



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

전과정평가(LCA) 기반 친환경  
선박재활용 방안에 관한 연구

A Study on Eco-friendly Ship Recycling based on Life  
Cycle Assessment



2011年 8月

韓國海洋大學校 大學院  
海洋警察學科  
鞠銀美

本 論 文 을 鞠 銀 美 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長    工 學 博 士    尹 鍾 輝    ( 印 )

委   員    工 學 博 士    李 殷 邦    ( 印 )

委   員    工 學 博 士    鞠 承 淇    ( 印 )



2011 年   8 月

韓 國 海 洋 大 學 校   大 學 院

海 洋 警 察 學 科

鞠   銀   美

# 목 차

표 목차 .....	iii
그림 목차 .....	v
Abstract .....	vi
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구의 목적 .....	1
1.2 연구의 범위 및 방법 .....	2
제 2 장 선박재활용과 선박재활용협약 .....	4
2.1 선박재활용의 개요 .....	4
2.1.1 선박재활용 현황 .....	4
2.2 선박재활용협약의 개요 .....	11
2.2.1 선박재활용협약에 따른 선박재활용의 전과정 .....	13
제 3 장 전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA) .....	16
3.1 LCA의 개요 .....	16
3.1.1 LCA의 개념 .....	16
3.1.2 LCA의 방법론 .....	18

3.1.3 LCA의 특징 .....	23
3.2 국내·외 LCA 연구 현황 .....	25
3.2.1 국내 LCA 연구 현황 .....	26
3.2.2 국외 LCA 연구 현황 .....	27
제 4장 선박재활용에 대한 LCA 적용 .....	32
4.1 선박재활용에 대한 LCA 적용의 필요성 .....	32
4.2 친환경 선박재활용을 위한 LCA 적용 방안 .....	32
4.2.1 친환경 선박재활용을 위한 전과정 목록 분석 .....	34
4.2.2 친환경 선박재활용을 위한 전과정 영향 평가 .....	44
제 5장 결 론 .....	60
참 고 문 헌 .....	62



# 표 목차

표 2.1	선박 해체 작업 신고 현황(선종별) .....	6
표 2.2	선박 해체 작업 신고 현황(톤수별) .....	7
표 3.1	LCA의 목적과 범위 .....	19
표 3.2	평가범위 .....	22
표 4.1	선박의 전과정 목록 .....	36
표 4.2	물질신고서(MD)에 포함된 내용 .....	38
표 4.3	준수신고서(SDoC)에 포함된 내용 .....	38
표 4.4	협약의 부록 I (Appendix I)에 실려 있는 물질 .....	41
표 4.5	협약의 부록 II (Appendix II)에 실려 있는 물질 .....	43
표 4.6	선박의 전과정 단위공정 당 데이터의 위험범주 .....	48
표 4.7	영향범주별 특성화인자의 예 .....	50
표 4.8	영향범주의 물질별 특성화지수표(예) .....	51
표 4.9	가스 제거 상태 기준 .....	52
표 4.10	선박해체작업시 체크리스트(화재 및 폭발 방지 1) .....	54

표 4.11	선박해체작업시 체크리스트(화재 및 폭발 방지 2) .....	55
표 4.12	선박해체작업시 체크리스트(인체 건강 위해 방지) .....	56
표 4.13	선박해체작업시 체크리스트(미끄러짐 및 낙하 사고 방지) .....	57
표 4.14	선박해체작업시 체크리스트(물체의 투하 방지) .....	58



# 그림 목차

그림 2.1	세계 선박해체량 추이 .....	9
그림 2.2	연간 세계선박해체량과 선박재활용 예상 .....	9
그림 2.3	선박재활용 전과정 .....	15
그림 3.1	전과정의 개념 .....	17
그림 3.2	환경경영과 관련한 ISO 규격 .....	17
그림 3.3	LCA의 구성 및 목적 .....	18
그림 3.4	LCA의 주요 단계 .....	23
그림 3.5	환경문제에 대한 사후관리와 사전관리의 필요 .....	25
그림 4.1	선박의 전과정 .....	33
그림 4.2	전과정 목록분석 수행절차 .....	35
그림 4.3	해사 공급 사슬 .....	37
그림 4.4	현존선 유해물질목록 개발 과정 .....	40
그림 4.5	전과정 영향평가의 선택적 요소와 의무적 요소 .....	46
그림 4.6	영향평가 방법론에 따른 영향범주 .....	47



# A Study on Eco-friendly Ship Recycling based on Life Cycle Assessment

Eun -Mi, Kuk

Department of Coast Guard Studies  
Graduate School  
Korea Maritime University



## Abstract

The Ship Recycling Convention was adopted to regulate its environmental aspects about dangerous dismantling facilities and environments regarding ship dismantling works resulting in international concern. Environmental influence evaluation is applied, plus in regulation range to require in Ship Recycling Convention. The evaluation that a criminal record is static (LCA), and influence evaluation is executed over ship recycling life cycle.

