

선박 전과정 평가(LCA)와 재활용(Recycling)

이종갑(한국해양연구원 해양시스템안전연구소), 이인규(대우조선해양(주) 종합설계부)

1. 서론

1992년 리우데자네이로 회의 (UNCED: United Nations Conference on Environment and Development) 이후 환경보호를 위한 관심이 전 지구적 차원에서 증대되면서 환경문제는 가장 민감하고 긴급한 국제협력의 과제로 등장하였으며, 이러한 노력의 결과는 다양한 형태의 국제 협약으로 나타나고 있다.

이러한 환경문제는 선박을 포함한 해양운송시스템도 예외가 될 수 없다. 그러나 해양에서의 환경문제는 육상에 비하여 상대적으로 심각성이 덜하고 특히, 선박은 그 종류나 항로 등의 차이로 인해 다양한 라이프 사이클을 가지기 때문에, 전과정평가(Life-Cycle Assessment: LCA)에 관한 연구는 제한적이었다. 그러나 미래 인류의 삶의 터전으로서 해양환경 보존의 중요성이 강조되고, 특히 최근 치명적인 환경피해를 수반하는 해양사고가 빈번히 발생함에 따라 해상에서의 인명과 해양환경보전을 목적으로 하고 있는 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서는 해양환경 보전을 위한 제반 법규를 강화하는 추세에 있으며, 이에 따른 연구개발 노력이 가속화되고 있다.

본고에서는 선박 및 해양구조물에 LCA 개념을 적용하기 위한 ISO 14040 시리즈를 중심으로 LCA에 대한 개요 및 선박과 관련한 국내외 연구개발 현황, 그리고 최근 국제해사기구에서 논의되고 있는 선박재활용을 포함한 관련 국제협약의 동향 대하여 소개한다.

2. 전과정 평가(LCA) 개요

LCA(Life Cycle Assessment)는 “제품 또는 서비

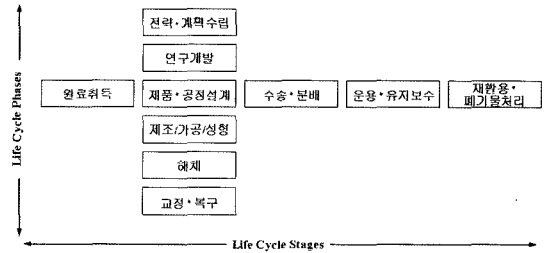


그림 1. Life Cycle 개념

스에 관해서, 원료의 조달로부터 제조, 유통, 사용, 폐기, 리사이클에 이르는 라이프 사이클 전체를 대상으로 하여 각 단계에서 투입되는 자원·에너지 및 배출물을 정량적으로 파악하고, 이것들에 의한 환경 영향, 자원 고갈 등에 의한 영향을 객관적으로 정량화해서 환경 개선 등을 위한 의사결정을 지원하는 과학적이고 객관적인 근거를 줄 수 있는 수법”으로 정의된다.

LCA는 그림 2에서 보는바와 같이 목적 및 범위 설정(Goal & Scope Definition), 목록 분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 전과정 결과 해석(Life Cycle Interpretation)을 포함한다.

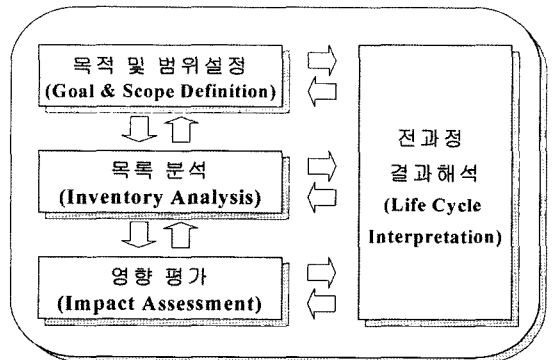


그림 2. LCA 프레임워크

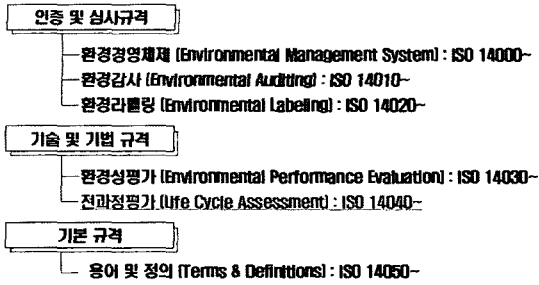


그림 3. 환경경영과 관련한 ISO 규격

과해석(Life Cycle Interpretation)의 단계를 포함한다.

