

선박을 이용한 고방사성 산화물핵연료의 해외수송방안 분석  
The Option Study of Sea Shipment of DUPIC Fuel Elements to Canada

이호희, 박장진, 신진명, 김종호, 양명승, 서기석  
한국원자력연구소  
대전시 유성구 덕진동 150

요 약

원자력연구소에서는 국내 원전에서 배출된 사용후핵연료를 IMEF M6 핫셀에서 건식 재가공하여 건식공정 산화물핵연료를 개발하였다. 개발된 핵연료의 성능을 검증하기 위해서는 실제 상용과 동일한 고온고압 조건하에서 조사시험이 필요하나 국내에는 이러한 조사시설을 갖추지 못하고 있으므로 핵연료 성능의 검증이 어렵던 차에 한·카·미·IAEA간의 국제공동연구 과제진도회의에서 AECL측은 중성자비를 받지 않고 캐나다 NRU에서 건식공정 산화물핵연료를 조사시험을 할 수 있다고 제안하였다. NRU 조사시험을 하고자 하는 핵연료는 건식공정 산화물핵연료봉 10개(약 6 kgU)이며 운반물 분류등급에 따라 제7종 위험물로 핵분열성물질에 해당한다. 일반적으로 소량의 방사성물질을 운반할 경우에는 비용뿐 아니라 수송기간 측면에서 항공수송이 선박수송에 비해 유리한 것으로 알려져 있어 항공기를 이용한 건식공정 산화물핵연료의 해외 수송방안을 검토하였다. 검토결과, 현재 건식공정 산화물핵연료봉 10개를 운반할 수 있는 적절한 항공수송용 수송용기가 없어 항공수송이 불가능한 것으로 조사됨에 따라 선박을 이용한 해외 수송방안을 검토하게 되었다. 조사된 핵연료를 선박을 이용하여 수송할 경우에는 INF 등급 선박을 이용하여야 한다. 현재 국내 선박뿐 아니라 국내에서 미주 쪽으로 운항하는 외국선박 중에도 INF등급 선박은 없는 것으로 조사되었다. 또한 국내 선박의 INF 등급획득도 어려운 것으로 조사됨에 따라 혼용 적재방식의 선박수송은 불가능하고, INF 등급을 기 획득한 외국 전용선박을 사용하는 전용선박 수송방안이 가능하나 이 경우에는 수송비용이 너무 많이 소요되는 것으로 분석되었다.

Abstract

KAERI developed a DUPIC nuclear fuel with the refabrication of spent PWR fuel discharged from domestic nuclear power plant by a dry process at M6 hot-cell in IMEF. To verify the performance of DUPIC nuclear fuel, irradiation test at operating conditions of commercially operating power plant is essential. Since the HANARO research reactor of KAERI does not have fuel test loop(FTL) for irradiating nuclear fuel under high temperature and high pressure conditions, DUPIC fuel cannot be irradiated in the FTL of HANARO until about 2008. In the 13-th PRM among Korea, Canada, USA and IAEA, AECL proposed that KAERI fabricated DUPIC fuel can be irradiated in the FTL of the NRU research reactor without charge of neutrons. The transportation quantity of DUPIC fuel to Canada is 10 elements(about 6 kg). This transportation package is classified as the 7-th class according to "recommendation on the transport of dangerous goods" made by the United Nations. Air shipment was found that at present there is no proper air transportation cask for DUPIC fuel. Air transportation of DUPIC fuel is considered to be impossible, therefore, sea transportation is investigated. In case of transporting irradiated nuclear fuel by using a ship, an INF(Irradiated Nuclear Fuel) class ship should be used according to the SOLAS(Safety of Life at Sea) code. There is no INF class ship in Korea. A Korean shipping company, which has dealt with nuclear fuel material, reviewed the feasibility of obtaining INF class certificate and

concluded that it was difficult to obtain INF class certificate because of technical and economical problems. At present, it is concluded that in order to transport DUPIC nuclear fuel to Canada, it is the best way to charter an INF class ship. But this method is expected to cost too much.

## 1. 서 론

핵비확산성 건식공정 산화물핵연료 기술개발과제에서는 IMEF M6 핫셀에서 경수로 사용후핵연료를 직접적인 재가공 방법에 의해 중수로 핵연료로 재사용할 수 있는 건식공정 산화물핵연료를 개발하여 다목적 연구로인 하나로에서 조사시험을 수행한 바 있다. 개발된 중수로 핵연료의 특성을 입증하기 위해서는 실제 중수로 운전조건과 동일한 고온고압분위기에서의 조사시험이 필요하나 현재 하나로에 Fuel Test Loop이 설치되어 있지 않았으므로(2008년경 설치 계획중) 고온고압 조건 하에서의 조사시험은 당분간 불가능한 실정이다. 하나로에서 조사시험 결과만으론 개발된 핵연료의 성능 입증에 한계가 있음에 따라 건식공정 산화물핵연료의 성능을 입증하는 방안을 모색하던 중 '00년 11월에 한국에서 개최된 한·카·미·IAEA간의 제13차 PRM에서 AECL측은 NRU에서 중성자비를 받지 않고 건식공정 산화물핵연료의 조사시험을 수행하겠다는 파격적인 제안을 하였다. 이에 따라 NRU 조사시험을 구체화하기 위한 건식공정 산화물핵연료의 해외 수송방안을 검토하게 되었다[1, 2].

조사연료의 해외 수송방안을 분석하기 위해서는 우선 수송대상 핵연료의 특성과 양을 결정하고, 국내외 관련법규 및 규정 등의 기본 요건을 검토하여야 하며, 이와 아울러 적합한 수송용기를 선정하고, 수송방법과 절차 등이 포함된 수송방안 등을 분석하여야 한다. 특히, 건식공정 산화물핵연료와 같이 소량의 조사된 사용후핵연료의 해외 운반 선례는 국내뿐 아니라 해외에서도 경험이 거의 없는 실정이다. 더욱이 조사연료의 해외수송시 적용하는 관련규정인 IAEA의 방사성물질 수송 관련규정과 SOLAS, IMDG 등이 최근에 개정되어 사용후핵연료의 해외수송에 대한 규제는 보다 엄격해졌다. 또한 2001년 9.11 테러이후 위험물운반에 대한 규제는 더욱 엄격하게 적용되고 있는 추세이다. 이러한 필요성에 따라 건식공정 산화물핵연료봉의 해외수송에 관한 구체적인 검토를 하게 되었다[3~12].