While the Ship Recycling Convention was adopted, A noxious substance list corresponding in a dangerous category during data to

occur in during life cycle of a ship becomes list anger, the labor force mobilized to dismantling work the evaluation that a ship criminal record was static while Ship Recycling Convention is easily regulated the dismantling workplace where there wasn't no one regulation. Also, by law prospective to what can activate study regarding LCA of a ship as having materialized effort for the marine protection of environment.

However, only the Ship Recycling Convention, there is no way to evaluate an environmental influence about CO<sub>2</sub> and other noxious substance which don't be regulated in Ship Recycling Convention.

Therefore, environmental influence evaluation and regulation is executed regarding CO<sub>2</sub> and other noxious substance, and writing/analyzes input and Inventory regarding all data displayed, and ship recycling may accomplish more and more eco-friendly ship recycling if LCA is applied.

The resources which LCA manufactures it from supplies of raw materials about a product or service, and circulating, and using it, and I target early life cycle everyone to abolition, recycling, and each steps are invested. Grasping energies and a discharging with rations. It is an environmental influence evaluation technique it is scientific, and decreasing by an objective basis supporting decision making regarding environmental improvements etc. as it evaluates objectively an influence by an environmental influence by these, resources exhaustion etc. The phase of LCA is proceeded greatly static influence evaluation,

Eco-friendly ship recycling is come true if you apply ship recycling to this LCA. As regulating noxious substance accumulated during lives of a ship, and ship recycling regulates it until dismantling steps from dry steps, hardware is productive, and ship construction, a ship plies, and ship dismantling etc. criminal record is static, and the application object becomes it.

The following conclusion is that LCA is applied to ship recycling life

cycle.

First, the noxious substance Part I, II, III in Ship Recycling Convention is listed up during ship building and operating. That noxious substances influence to ozone layer destruction and ecology toxicity. So, discharged noxious substances are regulated from Ship Recycling Convention was adopted.

Second, Oxygen is generated during fuel energy is input. Oxygen isn't dangerous substance.

Third, Labor force, workplace and working equipment are listed up during ship dismantling work. Those influence to human toxicity and human health.

Forth, Methods of beaching, landing, afloat, dry are listed up as ship dismantling method. Beaching that one of methods influences to the inanimate object resources exhaustion and ecology toxicity. That is a dangerous data, too.

Fifth, the noxious substances from scrap irons and left wastes after other ship's parts are recycled are listed up. Those influence to ecology toxicity, and is a dangerous substance.

After the Ship Recycling Convention was adopted, in Korea, application of LCA is easily. But deeply study is needed about life cycle inventory analysis and development of software of influence assessment.

# 전과정 평가(LCA) 기반 친환경 선박재활용 방안에 관한 연구

## 제 1 장 서 론

### 1.1 연구의 목적

한국은 자타가 인정하는 조선 강국이다. 2010년 선박 및 조선기자재 수출액은 전년대비 약 10% 증가한 498억 달러(잠정치)로 사상최대 실적을 기록(반도체에 이은 2위 품목 예상)한 것으로 나타났다. 세계 큰 배들의 40%가 우리나라에서 만들어 진다. 근래에 들어 세계 조선시장에서 한국과 중국은 1,2위를 다투며 각각 2010년 대비 한국은 3% 증가한 1,584만CGT(보정총톤수), 중국은 48% 늘어난 1,865만CGT였다.

그럼 이 거대한 배들은 그 수명이 다 하면 어디로 가는 것일까. 화려하게 태어난 초대형 선박이 마지막으로 닻을 내리는 곳은 가난한 나라의 황량한 해안이다. 방글라데시의 치타공 해안은 세계 대형 선박의 절반 정도를 처리하는 선박의 무덤이다. 이곳에서 배들은 그들이 누비고 다닌 세상이 어떤 곳인지 짐작조차 하지 못하는 험벗은 노동자들에 의해 작은 쇳조각으로 해체 처리된다.

배가 태어난 곳은 골리앗 크레인과 대형 도크, 온갖 고도의 기술 장비로 뒤덮인 요람이었지만 이 배를 해체하는 것은 오로지 인간의 노동력이다. 선박 해체 작업은 철판을 사람이 운반할 수 있는 크기로 잘라낸 뒤, 이를 날라 오는 원시적 방식으로 진행된다.

해체될 대형 선박은 수위가 높은 만조 때 물때를 기다려 전속력으로 해안을 향해 달려든다고 한다. 육지에 가깝게 최대한 밀고 들어와야 인부들이 작업하기가 편하기 때문이다. 물이 빠지고 배가 갯벌위에 올라앉게 되면 열악한 작업 환경에서 인부들의 작업이 시작된다. 노동자들은 대부분 맨발이고 보호용 장갑도 끼지 않은 채, 칼날처럼 날카롭고 뜨겁게 달궜진 철판과 그 속에 남아있는

독성물질과 씨름한다. 방글라데시에서 배 해체 작업에 종사하는 사람은 20만 명에 이른다. 방글라데시는 철강 수요의 80%를 이렇게 선박 해체에서 나온 철강으로 충당한다고 한다. 원래 선박 해체 산업은 주요 조선국들의 차지였지만, 환경오염과 산업 재해를 낳는 3D 업종으로 인식되면서, 1970년대에 규제가 느슨한 동남아로 대부분 이전되었다. 현재 주요 선박 해체국은 방글라데시, 인도, 파키스탄 등이다. 일이 힘들고 사고가 자주 발생하며 노동 환경이 열악하므로, 해당 나라에서도 가장 저소득층 국민이 선박 해체 산업의 최전선에 나선다. 적절한 장비와 보호 조치 없이 오로지 맨손으로 치명적인 독성 물질과 씨름하며 작업하는 이들 나라의 해체산업은 국제적 우려를 낳고 있다.

