

## 항공 운송 위험물의 정온 유지 개선방안

### A Study on the Improvement of Maintaining Temperature of Aviation Dangerous Goods

신세철<sup>1</sup>, 안형환<sup>2\*</sup>

Se-Cheol Shin<sup>1</sup>, Hyung-Hwan An<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

According to the study and experiments performed on the Improvement of Maintaining Temperature of Aviation Dangerous Goods, a conclusion was drawn that clear technical guidelines should be established from the design and assembly stage of temperature-controlled packaging, taking into account actual transportation environment. In particular, profiles consisting of only two types of summer and winter are difficult to adjust flexibly in transportation process with severe weather and temperature changes such as spring and fall. To this end, there is a need to establish a compromise profile configuration for summer and winter. It was also found that the condition of the refrigerant, temperature control, and the speed of the packaging operation have a significant impact on maintaining constant temperature. Therefore, all packing operations need to be completed within a short period of time in the environment close to the target temperature. The current packing instructions provided by packaging manufacturers do not provide precise instructions on post-conditioning, but the experiments in this study confirmed that post-conditioning is very important for maintaining the target temperature, so it is necessary to provide precise legal packing technical instructions.

**Keywords :** *Aviation Safety Management, Aviation Dangerous Goods, Temperature Controlled Packaging, Refrigeration, Biological Substance, Infectious Substance*

1 주저자, 페덱스익스프레스 아시아태평양지역 안전, 보건, 환경 위험물 담당

E-mail: pspssc@hotmail.com

2\* 교신저자, 한국교통대학교 안전공학과 교수

E-mail: hhahn@ut.ac.kr

1 Dept. of Health, Safety Environment, & Dangerous Goods, FedEx Express Asia Pacific Division

2\* Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation

### 1. 서론

현대화를 거치며 물류의 구조는 복잡해지고, 교통수단의 발전에 따라 물류량은 계속 증가하고 있다. 특히, 고정된 노선을 따라 이동해야 하는 도로나 철도와는 달리, 점에서 점으로 직접 이동 가능한 항공 화물 운송은 운송 시간이 짧고, 타 운송수단과 달리 사고율이 현저하게 낮으므로, 그 신속성과 안전성으로 인해 주목받고 있다. 이는 전자상거래의 성장과 코로나 19 팬데믹으로 인한 비대면 시대로의 전환에 따른 결과이기도 하다.

특히, 일반 화물과는 다르게, 반도체, 화학 물질, 의료 제품 등 운송 과정에서 위험성을 내포한 항공 운송 위험물들은 복잡한 요구사항과 신속한 이동이 필요하기 때문에, 특수화물로 분류되어 계속 수요가 증가하는 추세이다. 그러나 이와 같은 항공 운송 위험물의 수요만큼이나 사고의 위험성도 증대되고 있어, 운송에 각별한 주의와 대책이 필요한 상황이다.

항공위험물 운송의 기본적인 운송 정보는 제조업체에서 제공하는 물질안전보건자료(Safety Data Sheet, SDS)에 있으며, 이 중 물질의 필수 취급온도 역시 이를 통해 확인할 수 있다. 만약 규정된 온도를 벗어날 경우, 물질의 특성이 변화하여 화물의 손상 및 오염이 발생할 수 있고, 이는 물질의 성능 저하 및 위험성이 증대되어 사고로 이어질 수 있다. 그러므로 항공위험물 운송 과정에서의 정온 유지와 관리는 매우 필수적인 요소이다. 그러나 Table 1과 같이 항공 운송 과정에서 발생할 수 있

는 온도의 변화는 최저 -6℃에서 최대 46.6℃까지이며, 입고, 저장, 육상 및 철도 운송 등의 복합적인 운송 과정에서 예기치 못한 상황들로 인하여 복잡한 온도 변화의 영향을 받을 수 있다[1].

항공위험물 운송 시 온도 관리를 위해서는 다양한 방법이 있으나, 운송 비용을 고려하여 가장 보편적으로 사용하는 방법은 포장의 온도 제어 솔루션이다. 이 기술은 단열재, 폴리스티렌폼, 폴리우레탄폼, 진공단열팩, 젤팩, 드라이아이스 등을 이용해 물질 온도를 보장한다. 그러나, 각기 다양한 종류의 온도 제어 패키징(Temperature Controlled Packaging)들이 존재하고, 각기 다른 제품 제원과 품질보고서(Qualification Report)의 지침에 따라 포장이 이루어지고 있다. 그럼에도 불구하고, Fig. 1과 같이 패키지(Package) 내부 온도가 목표 온도에 벗어나서 정온 유지에 실패한 사고들이 발생하고 있다[1]. 이러한 실패의 원인을 분석하고, 신뢰성을 검증하여 항공 운송 위험물의 정확한 정온

