

## 위험도기반 선박설계의 검토 및 승인 절차

박재홍, 정정호 (한국선급)

### 1. 서론

기존의 규정 및 규칙에서 벗어나는 혁신적인 내용의 신개념 설계안 또는 대체 설계안을 검토 및 승인하기 위하여 위험도기반 접근법과 위험도기반 승인절차의 개발이 필요하다.

위험도기반 승인절차에서는 제출된 설계 내용을 바탕으로 위험도 관점에서 승인기준이 새롭게 정의되고, 이에 따라 설계 분석 및 결과 검토를 수행한다. 따라서 위험도기반 승인절차에서는 대상 설계의 내용이 변경될 때마다 승인 기준을 새롭게 정의하여야 한다.

본 기고에서 소개하는 위험도기반 접근법과 위험도기반 승인 절차는 선박설계에 관련되는 모든 분야에 적용가능하며 특정한 기술적, 규정적 분야에 국한되지 않는다.

### 2. 승인 절차 일반

위험도기반 승인절차는 대상 설계의 타당성과 안전성 입증 을 목적으로 하며, 그림 1과 같이 예비승인, 최종승인 및 검사의 3단계로 구성한다.

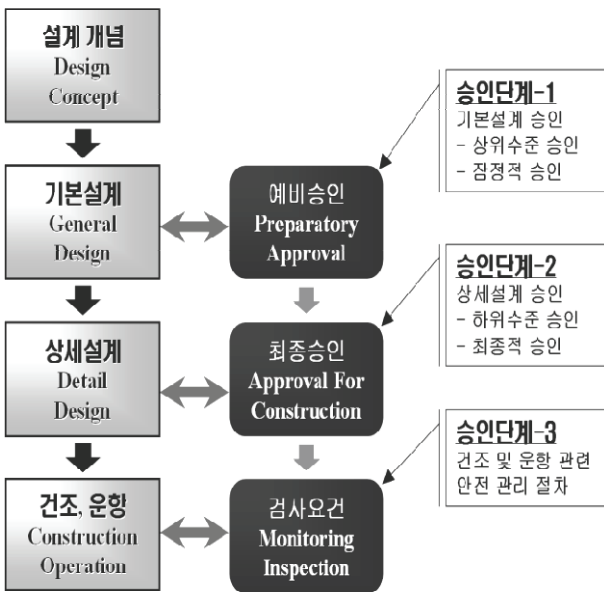


그림 1. 위험도기반 승인절차의 3단계 구성

설계단계는 설계개념, 기본설계, 상세설계의 세 단계로 세분화되고 예비승인과 최종승인의 두 가지 승인 단계와 연결된다. 기본설계의 안전성에 대한 위험도기반 승인은 예비승인을 통해 수행되고 상세설계의 안전성에 대한 위험도기반 승인은 최종승인을 통해 수행되어야 한다.

예비승인과 최종승인의 과정을 통해 위험도기반의 각종 요구 조건들은 식별되어야 한다. 이 요구 조건들은 선박의 위험도를 제어하는 수단으로써 기본설계 및 상세설계에 직접적으로 반영되어야 한다.

예비승인과 최종승인 과정에서 얻어진 건조 및 운항 관련 각종 요구 조건들을 정리하여 위험도기반 검사요건이 작성되고 이는 선박의 건조와 운항 중 실시되는 각종 작업, 감시, 검사, 심사, 통제의 기준으로써 안전관리절차의 핵심이 된다.

#### 2.1 예비승인

예비승인은 기본설계에 대한 타당성 승인과정이며, 예비 승인 절차의 단계별 진행 순서는 그림 2에 따른다.

##### 2.1.1 기본설계 제출

설계작업반은 신개념 설계 또는 위험도기반의 기본설계를 작성하고, 작성된 기본설계 관련 문서들을 승인작업반에 제출하여야 한다.

기본설계에는 고려하는 선박과 선내 시스템의 전반적인 내용인 선박 전체 형상, 주요 구획 배치, 주요 부위 구조 형상, 재질, 주요 부재 치수, 주요 시스템의 배치, 경계조건(물리적 경계 및 시스템 인터페이스 포함) 및 핵심 사양, 목표 기능의 구현 방식, 주요 운항 특성 등이 포함되어야 한다.

설계작업반은 대상 설계와 관련 있는 기존의 규정/규칙/표준 등을 고려하여야 한다.