따라서 상대적으로 노후화되고 위험한 해체 시설과 환경에 대해 안전하고 친환경적으로 규제하기 위해 "선박재활용협약(Hong Kong International Convention for Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships, 2009)"이 국제적으로 채택되었다.

본 연구는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA, 이하 LCA)라는 환경 평가기법과 선박재활용협약에 대하여 살펴보고 선박 해체단계에서 LCA를 적용하여 선박해체작업의 전과정을 분석, 문제점을 파악하고 그에 맞는 해결 방법을 도출하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

연구의 범위는 첫째, 선박재활용과 선박재활용협약에 대하여 개요와 현황을 파악한다. 둘째로, LCA의 개요와 국내외 LCA에 대한 현황을 파악한다. 셋째로, 선박재활용에 대하여 LCA를 적용하여 친환경 선박재활용이 이루어지기 위한 방안을 제시한다. 따라서 LCA 도입 필요성에 대하여 기술하고, 각 선박의 전과정에 대한 전과정 물질목록을 작성하고 각 단위공정에 대하여 영향평가를 한다.

LCA에서 목록분석은 전과정 평가의 방법론인 개별적산방식과, 산업연관방식, 조합방식 중 시스템성 평가에 적합한 조합방식을 근거로 하고, 영향평가는 일반적으로 구축되어 있는 LCA 소프트웨어에 국내외 영향평가 방법론을 근거

로 한다. 그 중에서 국내에서 자주 이용되는 영향평가 방법론인 한국형 영향평가 방법론을 적용하니 무생물자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 부영양화, 광산화물형성, 인간독성, 생태독성으로 총 8개의 영향범주에 해당하는 위험범주를 파악한다. 이로써 선박재활용 과정에서 발생하는 위험인자를 제거하고 친환경 선박재활용으로 나아가도록 한다.



## 제 2 장 선박재활용과 선박재활용협약

### 2.1 선박재활용의 개요

일반 대형선박의 경우, 약 28년을 사용하면 수명이 다하여 재활용하게 되며, 세계적으로 여객선, 컨테이너선, 일반화물선 등을 포함하여 매년 약 700여척이 해체되고 있는 실정이다. 선박은 다양한 물질로 구성되어 건조되며 해체 시 유해물질이 배출되어 해양이나 인체에 영향을 줄 수 있다.

우리나라가 이룩한 기록적인 경제의 성장에서 해운을 통한 물류가 큰 역할을 담당하였다는 것은 주지의 사실이다. 하지만 해운업의 발달과 함께 대형화·전문화되어가고 있는 신조선의 건조를 통해 세계 1위의 조선 국가라는 영예를 누리고 있는 그늘에는 노령화로 폐기의 대상이 되는 선박도 아울러 늘어나고 있다는 부수적인 사실과 더불어 이들의 처리에 대한 엄격한 규율이 존재하지 아니함으로 인하여 오염 물질 및 유해 물질의 증가에 따른 환경오염의 우려도 높아지고 있다는 현실에 주목하여야한다.

선박은 고도의 기술과 다양한 물질로 구성된 복합체로서 선박이 건조될 때부터 그 운항 중에 그리고 폐선 시에 오염물질을 배출하여 해양 환경의 오염을 유발할 수 있고 폐선 작업 자체의 위험성으로 인해 작업자가 위험한 환경에 노출될 수 있으며 선박폐기물에 대한 처리가 엄격하지 않으면 환경적인 문제를 야기할 수 있으므로 이에 대한 개선이 매우 필요한 실정이다.

또한 일부 선진국의 산업 폐기물이 처리 비용 등의 이유 때문에 저개발국가로 이전되어 또 다른 환경문제를 불러일으키는 것처럼 노후화된 선박의 폐기도 법적 규제가 비교적 느슨한 저개발 국가에서 이루어지고 있으므로 이에 대한 대비책의 마련은 국제적인 문제로 대두되기에 이르렀고 이에 따른 국제해사기구(IMO)의 선박재활용 협약의 체결은 그 필요성이 큰 만큼이나 당연한 진행 결과라고 할 것이다(최정호 등, 2010).

#### 2.1.1 선박재활용 현황

## (1) 국내 선박해체 현황

국내의 선박 해체업체는 영세한 업자들로 소형조선소의 선대 또는 해체장소를 일시 임대하여 대부분 1,000톤 미만의 선박들을 해체하고 고철과 중고 물품을 판매하며 지정폐기물류는 지정폐기물업자에게 대행 처리를 맡기는 실정이다.