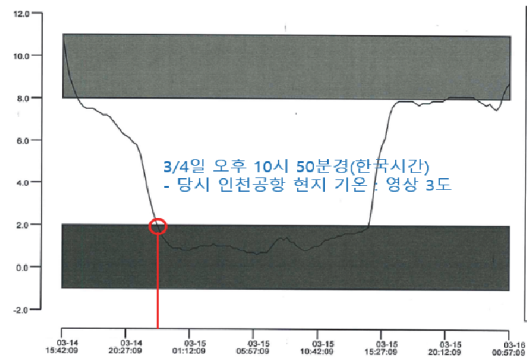


Fig. 1 Failure Case for Maintaining Target Temperature during Transport (F Company inside data in 2021)

Table 1. International Air transport environment (Normal aircraft temperature - Main deck (F Company inside data in 2022))

Average (°C)	Standard Deviation (°C)	Minimum Temperature (°C)	Maximum Temperature (°C)	Mean Kinetic Temperature (°C)
16.9	6.0	-6.5	46.6	19.1

유지를 위한 개선방안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 항공 운송 위험물 중 온도에 민감한 물질에 초점을 맞추고, 가장 보편적으로 운송되는 냉장 2~8°C 생물학적, 감염성 물질들의 정온 유지 조건을 가정하여 온도 제어 패키지(Temperature Controlled Package) 구성 및 조립 후 복합적인 항공 운송 조건들을 시뮬레이션하여 내부 온도의 변화를 측정하는 실험을 진행하였다. 이 시험결과를 분석하여 정온 유지를 위한 개선방안을 제시하여 항공위험물 운송의 안전성 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 이론적 배경

항공 운송 위험물 관련 규제는 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO) 부속서 18의 기술지침서(Doc 9284)와 국제항공운송협회(International Air Transport Association, IATA), 항공안전법 시행규칙 제209조 제1항 및 항공위험물 운송기술기준에서 정하고 있다[2-4]. 그러나 관련 규정들에서는 특정 위험물 Class 별로 허용하는 온도 범위를 지정하고 있지 않으며, 각각의 위험물 종류와 성질에 따라 취급온도를 달리하고 있다. 대표적인 위험물 Class 별 권장하는 보관온도는 Table 2와 같다[2].

위험물 포장재와 관련된 법적 요구사항으로는 항공위험물 운송기술기준 위험물 포장지침에 따르고 있으며, 포장물은 -44°C에서 55°C까지 주변 온도에 노출되더라도 무결성이 손상되는 일이 없이 설계되어 있도록 규정하고 있다[3-4]. 그러나 위험물 포장재의 온도 저항 시험은 포장재가 극단적인 온도에서 안정성을 유지할 수 있는지를 확인하는

과정일 뿐, 실제 온도와 관련된 전문적인 기준 및 시험은 항공위험물 기술기준에 존재하지 않는다. 따라서 온도 제어 패키징의 기술적인 시험 표준은 국제안전운송협회의 ISTA 7D Temperature Test for Transport Packaging을 사용하고 있다[5]. 해당 시험은 정온 유지가 필요한 물질 운송에 필요한 온도 제어 포장의 성능을 평가하여 포장된 물질이 정해진 온도 범위를 유지할 수 있는지 확인하는 데 사용된다. 이 시험에서는 포장된 온도 제어 포장을 여름과 겨울의 운송 온도 조건에 노출시켜, 72시간 이상 정온 유지 여부를 확인하고,

Table 2. Recommended Storage Temperatures for Common Dangerous Goods Classes

Class	Chemicals	Setting Temperature
Class 2.1	Flammable Gas	For materials that have a flash point below 23° C and do not require temperature control, pre-cool and transport to a temperature at least 10° C below the flash point.
Class 3	Flammable Liquid	For materials that have a flash point below 23° C and do not require temperature control, pre-cool and transport to a temperature at least 10° C below the flash point.
Class 4.1	Self-reactive substances	For materials that require temperature control, the chiller must be set below the specified control temperature
	Polymerizing substances	Control below 10~25°C depending on the self-accelerating polymerization temperature (SAPT)
Class 5.2	Organic Peroxides	For materials that require temperature control, the chiller must be set below the specified control temperature
Class 6.2	Infectious Substance	Normally, vaccines require storage between 2-8°C; for Covid19, Pfizer-BioNTech's vaccine should be stored at -70°C, and Moderna's vaccine should be stored at or below -20°C.