필요 시 대상 설계 및 승인 절차와 관련되는 전문 용어 및 의미가 초기에 정의되어야한다. 이러한 용어의 정의는 잘못된 해석과 혼동을 방지하여 효율성을 증가시킨다.

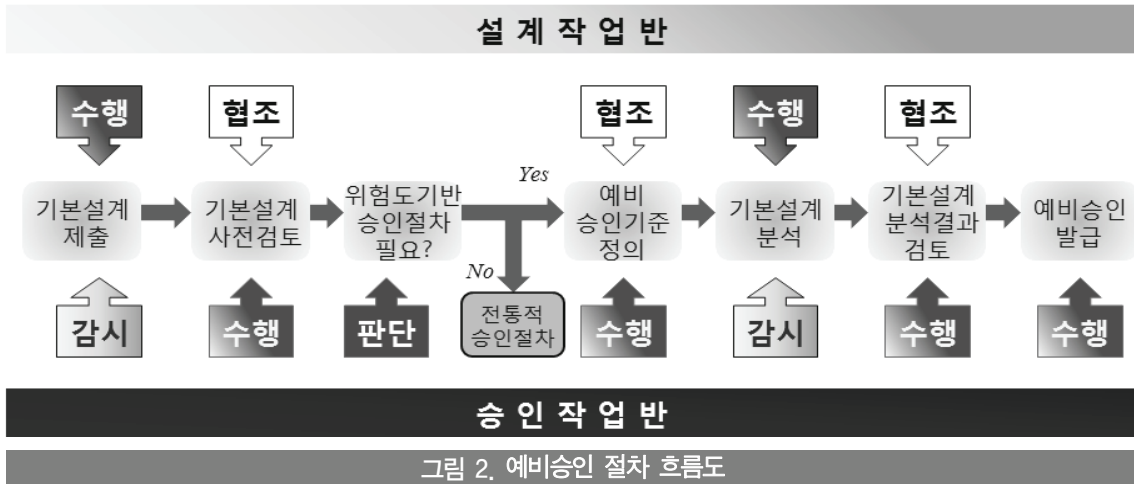


그림 2. 예비승인 절차 흐름도

### 2.1.2 기본설계 사전 검토

승인작업반은 제출된 기본설계를 인명 안전과 환경 보호의 관점에서 검토하여 대상 설계가 가지는 특징들을 명확하게 이해하고 대상 설계가 위험도기반 승인절차의 적용 대상인지 여부를 대상 설계의 고유성에 따라 판단한다.

승인작업반은 대상 설계에 영향을 줄 수 있는 기존의 규정/규칙/표준 등을 포괄적으로 조사하여야 하고 예비승인기준 작성에 필요한 주요 사항들과 관련 작업 계획 및 내용들을 식별하여야 한다.

승인작업반은 사전 검토 회의를 하여 제출된 기본설계 내용을 논의하여야 한다. 설계작업반은 사전 검토 작업에 참여하여 승인작업반의 검토 작업을 지원하여야 한다.

위험도기반 승인절차의 적용이 불필요하다고 승인작업반에서 판단하면 대상 설계의 승인은 기존의 승인 절차에 따라 발급될 수 있다.

### 2.1.3 예비승인기준 정의

승인작업반은 기본설계 사전 검토 회의에서 논의된 결과를 바탕으로 예비승인에 필요한 각종 요구 조건과 형식적 절차를 정의하여야 한다.

예비승인기준에는 다음의 사항들이 기본적으로 포함되어야 한다. 또한 상황에 따라 다음과 같은 추가적인 사항들이 있을 수 있다.

- 주요 관심 위험도 정의 및 해당 위험도 평가 기준
- 위험요소 식별 작업 계획 (방법 및 범위 포함)
- 위험도 해석 및 평가 작업 계획 (방법 및 범위 포함)
- 기능 요구 조건 및 안전 요구 조건 목록 (초안)

- 기본설계 관련 실험, 계산, 분석, 모의시험 등의 작업 계획 (방법 및 범위 포함)

- 가정, 면제 및 제한 사항

승인작업반은 예비승인기준을 정의하여 설계작업반에 제시하여야 한다. 예비승인기준은 승인작업반의 주도하에 여러 차례의 회의를 통해 정의되며, 설계작업반도 이 회의에 같이 참여하여 관련 사항들을 논의하여야 한다.

