

발사장 주변 해상의 공공안전 위협요인에 대한 개선 대상 분석

신안태 · 변현수^{*,†}

한국항공우주연구원 나로우주센터
59571 전라남도 고흥군 봉래면 하반로 508

*전남대학교 화공생명공학과

59626 전라남도 여수시 대학로 50

(2023년 12월 13일 접수, 2023년 12월 23일 수정본 접수, 2023년 12월 23일 채택)

Analysis of Improvement Targets for Public Safety Threats in the Maritime Area Around the Launch Site

Ahn-Tae Shin and Hun-Soo Byun^{*,†}

Department of NARO Space Center, Korea Aerospace Research Institute, 508 Haban-ro, Bongrae-myeon, Go-Heung, Jeonnam, 59571, Korea

*Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Chonnam National University, 50 Daehak-ro, Yeosu Jeonnam, 59626, Korea

(Received 13 December 2023; Received in revised form 23 December 2023; Accepted 23 December 2023)

요 약

발사 전 발사장 주변 해상 위험구역 안전확보는 필수 조건이다. 해상안전이 확보되지 못한 경우 발사는 중지 또는 연기되는 상황에 직면하게 된다. 하지만, 수상 레저 활동 인구 증가 등으로 해상 공공안전 확보에 어려움이 발생하고 있다. 통제해역 내 선박 진입, 수상 레저 장비의 무단출입과 소개 명령 불응이 해당 된다. 본 논문에서는 발사체 개발 및 발사장 운영 전문가 등 22명을 대상으로 델파이/ 계층분석법을 활용하여 해상 공공안전 위협요인을 10개 항목으로 도출하고, 해상안전 확보를 위하여 개선하여야 할 항목 5개를 도출하였다. 본 논문에서 분석한 결과 해상안전 확보를 위하여 가장 개선이 필요한 항목은 발사장 주변 위험구역 설정과 통제에 대한 관계법령 개정이나 단행법 제정 필요성이 있다. 본 논문은 전문가 의견에 대하여 중요도와 우선순위를 분석하고 일관성을 검증하여 객관적인 의견을 제시한 부분에 의미가 있다고 사료 된다.

Abstract – Securing safety in the maritime danger zone around the launch site before a launch is a fundamental requirement. If maritime safety is not ensured, the launch is halted or postponed. However, challenges have arisen in the process of securing public safety at sea due to factors such as the increasing population engaged in water leisure activities. These challenges include unauthorized entry of vessels into controlled areas, unauthorized access by water leisure activity participants, and non-compliance with regulations. In this paper, we employed the Delphi/Analytic Hierarchy Process to survey 22 experts, including professionals in launch vehicle development and launch site operation, to identify 10 factors posing threats to maritime public safety. Additionally, we identified five issues that need improvement for ensuring maritime safety. This study verified the consistency of expert opinions and conducted an analysis of importance and prioritization, objectively confirming the necessity for amendments to relevant laws or the enactment of new laws concerning the establishment and control of danger zones around launch sites.

Key words: Public safety, Maritime safety, Pairwise comparison, Delphi, AHP (Analytic Hierarchy Process)

1. 서 론

우주발사체 발사장 부지 선정 조건은 최소 반경 2 km 이상의 안전영역이 확보, 발사체 비행경로가 외국 영공을 통과하지 않고, 분리된 발사체의 낙하지점 안전성 확보, 발사 방위각이 최대한 큰 지역이어야 한다[1]. 이러한 안전조건을 만족시키기 위하여 대부분 우주센터는 해안을 끼고 있는 지역이 선정된다. 국내의 경우 여러

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hsbyun@jnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

조건을 비교하여 제주, 고흥, 남해, 서해안이 발사장 후보지로 검토되었고 안전성과 발사각, 그리고 부지확보 용이성을 고려한 결과 전남 고흥군 외나로도 해안가로 최종 선정되었다[1,2]. 우주발사체는 다량의 추진 연료를 싣고 고온/고압/초저온/진공 등의 극한 상황에서 시스템이 동작하기 때문에 이에 대한 위험성 대비는 항상 준비되어야 한다[3]. 우주발사체 선진국의 경우 시험 및 발사와 관련된 지상안전 및 비행안전 문제는 발사 허가 및 운영을 위하여 매우 중요하게 다루고 있다[4]. 우주발사체가 폭발할 경우 지상에서는 폭연이나 폭굉에 의하여 피해가 발생할 수 있다. 발사장 주변에 인명이 위치한다면 폭발과압이나 화염구에 의하여 인명피해도 발생할 수 있다[5]. 발사체 비행궤적은 인명 거주지역을 피하여 설계되지만, 발사체가 비정상 턴이 발생하여 실패하는 경우에는 발사체 파편 낙하영역이 인구 거주지역에까지 미칠 수 있음이 고려되어야 한다[6]. 이러한 비정상 상황에 대비하여 우주발사체 발사 시 발사장 주변의 인원, 선박 및 항공기 등의 공공안전 대책이 필요하고 관련 연구도 요구된다. 하지만 그간 선행연구는 우주발사체 임무 설계 관련 발사체 예정 낙하물에 의한 개인 예상 인명피해 분석 [7], 발사체 비정상 턴에 의한 파편 낙하 분석을 위한 기준 방법론 [8] 등 비행안전에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 그에 반하여 발사장 주변의 육상/해상/공역에 대한 지상안전 확보에 관한 연구는 해상사격장 내 선박분포 특성 분석으로 해상 사격시험효율 및 안전 확보방안 연구[9]와, 발사장 주변 및 비행경로의 해상안전 위협요인 도출 연구[10]로 제한적인 실정이다. 국내 발사장은 동쪽과 동남쪽으로 일본 영토가 위치함에 따라 남쪽 방향으로만 발사가 가능하다[2]. 이에 따라 발사 초기 발사장 주변 해상의 위험을 방지하기 위한 철저한 안전확보가 중요하다. 하지만, 최근 수상 레이저 스포츠를 지역의 관광산업으로 장려하는 정책과, 수상 레이저 활동 인구 증가 [11]로 발사장 주변 해상 공공안전 확보에 어려움이 발생하고 있다. 지난 누리호 발사 당일에도 발사장 인근의 해안과 도서에서 제트스키, 낚시 등 수상 레이저 활동으로 해상안전 확보에 어려움이 있었던 사례가 있다[12]. 발사 전 해상 위험구역 안전확보는 필수 조건이며

해상안전이 확보되지 못한 경우 발사는 중지 또는 연기되는 상황에 직면하게 된다. 이에 따라 발사장 주변 해상 위협요인을 객관적으로 검토하고 현재 적용되고 있는 안전통제 대책의 개선할 점을 분석하여 발사 공공안전 강화에 반영할 필요가 있다.

본 논문에서는 발사장 주변 해상 공공안전 사례를 조사하고, 발사체 개발 및 발사장 운영 전문가 등을 대상으로 해상 공공안전 위협요인과 해상안전 확보를 위하여 개선할 사항에 대한 의견을 델파이 기법으로 도출하고자 하였다. 도출된 의견에 대하여는 계층분석법을 활용하여 데이터의 일관성 검증 및 중요도와 우선순위를 분석하여 개선대상을 선정하고자 하였다. 본 연구에서 진행된 연구방법 순서도는 Fig. 1과 같다.