## 2. 운반대상 핵연료의 특성

건식공정 산화물핵연료의 해외수송을 위해서는 운반대상 핵연료의 특성과 양을 결정하는 것이 중요하다. 운반대상 핵연료의 양은 '01년 5월 및 11월 한국에서 개최된 제 14차 및 15차 한·카·미·IAEA간의 PRM에서 협의하여 산화물핵연료봉 10개(약 6 kgU)로 결정한 후 이를 JD에 반영하였다. 또한 미국원산 핵연료의 국제이전에 따른 미국측의 사전동의를 '01년 4월 신청하여 '02년 4월 미국으로부터 동의를 획득하였다. 건식공정 산화물핵연료 제조에 사용된 경수로 사용후핵연료는 '86년 10월 고리 1호기에서 배출되어 PIEF 수조에 저장중인 G23 핵연료로서 농축도 3.21 w/o, 연소도 35,500 MWD/MTU이다. 운반대상 산화물핵연료봉 10개의 특성은 다음과 같다.

- 운반 수량 : 건식공정 산화물핵연료 봉 10개(연료봉: 직경 13.8 mm x 길이 495 mm)
- 방사능량 : 약 40.34 TBq/10 rods
- 조 성
  - U-235 : 55 g
  - U(total) : 5,085 g
  - Pu-239 and Pu-241: 28.9 g
  - Pu(total) : 40 g
- Fissile Material : 83.9 g
- 붕괴열 : 3.6 watt
- A2 값 : 약 1,130 A2

### 3. 선박 해외수송 관련 법규 및 규정

조사연료의 해외수송을 위해서는 관련법규 및 규정을 검토하여 제반 요건을 만족시킬 수 있도록 적합한 절차에 따라 수송용기와 수송방법을 선정하고, 규제기관으로부터 인허가를 획득하여야 한다. 특히 본 수송과 같이 소량의 사용후핵연료를 수송한 경험은 국내뿐 아니라 세계적으로도 매우 드문 경우에 해당하므로 관련법규 및 규정의 검토와 해당 전문가들과의 협의는 무척 중요하다. 특히 소량의 조사연료의 국제수송은 정책적인 목적에 따라 수행한 바는 있으나 상용목적으로 운반한 경험은 전무한 것으로 조사되었다.

더욱이 해외수송의 근간이 되는 IAEA TS-R-1, IMDG 등이 최근에 강화되어 개정됨에 따라 이들 규정의 검토는 중요하다. 또한 국제수송은 위에서 언급한 공통적인 규정 외에 해당국의 관련 법규 및 규정도 만족시켜야 한다. 이에 따라 우선 그림 1에 나타낸 흐름도에 따라 공통규정인 IAEA TS-R-1, IMGR 등과 국내 관련법규 및 관련사항 등을 검토하였다[3, 10, 11].

조사연료의 수송과 관련된 국내 원자력관련 법규 및 규정은 원자력법, 원자력법시행령, 원자력법시행규칙, 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙(과기부령 제 30호), 방사성 물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정(과기부고시 제2001-23호), 방사성물질 운반용기의 제작/사용검사에 관한 규정(과기부고시 제2001-19호) 등이 있다[4~9].

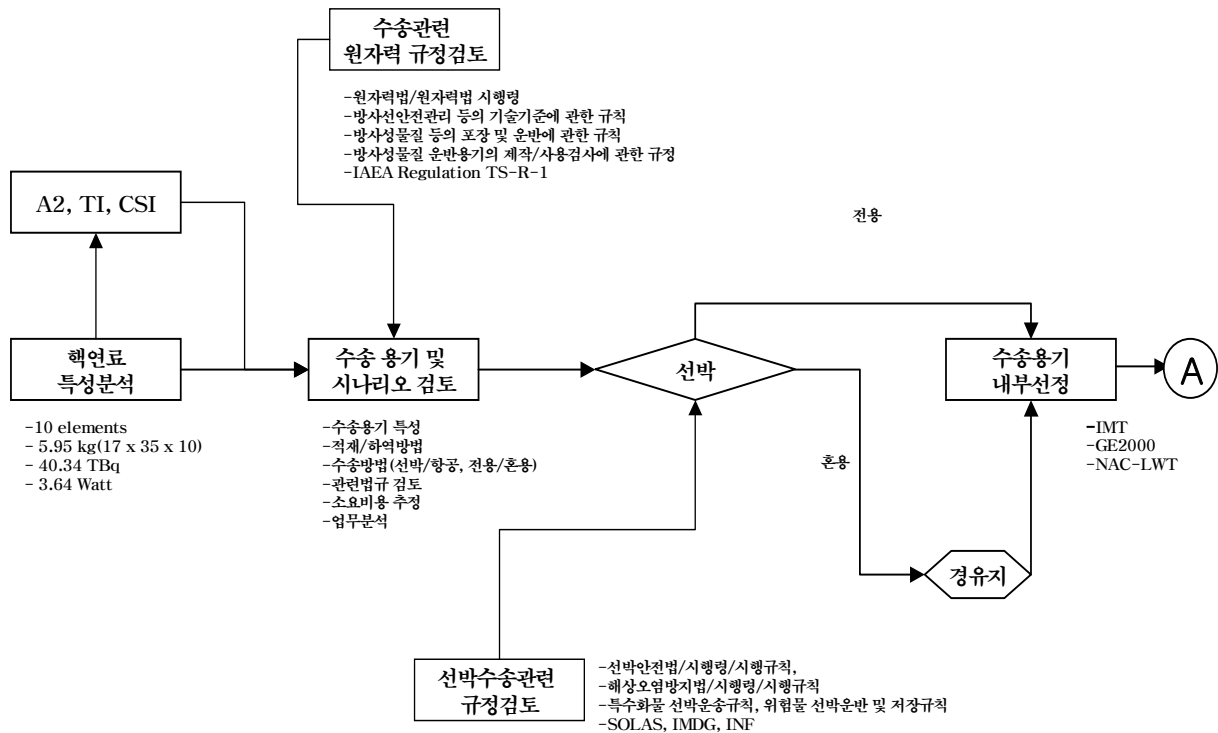


그림 1. 해외 선박수송 업무 흐름도(1/3).