예비승인기준 회의에서 설계 개념, 목적 및 목표, 고유성, 설계에 내재되어 있는 위험도기반 특징, 관련 기존 규정 및 규칙, 미비점, 시스템과 구성 요소에서 발생 가능한 잠재적 안전위험요소에 대해 협의하여야 한다.

위험도 해석 및 평가 작업 계획에서는 적절한 종류의 위험도 또는 신뢰도 해석 기법들을 식별하고 그 특징, 한계, 적용 방법 등을 분명하게 언급하여야 한다.

기본설계 분석 작업 계획에서는 적절한 종류의 실험, 역학적 계산 및 분석, 가능한 모의시험들을 식별하고 그 특징과 한계 그리고 수행 방법 등을 분명하게 언급하여야 한다.

기본설계 분석 결과 및 관련 검토 결과에 따라 기본설계 분석 작업 계획은 갱신될 수 있고 이는 상세설계 분석 작업 계획에 반영되어야 한다.

주요 관심 사항인 위험도를 식별하고 이에 해당하는 위험도의 적절한 평가 기준을 정의 또는 식별하여야 한다.

위험도 평가 기준의 정의를 위하여 기존 규정/규칙/표준 등에 명시적 또는 묵시적으로 내재되어 있는 목표 안전성 수준을 참고할 수 있으며 다른 산업(항공 산업, 원자력 산업, 화학 산업, 해양 산업 등)에서 이미 사용하고 있는 여러 위험도 평가 기준을 참고할 수 있다. 그러나 매우 새롭고 특별한 설계(전체 또는 일부분)인 경우 승인작업반 또는 설계작업반은 특정 위험도 평가 기준을 새로이 개발하여야 한다.

### 2.1.4 기본설계 분석

설계작업반은 승인작업반의 감시 하에 예비승인기준에 따라 기본설계에 관련된 위험도를 해석하고, 특정한 분석이 요구되는 설계 사항들을 식별하여, 요구되는 각종 실험, 계산, 분석, 모의시험 등을 수행하여야 한다.

기본설계 분석 결과는 필요 시 위험도 해석 작업에 다시 반영될 수 있으며, 최종적으로 모든 결과를 예비승인기준에 따라 위험도 평가를 수행하여 기본설계의 안전성을 판단하여야 한다.

위험도 해석 작업에는 최소한 위험요소 식별 작업이 포함되어야 한다. 그 외 FSA, FMECA, HAZOP, FTA, ETA, RBD, Markov model, Bayesian network, 구조신뢰성 해석 등과 같은 여러 위험도 해석 기법들이 활용될 수 있다.

설계작업반은 모든 신개념 설계 또는 위험도기반 설계에 대하여 위험요소 식별 작업을 수행하여야 한다. 관련된 모든 위험요소 및 그로 인한 사고결과를 식별하고 또한 설계에 포함되어 있는 각종 안전장치(사고 방지 및 완화 수단)들을 찾아내야 한다. 이를 통해 최종적으로 설계의 안전성을 확보 또는 향상시키기 위한 요구조건들을 식별하여야 하고 예비승인

기준을 개정하여야 한다. 일반적인 위험요소 해석을 위한 흐름도는 그림 3에 따른다.

설계작업반은 위험도 해석 결과를 근거로 하여 위험도 모델을 만들고 최종적으로 위험도 평가를 하여야 한다. 예비승인 기준에 정의된 위험도 평가 기준을 사용하고 위험도 평가 결과에 따라 위험도 통제 수단이 작성되어야 한다.

위험도 평가 작업에서 다음 사항들이 고려되어야 한다.

- 식별된 위험요소, 그리고 각 위험요소의 발생 빈도 및 피해 규모
- 설계에 포함되어 있는 그리고 식별 가능한 안전장치
- 정량적 위험도 해석을 위한 위험도 모델
- 참고 자료, 가정, 불확실성, 민감도 등
- 산출된 위험도 수준과 평가 기준과의 비교
- 위험도 제어 수단 및 위험도 감소 수준
- 추가 위험도 해석, 실험, 계산 및 해석, 모의시험 등이 필요한 사항
- 건조, 운항 관련 주의 사항

위험도 평가 결과는 예비승인을 위한 가장 중요한 근거 자료가 되므로 관련 작업 과정 및 결과에 대하여 적절한 방법의 문서로 작성하여야 한다.

