

## 사용후핵연료 수송 경로별 소요시간 최적화 방안분석

김진환, 손정희, 박진호, 이수홍, 신상화, 이재민

TUV Rheinland Korea(주), 서울 구로구 구로3동 E&C 벤처드림타워 6차

[jinhwan.kim@kor.tuv.com](mailto:jinhwan.kim@kor.tuv.com)

### 1. 서론

사용후핵연료 수송 소요시간 분석은 주로 각 원전에서 해상 수송을 기준으로 분석되었다. 본 논문에서는 사용후핵연료 수송 소요시간을 장전공정 및 육상수송 절차의 소요시간을 중심으로 계산하여 각 원전간의 수송 경로별 소요시간을 분석하였고 최적화된 수송 방안을 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 기본가정 사항

중간저장시설은 임해부지에 있으며 해상수송을 한다고 설정하였다. 선박의 수송용량은 1980년대 이후로 영국, 프랑스 등의 국가에서 대부분 20 cask를 선적할 수 있는 3,000 톤급의 선박을 사용하고 있다.[1] (표-1) 본 논문에서도 20 cask, 3,000 톤급의 선박으로 가정하였다. 사용후핵연료가 발생하는 원전은 모두 같은 거리에 위치하며 모두 경수로형 원전이라고 가정하였다. 중간저장시설은 A, B, C, D 원전에서 동일거리에 위치하고 있다고 가정하였다. (그림-1)

Table 1. 세계 주요 사용후핵연료 수송선박.

선명	소유국	수송용량	총톤수	운전기간
ROKUEI MARU	일본	20 cask	3,000	1996~
MED SHEARWATER	영국	6 cask	1,200	1982~
PACIFIC SWAN	영국/ 프랑스	20 cask	3,000	1979~
PACIFIC CRANE	영국/ 프랑스	20 cask	3,000	1980~
PACIFIC TEAL	프랑스	20 cask	3,000	1982~
PACIFIC SANDPIPER	영국/ 프랑스	20 cask	3,000	1985~
PACIFIC PINTAIL	영국/ 프랑스	20 cask	3,000	1987~

선박의 해상 이동 시간은 각 원전간은 10 시간, 원전에서 중간저장시설까지는 10시간으로 가정하였다. 원전에서 원전 물량장까지의 거리는 2 km, 중간저장시설에서 중간저장 물량장까지의 거리 역시 2

km로 설정하였다. 중간저장시설에서 빈 cask 20개를 선적하여 원전에서 사용후핵연료를 장전하고 중간저장시설로 수송하는 과정이며 원전에서 장전된 장전용기는 해상수송 전까지 원전 내 임의의 장소에 임시 보관한다고 가정하였다.

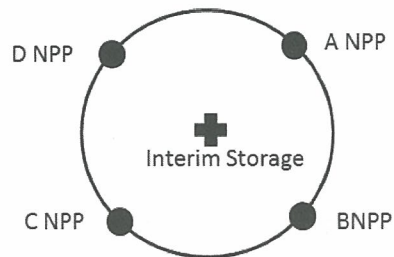


Fig. 1. 중간저장시설과 원전의 위치 개략도.

#### 2.2 장전 및 육상수송, 선·하역 소요시간

사용후핵연료 장전 공정 및 소요시간은 1 cask에 57 시간 소요되는 것으로 참고문헌 [2]를 참고하여 설정하였다.

육상수송은 빈 수송용기 또는 장전되어 있는 수송용기를 트레일러에 적재하여 원전 - 원전 물량장까지 또는 중간저장시설 - 중간저장물량장까지 수송하는 절차이다. 육상수송은 2 km의 거리를 시속 4 km 이하의 저속으로 수송을 하며, 1시간 소요되는 것으로 설정하였다. 원전 물량장 또는 중간저장 물량장에서 크레인을 이용한 선적 또는 하역 작업의 소요시간은 수송용기 체결시간 30분, 크레인작업 30분, 체결 해제 30분으로 1 cask 당 1.5시간 소요된다고 참고문헌 [3]을 참고하여 설정하였다. 소요인력은 모든 공정에 참여하는 총감독자 1명 외에 공정의 종류와 특성에 따라 인원이 변경되며 표-2과 같다.

#### 2.3 수송경로 분석

선박에 20개의 cask를 선적하는 것으로 가정하였기 때문에 4개 원전에서 나누어 선적(case 1), 3개의 원전에서 나누어 선적(case 2), 2개 원전에서 나누어 선적(case 3), 하나의 원전에서 20개를 모두 선적(case 4)하는 것으로 사례를 나누었다.

2.3.1 Case 1: A, B, C, D 전체원전 수송경로

빈 수송용기 20개를 중간저장시설에서 선박에 적재하여 5개씩 A, B, C, D 원전에 하역한다.