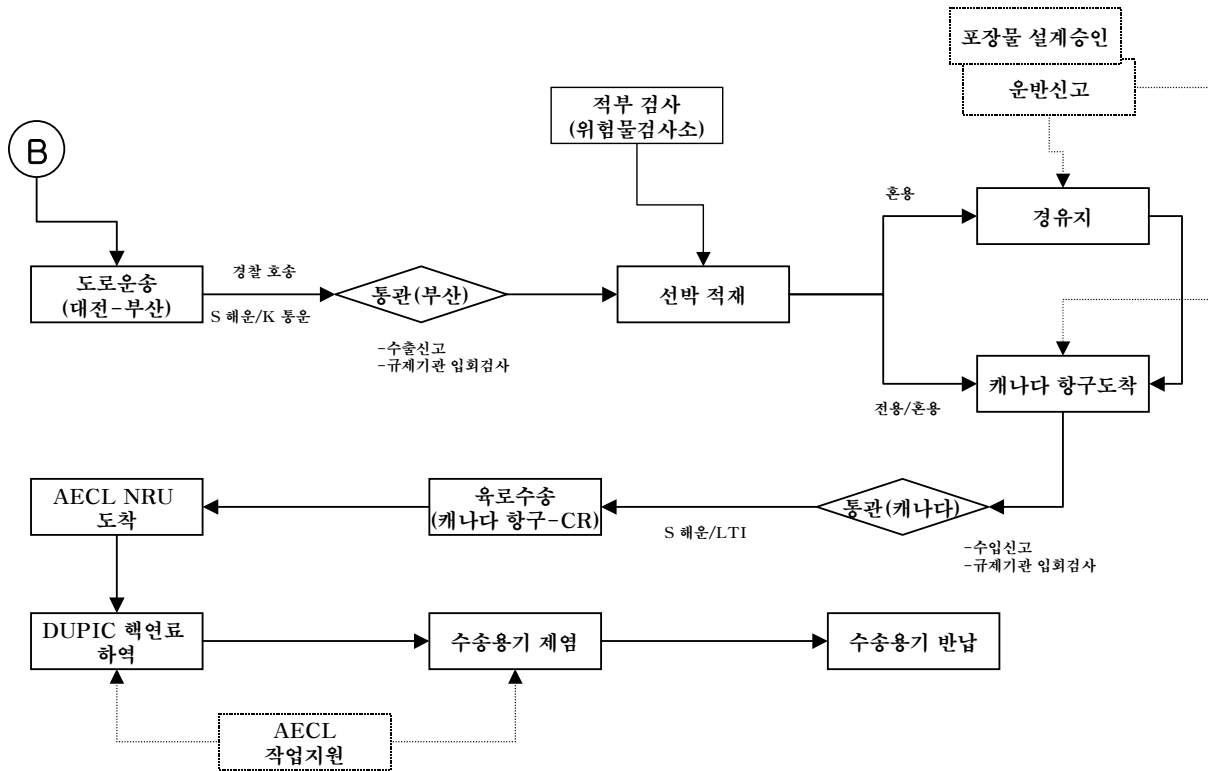


그림 1. 해외 선박수송 업무 흐름도(2/3).