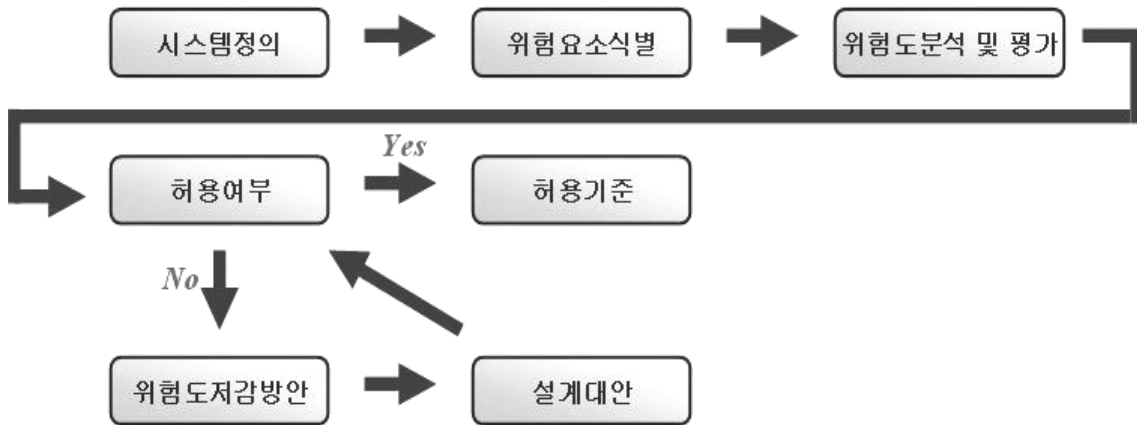


그림 3. 위험요소 해석 흐름도

### 2.1.5 기본설계 분석 결과 검토

승인작업반은 기본설계 분석 과정 및 결과의 합리성과 적절성을 확인하기 위하여 우선적으로 위험요소 식별 작업 결과를 검토하고 다음의 사항들을 확인하여야 한다.

- 참여자들은 적절한 자격을 가지고 있는가.
- 위험요소 식별 작업의 표준 절차(예를 들어 IMO FSA 지침)

를 준수했는가.

- 식별된 위험요소의 등급 순위는 적절히 부여 되었는가.
- 식별된 안전장치들은 적절히 설계에 반영되어 있는가.
- 식별된 위험요소와 안전장치들은 신개념 설계 또는 위험도 기반 설계의 특징을 적절히 반영하고 있는가.
- 필요 시 식별된 설계 요구조건들에 따라 예비승인기준이 개정되었는가.

승인작업반은 위험도 모델의 합리성과 적절성을 검토하여야 한다.

승인작업반은 위험도 평가 결과의 합리성과 적절성을 검토하여야 한다.

설계작업반에 의해 기본설계에 위험도 통제방안이 적용된 경우 승인작업반은 이로 인한 위험도 감소 수준이 합리적이고 적절한지 검토하여야 한다.

승인작업반은 기본설계 관련 실험, 계산 및 해석, 모의시험 등이 예비승인기준에 따라 적절하고 투명하게 수행되었고 그 결과가 합리적인지 검토하여야 한다.

### 2.1.6 예비승인증서 발급

승인작업반은 예비승인기준에 정의된 요건에 따라 기본설계 분석 결과를 검토하고 기본설계의 구현 가능성과 안전성 수준이 허용 가능한지를 판단하여 예비승인증서의 발급 여부를 결정하여야 한다. 기본설계와 관련되는 모든 위험요소와 고장모드가 식별되고 이들에 대한 통제가 증명될 때까지 예비

승인증서는 발급되어서는 아니 된다.