목적 및 범위설정 단계에서는 연구의 목적, 범위, 기능단위(functional unit) 등을 정하는데, 연구의 범위 및 정도를 정의한다. 전과정 평가는 사용목적에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과가 다르기 때문에 우선 전과정 평가를 어떠한 목적으로 사용할 것인가를 명확히 해야 한다. 목록분석 단계는 상품, 포장, 공정, 물질, 원료 및 활동에 의해 발생하는 에너지 및 천연원료 요구량, 대기오염물질, 수질오염물질, 고형폐기물 배출량 등의 환경오염부하량 등에 대한 기술적, 통계적 자료구축과정이다. 영향평가단계는 목록에서 제시된 항목에 가중치를 제시하는 과정이다. 일반적으로 이 단계는 특정한 잠재적인 환경영향들과 목록 데이터를 연결하고, 이들의 영향들을 이해하는 것을 포함한다.

전과정 평가 결과는 의뢰자에게 결론과 조언의 형태로 전달된다. 이 단계를 전과정 결과해석이라고 한다. 전과정 결과해석은 신뢰성을 주기 위해 설계된 정보가 의사결정자에게 원활히 전달되도록 연결시켜 주는 단계이다.

LCA에 대한 구체적인 내용은 1996년 환경독성학 및 화학협회(SETAC: The Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서 제시된 전과정 평가의 골격을 기초로 한 다음의 ISO 규격으로 제시되어 있다(그림 3 참조).

3. 선박 LCA

국제 교역의 증가와 함께 최고의 운송수단인 선박은 수십만 개의 소재와 부품을 사용하고 다양한 가공, 조립작업을 거쳐 건조된다. 또한 운항형태도 다양하여 수명주기 전반에 걸친 환경부하를 정량적으로 평가하기 위한 본격적인 수단의 검토가 필요하다. 또한 선박의 해체에 수반되는 환경과피가 국제적으로 문제가 되고, 해체 및 처리방법의 적정화와 함께 재료 부품의 재활용의 추진을 통한 환경부하의 저감을 요구하고 있다.

3.1 선박 LCA 의 범위

대부분의 전과정 평가에 대한 연구에서는 제품의 수명주기의 범위를 원자재의 추출 단계에서부터 최종 폐기나 재활용 단계까지로 산정하고 있다. 한편, 선박의 경우에는 라이프 사이클의 개념을 계약에서 인도까지로 한정하는 경우가 있으며, 해상운송에서는 주로 운항 단계에서의 평가만으로 한정짓기도 한다.

이와 같은 현상은 라이프 사이클의 전과정을 평가하는 전과정 평가의 표준 방법론 측면에서 볼 때에 많은 문제점을 가지고 있다. 결국 선박의 전과정 평가를 효과적으로 수행하기 위해서는 선박의 건조, 운항 및 폐기 단계에 이르는 라이프 사이클 전 과정에 대한 평가가 이루어져야 한다.

그림 4는 선박의 라이프 사이클 시스템에서의 프로세스 흐름을 나타내고 있다.

선박의 건조단계에서의 LCA는 선종별 건조 프로세스의 흐름을 분석하고, 각 세부 단계별로 선박

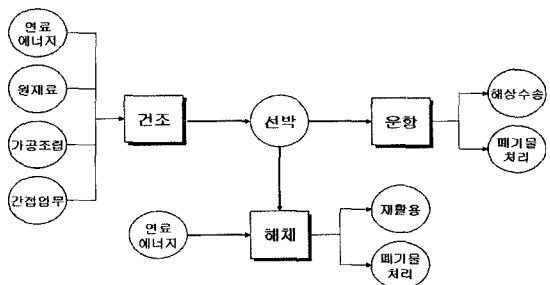


그림 4. 선박의 수명주기



을 건조하기 위해 사용되는 에너지, 소재, 부품과 배출되는 배출물 또는 폐기물의 항목과 양을 표로 나타낸다.