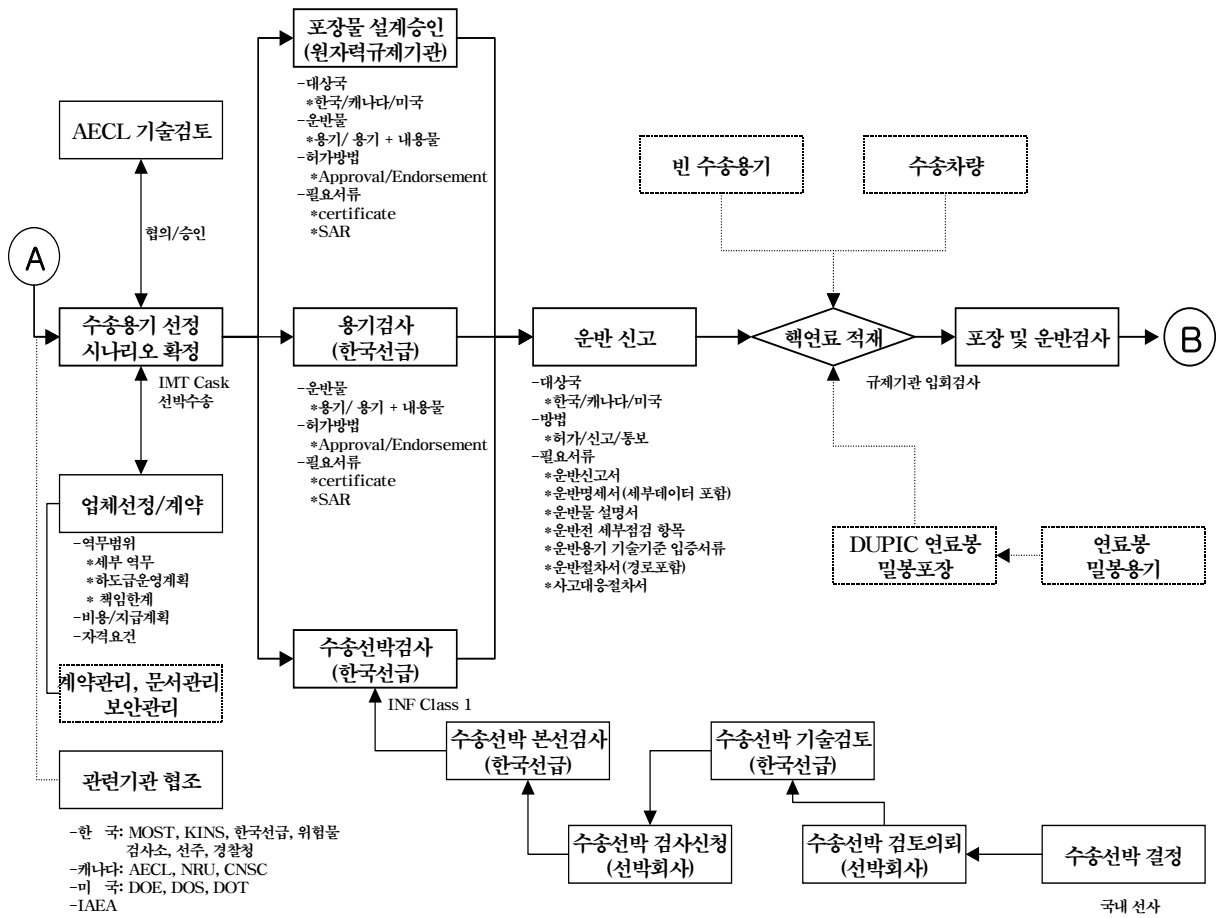


그림 1. 해외 선박수송 업무 흐름도(3/3).

#### 4. 수송용기 선정

고방사성 조사연료를 운반하기 위해서는 국제적으로 통용되는 규정에 따라 해당국의 원자력 규제기관으로부터 인허가를 받은 수송용기를 사용하여야 한다. 이러한 용기를 선정하기 위해서는 운반대상 조사연료의 제원, 방사능량, 붕괴열, 핵분열성물질 여부 등의 특성을 분석하여 이에 맞는 수송용기를 선정하여야 한다. 방사성물질 운반용기는 운반물의 크기, 형태 및 운반 목적에 따라 다양한 운반용기를 개발하여 활용 중에 있다. 방사성물질 등의 종류와 그 한도량에 따라 L형 운반물, IP형 운반물(IP-1형, IP-2형, IP-3형), A형 운반물, B형 운반물(B(U)형, B(M)형), C형 운반물 및 핵분열성물질 운반물로 구분한다. 운반물은 차폐·격납 및 열전달 특성이 승인된 설계기준에 적합하여야 하고, 핵분열성물질인 경우에는 임계를 방지하기 위하여 중성자 방출물질의 존재와 분포를 확인하여야 한다[3, 10].

건식공정 산화물핵연료 봉 10개의 A2값의 합은 약 1,130이고, 핵분열성물질이 15 g를 초과하므로 핵분열성물질에 해당한다. A2 이상인 방사성물질을 운반할 수 있는 운반용기는 B(M), B(U), C형이 있으며, 이중에서 핵분열성물질을 운반하기 위해서는 B(MF), B(U)F, CF형의 운반용기를 사용하여야 한다. 특히 본 건식공정 산화물핵연료는 이미 원자로에서 한번 조사된 사용후핵연료를 재가공하여 제조되었으므로 방사능이 높고, 핵분열성물질일 뿐 아니라 연료봉의 길이가 약 50 cm로서 이에 적합한 용기를 선정하기는 쉽지 않다. 이에 따라 건식공정 산화물핵연료의 해외 수송을 위해 국내에 사용중인 용기를 인허가 받아 사용하는 방안과 외국의 수송용기를 임대하는 방안을 동시에 검토하였다.

국내에서 사용중인 하나로 수송용기의 인허가를 갱신하여 해외수송에 사용하는 방법과 외국의 수송용기중 AECL사의 IMT Cask, NAC사의 LWT Cask, GE사의 GE-2000 Cask를 사용하는 방안에 대해 검토하였다. 하나로 수송용기는 제작 당시 인허가 비용 등의 문제 때문에 연구소 내에서만 운반할 수 있도록 인허가를 받아 건식공정 산화물핵연료의 해외수송을 위해서는 규제기관으로부터 다시 인허가를 받아야 하는 문제점이 있다. 하나로 수송용기의 인허가를 갱신하기 위해서는 운반용기의 인허가를 위한 제반 안전성분석을 재 시행하여야 하고, 안전성 시험도 재 수행하여야 한다. 또한 경유국 및 도착국의 인허가도 고려하여야 한다. 이러한 제반 여건과 문제점을 고려할 때 단 1~2회의 건식공정 산화물핵연료의 해외수송을 위해 국내에서 사용중인 수송용기를 재 인허가 받는 방안은 경제적 및 기술적 측면에서 위험부담은 너무 크나 얻는 이점이 적은 것으로 분석되었다. 외국의 수송용기를 임대하는 방안을 검토한 결과 GE-2000 Cask와 NAC-LWT Cask는 중량이 너무 무겁고 임대비용이 너무 비싼 것으로 조사되었다. 기술적인 측면 및 경제적인 측면에서 AECL사의 IMT 수송용기가 가장 바람직한 수송용기로 분석되었다[17].

#### 5. 수송방안 분석

운반대상 사용후핵연료의 특성, 핵연료 봉과 수송용기 적재하역 방법 등의 기술적 측면 및 수송용기 임대비용, 인허가비용, 수송비용 등의 경제적 측면과 더불어 선박수송에 따른 법규 및 규정 등의 특성을 고려하여 건식공정 산화물핵연료 봉의 수송에 적합한 수송방안을 도출하기 위해 여러 수송방안을 분석하였다. 조사된 핵물질을 선박으로 수송하기 위해서는 SOLAS 규정에 따라 INF 등급을 획득한 선박을 이용하여야 한다. INF 화물을 운송하는 선박은 운송되는 INF화물의 합계 방사능치에 따라 다음 3가지 등급으로 분류된다[10, 11].

- INF 1등급 선박 : 방사능치가 4,000 TBq 보다 적은 INF화물을 운송하도록 인증받은 선박
- INF 2등급 선박 : 방사능치가  $2 \times 10^6$  TBq 보다 적은 방사능 핵연료 또는 고준위 방사능 폐기물을 운송하도록 인증받은 선박 및 합계 방사능치가  $2 \times 10^6$  TBq 보다 적은 플루토늄을 운송하도록 인증받은 선박.
- INF 3등급 선박 : 최대 방사능치의 제한이 없이 방사능 핵연료 또는 고준위 방사능 폐기물을 운송하도록 인증받은 선박 및 플루토늄을 운송하도록 인증받은 선박.