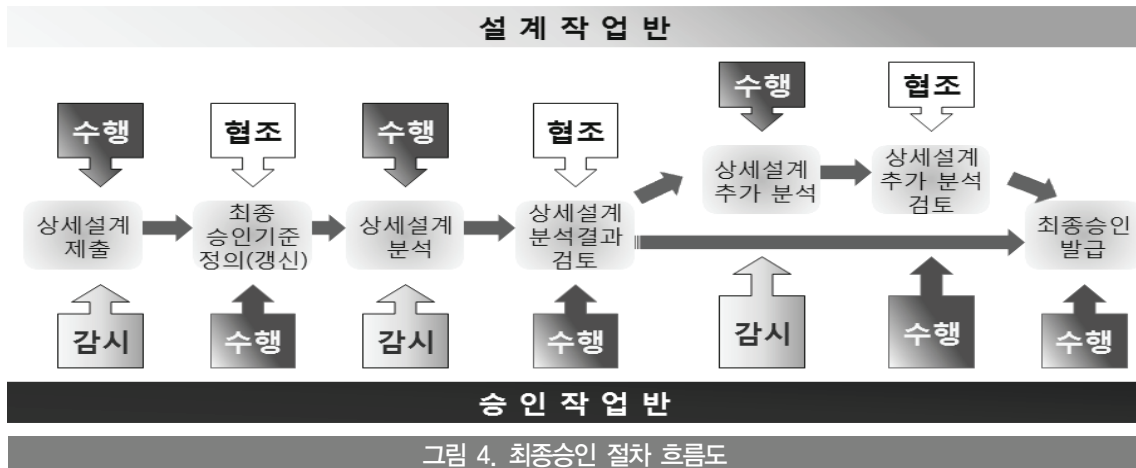
예비승인증서의 발급을 위해 승인작업반은 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 기본설계는 현실적으로 구현 가능한가.
- 식별 및 계산된 모든 위험도 수준은 허용 가능한가.
- 누락되었거나 무시된 위험도가 있는가.
- 관련 설계 요구조건들은 충분히 만족 되었는가.
- 위험도 통제 방안에 의한 위험도 감소 수준은 타당한가.

승인작업반에서 발급한 예비승인증서가 최종승인을 보장하지는 않음에 주의하여야 한다. 이는 최종승인을 통해서만 가능하다.

## 2.2 최종승인

최종승인은 상세설계 작성 및 상세설계 분석 과정이며, 최종승인 절차의 단계별 진행 순서는 그림 4에 따른다.



### 2.2.1 상세설계 제출

설계작업반은 예비승인 과정에서 식별 또는작성된 위험도 제어 방안들을 기본설계 분석 결과에 맞추어 반영한 상세설계를 개발하여 승인작업반에 제출하여야 한다.

상세설계는 기본설계에서 정의되지 않은 모든 상세 사항들을 구체적으로 포함하고 있어야 한다. 예를 들어, 선박 모든 부위에서의 상세 구조 배치 및 부재 형상, 모든 구조부재들의 상세 치수 및 제작 공법, 모든 의장, 전장, 기장 시스템의 상세 배치 및 최종사양, 모든 장비의 사양 및 설치 정보, 선박이

목적하고 있는 모든 운항 상태 및 관련 하중, 운항 방식, 추진 및 조종 관련 상세 정보 등이 상세설계에서 개발되어야 한다.

### 2.2.2 최종승인기준 정의

승인작업반은 상세설계를 통해 구체화된 정보를 바탕으로, 기본설계와 상세설계의 차이점, 즉 추가 또는 상세화된 설계 정보 및 변경된 설계 내용을 식별하고, 최종승인을 위해 필요한 각종 요구 조건과 형식적 절차를 정의하여야 한다.

최종승인기준은 기본적으로 예비승인기준의 심화 및 확장된

형태가 된다. 즉, 예비승인기준에서 고려되어야 하는 기본적인 사항들은 최종승인기준에서도 동일하나, 승인을 얻기 위해 만족시켜야 하는 요구 조건들이 서술된 예비승인기준의 항목들은 최종승인기준에서 보다 자세하게 서술되어야 한다.

예비승인기준에서 기록되지 않은 항목들이 상세설계에서 구체화된 설계 정보를 통해 새롭게 식별될 수 있다. 새로이 식별된 항목들의 위험도 평가 기준, 상세설계 분석 작업계획, 기타 요구 조건 등이 최종승인기준에 추가되어야 한다.

필요할 경우 최종승인기준에서는 위험도 해석 및 평가 기법, 상세설계에 대한 실험, 계산 및 해석, 모의시험 등에 관련된 수행 방법 등이 승인작업반에 의해 추가적으로 지정될 수 있다.

### 2.2.3 상세설계 분석

설계작업반은 최종승인기준에 따라 상세설계에 관련된 위험도를 산출하고 수반되어 요구되는 각종 실험, 계산, 분석, 모의시험 등을 수행하고 최종적으로 모든 결과를 최종승인기준에 따라 평가하는 등의 상세설계분석 작업을 수행하고 그 결과를 적절히 문서화하여 승인작업반에게 제출하여야 한다.