선박의 운항단계에서도 건조단계와 마찬가지로, 먼저 선종별 운항 프로세스의 흐름을 분석한다. 이러한 프로세스에는 운항항로 및 일정, 도장이나 주기관의 교환 등 유지보수에 대한 내용이 포함된다.

선박의 해체 및 리사이클 단계에서는 해체 단계에서 입력물과 출력물에 대한 항목을 정리한다. 즉, 선박을 해체하면서 회수할 수 있는 널빤지나 쇠 부스러기 등을 리스트업하고, 이 때 함께 배출된 CO₂나 고형 폐기물 등도 리스트업 한다. 또한 해체 작업에서 소비된 에너지들도 리스트업 한다. 그리고, 해체 단계에서 수행되는 작업들과 그 흐름에 대해 조사한다. 마지막으로 위의 단계를 거치면서, 전과정 평가의 진행결과에 대한 문제점이나 과제를 도출한다.

3.2 선박 LCA관련 연구개발 동향

지금까지 선박에 대한 LCA 연구는 다른 분야에 비하여 활발하지는 못하였다. 그러나, 미래 인류의 삶의 터전으로서 해양환경 보존의 중요성이 강조되고, 특히 최근 치명적인 환경피해를 수반하는 해양사고가 빈번히 발생함에 따라 해상에서의 인명과 해양환경보전을 목적으로 하고 있는 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서는 해양환경 보전을 위한 제반 법규를 강화하는 추세에 있으며, 이에 따른 연구개발 노력이 가속화되고 있다.

선박 LCA 적용에 관한 연구는 유럽, 일본 등 해양선진국을 중심으로 진행되고 있다. 유럽에서는 해상수송시스템의 하나로서 선박에 대한 LCA방법론 및 지원도구의 개발을 수행하고 있으며, 일본의 경우는 선박의 건조단계에 대한 LCA 방법론 및 데이터베이스 구축을 시도하고 있다.

선박 LCA에 대한 대표적인 연구개발 사례로는 노르웨이의 LCA-SHIP 프로젝트, EU의 TEES (The

Energy Efficient Ship) 프로젝트, 일본의 선박 LCA 프로젝트, EU의 TRESHIP 등이 있다.

일본의 선박 LCA 연구(1999~2002)는 선박의 건조, 운항, 해체 및 리사이클의 수명주기에 걸친 환경 부하 또는 환경 영향을 정량적으로 평가하는 수법의 개발을 목적으로하고 있으며, 이를 통해 선박의 수명주기 전반에 걸친 환경부담을 정기적으로 파악하는 전과정 평가 수법을 확립하였다.

특히, TRESHIP(Technologies For Reduced Environmental Impact From Ships, 1999~2002)는 유럽의 14개국 40여기관(보험회사, 선급, 해운사, 대학, 연구소)이 참여한 프로젝트로서 환경 전반적 관점에서의 기술통합을 검토하는 “Integration of technologies - processes & analyses” 영역에서 법규 및 규정, 환경친화선의 설계 방법론, 위험분석 기법 등과 함께 고려되었으며, LCA의 기술적 프레임워크, 영향요소의 범위 파악, 주요 영향요소에 대한 프로세스 파악, Ship LCA 연구현황, LCA 방법론, 도구 및 데이터베이스 등에 대한 전반적인 검토가 이루어졌으며, LCA 기술을 선박에 적용하기 위한 연구개발 방향 및 세부적인 개발항목들을 도출하고 EU의 제6차 Framework Program (FP6: 2002~2006)의 계획에 반영하여 추진할 것을 제안하였다.