1999년 규제개혁위원회에서 국민에게 불편을 주고 경제활동을 저해하는 등록·승인·신고·자격증 교부 등의 행정규제 사항을 폐지 또는 완화하여 국민의 편익을 도모하고자 「선박안전법」에 규정된 선박해체업의 자격부여에 관한 사항이 삭제되고 누구나 선박해체가 가능토록 법률이 개정되었다. 현행 「해양환경관리법」에서도 선박을 해체하고자 하는 자는 오염물질이 배출되지 않도록 하는 계획서를 해양경찰청장에게 신고하면 누구나 선박해체 작업이 가능하지만 대신 해체시설에 대한 특별한 기준이 없기 때문에 해체작업 중 오염물질 및 유해 물질이 배출될 가능성이 있다.

해양경찰청의 통계에 따르면 국내선박재활용 실적은 2007년 141척 37,065톤 2008년 239척 52,646톤이고 재활용된 선박의 평균 크기가 각각 263톤 220톤으로서 비교적 작은 크기의 선박이 해체되고 있음을 알 수 있다.

그 간 중·대규모 수리 조선소에서는 선박의 해체 사례가 어느 정도 있었으나 조선 산업의 활황으로 인해 대부분의 조선소가 선박의 해체에서 신조선의 건조로 영업방식을 변경함으로 인해 현재는 일부 영세업자나 개인에 의해 선박의 해체가 이루어지고 있다.

<표 2.1>은 2002년부터 2009년 5월까지 약 8년간 우리나라에서 해체된 선박의 지역별·선종별 현황이다.

지역별 해체실적에 의하면 선박해체가 이루어지는 주요 지역은 부산, 군산, 인천 및 목포로 이들 지역이 전체의 약 87%를 차지한다. 이 중 특히 부산에서 전체 폐선박의 43%가 해체되는 것으로 나타났다.

해체된 선박의 종류별 현황에 의하면, 기타선(주로 부산)이 가장 많고 그 다음으로 어선인 것으로 나타났다. 이들 선박은 전체의 해체선박의 97%를 차지하고 있어, 우리나라에서 거의 대부분 기타선(주로 부산)과 어선이 해체되고 있

음을 알 수 있다.

표 2.1 선박 해체 작업 신고 현황(선종별)

(2002~2009.5)

지역	계	유조선 (유조부선 포함)	어선	화물선	기타선 (바지선 등)
계	758	61	289	37	371
구성비	100%	8%	38%	5%	49%
속초	4	-	2	-	2
동해	-	-	-	-	-
포항	17	-	9	2	6
울산	1	-	-	-	1
부산	327	30	103	16	178
통영	28	9	11	-	8
여수	31	10	7	2	12
완도	-	-	-	-	-
목포	77	4	41	10	21
제주	8	-	-	-	8
군산	147	4	50	4	89
태안	6	2	-	-	4
인천	112	2	65	3	42

지역별·선종별 선박해체 실적현황에서, 해체 주요 지역 중 부산과 군산에서는 기타선이 어선의 약 2배가량 많이 해체된 반면, 인천과 목포에서는 어선이 기타선의 1.5~2배 정도 많이 해체되었음을 보여주고 있다.

2002년부터 2009년 5월까지 우리나라의 선박 해체실적을 톤수별로 조사해보면 <표 2.2>와 같이 100톤 이상 1,000톤 미만이 538척으로 전체의 71%를 차지하고, 다음으로는 100톤 미만이 185척 해체되었으며 1,000톤 이상 5,000톤 미만은 35척 해체되었다. 그리고 우리나라에서는 5,000톤 이상의 선박이 해체된 적은 없는 것으로 나타났다.

**표 2.2** 선박 해체 작업 신고 현황(톤수별)

(2002~2009.5)

지역	계	100 미만	100~1,000	1,000~5,000
계	758	185	538	35
구성비	100%	24%	71%	5%
속초	4	-	4	-
동해	-	-	-	-
포항	17	-	15	2
울산	1	-	1	-
부산	327	5	305	17
통영	28	6	21	1
여수	31	12	19	-
완도	-	-	-	-
목포	77	43	32	2
제주	8	-	4	4
군산	147	56	87	4
태안	6	2	4	-
인천	112	61	46	5

(2) 국외 선박해체 현황

현재 선박해체량이 급증하여 1998~2003년 수준에 근접했고 컨테이너 해체량은 34만TEU에 이르고 있다. 특히 세계환경기구의 규제와 권유에 의해 노후 선박에 대한 해체가 촉진될 것으로 보인다.

최근에는 해운시장 불황이 장기화되고 있는 가운데 2009년 8월말까지 해체용 선박 매각이 2003년 이후 최대치를 기록하는 등 유지비 절감을 위한 선박해체가 급증하고 있다. 지난 2009년 8월 한달간 세계 선박시장에서 해체를 위해 매각된 노후선은 모두 62척에 210만DWT(재화중량수)에 달한다. 이 기간에 해체를 위해 매각된 선박의 절반 이상은 세계 최대 선박해체국인 인도에 팔렸으며, 25%는 방글라데시에 매각되었다.

