조가 상이하여 절대 비교에 제약이 있다. 둘째, 한국 자료는 수출국을, 미국 자료는 원산국을 기록하므로 중계무역이 개입될 경우 두 개념이 일치하지 않을 수 있다. 셋째, 전체 수입 물동량을 분모로 하는 검출률을 산출할 자료를 확보하지 못하였다. 넷째, 운송수단·품목 분류는 입항지·화물명에 기반한 파생변수로 일부 오차가 존재할 수 있다. 다섯째, 한국의 해충 검출 사례가 19건으로 적어 운송수단별 비교의 통계적 검정력이 제한적이다. 향후 물동량 통계와 결합한 정규화 분석이 필요하다.