3.3 선박 LCA의 과제

LCA는 많은 시간과 비용이 수반되는 작업이다. 특히 선박과 같은 대형복합시스템에 LCA를 적용하기 위해서는 가용한 정보를 수집/가공하고 구조화 하는데 일이 핵심이다. 그러나 지금까지 수행된 선박 LCA 관련 연구의 부족으로 선박 LCA 적용을 위한 표준이나 지침, 관련 도구나 데이터베이스를 개발하기 위한 기반이 부족한 실정이며, 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다.

- 시스템의 범위(system boundaries) 설정
- 적절한 기능단위 (functional unit)의 정의
- inventory 분석을 위한 모델 및 데이터

- 환경영향평가 및 환경성능평가 기법
- 사고 및 위험도 (Accidental Risk)
- 수명주기 비용 (Life Cycle Cost)
- 선박에 적용 가능한 screening type의 LCA 방법론, 등

4. 선박재활용 (Ship Recycling)

최근 IMO에서는 선박의 재활용에 대한 지침을 개발하고 이를 기반으로 한 국제협약 제정에 착수하였다. 향후 법규 강화 등의 이유로 재활용(Recycling) 물량의 지속 증가가 예상되나 재활용(Recycling)의 작업 방법 및 환경기준은 열악하여 선주, 조선소, 국가 및 국가기관, 노동자 등 선박재활용(Ship Recycling) 관련 모든 관련자(stakeholders)를 위한 지침을 개발하였다. 이 지침(Guideline)의 목적은 선박의 최종 단계에서의 최선의 처리가 재활용인 것으로 유도하고, 선박의 재활용을 위한 준비와 운용과정의 폐기물 생성을 최소화하기 위한 지침(Guideline)의 제공, 관련 관계자(기관) 간의 협동 증진 및 선박의 재활용에 대한 관심 유도하는 것을 목적으로 하고 있으며, 적용분야, 위험물질의 정의, 분류 및 관련 장비 목록, 그린패스포트(Green Passport)의 내용 및 구성, 신조선 및 기존선의 재활용 절차, 선주, 조선소, 국가 등의 역할, 기술협력 등에 관한 내용을 포함하고 있다.

신조선 건조단계에서 선박설계자는 재활용 가능 물질 및 환경에 무해한 물질의 사용, 유해 물질의 사용 최소화를 위하여 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- 선박 재활용을 용이하게 할 수 있는 구조설계
- 재활용시 해체를 용이하게 하는 장비 설계
- 쉽게 재활용 가능한 구조 물질의 사용
- 선박 재활용의 최적 접근에 대한 간략한 기술문서의 제공
- 선박 또는 장비의 Design에 재활용 재료의 사용
- 해체가 힘든 복합 물질의 사용 제한
- 사용된 복합 물질의 해체방안 강구

아울러, 그린패스포트(Green Passport)의 작성이 요구된다. Green passport는 선박과 선박의 장비 및 시스템에 사용된 잠재 유해물질에 대한 정보를 제공하여 선박재활용에 대한 지침(Guideline)의 적용을 용이하게 하기위한 문서이다. 이 문서는 선박의 평생에 걸쳐 유지되어야 하며, 선주는 변경사항의 정확하게 기록유지 보완하여야 하고 선박의 마지막 소유자는 선박과 함께 본 자료를 재활용시설에 제공하여야 한다.

한편, MEPC에서는 선박재활용 지침을 기초로 하여 이를 강제화하기 위한 협약의 제정에 착수하였다. 가칭 “International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships”로 불리는 이 협약은 안전과 선박운항 효율과의 타협없이 안전하고 친환경적인 재활용을 효율적으로 추진하기 위한 설계, 건조, 운항 및 재활용의 준비와 안전하고도 친환경적인 재활용시설 운영, 그리고 선박재활용을 위한 적절한 강제수단(증서/보고 시스템)의 설정을 목적으로 하고 있다.