이에 따라 해체를 위해 매각된 노후선박은 모두 590척, 1810만DWT에 달한 것으로 집계됐다. 이는 2008년보다 전체 385척, 1360만DWT보다 선복량(DWT) 기준으로 오히려 31.6% 증가한 수치다.

선종별로는 벌크선이 710만DWT로 가장 해체량이 많았으며 유조선 330만DWT, 컨테이너선 310만DWT, 액화천연가스(LNG) 운반선 60만DWT 등의 순이다.

다른 선복량 단위인 GT(총톤수) 기준으로는 2009년 8월말까지 1360만GT가 해체용으로 매각됐으며 이는 지난 2003년 한 해 동안 1530만GT의 선박이 해체된 이후 6년만에 가장 많은 양이다. 지난해는 해체용 선박 매각이 910만GT에 달했으며 해운시장 호황기였던 2006년과 2007년에는 각각 420만GT와 400만GT가 해체되는 데 그쳤다.

해체용 선박 매각이 증가하면서 해체되는 선박의 연령도 낮아지고 있다. 지난해 해체용으로 매각된 선박의 경우 평균 선령이 30.5년에 달했으나 올해는 유조선 25.3년, 벌크선 30.5년 등 29.0년으로 선박 해체 시기가 1년 6개월가량 앞당겨졌다.

전세계적으로 선박해체 작업은 1980년대까지는 우리나라, 일본, 대만에서 이뤄졌으나, 1990년 이후에는 중국, 인도네시아, 방글라데시에서 주로 해체작업이 이뤄지고 있다. 그 중 방글라데시가 56%로 세계 선박 해체의 절반 이상을 차지하고 있고 인도가 30%로 2위, 중국, 터키, 파키스탄, 기타 국가가 나머지를 이루고 있다. 이러한 해체작업은 해체에 대한 저비용과 재생철의 수요가 가능한 나라에서 이뤄지는 실정이다.

다음의 표는 1997년부터 2010년까지 세계 선박해체량 추이를 보여주고 있다.