이 표준을 통과한 포장재는 일반적인 운송 조건 내에서 목표 수준의 온도 유지를 보장받게 된다 [5]. 인증을 받은 포장재는 극단적인 환경 변화에 대응하여 고온과 저온의 조건에서 물질을 안정적으로 보호할 수 있는 능력이 검증된 온도 제어 패키징으로 인정되며, 제조업체에서 제공하는 자격보고서(Qualification Report)를 통해 성능을 확인할 수 있다. 그러나 ISTA 7D의 테스트의 온도 시나리오는 썸머 프로파일(Summer Profile)과 윈터 프로파일(Winter Profile)로만 구성되어 있으며, 특정 온도시험 챔버(Chamber) 내에서 데이터 로거(Data Logger)에 의해 기록된 정보를 바탕으로 패키징의 적격성을 평가한다. 이 방식은 제한된 환경에서 성능을 평가하는 것이므로, 실제 노출되는 운송과정에서의 결과와 차이가 있을 수 있다.

### 2.2 실험 순서 및 방법

본 연구에서는 업계에서 보편적으로 사용되는 Inmark사의 폴리스티렌폼(Expanded Polystyrene, EPS) 타입의 온도 제어 특수 포장용기(Temperature Controlled Packaging, TCP) 10호 박스(510x370x310mm 규격)를 실험에 활용하였다. ISTA 7D Test에 따라 Inmark사의 온도 제어 패키징 테스트 연구소에서 수행되었으며, Table 3과 같이 냉장 온도 2~8°C 기준 여름용 패키지로 구성하였을 경우는 최대 95.5시간, 겨울용 패키지는 115시간을 유지할 수 있는 테스트 결과값을 나타내었다[6].

실험에 사용된 패키징은 Fig. 2 썸머 프로파일과 Fig. 3 윈터 프로파일에 따라 젤팩을 배치하였으며, 상부에 4개와 내부 박스 측면에 2개 총 6개의 젤팩을 인입하였다[6]. 그리고 내부 박스 측

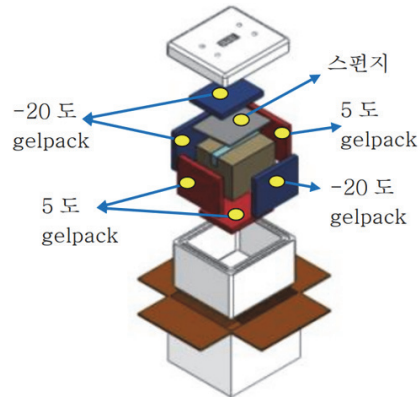


Fig. 2 Test Packaging Inside (Based on Summer)

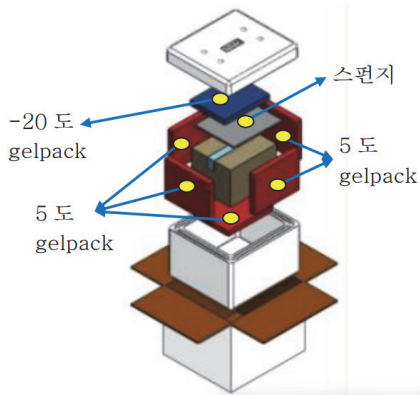


Fig. 3 Test Packaging Inside (Based on Winter)

Table 3. Inmark 10 Series Solution B Refrigerated Shipping System Engineering Qualification Report Result Summary

Profile	Maximum Product Temperature (°C)	Location	Time of Maximum Temperature (Hours)	Minimum Product Temperature (°C)	Location	Time of Minimum Temperature (Hours)
Summer Test	7.89	Bottom Corner	95.5	2.27	Center	24.5
Winter Test	8.00	Bottom Corner	115	3.98	Center	4.00

면의 젤팩 사이에는 폴리스티렌폼 재질의 패드를 삽입하여 효율적인 온도 조절을 도모하였다. 추가로 포장 용기 내부의 각 측면과 중앙, 외부 용기 표면에 데이터 로거를 부착하여 온도 변화를 실시간으로 모니터링 할 수 있게 하였다.