2. 이론적 배경

2-1. 발사 시 해상 공공안전

발사장 주변 해상 위험구역 내 선박 등을 안전영역으로 대피시키는 과정은 사전에 항행통보(NOTMAR) 및 항행경보 등의 정보를 선박에 알리는 안전통보 절차, 위험구역 내 경비정을 배치하고 정하여진 시간 내 선박을 외부로 소개하는 절차와 위험구역 내 선박 등의 진입 여부를 실시간 감시하는 절차로 나눌 수 있다. 먼저, 사전 안전통보를 살펴보면 연근해 및 먼바다의 선박안전을 위하여 필요한 정보를 관계기관에 제공 하여 발사 전 선박, 선주 등에게 발사정보를 통보한다. 해외 발사장 및 국제적으로 사용되는 선박 안전통보 방법은 국제해사기구(IMO)의 협정문에 따라 항행통보, 항행경보, 해상교통문자방송(NAVTEX)이 있다. 우주발사체 발사시에는 발사 5일 전에는 발사 시간과 해상 통제구역, 분리된 단 낙하지점 등의 정보를 회원국이 속한 구역의 조정국에 하도록 하고 있다. 국내의 경우 NAVAREA XI의 조정국인 일본의 해상보안청에 통보하여야 한다[13].

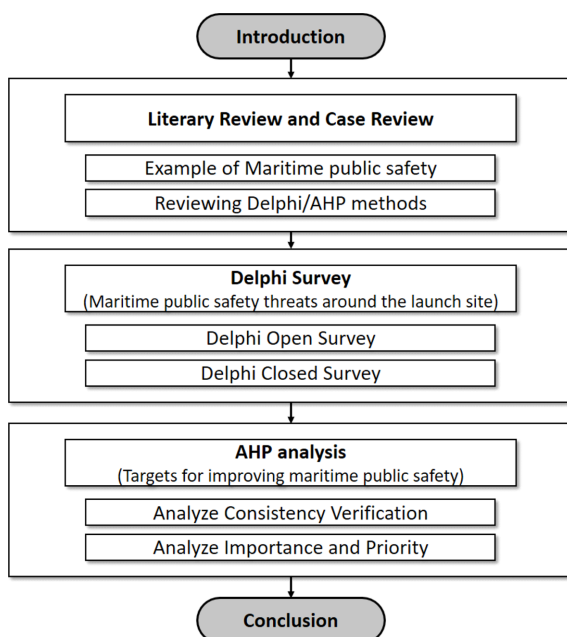


Fig. 1. Flowchart for the Research.

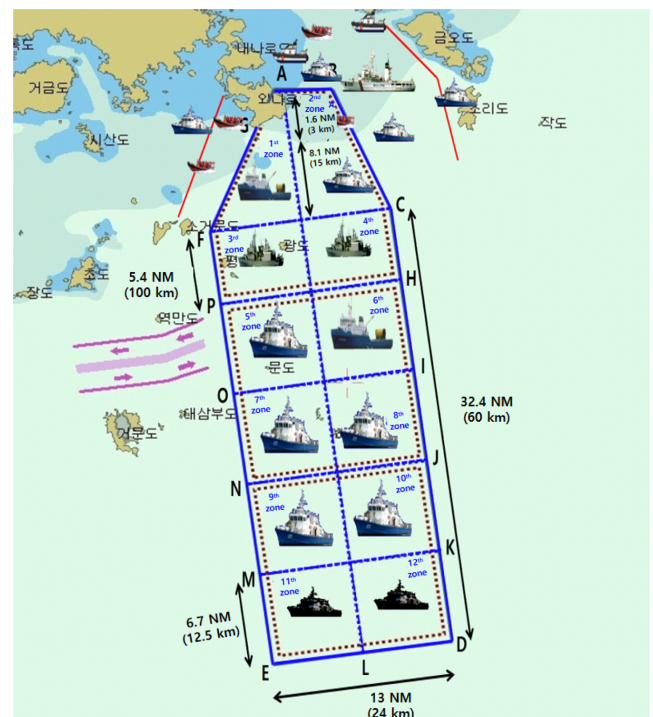


Fig. 2. Case Study on the Arrangement of Coast Guard Ships for Marine Safety Control at Domestic Launch Site.

발사장 주변 및 비행경로 일정 해역은 해상통제구역을 설정한다. 사전 정해진 일정에 따라 인원 및 선박을 소개하여 공공안전을 확보한다. 일정 해역의 해상통제 구역은 모든 어업 활동과 선박의 출입이 통제된다. 국내 발사장의 해상안전통제를 위한 발사 당일 경비정 배치 사례는 Fig. 2와 같다[14]. 선박 소개는 발사 2일 전부터 발사 이후까지 총 6단계로 나누어 임무가 진행된다. 단계별 선박 소개 절차 사례는 Table 1과 같다[14].

해상 통제구역 내 선박 소개 상황은 해안복합 감시레이더와 선박 모니터링 시스템을 통하여 실시간 감시한다. 누리호 발사 시 선박 모니터링 시스템 표출 화면은 Fig. 3과 같다. 해상에 표시된 삼각형 형태의 점이 선박의 위치를 나타내고 있다.

2-2. 연구기법

2-2-1. 델파이 기법

발사장 주변 해상의 공공안전 위협요인을 도출하기 위하여 델파이 기법을 활용하였다. 델파이 기법은 아직 명확하지 않거나 합의점에 이르지 못한 특정 주제나 문제를 다룬다. 전문가 집단을 대상으로 수차례의 설문 조사를 통하여 경험적 지식을 활용한 그룹 간의 합의에 도달해가는 구조화된 기법이다[15]. 미국의 RAND 연구소에서 개발되어 현재까지 폭넓게 활용되고 있고, 정부나 기업에서 조직의 목표 설정과 정책 수립, 학술연구 등에 널리 사용되고 있다. 델파이 조사기법의 특징은 해결하려는 문제에 대하여 아직 다양한 정보가 없을 때 “한 사람의 의견보다 두 사람의 의견이 정확하다”

Table 1. Ship control procedures for launch hazard area at domestic launch sites

| Phase | Measures |
|----------------------------|--|
| Phase 1 (D-2 - D-1) | <ul style="list-style-type: none"> - Installation and Operation of the Maritime Control Center - Enhancement of Maritime Borders, Visual Inspection around the Launch Pad, Increased Deployment of Naval Vessels - Vessel Traffic Service Navigational Chart and NAVETEX Information (including alternate routes) - Precautionary Control Measures Awareness Campaign for Passenger Vessels, Commercial Ships, Fishing Vessels, and Outgoing Boats |
| Phase 2 (D-1 - D-8h) | <ul style="list-style-type: none"> - Increased Deployment of the Command Ship at the Scene - Deployment of the Command Vessel (Flagship) at the Scene - Increased Deployment of Warships and Blockade of Uninhabited Islands |
| Phase 3 (D-8h - D-6h) | <ul style="list-style-type: none"> - Deployment of Full Mobilization Forces within the Controlled Area - Deployment of Dedicated Naval Vessels by Zone - Deployment of Safety Officers at Major Ports (12 in total) |
| Phase 4 (D-6h - D-3h) | <ul style="list-style-type: none"> - Evacuation and Diversion (Alternate Route) Guide for Vessels within the Controlled Area - Evacuation of Vessels within the Controlled Area by Zone - Entry Vessel Blockade (Detour) Guide |
| Phase 5 (D-3h - D-2h) | <ul style="list-style-type: none"> - Total Vessel Control within the Controlled Area - Blockade of Entry Vessels and Evacuation of Mobilization Forces in Safety Zones* * Safety Zone: 1 mile offshore of the Controlled Area - Verification of Vessel Evacuation and Blockade of Entry Vessels in the Expanded Controlled Area |
| Phase 6 (D-2h - D+10 m) | <ul style="list-style-type: none"> - Continuation of Evacuation Status and Blockade (Control) of Vessels in the Expanded Controlled Area - Continuation of Entry Vessel Blockade in the Safety Zone |