- A 원전 하역 후 장전작업,
- B 원전 하역 후 장전작업,
- C 원전 하역 후 장전작업,

D 원전 하역 후 장전작업을 하며, D 원전에서 장전이 완료되면 먼저 하역한 A, B, C의 원전에서도 장전이 완료된다. D 원전에서 육상수송 후 선적하여 해상수송하고, 차례로 장전이 완료된 C, B, A의 원전으로 이동 육상수송 및 선적하여 중간저장시설로 수송한다. 2.1 기본 가정에서 20개의 cask를 수송한다고 하였으므로 여러 원전에서 장전을 수행할 때 각 원전별 동일한 수량을 장전하여 turning point가 되는 원전에서 장전이 완료되면 다른 원전에서도 장전이 완료되어 대기시간의 손실을 없애는 것으로 설정하였다. case 1의 D 원전이 turning point이다. 장전소요시간과 표-2의 육상수송 및 선·하역 소요시간을 계산하여 case 1 경로의 소요시간은 545시간 이다.

Table 2. 육상수송 및 선·하역 절차, 소요시간.

공정 절차	소요인력	시간
1. 중간저장시설 트레일러 적재 (빈 용기)	품질관리1, 크레인1 작구2, 신호1	1.5
2. 중간저장 물량장 이동 (빈 용기)	보안인원4, 안내1, 트럭운전2	1
3. 중간저장 물량장 선적 (빈 용기)	크레인1, 작구2 신호1, 항만관리자1	1.5
4. 원전 물량장 하역 (빈 용기)	크레인1, 작구2 신호1, 항만관리자1	1.5
5. 원전 물량장 이동 (빈 용기)	보안인원4, 안내1, 트럭운전2	1
6. 원전 물량장 이동 (장전용기)	보건물리1, 보안4, 안내1 트럭운전2	1
7. 원전 물량장 선적 (장전용기)	보건물리1, 크레인1 작구2, 신호1, 항만관리1	1.5
8. 중간저장 물량장 하역 (장전용기)	보건물리1, 크레인1 작구2, 신호1, 항만관리1	1.5
9. 중간저장시설 이동 (장전용기)	보건물리1, 보안4, 안내1 트럭운전2	1
10. 중간저장시설 하역 (장전용기)	보건물리1, 품질관리1 크레인1, 작구2, 신호1	1.5
합계시간 (1 cask 기준, 공통인원: 총감독자1)		13

2.3.2 Case 2: A, B, C 원전 수송경로

20개의 cask를 A, B, C 원전에 각각 6개, 7개, 7개 하역하고 turning point 원전인 C에서 장전이 완료되면 case 1과 마찬가지로 B, A 원전도 완료되고 C, B, A 순으로 육상수송, 선적하여 중간저장시설로 수송한다. case 2 경로의 소요시간은 659시간이다.

2.3.3 Case 3: A, B 원전 수송경로

20개의 cask를 A, B 원전에 각각 10개씩 하역하고 turning point 원전인 B에서 장전이 완료되면 A 원전도 완료된다. B, A 순으로 육상수송, 선적하여 중간저장시설로 수송한다. case 3 경로의 소요시간은 830 시간이다.

2.3.4 Case 4: A 원전 수송경로

A 원전에서만 장전하게 되므로 20 cask에 대한 장전시간과 육상수송, 선·하역 시간을 계산하였다. case 4 경로의 소요시간은 1,400 시간 이다.

Table 3. 경로별 장전, 육상수송 및 선하역시간과 총 소요시간.

구분	경로	장전, 육상수송 및 선하역시간	총 소요시간
case 1	IS→A→B→C→ D→C→B→A→ IS	545	625
case 2	IS→A→B→C→ B→A→IS	659	719
case 3	IS→A→B→A →IS	830	870
case 4	IS→A→IS	1,400	1,420

3. 결론

해상 수송시간은 2.1 기본가정에서 각 원전별 동일한 거리, 중간저장시설로의 거리도 동일하다고 설정하였기 때문에 본 논문에서는 적용하지 않고, 장전 및 육상수송, 선·하역 공정의 시간으로 소요시간을 분석하였다.

각각의 원전에서 동시 장전작업을 수행하여 수송하는 경로가 단일 원전에서 사용후핵연료를 장전하여 수송하는 경로에 비해 소요시간 측면에서 경제적이다. (표-3)

향후 중간저장시설의 위치가 확정된다면 이를 고려한 보다 상세한 수송경로 분석이 이루어져야 할 것이다.

4. 참고문헌

- [1] 원전 연료주기 사업추진을 위한 기반조성 연구, 한국전력공사 전력연구원, 1998.
- [2] 사용후핵연료 중간저장방식 비교평가용역보고서, 한국전력기술주식회사, 1994.
- [3] 방사성폐기물 수송시스템 방안분석, 원자력환경관리센터, 1994.