운반하고자 하는 건식공정 산화물핵연료 봉 10개의 방사능치는 약 40 TBq이므로 INF Code에

따라 기준이 가장 약한 INF 1등급 선박이면 충분하다. 그러나 현재 국내에는 INF 등급의 선박이 없고, 또 국내에서 운반하고자 하는 캐나다 또는 미국 쪽으로 운항되는 외국선박 중에도 INF 등급의 선박이 없는 것으로 조사되었다. 국내의 핵물질 수송은 주로 핵연료를 제조하기 위한 한전원전연료(주)의 경수로용 UF6 실린더, 중수로 핵연료파우더와 원자력연구소의 조사선 하나로 연료 등의 조사선 연료를 수송한 경험이 있으며 이러한 물질을 운반할 때에도 핵물질은 통상 선주들이 기피하므로 자국 국적선인 A사의 선박을 이용하여 혼용적재하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 물질은 모두 조사선 연료에 속하므로 INF 등급의 선박을 이용할 필요는 없다. 이러한 물질을 운반할 경우에도 미국 동부에서 파나마 운하를 통과하기 때문에 미국과 파나마에 운반물 설 계승인과 운반 신고를 하고 있는 것으로 조사되었다.

### 가. 선박 혼용수송 방안분석

수송하고자 하는 건식공정 산화물핵연료는 양이 적음에도 불구하고 원자로에서 조사된 사용후 핵연료를 재가공해서 제조한 핵연료이므로 INF 등급의 선박을 이용하여야 한다. 그러나 국내에는 INF 등급의 선박을 보유하지 못한 것으로 조사됨에 따라 국내에서 INF 등급 선박의 Certificate 발급을 대행하는 한국선급과 핵물질의 전문운반 회사인 A사를 통해 INF 등급의 획득 가능성을 조사하였다.

#### 1) INF Certificate 발급절차

INF 등급선박에 대해 좀더 구체적인 사항을 검토하기 위해 관련 자료를 조사하던 중 국내에서 INF 등급선박을 인증해 주도록 정부로부터 위임받은 기관이 한급선급이라는 것을 알게 되었다. 한국선급에서 INF 등급 인증업무는 정부업무대행부에서 하는 것으로 파악하여 그곳을 방문하여 기술적인 사항을 협의하였다. 한국선급을 방문해서는 우선 선박과 관련된 주요 법규체계에 대한 설명을 들었다. 선박수송을 위해서는 국내법으로 선박안전법, 해양오염방지법, 위험물 선박운반 및 저장규칙 등이 적용되어야 하며, 또한 해외수송을 위해서는 국제법인 SOLAS(선체구조, 소방, 구명, 통신, 위험물적재 등에 관한 사항 기술), IMDG(SOLAS 하위 Code로서 위험물 분류, 포장, 적재 등에 관한 사항 기술), INF(SOLAS 하위 Code로서 조사연료 수송에 관한 사항 기술) 등을 적용하여야 한다. 한국선급은 정부대행으로 국제적으로 통용되는 Certificate 발급하고 있다.

건식공정 산화물핵연료 봉의 해외수송을 위해서 선박을 이용하는데 필요한 제반사항들을 협의 하였다. 한국선급 정부업무대행부의 의견에 따르면 본 해외수송을 위해서는 다음의 절차를 거쳐야 한다.

- IMDG에 의해 용기검사를 받아야 하고(한국선급)
- SOLAS, INF에 의해 선박검사를 받아야하며(한국선급)
- 선박적재시는 적부검사를 받아야 한다(한국위험물검사소)

수송용기는 원자력관련법규에 따라 설계, 제작, 시험 및 사용검사를 받은 수송용기를 사용하므로 IMDG에 의한 용기검사는 불합리한 것으로 생각되어 이 문제에 관한 구체적인 사항은 원자력법과의 상관관계 등을 검토하여 추후 협의기로 하였다. 우선 선박수송을 위해 가장 기본적인 요건이 INF class 1에 대한 선박검사에 대해 협의하였다. 대상선박에 따라 차이가 있을 것으로 추정되나 검사기간은 설비보완이 없을 경우 검토의뢰에서 증서발급까지 수개월 소요되며, 검사비용도 수천만원 정도 예상된다고 한다. INF Class 1 선박검사 절차는 다음과 같다.

- 선주가 검토의뢰를 한국선급에 신청하면 선급기술부에서 등록 선박의 도면 등을 검토하는 기술 검토를 한다.
- 기술검토결과를 만족 또는 설비추가 등으로 명기하여 통보한다.
- 검토결과를 근거로 선주가 검사신청을 한다.
- 본선 검사를 한다. 정박항구에서 선박에 승선하여 검사하며 1~2일 소요된다. 외국에서도 검사가 가능하나 비용이 2~3 배 소요되기 때문에 가능하면 국내 입항시 검사가 바람직하다.

- 검사결과 이상이 없으면 증서를 발급한다.

결론적으로 한급선급의 의견에 따르면 INF Class 선박은 국내에 없으며, 관련 Code를 좀더 검토해 봐야 하나 INF Class 1은 최근에 건조된 Container 선박이라면 Certificate를 받는데 큰 무리가 없을 것으로 예상된다고 한다. 한국선급도 아직까지 INF Certificate를 발급한 경험이 없어 확답은 할 수 없으나 선주가 의지를 가지고 추진하면 Certificate를 받는데 큰 문제는 없는 것으로 예상된다. 그러나 지금까지 국내에서 INF Code에 따라 INF Certificate를 발급한 경험이 없으므로 INF Code를 해석하고 이를 적용하는 데는 다음과 같은 부분에 논란 가능성도 예상된다.