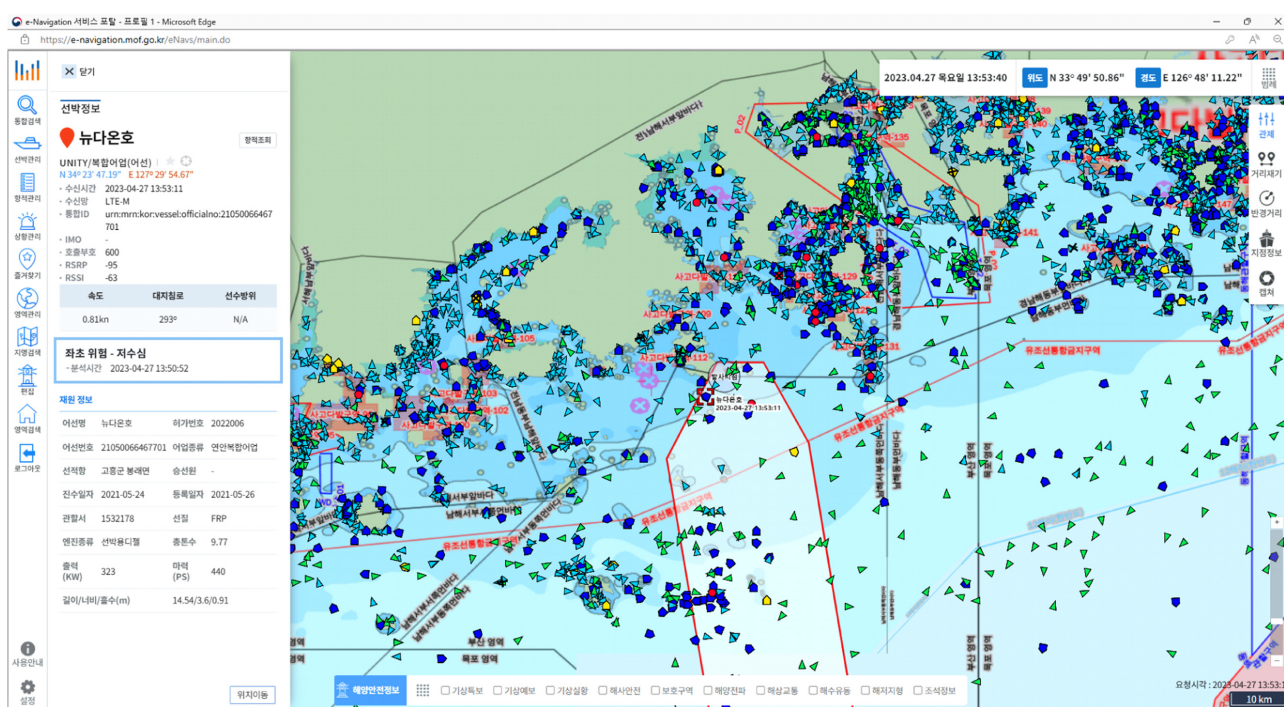


Fig. 3. Ship monitoring system of the launch hazard area (KSLV-II).

와 “소수의 판단보다 다수의 판단이 정확하다”라는 민주적 의사결정 원리에 논리적인 근거를 두고 있다[16].

델파이 기법 수행절차 과정의 첫 번째 단계는 복수의 전문가 패널을 구성한다. 두 번째는 연구 주제에 대하여 패널들에게 개방형으로 질문하고 패널들로부터 다양한 답변을 각 패널 간 익명을 유지한 상태에서 전자통신이나 유인물을 활용하여 접수한다. 세 번째는 이 답변들을 취합 및 정리하여 익명으로 다시 패널들에게 제공하여 피드백을 받는다. 각 패널은 자신의 의견을 포함한 다른 전문가들의 의견을 비교하고 자신의 의견을 수정하여 답변을 제공하는 폐쇄형 방식으로 진행한다. 중요도는 리커트(Likert Scale) 5점 척도 또는 7점 척도를 주로 사용한다. 마지막으로 응답 결과는 평균치와 표준편차 등을 이용하여 조사대상 전문가들의 합의 수준을 통계적으로 확인한다. 이 과정을 반복하여 합의된 항목은 살리고, 아닌 항목은 재합의를 거친다. 이러한 결과물을 내용타당도 비율(CVR, Content Validity Ratio)이라고 한다. 내용타당도를 객관적으로 측정하기 위해 Lawshe가 개발한 아래의 산출공식 (1)을 적용하여 항목별로 CVR 산출한다. n_e 는 높은 점수를 준 응답자들의 수이고, N 은 전체 모수이다. 본인의 모수와 각 항목의 높은 점수 응답수를 기반으로 CVR을 도출한다[17, 18].

$$CVR = \frac{n_e - (N/2)}{N/2} \quad (1)$$

이 과정을 몇 차례 반복하게 되면 패널들 간의 의견 차이가 좁혀지고 일정한 결론에 도달한다.

2-2-2. 계층분석법

계층분석법은 정성적 분석기법이다. 美, 펜실베이니아대학교의 Thomas Satty 교수에 의하여 제안된 기법이다. 복잡한 평가 기준을 계층화한 후 단계별 요인들에 대하여 쌍대비교(Pairwise Comparison)하여 상대적 다수 대안에 대한 다면적 평가를 통한 의사결정 기법이다. 의사결정 이론 중 현재까지 가장 널리 다양한 영역에서 사용되고 있다고 알려져 있다. 문제 요소 간 상호 연관 관계를 계층적으로 표현하고, 그 연관 관계에 대하여 정성적, 주관적으로 쌍대비교하게 함으로써 문제 요소의 상대적 비중과 우선순위 등을 도출하여 문제를 해결하는 방법이다[19].

계층분석법 수행절차 과정의 첫 번째 단계는 연구자 하는 연구 주제 관련한 평가요인을 선정하는 것이다. 두 번째는 해결하고자 하는 주제에 대하여 서로 관련이 높은 요소들로 정리하고 계층화 분리하는 과정이다. 세 번째는 각 패널로부터 의사결정 요소 간의 쌍대비교를 통하여 판단자료를 수집하는 과정이다. 속성이 많은 의사결정은 각 속성의 상대적인 중요도를 정하기 어려운 사항을 고려하여 속성들을 두 개씩 선택하여 비교한다. 각 요소 간의 상대적인 중요도를 평가하고 우선순위를 선정하여 그 결과를 행렬화 한다. 이를 정리하여 쌍대비교행렬을 도출하면 식 (2)와 같다. 여기서, 쌍대비교행렬 A 의 대각선의 모든 값은 1을 갖는 행렬이고, 가중치 산정은 각 계층의 비교 대상에서 n 개 요인의 상대적 중요도를 w 라 한다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & 1 & \dots & w_3/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

네 번째는 각 패널의 답변이 얼마만큼 일관성을 가지고 하였는지 일관성을 검증한다. 쌍대비교행렬 A 의 가중치 벡터를 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 이라고 정의하면, $A \cdot W = n \cdot W$ 로 나타낼 수 있다. 평가항목별 상대적 중요도의 일관성 지수(CI, Consistency Index)는 아래의 식 (3)과 같이 정의하여 계산 가능 하다. λ_{\max} 는 항상 n 보다 크거나 동일하므로 λ_{\max} 는 n 에 근접한 값일수록 쌍대비교 행렬 A 가 일관성이 있다고 판단할 수 있다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

패널의 경험과 지식을 바탕으로 주관적으로 판단되기 때문에 비교행렬의 평가요소 간의 상대적 중요도를 일관성 있게 평가되었는가에 대한 검토가 필요하다. 계산된 일관성 지수(CI)와 일관성 검증에 필요한 확률지수(RI, Random Consistency Index)는 Thomas Satty 교수가 제시한 일관성 비율(CR, Consistence Ratio) 식 (4)을 적용하여 판단한다. CR 값이 0.1 이하이면 해당 행렬은 일관성이 있다고 판단하고, 0.2 이내까지는 수용할 수 있는 수준이며 0.2를 초과할 경우는 수용 불가라고 규정한다[20].