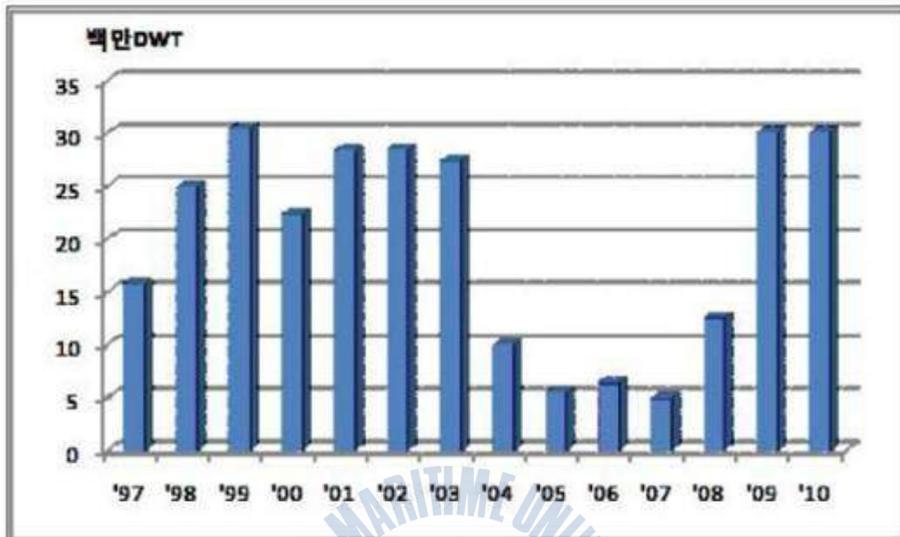


그림 2.1 세계 선박해체량 추이

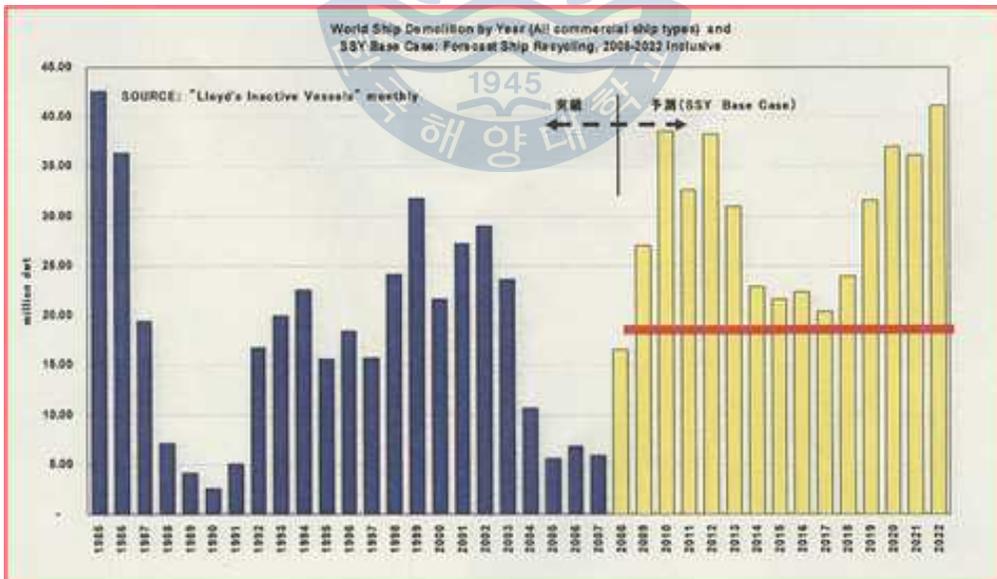


그림 2.2 연간 세계선박해체량과 선박재활용 예상(SSY Base Case)

## 1) 중국

중국은 장강(長江) 삼각주와 주강(珠江) 삼각주 지역에 해상해체(Afloat) 방식으로 해체사업을 하고 있는 업체가 중국해체협회에 등록을 하고 있지만, 실제로 해체작업을 하고 있는 업체는 11개 업체에 불과하다.

2005년에는 자국내에서 규칙을 공포하고 관리되고 있으며, 일부 작업장에서 유럽의 해운기업을 실질적으로 보유하고 있는 작업장도 있다. 하지만, 방글라데시의 선박판매가격에 대한 대응은 나오지 않고 조약의 발효에 의욕적인 자세를 보이고 있다.

## 2) 인도

인도 아란 지역에 비칭(Beaching)방식으로 해체를 하는 173개의 작업장이 있지만, 현재는 20개 작업장만이 해체작업을 하고 있다. 비칭방식에 있어서 관리강화로 사망률이 낮아지고 있으며, 일부에서는 ISO 14001 등급을 취득하고 있다. 2007년 대법원 명령으로 한층 강화될 전망이다.

## 3) 방글라데시

현재 전세계 선박해체작업의 절반 이상이 방글라데시에서 이루어지고 있다. 이 방글라데시의 타공(Chittagong) 교외에는 비칭(Beaching)방식의 작업장이 20개 정도 가동 중에 있으며, 사망사고가 계속해서 발생하고 있다. 선박해체를 통해 발생하는 폐유도 그대로 투기되는 실정이며, 방글라데시 자국내 철수요의 90%가 폐선으로부터 공급되고 있다.

## 4) 일본

제2차 세계 대전 이후 대규모의 선박재활용 시장이 존재했으나, 일본 내의 비용이 상승함으로 인해 채산성이 맞지 않게 되어 대형 선박의 해체는 쇠퇴했다.

함정, 바지선, 심폐선 등을 해외로 전매하기 어려운 선박이 선박재활용 협약에 적용되는 주요 선박이 되며, 대형 선박의 재활용 대응시설 및 능력이 한정적이므로, 폐기물의 처리 등은 외부로 위탁하는 방안이 강구되고 있다.

일본 자국내 관련 업무에 종사하고 있는 업체는 23개 업체 정도이다.

지금까지 살펴본 선박해체작업의 단위공정에는 다음과 같은 문제점이 있으며 이를 체크리스트로 데이터화하도록 한다.

### ① 작업상의 안전 조치 및 장비 부족

국내·외 선박 재활용 작업자는 안전을 위한 장비 보유 수준이 매우 낮다. 또한 안전교육에 있어서도 안전교육 매뉴얼 등을 통해서 체계적인 안전교육이 이루어지지 못하고 있다. 따라서 안전 장비의 확보, 응급 대비, 노동자 안전교육 프로그램 실시 등을 위한 조치가 시급하다.

### ② 작업상의 환경보호 조치 및 장비 부족

환경오염이 자주 발생하고 있지만 이를 보호하고 조치하기 위한 장비가 턱없이 부족한 실정이다.

### ③ 선박재활용 사업에 대한 체계적 관리 미흡

IMO의 선박재활용 협약, 규칙 및 지침서가 규정하는 당사국의 의무를 이행하기 위하여 관련 법률 및 고시 등의 법·제도의 정비를 실시하여야 한다. 즉, 관련 법·제도의 제정 또는 개정을 통한 제도개선을 통해 IMO의 선박재활용협약, 규칙 및 지침서가 요구하는 선박재활용 사업에 있어서의 안전 및 환경보호 목적을 추구해야 한다.

## 2.2 선박재활용협약의 개요

바다를 중심으로 국가 제가 고도로 성장하고 있는 우리나라는 이에 힘을 입어 조선 산업도 고속발전하고 있다. 신조선의 진수가 늘어나는 반면에 노후화

된 선박의 폐선도 증가하고 있으며 폐선시 선박 내 구성 물질 중 일부 유해물질과 오염물질들이 배출되어 해양환경을 오염시키고 폐선 작업에 종사하는 작업자들의 건강에 위해를 끼치고 있다.