- 화물구역의 온도 제어
  - 폐워된 화물구역의 평균기온이 항시 55℃를 넘지 않도록 하는 적절한 통풍 또는 냉장장치를 갖춰야한다
  - INF 화물을 운송하는데 사용되는 화물 구역에 대한 통풍 또는 냉장 장치는 다른 구역에 사용되는 것으로부터 독립된 것이어야 한다
  - 환풍기, 압축기, 열교환기, 냉각수 공급 장치같은 작동에 필수적인 부품은 주관청이 만족하도록 각 화물 구역에 대하여 이중으로 설치되어야 하며 예비품을 비치하여야 한다.
- 방사선 보호
 

운송되는 INF 화물의 특징 및 선박의 설계에 따라, 필요한 경우 주관청이 인정하는 방사선에 대한 보호 설비를 추가 설치하여야 한다.
- 경영 및 훈련
 

INF 화물을 운송하는 선박에 대한 경영 및 훈련은 기구가 개발한 것을 고려하여 주관청이 만족하는 것이어야 한다.
- INF 화물을 운송하는 모든 선박은 선상비상계획을 비치하여야 한다. 비상계획은 기구가 개발한 지침을 근거로 주관청이 승인한 것이어야 하며 최소한 사고를 보고하는 선박 책임자인 선장 또는 다른 사람이 지켜야할 절차, 사고시 연락할 관청 또는 사람을 명시한 표, 사고직후 누출의 방지, 감소 또는 통제를 위해, 또한 손실의 피해를 완화하기 위해 본선에서 즉시 취하여야 할 조치에 대한 상세한 기술 등을 포함해야 한다.
- INF 화물을 운송하는 선박에 다음과 같은 손상 또는 고장이 발생시 이러한 보고가 되어야 한다.
  - 충돌, 좌초, 화재, 폭발, 구조적인 결함, 침수 및 화물 이동을 포함하나 이에만 국한된 것이 아닌 선박의 안전에 영향을 끼치는 것
  - 조타기, 추진장치, 발전설비 및 주요한 선박용 항해 계기의 고장을 포함하여 항해의 안전을 저해하는 결과를 초래하는 것.

INF Certificate를 발급하는 한국선급을 방문한 후 국내 선박의 INF 등급 획득여부는 국내선사의 의지에 달려있다는 판단에 따라 국내에서 방사성물질의 운반경험이 풍부한 국내 해운회사인 A사와 이 문제를 협의하였다.

## 2) 국내 선박의 INF 등급신청 검토

여러 수송대안을 예비 분석한 결과 수송용기로서는 AECL사의 IMT Cask를 이용하고, 운반수단으로는 INF 1등급의 국내 선박을 이용하여 혼용 적재하는 방안이 가장 바람직한 방안으로 분석되었다. 그러나 국내에는 INF 1등급 선박을 보유하지 못한 상태이므로 국내 해운회사인 A사를 설득하여 INF 1등급선박의 인증을 받는 것이 가장 시급한 과제였다. 이에 따라 A사를 방문하여 INF 1 등급선박의 인증과 관련된 현안을 협의하였다. A사와는 유선상으로 여러 번의 협의를 거쳤으나 INF 1등급선박의 인증에 난색을 표한 바 있으므로 이에 대한 구체적인 내용을 협의하기 위해 A사를 방문하여 다음사항을 협의하였다.

- A사는 통상적으로 다음 절차에 따라 특수화물을 운송한다고 한다.
  - 특수화물이 A사에 의뢰되면 우선 법무보험팀에서 P&I 보험(Protection & Indemnity





- 이런 상황임에도 불구하고 건식공정 산화물핵연료 수송팀에서는 관련 자료를 제시하며 보다 긍정적인 시각으로 INF Certificate를 받는 것을 검토해줄 것을 요청하였다.
- 이와 더불어 연구소측에서 INF Certificate와 관련하여 한국선급을 방문했던 결과를 설명하고, INF Code에 대해서도 같이 검토하였다.
- A사에서는 KAERI 측의 설명을 듣고, 일단 다음 순서에 따라 INF Certificate 신청여부를 재검토한 후 그 결과를 KAERI에 알려주기로 하였다. 일단 재추진은 약속하였으나 담당자의 입장에서 관리자들을 설득할 수 있는 명분이 취약하고 또 기술적으로도 선박을 정박시켜 개보수하여 INF Code 요건을 만족시켜야 하는 부담이 큰 것이 문제라고 한다.
- INF Code 요건중에서 특히 문제가 될 것으로 예상되는 환기 및 냉각설비 요건의 적용은 선창 혹은 구역에 한정하는지 또는 배 전체를 만족시켜야 하는지를 검토하고 INF Code와 기존 선박 요건의 차이를 자체 검토한 후 국내 선박제조회사인 B사, 한국선급 등과 기술적인 문제를 협의하고 선박의 세부 보완사항 및 소요비용 등을 추정하기로 하였다.
- A사 소유로 부산을 출발하여 미국의 롱비치 또는 시애틀까지 운항하는 선박은 6대 정도(6만 5천톤급)가 있으나 현재 캐나다로 직항하는 선박은 없다고 한다. 운항선박은 일반적으로 2년마다 Overhaul을 위해 국내도크에 약 1주일에서 1개월정도 정박한다. 따라서 선박의 보완이 필요한 경우에는 이 시기를 이용할 예정이라고 한다.
- A사로서는 INF Certificate를 받는 것이 국내 최초라는 의미 때문에 메리트는 있으나 경제적인 이점이 없는 것으로 보여 일을 추진하는데 어려움이 있다고 한다. 특히 본 수송은 경제적인 이점이 크지 않으므로 일의 추진에 어려움이 예상된다.
- INF Certificate 추진여부는 선박의 수리비용이 얼마나 소요될 것인가와 A사의 의지가 관건일 것으로 생각된다.

이후에도 몇차례 A사 소유 선박의 INF Certificate 신청을 협의하였으나 기술적인 어려움과 더불어 경제적인 이점이 없어 손해를 감수하면서까지 INF Certificate 신청을 추진할 명분이 없는 것으로 평가되어 A사에서는 더 이상 INF certificate 신청을 위한 업무를 추진하지 않기로 내부적으로 결론이 났다.