본 실험에서는 선행연구를 통해 확인된 문제점 중에 외부 평균 온도에 따라 과냉방지작업 시간에 대한 조건을 달리할 경우, 그 결과에 대한 출력값이 국제운송 기준 72시간 동안 목표 온도 2~8℃를 유지할 수 있는지를 확인하기 위하여 진행하였다. 각 프로 파일의 구성은 외부온도가 20℃ 미만일 때는 윈터 프로 파일을 적용하여 구성하였고, 20℃ 이상일 때는 썸머 프로 파일을 기준으로 하였다. 실험준비를 위한 절차는 Table 4와 같다. 먼저 운송 과정에서 온도가탈을 방지하기 위해 사용될 냉매제인 젤팩의 사전작업(Pre-Conditioning)을 위해 냉장/냉동고의 내부 온도가 일정하게 유지되는지 확인하였다. 이후 각 프로 파일에 따른 구성 지침에 따라 젤팩을 특정 온도에서 숙성시키는 사전작업과 필수 사항은 아니지만, 제조업체에서 권고하고 있는 내용을 참조하여 과냉방지작업을 실험마다 시간을 달리하여 진행하였다. 이후 패키지를 조립하고, 시료를 넣어 포장 작업을 완료하였다. 이 실험에서는 직접 감염성 물질 대신에 2~8℃가 유지된 500ml 생수가 담겨 있는 페트병을 사용하였으며, 포장을 완료한 이후 데이터 로거를

활성화하여 온도를 측정하였다. 본 실험에서는 ATI logic 360 데이터로거를 사용하였다.

최종 완성된 온도 제어 패키지는 지정된 장소로 이동하여 72시간 이상 보관 후 개봉하여 데이터로거 값을 분석하고 실험을 완료하였다.

### 3. 결과 및 고찰

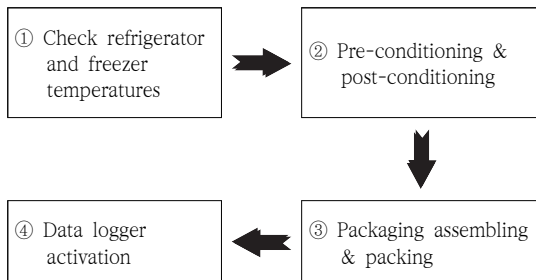
#### 3.1 과냉방지작업 시간에 따른 결과값 분석

과냉방지작업 시간에 따라 패키지가 72시간 이상 목표 온도 2~8℃ 내에서 정온 유지가 가능한지 여부를 확인하기 위해 Table 5와 같이 동일한 실험조건을 구성하였다.

Table 5. Test Common Conditions

Test profile type	Summer	Winter
Maximum daytime ambient temperature	Above 20℃	Below 20℃
Pre-conditioning incubator temperature (Refrigerated/Frozen)	5℃/-20℃	5℃/-20℃
Nbr of gelpack (Refrigerated / Frozen)	3/3	5/1
Gelpack Refrigeration / freezing time	96hrs	96hrs
Post-conditioning temperature	15~25℃	15~25℃
Package assembly location	Warehouse	Warehouse
Package assembly location temperature	15~25℃	15~25℃
Data logger operation start time	1 hour after package completion	1 hour after package completion
Commodity	Bottled water	Bottled water
Quantity	500ml	500ml
Package storage area	Warehouse	Warehouse

Table 4. Procedure for Preparing a Temperature Control Package for an Experiment



낮 최고 기온 기준 외부온도 20°C 미만일 때는 윈터 프로파일을, 외부온도가 20°C 이상일 때는 썸머 프로파일을 적용하였다. 사전작업은 동일하게 96시간 이상 냉장, 냉동된 젤팩을 사용하되, 각 프로파일의 조건에 따라 인입되는 젤팩 숫자를 달리 하였다. 그리고 과냉방지작업 시간을 최소 10분부터 2시간까지 각각 테스트 별로 다르게 설정하였다.

포장이 모두 완료되고 1시간 후 데이터 로거를 작동시켜 측정된 출력값 중 72시간 이상 성공적으로 목표 온도를 유지한 실험군들은 Table 6과 같다.

이 실험 결과를 통해, 목표 온도의 정온 유지를 위해 최소 30분 이상의 과냉방지작업이 반드시 필요하며, 1시간을 초과할 경우 정온 유지 시간이 감소할 수 있음을 확인하였다.