승인작업반은 설계작업반이 최종승인기준에 적합하게 상세설계 분석 작업을 수행하고 있는지 여부를 수시로 감시하여야 한다. 이를 위하여 승인작업반의 대표자는 설계작업반의 회의에 참석할 수 있다.

상세설계에서 기본설계의 내용이 일정 수준 변경되었다면 위험요소 식별, 위험도 해석 및 평가 작업을 전반적으로 재수행하여야 한다.

### 2.2.4 상세설계 분석 결과 검토

승인작업반은 상세설계 관련 실험, 계산 및 해석, 모의시험 등이 최종승인기준에 따라 적절하고 투명하게 수행되었고 그 결과가 합리적인지 검토하여야 한다.

최종승인 요건 목록은 예비승인기준, 최종승인기준, 그리고 기본설계 및 상세설계 분석 결과를 바탕으로 작성되며, 최종승인을 위해 필요한 다음의 요건들을 포함하여야 한다.

- 가능한 위험도 종류 및 위험도 평가 기준
- 위험도 해석에 적용된 한계 및 제한 조건에 대한 합리적 근거
- 위험도 산출을 위해 적용된 가정 및 조건을 충족시키기 위한 요구 조건
- 안전장치 및 위험도 제어 수단의 성공적인 기능을 위한 요구 조건
- 설계의 목표 기능을 달성하기 위한 요구 조건
- 필요시 상기 요구 조건의 충족을 증명하기 위한 검증 작업

최종승인 요건 목록에 기록된 사항들은 건조 및 운항과 관련된 검사요건의 초안이 되며 다음의 사항들과 직접적으로 관련된다.

- 건조 관련: 건조, 제작, 설치 등에 관련된 안전 및 품질 관리 요건
- 운항 관련: 운항 상의 제한 조건, 유지보수 요건 및 절차

### 2.2.5 승인증서 발급

설계작업반은 최종승인증서 발급에 앞서 필요한 모든 문서(시양서, 도면, 계산서 등)를 승인작업반에게 제출하여야 한다.

기본적으로 상세설계 작성 및 분석에 관련된 문서들을 제출하여야 하고 제출이 필요한 문서 목록은 두 작업반 간의 합의를 통해 일부 조정될 수 있다.

최종승인증서 발급을 위해서는 신개념 설계 또는 위험도기반 설계의 모든 가능한 위험요소가 식별되어 위험도 해석 및 위험도 평가에 반영되었고 모든 위험도가 평가 기준과 비교하여 허용 가능한 수준에 있음이 입증되어야 한다. 또한 구현된 상세설계가 목표 기능을 충분히 수행할 수 있음이 입증되어야 한다.

승인작업반은 최종승인 요건 목록과 이에 대한 설계 적합성을 확인하고, 상세설계 또는 대상 설계 전체의 구현 가능성과 안전성수준이 허용 가능한지를 판단하여 최종승인증서의 발급 여부를 결정하여야 한다.

최종승인증서가 발급되면 대상 설계의 건조 및 제작 개시가 가능하다. 즉, 최종승인은 기본설계와 상세설계를 포함하는 설계 전체에 대하여 안전성 및 타당성을 입증하는 공식적이고 최종적인 설계 승인과정이며, 설계대상의 건조 및 제작 개시의 근거가 된다.

## 2.3 검사요건

설계작업반은 최종승인절차에서 식별된 안전장치, 위험도 제어 수단, 주의 사항, 제한사항들을 근거로 건조 및 운항 중 검사요건을 작성하고, 또한 검사요건의 사항들을 충분히 반영한 안전관리시스템을 문서로 작성하여 승인작업반에 제출하여 승인을 받아야 한다.

건조 중 검사요건은 선박의 건조 및 제작 과정 중 최종승인에 의해 입증된 설계의 안전성 수준이 저하됨 없이 충분히 유지되고 있음을 보장하기 위한 것이며, 일반적으로 다음의 사항들이 고려되어야 한다.