### 3) 국내 증규모 선사의 화물선을 이용한 수송방안 분석

건식공정 산화물핵연료를 해상으로 수송하기 위해서는 INF Certificate를 발급받은 선박을 이용하여야 한다. 그러나 국내 선박뿐 아니라 국내에서 미국 또는 캐나다로 취항하는 외국선박 중에도 INF Certificate를 받은 선박은 없는 것으로 조사되었다. 이에 따라 국내에서 핵물질을 전담하여 수송하고 있는 A사에 INF Certificate 발급을 검토하도록 의뢰하였으나 A사에서는 몇차례의 검토를 통해 기술적 및 경제적인 측면에서 위험부담이 큰데 비해 이점이 없으므로 INF Certificate 신청을 포기하였다.

또한 A사에서 추천하는 중소 선박회사에서도 수억원 정도 수송비(수송용기 임대비, 인허가비용 및 육로수송비용 제외)를 보장한다면 INF Certificate 신청을 검토하겠다고 한 바 있으나 이는 오히려 전용선박을 이용하는 수송방안보다 비용이 많이 들고 위험부담도 크므로 오히려 경제적 시간적으로 더 불리한 것으로 조사되었다. 이에 따라 국내 선박에 INF Certificate를 발급받아 건식공정 산화물핵연료를 수송하는 방안은 전용선박을 이용하는 것보다 수송비용이 더 많이 들고, 위험부담도 커서 더 이상 추진하지 않았다.

#### 나. 전용선박 수송방안 분석

국내 화물선을 이용한 혼용수송방안이 INF Certificate 때문에 불가능해짐에 따라 전용선박 수송방안을 검토하게 되었다. 전용선박 수송방안은 핵물질을 수송을 할 수 있는 INF Certificate를 취득한 외국의 선박을 이용하는 방법으로 이미 외국의 수송경험으로 검증된 바 있으므로 본 수송 때문에 특별한 제약은 없는 것으로 조사되었다. 전용선박 수송방안은 가용한 방법임에도 수

송비용이 많이 소요되고, 기존에 캐나다 서부의 하역항구로 이용되는 캐나다의 밴쿠버 항이 Clean Port로서 핵물질의 하역이 불가능한 것 등의 문제가 있는 것으로 조사되었다. 그러나 하역항구는 기존의 관례를 적용하여 미국의 수송허가를 받아 미국의 Seattle 항을 이용하거나 캐나다의 다른 항구를 조사해 보는 것이 필요하다. 미국의 승인이 필요할 경우에는 기존 수송용기로 잠정 결정된 IMT Cask가 현재 미국 DOT의 승인심사를 받고 있으므로 큰 문제는 없는 것으로 미국과 캐나다의 핵물질 수송전문회사인 LTI와 Edlow에서 조언하고 있다. 캐나다의 다른 항구를 사용하는 방안도 수송계획이 구체화될 때 다시 검토해 볼 사항이라고 판단된다. 따라서 이 수송방안은 어느 방법을 선택하든 절차상에 약간의 어려움은 예상되지만 근본적인 문제는 없는 것으로 판단된다.

전용선박을 이용하는 방안은 기술적인 측면에서는 큰 문제가 없으나 수송비용이 너무 많이 소요되는 것이 문제이다. 이에 따라 이 수송방안에 대해서도 가능성만 타진하고 구체적인 수송방안은 향후 예산확보여부에 따라 구체적으로 추진하는 것이 바람직하다고 판단된다. 선박을 이용한 건식공정 산화물핵연료 해외수송방안의 검토결과는 그림 3에 나타낸 바와 같다.

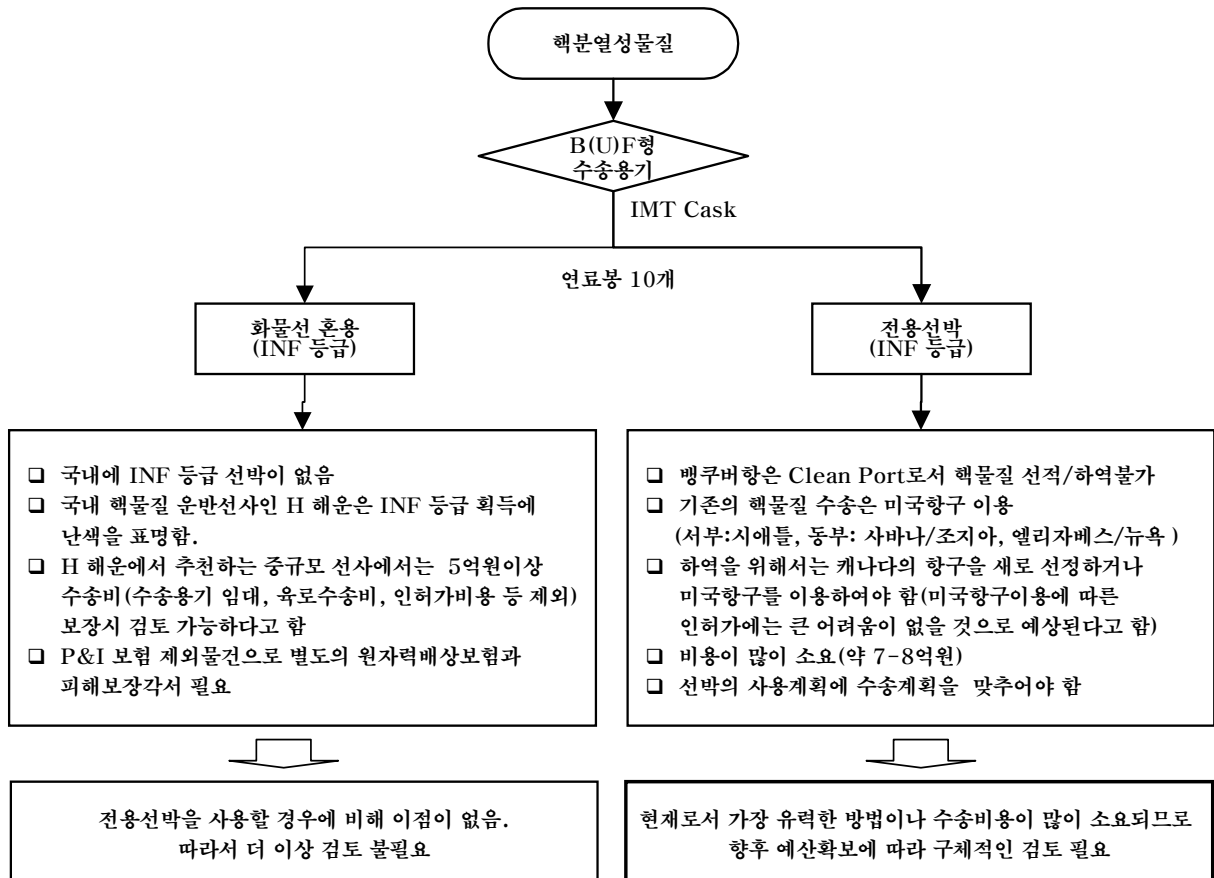


그림 3. 건식공정 산화물핵연료 선박수송방안의 검토결과.