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

마지막 단계에서는 계층구조의 종합화 즉 가중치의 종합화 하는 단계이다. 각기 다른 대안의 가중치 및 종합적 우선순위를 결정하는 단계로써 계층구조를 이루는 모든 요소의 상대적인 선호도 및 상대적인 중요도를 종합하여 대안들의 우선순위를 분석 평가하고 최적의 대안을 결정한다.

3. 조사 및 분석결과

3-1. 델파이 개방형 조사 결과

본 연구에서는 발사체 개발과 시험 및 발사에 직접 참여한 정부 부처 공무원, 연구기관 연구원, 산업체 기술진 22명을 전문가 그룹으로 선정하였다. 누리호 발사에 참여한 정부 부처 공무원 11명, 발사체 개발 및 발사장 운영 연구기관의 연구원 8명, 산업체의 공정 안전/ 공공안전 전문가 3명으로 구성하였다. 구성원 중 약 70%는 해당 분야에서 15년 이상 전문 경력자로 하였다. 계층분석법은 델파이 폐쇄형 조사에 참여한 22명 중 미응답자 1명을 제외한 21명으로 하였다. 조사과정은 익명성을 보장하고 전문가들 간의 대등한 상황에서 의견이 제시되도록 유도하였다. 조사 기간은 2022년 9월부터 10월까지 진행하였다.

델파이 조사는 개방형, 폐쇄형 방식으로 2차례 진행하였다. 델파이 개방형 조사에서는 전문가들의 자유로운 의견을 형식의 제한 없이 많이 수집하는 것이 목적임을 밝히고, 질문 응답은 가능한 구체적인 내용으로 풀어서 다양한 의견을 많이 기술하도록 요청하였다. 델파이 개방형 조사 결과는 다음과 같다. 첫 번째 문항 발사장 주변 해상 공공안전 위협요인에 대하여 상위 10개의 답변으로 도출하였다. 해상안전 위협요인에 대한 답변은 선박 무단 집입(17개), 기동력 좋고 무전이 불가인 소형선박(낚시배, 고무보트, 체트스키 등) 진입(10개), 항행통보 등 발사정보 미확인 선박(8개), 발사체 사고 화재폭발, 파편으로 선박 피해(8개), 드론 등 미승인 비행체 해상으로 진입(2개), 발사장 주변 갯바위에 낚시객, 관람객 출현(7개), 풍

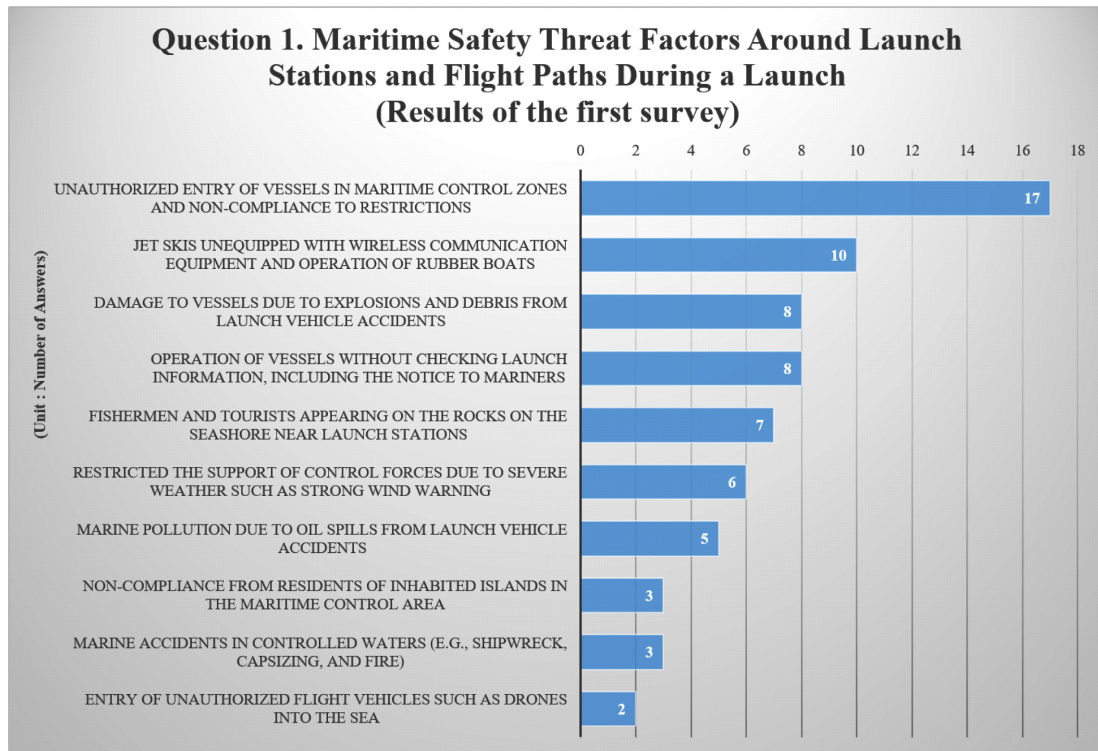


Fig. 4. Results of delphi open survey (phase 1): maritime public safety threat factors around launch sites

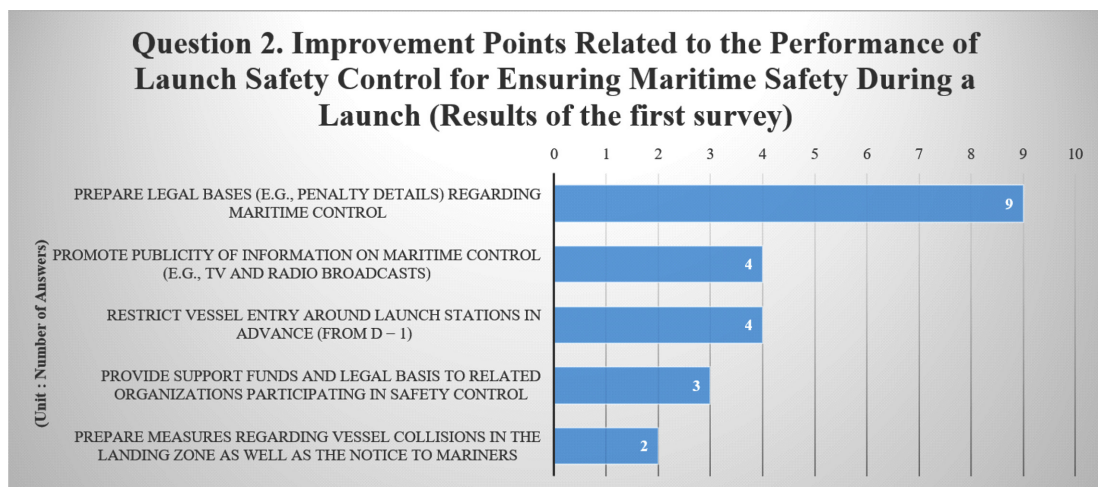


Fig. 5. The results of delphi open survey (phase 1): considerations for improving maritime safety around launch sites.

량특보 등 해상 악기상으로 통제세력 지원 제한(6개), 발사체 사고 기름유출로 해양오염(5개), 통제해역 내 유인도 주민소개 불응(3개), 통제해역 내 선박 좌초, 전복, 화재 등 다른 해양사고 발생(3개)으로 Fig. 4와 같이 의견이 조사되었다. 전문가들은 해상안전 위협요인에 대하여 통제해역 내 선박의 무단 진입 상황과 수상 레저 기구의 진입이 가장 우려된다고 약 39%의 중복된 답변을 제시하였다.