선박은 건조단계에서부터 많은 오염물질과 유해물질이 선박내에 포함되게 된다. 또한 운행 중 적재되는 많은 화물 중에도 유해물질과 오염물질이 포함될 수가 있다. 이렇게 선박 내에 포함된 유해물질과 오염물질은 선박이 수명을 다해 재활용되거나 해체되는 과정에서 외부로 유출되어 여러 문제를 발생시키게 된다. 더불어 폐선작업 자체의 위험성으로부터 작업자의 유해하고 위험한 환경에의 노출 등 해양환경 작업안전적인 문제를 안고 있어서 이의 개선이 매우 필요한 실정이다.

선박 해체과정에서 유출되는 유해 폐기물 문제에 대한 시급한 조치의 필요성이 강조되면서 국제사회에서는 선박의 해체나, 선박으로부터 발생하는 유해 물질의 관리를 위한 국제협약의 필요성이 제기되었다.

이에 IMO는 2002년 MEPC 제47차 회의에서 IMO의 역할을 규정한 선박 재활용에 관한 지침(안)을 마련하였고, 2003년 제23차 IMO총회에서 최종안(IMO Guidelines on Ship Recycling)을 채택하였다.(Res. A.962(23)2) 2005년 IMO의 제53차 MEPC 회의에서 선박재활용에 관해 법적 구속력을 가진 새로운 협약 개발의 필요성이 제기되었다. 제53차 MEPC 회의에서 회원국은 최종적으로 2008년이나 2009년을 목표로 선박재활용에 관한 강제 법안을 마련하는 것으로 동의하고, 2005년 11월에 IMO 총회(Assembly)는 MEPC에서 선박재활용 강제화 협약을 개발하는 것에 동의하였다.(The Assembly resolution A.981(24))

그리고 마침내 2009년 5월 HONG KONG INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE SAFE AND ENVIRONMENTALLY SOUND RECYCLING OF SHIPS, 2009(안전하고 친환경적인 선박재활용을 위한 홍콩 국제협약, 2009)가 채택되었다.

이 협약은 선박재활용에 대한 IMO의 규제강화는 선박 해체로 인한 오염 및 유해 물질의 피해를 최소화하고자 하는 것으로 세계 해상운송 특성과 운항수명이 만료된 선박의 원활한 회수를 보장하는 것이 주요 목적이다. 구체적으로 선박의 건조 및 운항 시 선박의 안전과 운항효율을 감소시키지 않고 선박에 탑재

된 유해물질을 무해한 물질로 대체하고자 함이고, 선박재활용시설에서 선박의 해체작업 환경 및 시설에 관한 엄격한 기준과 절차를 제공함으로써 환경오염을 방지하고 작업자의 안전 및 건강을 확보함이다.

2009년 5월 홍콩에서 채택된 선박재활용협약은 채택 전·후로 다양한 기관에 많은 논의가 되어오고 있다. 이러한 선박재활용협약에 관하여 이미 국제기구별로 채택된 선박해체에 관한 지침들의 통합 및 간소화를 위하여 제2차 선박재활용에 관한 공동작업반 회의가 개최되어 그 결과를 중심으로 선박재활용에 대한 국제 동향을 파악하고 있다. 또한 선박해체에 관한 전 세계적 관심이 고조됨에 따라, 국제기구 등에서 환경친화적 선박재활용 지침을 국제법으로 강제화하려는 움직임이 주목되고 있다.

선박재활용인증에 관하여 ISO/TC 8(선박 및 해양기술) ISO 30000이 제정되어 선박재활용 경영시스템 시리즈로 독립된 제3자 인증용으로 사용되고 있다. 독립인증은 환경보호와 작업자들의 보건과 안전에 대한 관심과도 밀접한 관련이 있다. 독립인증을 받음으로써 설비와 관련 작업자, 환경론자, 선박주, 정부, 규제기관에게 신뢰감을 제공해 줄 수 있기 때문이다. 선박재활용자들을 검사하고 인증하는 인증업체에게 최고의 기준을 제공해주어야 한다는 요구에 따라 ISO 30003도 제정되었다.

### 2.2.1 선박재활용협약에 따른 선박재활용의 전과정

홍콩협약에서 규정하고 있는 선박재활용의 전과정을 살펴보면, 선박은 건조 단계에서부터 해체단계까지 선박의 일생동안 축적된 유해물질을 추적하여 규제하고 감시하기 때문에 기자재 생산, 선박건조, 선박운항, 선박해체 등 다음과 같은 전과정이 협약의 적용 대상이 된다.

- (1) 신조선의 선주는 조선소와 기자재 업체와 협조 하에 부속서 1과 2에 유해물질(석면, 오존파괴 물질 등)의 양과 위치를 기록한 유해물질 목록(Part I)을 작성하여 최초검사(Initial survey)를 받는다. 현조선의 경우에는 협약 발효 후 5년 내에 유해 목록을 작성하여 최초검사를 받으며, 만약 협약발효

5년 이내에 재활용시설로 가는 경우에는 이 기간 내에 유해물질 목록을 작성한다.