## 6. 결론

핵비확산성 건식공정 산화물핵연료 기술개발과제에서는 건식공정 산화물핵연료봉을 개발하였으나 상용로 운전조건과 동일한 고온·고압하에서 조사시험을 할 수 없어 핵연료 성능의 검증이 어렵던 차에 캐나다 AECL측은 중성자비를 받지 않고 NRU에서 건식공정 산화물핵연료를 조사시험을 할 수 있다고 제안한 바 있다. 이에 따라 건식공정 산화물핵연료의 해외 항공수송방안을 검토하였다. NRU 조사시험을 하고자 하는 핵연료봉은 국내 원전에서 배출된 사용후핵연료를 IMEF M6 핫셀에서 재가공한 핵연료로서 핵연료봉 10개(약 6 kg)로 핵분열성물질이 약 84 g 포함되어 있으므로 UN 위험물 분류등급에 따라 제7종에 해당하며 핵분열성물질이 일정량을 초과하므로 핵분열성물질에 해당한다. 건식공정 산화물핵연료 봉 10개를 수송할 수 있는 수송용기는 IMT 수송

용기(AECL 소유, 5.5 톤)가 임대가격 및 크기 면에서 가장 적합한 것으로 분석되었다.

조사된 핵물질을 선박을 이용하여 수송할 경우에는 SOLAS 규정에 따라 INF 등급 선박을 이용하여야 한다. 현재 국내 선박뿐 아니라 국내에서 미주 쪽으로 운항하는 외국선박 중에도 INF 등급 선박은 없는 것으로 조사되었다. 이에 따라 INF 등급의 인증을 대행하는 한국선급과 국내에서 핵물질 수송을 전담하고 있는 국내 선사에 INF 등급의 획득 가능성을 타진하였다. INF 등급의 인증은 국내에서 시행한 경험이 없을 뿐 아니라 국내에서 핵물질을 전담으로 수송하는 국내 선사에서도 이 문제를 심층 검토한 결과 기술적 및 경제적인 이유로 INF 등급의 신청을 완곡히 거절하였다. 또한 국내 중규모 선사에 INF 등급의 신청을 검토 의뢰하였으나 위험부담을 고려하여 전용 선박 수송비를 초과하는 비용을 보장할 때 검토해보겠다고 함으로 이 방안도 실현가능성이 없는 것으로 분석되었다.

선박 혼용수송이 실현 가능성이 없는 것으로 분석됨에 따라 선박 전용수송 방안을 검토하였다. 선박 전용수송은 INF 등급을 기 획득한 외국선박을 수송목적에 맞게 이용하는 방법으로 기술적으로 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 그러나 이 수송방안의 경우에는 과도한 수송비가 소요되는 것이 문제이다. 따라서 현재로서 건식공정 산화물핵연료봉을 캐나다 NRU로 수송할 수 있는 가능한 방법은 전용선박을 이용하는 수밖에 없다. 그러나 이 방안은 많은 수송비가 소요됨으로 현실적으로는 타당성만 확인하고 향후 예산확보여부에 따라 추진이 가시화될 때 좀더 구체적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

#### (참고 문헌)

- [1] 이정원, 양명승 외, “DUPIC 핵연료제조 및 공정기술개발”, KAERI/RR- 2234/2001(2002)
- [2] 박장진, 이호희 외, “DUPIC 핵연료시설 기술개발”, KAERI/RR-2221/2001 (2002)
- [3] IAEA, “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material” IAEA Safety Standards Series TS-R-1(1996)
- [4] “원자력법”(2001. 1.16), “원자력법시행령”(2001. 7. 17)”, “원자력법시행규칙”(2001. 7. 25)
- [5] “방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙”, 과기부령 제 30호(2001. 7. 30)
- [6] “방사성 물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정”, 과기부고시 제2001-23호(2001. 9. 18)
- [7] “방사성물질 운반용기의 제작검사 및 사용검사에 관한 규정”, 과기부고시 제2001-19호(2001. 9. 18)
- [8] “선박안전법” 법률 제5971호(1999. 4. 15)
- [9] “위험물선박운송 및 저장규칙”, 해양수산부령 제189호(2001. 6. 4)
- [10] “포장된 방사능 핵연료, 플루토늄 및 고준위 방사능 폐기물의 안전한 선박 운송에 관한 규정 (INF CODE)”
- [11] International Convention for the Safety of Life at Sea(SOLAS)
- [12] International Maritime Dangerous Goods Code(IMDG)
- [13] 구정희, 이주찬 외 “KMRR 핵연료 수송용기 안전성분석보고서” KAERI- NEMAC/TR-19/94(1994)
- [14] U.S. NRC “Certificate of Compliance for Radioactive Material Packages(NAC-LWT)” USA/9225/B(U)F-85 Rev. 27, 2000. 1
- [15] U.S. NRC “Certificate of Compliance for Radioactive Material Packages(GE-2000)” USA/9228/B(U)F-85 Rev. 18, 1999. 11
- [16] CNSC “Certificate of Compliance for Radioactive Material Packages(IMT Flask)” CDN/2061/B(U)F-85 Rev. 5, 2002. 2
- [17] 이호희, 박장진 외 “ 건식공정 산화물핵연료 해외수송방안 분석보고서” KAERI/TR-2427/2003. 2003. 3

(감사의 글) 본 연구는 과학기술부 원자력중장기연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.