두 번째 문항 해상안전 확보를 위한 개선사항에 대하여 상위 5개의 답변으로 도출하였다. 답변 결과는 해상통제 법적 근거 마련(9개), 대국민 홍보 강화(4개), 발사대 주변 통제 강화(4개), 참여 유관기관 지원 강화(3개), 단 분리 낙하 구역 대책 마련(2개)으로 Fig. 5와 같이 의견이 조사되었다. 전문가들은 해상안전 확보를 위하여

개선하여야 할 사항으로는 해상통제 법적 근거마련이 가장 우선되어야 한다고 약 41%의 중복된 답변을 제시하였다.

3-2. 델파이 폐쇄형 조사 결과

델파이 폐쇄형에서는 평균치와 표준편차를 이용하여 조사대상 전문가들의 합의 수준을 통계적으로 확인하였다. 델파이 개방형 조사 결과를 전문가 패널에게 제시하고 이를 참고하여 재평가하도록 유도하였다. 그 결과 일부 순위가 변경되었다. 델파이 폐쇄형 조사 결과는 다음과 같다. 첫 번째 문항 발사장 주변 해상안전 위협요인에 대한 답변은 1-1. 통제해역 내 선박의 무단 진입, 통제 불응(평균 : 8.57, 표준편차 : 1.40), 1-2. 기동력 좋고 무전 불가인 소형선박 진

입(평균 : 7.71, 표준편차 : 1.39), 1-3. 발사체 사고 발생 화재폭발, 파편으로 선박 피해(평균 : 6.43, 표준편차 : 2.19), 1-4. 행행통보 등 발사정보 미확인 선박운행(평균 : 6.62, 표준편차 : 1.89), 1-5. 발사장 주변 갯바위에 낚시객, 관람객 출현(평균 : 6.10, 표준편차 : 1.46), 1-6. 풍랑특보 등 해상 악기상으로 경비정 등 통제세력 지원 제한(평균 5.67, 표준편차 : 1.86), 1-7. 발사체 사고발생 기름유출로 해상오염(평균 : 5.29, 표준편차 : 2.31), 1-8. 통제해역 내 유인도 주민의 소개 불응(평균 5.71, 표준편차 : 1.93), 1-9. 통제해역 내 해양

사고(선박 좌초, 전복, 화재 등)가 발생(평균 : 5.29, 표준편차 : 2.53), 1-10. 드론 등 미승인 비행체가 해상으로 진입(평균 : 6.19, 표준편차 : 2.63)으로 항목별로 평균과 표준편차를 정리하면 Table 2와 같다. 전문가들의 답변 분포는 Fig. 6과 같다. 질문 유형별 중요도 지표에서는 해상안전 위협요인(10개) 중 선박의 무단 진입이 중요도(8.57)가 높게 나타났다.

두 번째 문항 현재의 발사 해상안전 대책의 개선할 사항에 대한 답변은 2-1 해상통제 법적근거(처벌조항등)의 마련(평균 : 9.24, 표

Table 2. Results of delphi closed survey (2nd Phase) by item - average and standard deviation: quation 1

| No. | Measurement Indicators | Evaluation Results | |
|------|--|--------------------|--------------------|
| | | Mean | Standard Deviation |
| 1-1 | Unauthorized entry of vessels in maritime control zones and non-compliance to restrictions | 8.57 | 1.40 |
| 1-2 | Jet skis unequipped with wireless communication equipment and operation of rubber boats | 7.71 | 1.39 |
| 1-3 | Damage to vessels due to explosions and debris from launch vehicle accidents | 6.43 | 2.19 |
| 1-4 | Operation of vessels without checking launch information, including the notice to mariners | 6.62 | 1.89 |
| 1-5 | Fishermen and tourists appearing on the rocks on the seashore near launch stations | 6.10 | 1.46 |
| 1-6 | Restricted the support of control forces due to severe weather such as strong wind warning | 5.67 | 1.86 |
| 1-7 | Marine pollution due to oil spills from launch vehicle accidents | 5.29 | 2.31 |
| 1-8 | Non-compliance from residents of inhabited islands in the maritime control area | 5.71 | 1.93 |
| 1-9 | Marine accidents in controlled waters (e.g., shipwreck, capsizing, and fire) | 5.29 | 2.53 |
| 1-10 | Entry of unauthorized flight vehicles such as drones into the sea | 6.19 | 2.63 |

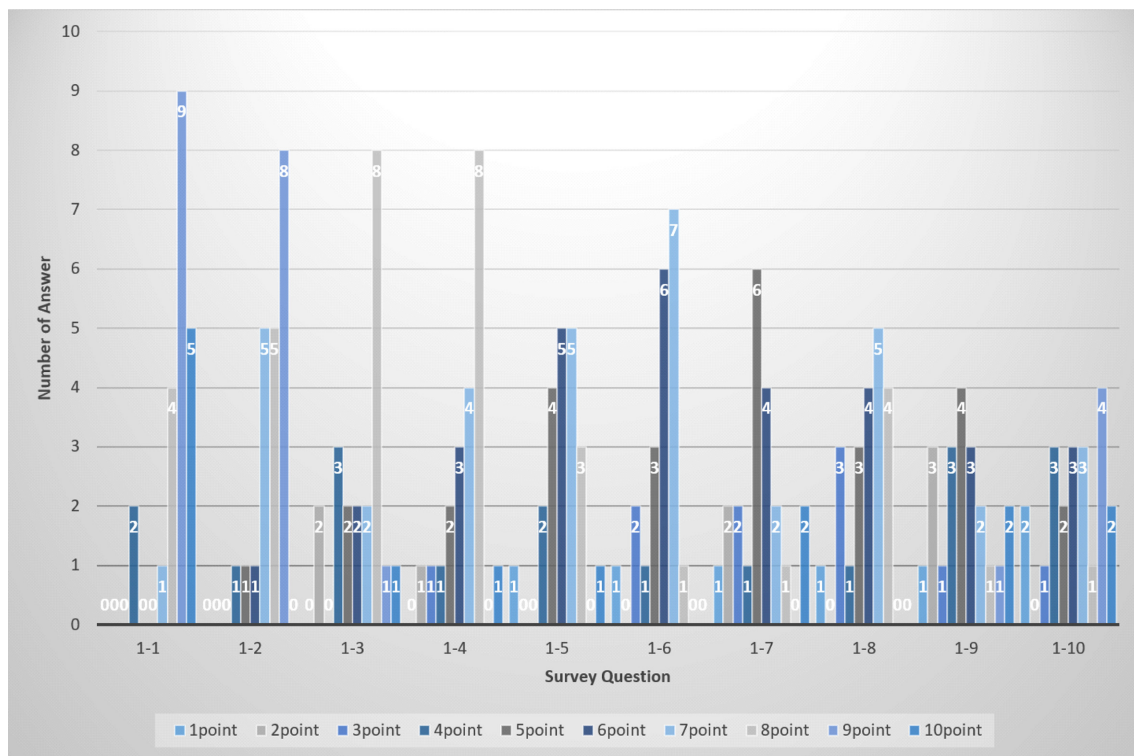


Fig. 6. The results of delphi closed survey (2nd phase): quation 1.