5. 결론 및 제안

지구온난화, 유해물질에 의한 건강 피해, 자원 고갈 등 환경문제는 21세기의 지구촌의 최대 과제의 하나이다. 특히, 21세기 인류의 생존의 터전인 해양 환경을 보전하기 위한 국제적인 노력과 함께 선박에 대한 LCA 적용에 대한 검토가 본격화되고 있다.

본 고에서는 최근 관심이 높은 환경문제와 관련하여 선박의 건조, 운항 및 해체의 수명주기 전과정에 대한 환경부하를 정량적으로 평가하기 위한 LCA 기법에 대하여 살펴보고, LCA 개념을 기초로 IMO에서 추진되고 있는 선박재활용 지침서 및 관련 협약에 대하여 소개하였다.

선박 및 해운분야에서 LCA 기법을 적용하려는 연구는 전 세계적으로도 아직 초기단계에 있으며, 국내에서는 거의 사례를 찾아보기 힘든 실정이다. 현재 국내외적으로 환경친화선 또는 청정선 등과 같이 환경부담을 최소화 하는 선박의 개발에 대한



요구가 증대되고 있는 시점에서, 조속히 관련 핵심 기술의 확보를 위한 관심과 노력이 요구된다.

특히 IMO에서 Guideline 을 제정 후 일부 선사들이 Green Passport 적용을 요구하고 있으며 상당수의 신조선박 건조사양서에도 반영되고 있다. 또한 건조사양서에 반영되지는 않았더라도 건조 중에 적용을 요구하는 사례도 많이 발생하고 있다. IMO 에서 관련 협약으로의 제정이 추진되고 있고 협약 발효시 Green Passport 작성은 소급적용 되기 때문에 Green Passport 작성 요구는 더욱 증가할 것으로 판단된다. 현재 협약의 상세 내용 모두가 구체화되지는 않았지만 Green Passport 작성은 기본적인 강제 적용 사항으로 포함될 것이기 때문에 조선소 및 장비제작업체의 관심 및 사전 준비가 필요함. 또한 현재의 Guideline 에는 건조시의 설계요건이 포함되어 있으므로 A.962(23) 전체에 대한 적합증서를 요구하는 경우는 유해물질목록표의 작성뿐만 아니라 설계요건에 대한 고려가 제품에 반영되어야 함에 유의가 필요하며 협약의 전반적인 개발동향, 특히 설계요건의 강제화 및 유해물질목록의 작성 등에 지속적인 관심 및 의견 개진이 필요함. 아울러 이러한 설계, 건조 요건에 대한 정리와조기 준비, 적용을 통하여 친환경, 청정 선박이라는 부가가치를 시장에

제시할 수 있는 계기가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] International Organization for Standardization (ISO). Environmental Management Systems. ISO 14001
- [2] International Organization for Standardization (ISO). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040, 1997.
- [3] International Organization for Standardization (ISO). Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis. ISO/DIS 14041, 1997.
- [4] International Organization for Standardization (ISO). Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment. Draft ISO/CD 140422, 1997.
- [5] International Organization for Standardization (ISO). Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation. Draft ISO/CD 14043.2, 1997.
- [6] H. Ellingsen, A. M. Fet and S. Aanonsen, Tool for Environmental Efficient Ship Design, ENSUS 2002, Newcastle, UK, December, 2002.
- [7] TRESHIP Thematic Network, Technologies for Reduced Environmental Impact from Ships - State of the Art Report, Issue 8, December 2002.
- [8] 木原 洗, 船舶へのLCAの適用, 海上技術安全研究所, 2000, 2004.
(http://www.nmri.go.jp/lca/lca_hp/index.html) ⓓ

이종갑 | 한국해양연구원 책임연구원



- 1954년 9월생
- 1977년 부산대 조선공학과
- 관심분야 : 시뮬레이션 기반 동시공학
- E-mail : jklee@moeri.re.kr

이인규 | 대우조선해양(주) 종합설계팀 부장



- 1960년 8월생
- 1987년 부산대학교
- 관심분야 : 선박기술설계, 선박법규
- E-mail : iglee@dsme.co.kr