Table 6. Post-conditioning Time for Packages that have been at Target Temperature for more than 72 hours

Average ambient temperature (°C)	Profile	Post-conditioning		Storage location average temperature (°C)	Target temperature hold time (Hrs)
		Temperature (°C)	Time (Hrs)		
6	Winter	22	0:40	7	94
10	Winter	15	0:40	6	99
11	Winter	15	0:40	15	99
12	Winter	17	0:30	8	111
13	Winter	20	0:30	20	96
14	Winter	20	0:30	10	113
19	Winter	21	1:00	21	78
22	Summer	24	0:30	24	75
22	Summer	24	0:30	24	78
22	Summer	27	0:30	27	82
23	Summer	27	0:30	27	75
23	Summer	25	1:00	25	79
23	Summer	25	1:00	25	75
23	Summer	22	0:30	22	81
23	Summer	22	0:30	22	85
24	Summer	26	0:30	26	86
24	Summer	26	0:30	26	83
25	Summer	26	0:30	26	87
25	Summer	26	0:30	26	82
25	Summer	25	0:50	25	77
25	Summer	24	0:30	25	93
25	Summer	28	0:30	27	76
25	Summer	28	0:30	27	77
25	Summer	24	1:00	20	77
25	Summer	24	1:00	21	77
25	Summer	24	1:40	20	76
26	Summer	26	0:45	26	74



### 3.2 항공 운송 위험물 정온 유지 개선방안

항공 운송 위험물의 안정적인 정온 유지를 위해 실험을 통해 확인된 개선방안으로는, 포장 작업은 목표 온도에 근접한 작업환경 내에서 실시하며, 1분 이내에 작업을 완료된 실험군들이 성공적으로 72시간 이상 목표 온도를 유지할 수 있음을 확인하였다. 또한, 실험 환경 내에서는 과냉방지작업은 필수적이었으며, 30분 미만의 작업은 시간이 너무 짧아 목표 온도 이하로 이탈되는 문제점들이 발생하였다. 그리고 1시간을 초과하는 작업의 경우, 도리어 패키지의 온도 유지 성능을 저하할 수 있음이 확인되었다. 이를 토대로 과냉방지작업은 외부온도와 프로파일에 따라 다를 수 있으나, 패키지의 내부의 온도 유지에 매우 중요한 요소임이 확인되었으며 항공 운송 위험물의 정온 유지를 위해 과냉방지작업에 대한 정확한 기준을 정립할 필요가 있음을 확인하였다.

## 4. 결론 및 제언

복잡한 항공위험물 운송 환경에서 정온 유지를 위한 법적 기준 및 기술적 지침이 명확하게 확립되어 있지 않아 지속적으로 항공사의 안전과 신뢰성에 많은 문제점이 발생하고 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 다음과 같은 결론을 내렸다.

첫째, 실제 운송환경을 고려한 기술적 지침이 정립되어야 할 것이다. 특히 프로파일의 경우, 여름과 겨울용으로 두 가지만 구성되어 있어, 온도 변화가 극심한 국제 운송 구간에서 정온 유지의 적응성을 제공하기가 어렵다. 이를 위해 절충형 프로파일의 구성을 정립해야 할 필요성이 있다.

둘째, 냉매제의 상태와 온도 관리, 포장 작업의 속도가 패키지의 정온 유지에 큰 영향을 미치는

것을 확인할 수 있었다. 따라서 모든 포장 작업은 목표 온도에 근접한 환경 내에서 단시간 내에 작업을 완료할 필요가 있다.

셋째, 현재 제조업체의 포장지침에는 과냉방지작업은 권고 사항이며, 시간 설정에 대한 지침이 없어 이를 간과하기 쉽다. 하지만 과냉방지작업은 매우 중요하고, 정온 유지에 필요하므로, 이를 반영한 정확한 법적 포장 기술 지침을 제공할 필요가 있다.

본 연구에서는 다양한 항공 운송 위험물 중에서 정온 유지가 가장 까다로운 생물학적 물질의 냉장관리에 초점을 맞추었으며, 다른 온도 관리가 필요한 위험물에 관한 연구는 다루지 않았다. 또한 운송 서비스의 범위 및 출발지, 경유지, 도착지 등의 환경이 실험에서 구현한 것과 차이가 있을 수 있으므로 이를 고려하여 적용해야 할 필요가 있다. 그리고 향후 냉동 혹은 극저온 온도 관리가 필요한 위험물에 대해서도 포장지침 및 법적 기준에 관한 연구가 필요함을 제안하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] F. Company, Following Dangerous Goods Shipments with Cold Chain through an Integrator Network, (2022).
- [2] International Civil Aviation Organization, Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air (Doc9284), (2023-2024).
- [3] International Air Transport Association, Dangerous Goods Regulations, (2023).
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Technical Standards for Air Dangerous Goods Transportation, MOLIT Notification No. 2023-52, (2023).
- [5] International Safe Transit Association,, ISTA Test Procedures, (2023).
- [6] Inmark,, Inmark 10 Series/Solution B Refrigerated (2~8°C) Shipping System Engineering Qualification Report, (2020).