Table 3. Results of delphi closed survey (2nd phase) by item - average and standard deviation: quation 2

| No. | Measurement Indicators | Evaluation Results | |
|-----|--|--------------------|--------------------|
| | | Mean | Standard Deviation |
| 2-1 | Prepare legal bases (e.g., penalty details) regarding maritime control | 9.24 | 0.86 |
| 2-2 | Promote publicity of information on maritime control (e.g., TV and radio broadcasts) | 7.48 | 1.40 |
| 2-3 | Restrict vessel entry around launch stations in advance (from D-1) | 7.00 | 1.48 |
| 2-4 | Provide support funds and legal basis to related organizations participating in safety control | 7.48 | 1.65 |
| 2-5 | Prepare measures regarding vessel collisions in the landing zone as well as the notice to mariners | 6.14 | 2.21 |

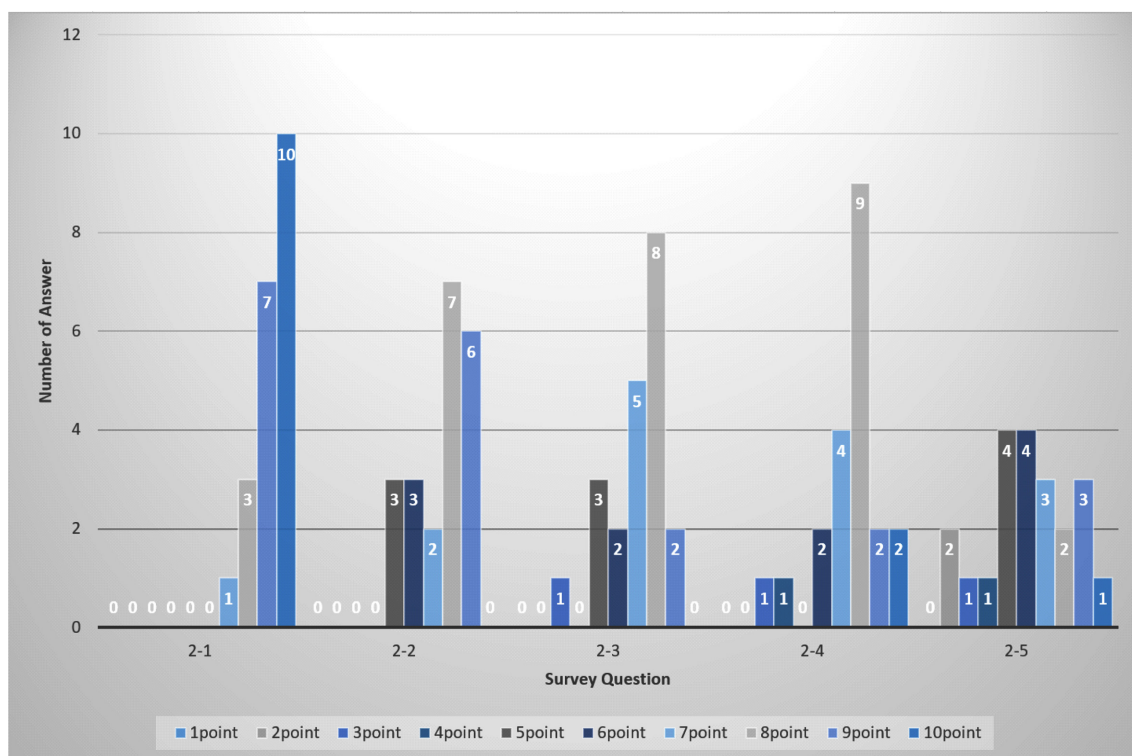


Fig. 7. The results of delphi closed survey (2nd phase): quation 2.

준편차 : 0.86), 2-2 해상통제 정보의 대국민 홍보강화(평균 : 7.48, 표준편차 : 1.40), 2-3 발사대 주변 선박접근 사전 차단(D-1)(평균 : 7.00, 표준편차 : 1.48), 2-4 안전통제 참여기관 예산지원 및 법적근거 마련(평균 : 7.48, 표준편차 : 1.65), 2-5 항행통보 조치 외에도 낙하구역 내 선박 충돌 대책 마련(평균 : 6.14, 표준편차 : 10.0)으로 항목별 평균과 표준편차를 정리하면 Table 3과 같다. 전문가들의 답변 분포는 Fig. 7과 같다. 질문 유형별 중요도 지표에서는 해상안전 확보를 위한 개선대상(5개) 중 해상통제 법적근거 마련이 중요도(9.24)가 높게 나타났다.

3-3. 계층분석법 분석 결과

3-3-1. 일관성 검증 결과

계층분석법으로 델파이 폐쇄형 조사에 참여한 전문가 21명을 대상으로 일관성을 검증하였다. 본 논문에서 행렬계산과 일관성 지수 계산은 AHP Tool (Excel)에 코딩하였다. 일관성 비율이 전체 응답자 중 0.1을 넘지 않는 90% 답변만 결과로 채택하여 일관성을 검증하였다. 이를 정리하면 Table 4와 같다. 그 결과, 두 문항의 일관성 비율은 각각 3.9%, 5.3%다. 계층분석법 쌍대비교 일관성 비율은 4.5%이다. CR 값이 0.1 (10%) 보다 낮으므로 답변의 일관성이 있다고 검증되었다.

3-3-2. 중요도 및 우선순위 분석 결과

델파이 폐쇄형 조사에서 선정한 항목과 요인을 계층화한 후 쌍대비교(Paired Comparison)하여 중요도와 우선순위를 도출하였다. 답변 방식은 전문가 패널에게 A와 B 항목을 제시하고, 'A가 B보다 우선하다'란 질문에 매우 그렇다(3점)/ 그렇다(2점)/ 보통이다(1점)/ 아니다(1/2점)/ 매우 아니다(1/3점) 중 의견을 선택하도록 하였다.

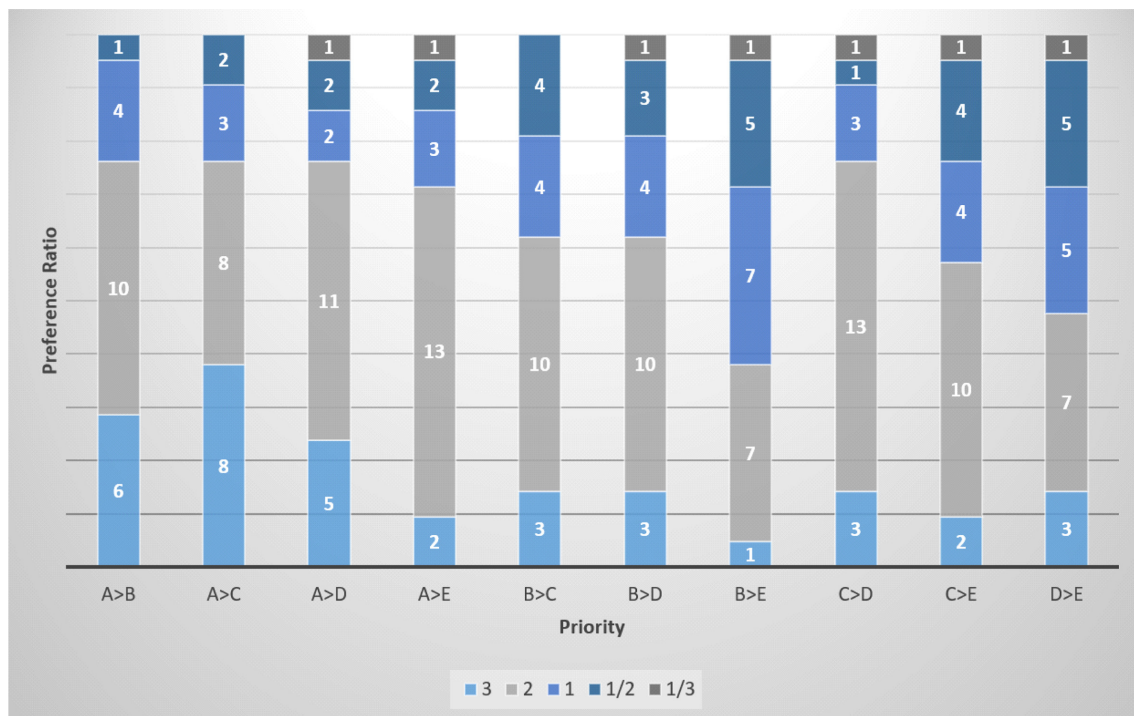
Table 4. Consistency ratio of expert answers in AHP survey law data