- 건조/제작 관련 기존 규정/규칙/표준식별 사항
- 건조/제작 조선소, 공장, 작업자 자격 검증
- 건조/제작 공정의 적절성 (제한 및 한계 사항 포함)
- 건조/제작 절차의 적절성 (제한 및 한계 사항 포함)
- 건조/제작 품질 관리 절차 상 주의점
- 건조/제작 중 또는 후의 시험 필요 사항 및 요령
- 건조/제작 중 또는 후의 검사 필요 사항 및 요령
- 건조/제작 후, 시운전 검증 사항 및 요령
- 기타 관련 안전장치 및 안전절차

운항 중 검사요건은 건조 완료된 선박을 운항하며 목적하고 있는 서비스를 제공하고 있는 과정에서 최종승인에 의해 입증된 설계의 안전성 수준이 저하됨 없이 충분히 유지되고 있음을 보장하기 위한 것이며, 일반적으로 다음의 사항들이 고려되어야 한다.

- 운항 관련 기존 규정/규칙/표준식별 사항
- 승선 인력의 자격 검증
- 운항 항로 및 제공 서비스의 적절성(제한 및 한계 사항 포함)
- 운항 조건 및 절차의 적절성
- 필요한 선내 작업 절차의 적절성
- 비상 시 운항 절차의 적절성
- 운항 중, 자체 유지보수 절차의 적절성
- 운항 중, 외부 검사원에 의한 검증 필요 사항 및 요령
- 운항 중, 선내에 구비 및 유지해야 할 문서 요건
- 기타 관련 안전장치 및 안전 절차

최종승인 절차에서 입증된 설계의 안전성 수준을 건조 및 운항 단계에서 허용 가능한 수준으로 유지시키는 것은 궁극적으로 선박의 안전관리시스템에 의해 가능하다. 안전관리시스템은 선박의 건조 및 운항 중 안전 적합성을 확보, 유지하기 위한 각종 품질 관리 절차, 요구 조건, 제한 조건, 유지보수 지침 등을 통합한 시스템이다.

승인작업반은 승인된 안전관리시스템에 따라 안전 적합성 검증 작업(검사, 점검, 심사, 감시 등)을 수행하여야 한다. 안전 적합성 검증 수행과 결과는 선박의 인증을 유지하기 위한 필수 사항이고 이 작업은 전통적인검사 및 검증 절차와 유사하게 수행되어야 한다.

안전 적합성 검증 작업의 주기, 범위, 요령은 안전관리시스템에 정의된 바에 따른다. 최종승인 절차에서 확인된 설계 내용과 가정이 건조 및 운항 단계에서 변경되어 선박의 위험도에

영향을 주는 경우 승인작업반의 판단에 따라 관련 위험도에 대한 재해석 및 재평가를 수행하여야 한다. 그 결과에 따라 검사요건 및 안전관리시스템의 내용이 개정될 수 있다.

필요 시 추가적으로 선박의 주요 시스템 및 기능의 고장률 또는 가용도를 근거로 한 신뢰도 중심 유지보수 절차를 포함할 수 있다.

### 3. 결론

위험도 기반 승인 절차를 예비승인, 최종승인, 그리고 검사의 3단계로 살펴보았다. 위험도기반 승인절차는 선박의 설계부터 건조, 운항, 폐선에 이르는 전체 과정 내에 발생 가능한 전 생애 주기 관련 위험도를 고려하여야 한다.

위험도 기반 승인은 혁신성이 높거나, 기존의 규정이 미비하여 승인 여부를 판단할 수 없는 경우에 적용한다. 승인가관에서는 위험도기반 설계승인을 받은 선박에 대하여는 규정이 정하는 바에 따라 부기부호를 부여하거나, 강제화된 규정으로 운용할 수 있을 것이다.

일반적으로 설계의 특징이 더욱 혁신적일수록 안전 적합성 검증 요구 조건이 까다로워질 수 있으며, 신개념 설계 또는 위험도기반 설계의 경험이 축적되고 신뢰성이 충분히 입증됨에 따라 안전 적합성 검증 작업의 요구 조건들이 완화될 수 있다.



박재홍

- 1962년생
- 2007년 University of Southampton(UK) 대학원 졸업
- 현 재 : 한국선급 해사연구팀 수석연구원
- 관심분야 : 위험도 평가, 구조신뢰성
- 연락처 : 042-869-9210
- E-mail : jaehpark@krs.co.kr



정정호

- 1973년생
- 2001년 서울대학교 조선해양공학과 대학원 졸업
- 현 재 : 한국선급 해사연구팀 책임연구원
- 관심분야 : 위험도 평가, 구조신뢰성
- 연락처 : 042-869-9217
- E-mail : chchung@krs.co.kr