| No. | Expert Panel | Consistency Ratio | |
|----------------|--------------|---|--|
| | | Maritime Public Safety Threat Factors around Launch Sites | Considerations for Improving Maritime Safety around Launch Sites |
| 1 | Panel 1 | 0.0025 | 0.0138 |
| 2 | Panel 2 | 0.0396 | 0.0588 |
| 3 | Panel 3 | 0.0796 | 0.0974 |
| 4 | Panel 4 | 0.0489 | 0.0489 |
| 5 | Panel 5 | - | 0.0562 |
| 6 | Panel 6 | 0.0489 | 0.0489 |
| 7 | Panel 7 | - | - |
| 8 | Panel 8 | 0.0146 | 0.0194 |
| 9 | Panel 9 | 0.0489 | 0.0841 |
| 10 | Panel 10 | 0.0147 | 0.0477 |
| 11 | Panel 11 | 0.0292 | 0.0596 |
| 12 | Panel 12 | 0.0033 | 0.0653 |
| 13 | Panel 13 | 0.0341 | 0.0715 |
| 14 | Panel 14 | - | 0.0734 |
| 15 | Panel 15 | 0.0489 | 0.0489 |
| 16 | Panel 16 | 0.0671 | 0.0344 |
| 17 | Panel 17 | 0.0148 | - |
| 18 | Panel 18 | 0.0050 | 0.0278 |
| 19 | Panel 19 | 0.0720 | 0.0382 |
| 20 | Panel 20 | 0.0489 | 0.0489 |
| 21 | Panel 21 | 0.0795 | 0.0678 |
| CR ≤ 0.1 (10%) | | 3.9% | 5.3% |
| | | 4.5% | |

계층분석법 결과 측정지표의 중요도와 우선순위는 통제해역 내 선박의 무단 진입, 통제 불가 상황이 가장 우려되는 해상안전 위협요

Table 5. Results of analyzing importance and priority using AHP (3rd Phase): question 1

| Items | Measurement Indicators | Importance | Priority |
|-------|--|------------|----------|
| A | Unauthorized entry of vessels in maritime control zones and non-compliance to restrictions | 0.30 | 1 |
| B | Jet skis unequipped with wireless communication equipment and operation of rubber boats | 0.20 | 2 |
| C | Operation of vessels without checking launch information, including the notice to mariners | 0.20 | 3 |
| D | Damage to vessels due to explosions and debris from launch vehicle accidents | 0.16 | 5 |
| E | Entry of unauthorized flight vehicles such as drones into the sea | 0.16 | 4 |

**Fig. 8. Distribution of expert responses in AHP survey (3rd Phase): question 1.**

인이고, 해상안전 확보를 위하여 가장 시급한 개선사항은 이러한 상황을 법적으로 통제할 수 있는 근거 마련으로 분석되었다. 계층분석법 각 항목별 세부 결과는 다음과 같다.

3.3.2.1. 발사장 주변 해상안전 위협요인

발사장 주변에서 발생 가능한 해상안전 위협요인에 대하여 전문가 패널들의 쌍대비교 결과를 중요도 및 우선순위를 계층분석법으로 분석한 결과는 Table 5와 같다. 그 결과, 선박 무단 진입(0.30), 무선 통신 미보유 소형선박(0.20), 항행 통보 미확인 선박(0.20), 미승인 비행체 해상진입(0.16), 사고 발생 선박 피해(0.16) 순으로 나타났다. 즉, 발사장 주변 및 비행경로의 해상안전에 가장 위협이 되는 요인은 통제해역 내 선박의 무단 진입, 통제 불응인 것으로 평가되었다.

전문가들의 답변 분포는 Fig. 8과 같다. A가 B~E보다 우선한다는 답변은 매우 그렇다가 38.1%에서 9.5%로 높게 나왔고, 그렇다가 61.9%에서 47.6%로 나왔다. B가 C~E보다 우선한다는 답변은 매우 그렇다가 14.3%에서 4.8%로 결과가 나왔고, 그렇다가 47.6%에서 33.3%로 나왔다.

3-3-2-2. 발사장 주변 해상안전 확보 위한 개선대상

해상안전 확보를 위하여 개선하여야 할 사항에 대하여 전문가 패널들의 쌍대비교 결과를 중요도 및 우선순위를 계층분석법으로 분석한 결과는 Table 5와 같다. 그 결과, 해상통제 법적근거 마련(0.32), 대국민 홍보 강화(0.21), 발사대 주변 통제 강화(0.17), 참여 유관기관 지원 강화(0.16), 단 분리 낙하 구역 대책 마련(0.13) 순으로 나타났다.

Table 6. Results of analyzing importance and priority using AHP (3rd phase): question 2

| Items | Measurement Indicators | Importance | Priority |
|-------|--|------------|----------|
| A | Prepare legal bases (e.g., penalty details) regarding maritime control | 0.32 | 1 |
| B | Promote publicity of information on maritime control (e.g., TV and radio broadcasts) | 0.21 | 2 |
| C | Restrict vessel entry around launch stations in advance (from D-1) | 0.17 | 3 |
| D | Provide support funds and legal basis to related organizations participating in safety control | 0.16 | 4 |
| E | Prepare measures regarding vessel collisions in the landing zone as well as the notice to mariners | 0.13 | 5 |

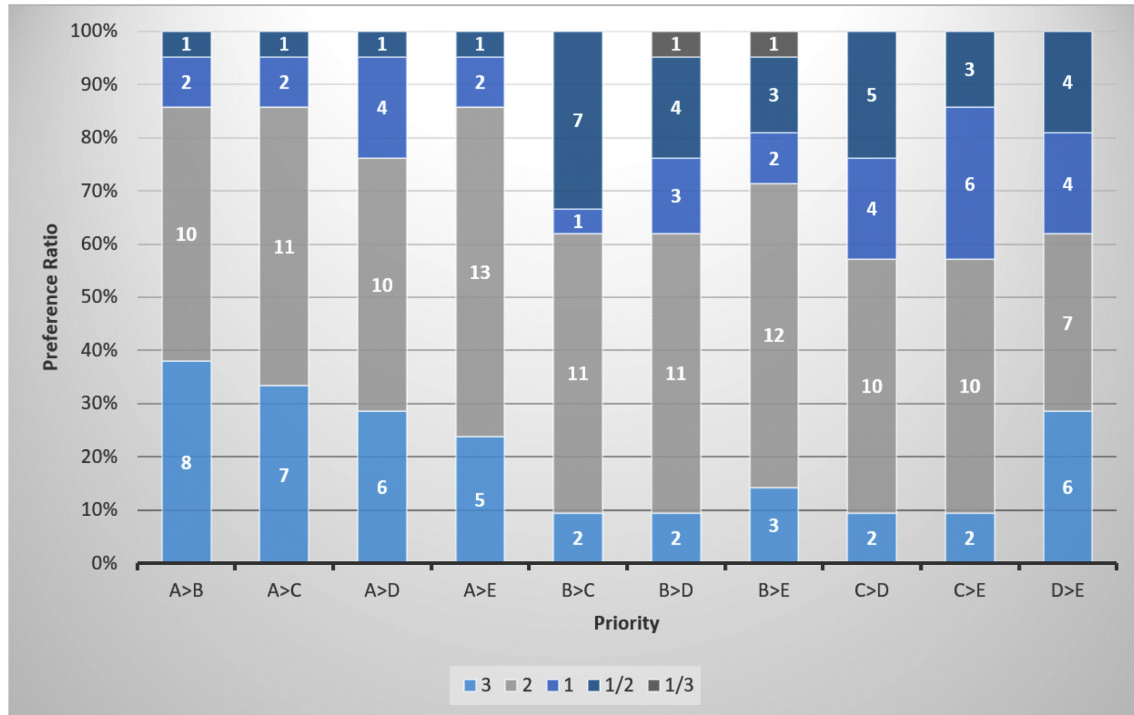


Fig. 9. Distribution of expert responses in AHP survey (3rd phase): quation 2.

로 나타났다. 즉, 해상안전 확보를 위하여 가장 개선되어야 할 대상으로 해상통제 법적 근거(처벌조항 등) 마련이 필요하다고 평가되었다.

전문가들의 답변 분포는 Fig. 9와 같다. A가 B~E보다 우선한다는 답변은 매우 그렇다가 38.1%에서 23.8%로 낮게 나왔고, 그렇다가 61.9%에서 47.6%로 나왔다. B가 C~E보다 우선한다는 답변은 매우 그렇다가 14.3%에서 9.5%로 결과가 나왔고, 그렇다가 57.1%에서 52.4%로 나왔다.

4. 결론 및 시사점

본 연구에서는 발사장 주변 해상의 공공안전 위협요인에 대한 개선대상을 분석하였다. 델파이/ 계층분석법 활용한 발사장 주변 해상 공공안전 위협요인은 통제해역 내 선박의 무단 진입, 기동력 좋고 무전 불가인 제트스키, 고무보트, 낚시객 등 수상 레저 기구 진입과 항행통보, 항행경보 등 발사정보를 미확인하고 선박운행, 그리고 미승인 비행체의 해상진입 상황, 마지막으로 발사체 화재폭발, 파편으로 선박 피해가 발생하는 상황 순으로 위협요인이 확인되었다. 이러한 위협요인으로부터 해상 공공안전 확보를 위하여 개선할 대상으로는 선박과 레저용 수상기구의 무단 진입 차단 등의 상황을 법적으로 통제할 수 있는 법적 근거마련이 가장 시급한 개선사항으로 도출되었다. 다음으로 해상통제 정보에 대한 대국민 홍보 강화가 필요하고, 발사대 주변은 발사 1일 전부터 선박접근을 사전 차단이 요구된다는 의견과 안전통제 참여 유관기관의 예산지원 개선 요구, 항행통보 조치 외 낙하구역 내 선박 추돌 대책 마련이 요구된다는 의견 순으로 도출되었다.

본 연구결과 시사점은 발사장 주변 해상의 공공안전을 확보하는 과정에서 통제해역 내 선박 진입, 수상 레저 기구의 무단출입, 소개

불응으로 어려움이 발생하고 있음을 알 수 있다. 미국의 경우 발사장 주변 해상의 위험구역에 관계자 승인 없이 접근할 경우 구금 또는 벌금형의 강력한 벌칙조항을 적용하고 있다. 본 논문 분석결과도 해상안전 확보를 위하여 가장 개선이 필요한 항목은 발사장 주변 위험구역 설정과 통제에 대한 관계법령 개정이나 단행법 제정 필요성이 있다고 분석되었다. 향후 본 논문의 전문가 의견을 참고하여 위험구역 설정 및 통제 관련 법안 요구사항을 구체적으로 검토할 필요가 있다.

감 사

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C2006888).

References

1. Ryu, J. J., "Construction of Space Center," *The Science & Technology*, **38**(2), 80-83(2005).
2. Park, K. T., "Research on the Necessity of Building the Second Space Rocket Launching Sites for Breakthrough Development of R.O.K National Space Power," *Journal of Space Technology and Applications*, *The Korean Space Science Society*, **2**(2), 146-168(2022).
3. Kehler, C. R., Starbuck, F. R., Eastern and Western Range (EWR) 127-1 Range Safety Requirements. tech. rep., 45th Space Wing and 30th Space wing (1997).
4. Ko, J. H., Choi, K. S., Sim, H. S., Roh, W. R., Park, J. J. and Cho, G. R., "Flight Safety Operation for the 1st Flight Test of Naro(KSLV-I)," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, **38**(3), 280-287(2010).

5. Gayle, J. B. and Bransford, J. W., "Size and Duration of Fireballs from Propellant Explosions," NASA TM X-53314(1965).
6. Sim, H. S., Choi, K. S. and Cho, S. Y., "Analysis Methodology for Fragment Distribution of a Failing Launch Vehicle Veering off the Course by Malfunction Turn," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, **14**(1), 121-132(2016).
7. Sim, H. S., Choi, K. S. and Cho, S. Y., "Risk Analysis around Planned Impact Areas of Space Launch Vehicle," 2022 Fall KSAS Conference, 1,249-1,250(2022).
8. Sim, H. S., Choi, K. S. and Cho, S. Y., "Analysis Methodology for Fragment Distribution of a Failing Launch Vehicle Veering off the Course by Malfunction Turn," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, **14**(1), 121-132(2016).
9. Baek, S. H., Lee, A. Y., Park, Lee, W. S. and Choi, K. S., "Study on the Method to Improve a Maritime Safety by Analysing the Distribution Characteristics of the Ships on Marine Firing Range," *Journal of the Korean Society of Safety*, **35**(3), 79-85(2020).
10. Shin, A. T., Park, B. M. and Byun, H. S., "An Analysis of Threat Factors for Strengthen Maritime Safety around Delphi/AHP-Based Launch Site and Flight Paths," *Korean Chemical Engineering Research* **61**(2), 208-216(2023).
11. Jung, Y. H. and Park, J. B., "A Plan for Revitalization of the Fishing Industry to Promote Marine Leisure Sports," *Korean Journal of Sports Science*, **32**(3), 407-425(2023).
12. Shin, A. T., "Report on the Results of Launch Safety Control Mission for NURI," KARI-FSD-ELN-2022-001(2022).
13. Amendments to Resolution A.706(17)-World Wide Navigational Warning Service, International Maritime Organization(2013).
14. Launch Safety Control Plan, Launch Safety Control Council, FSD-01-005(2023).
15. Dalkey, N. C., "The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion," RAND Corporation Memorandum RM-5888-PR(1969).
16. Chung, K. S., Kang, M. H. and Kim, Y., "A Delphi Study on Software Project Risks. Information System Research," *The Korea Society of Management Information Systems*, **13**(1), 1-20(2004).
17. Lawshe, C. H., "A Quantitative Approach to Content Validity," *Personnel Psychology*, **28**(4), 563-575(1975).
18. Ayre, C. and Scally, A. J., "Critical Values for Lawshe's Content Validity Ratio: Revisiting the Original Methods of Calculation," *Measurement & Evaluation in Counseling & Development*, **47**(1), 79-86(2014).
19. Saaty, T. L., The Analytic Hierarchy Process: A New Approach to Deal with Fuzziness in Architecture," *Architecture Science Review*, **25**, 64-69(1982).
20. Saaty, T. L. and Kearns, K. P., Analytical Planning: The Organization of Systems, The Analytic Hierarchy Process Series, RWS Publication 4, Pittsburgh(1991).

Authors

Ahn-Tae Shin: Senior Researcher, Department of NARO Space Center, Korea Aerospace Research Institute, Goheung-gun, Jeonnam 59571, Korea; atshin@kari.re.kr.

Hun-Soo Byun: Professor, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Chonnam National University, Yeosu, Jeonnam 59626, Korea; hsbyun@jnu.ac.kr