- (2) 유해물질 목록이 제시되면 정부 책임기관 또는 검사 대행기관에서는 최초 검사를 실시하여, 협약에 잘 따르고 있는지 검증한 후, 유해물질 국제협약 증서(International Certificate on Inventory of Hazardous Materials)를 발급한다.
- (3) 선박에서는(선주) 운항 중 유해물질 목록(Part I)을 지속적으로 관리하여야 한다. 또한 운항 중에 발생된 폐기물 Part II(Generated wastes)과 저장물질 Part III(Stores)의 유해물질 목록도 작성·유지한다.
- (4) 정부 책임기관 또는 검사 대행기관에서는 5년 기간을 넘지 않는 범위 내에서 해당 선박의 유해물질 목록(Part I)이 협약을 잘 준수하고 있는지 정기 검사(Renewal survey)를 받고 증서를 갱신한다.
- (5) 이에 추가하여 선박은 선박의 구조, 장비, 시스템, 부착물, 배치, 물질 등의 교환, 교체 또는 수리 등이 발생한 경우 추가검사(Additional survey)를 받는다.
- (6) 선박이 운송서비스를 중단하기 전이나 선박해체를 시작하기 전에는 정부 책임기관 또는 검사 대행기관으로부터 최종검사(Final survey)를 받는다.
- (7) 최종검사를 받기 전, 선주는 재활용 시설사업자와 공동으로 재활용계획서(Ship recycling plan)를 작성한다.
- (8) 정부 책임기관 또는 검사 대행기관에서는 선박의 상태가 증서의 사항을 이행하는지, 유해물질 목록 Part I의 적절한 유지, 개선되는지에 대해 확인·검사한 후 국제재활용준비증서(International Ready for Recycling Certificate)를 발급한다.

- (9) 정부 책임기관 또는 대행기관에서는 재활용을 진행하는 동안 협약의 이행 여부를 확인 및 시설에 대해 관리, 감독한다.
- (10) 재활용작업이 완료되면 재활용 시설사업자는 정부책임기관 또는 대행기관에 재활용완료보고서를 제출한다.

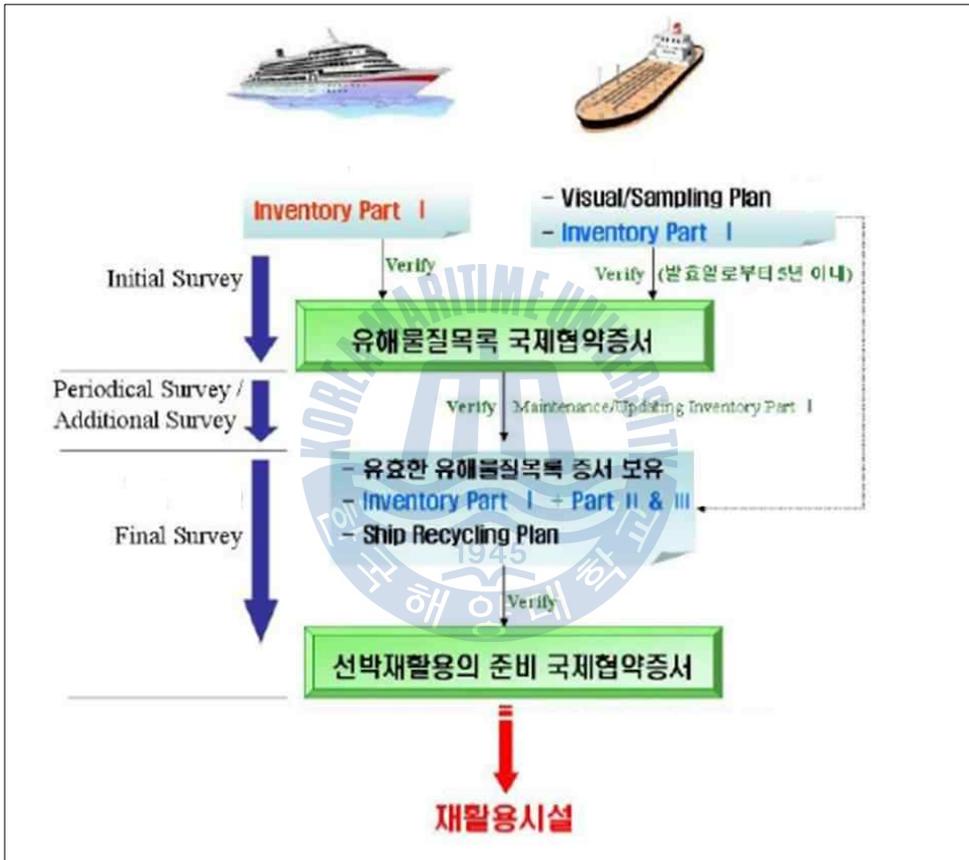


그림 2.3 선박재활용 전과정

## 제 3 장 전과정 평가(Life Cycle Assessment : LCA)

### 3.1 LCA의 개요

#### 3.1.1 LCA의 개념

LCA란 제품 또는 서비스에 대하여, 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 평가하여 환경 개선 등에 대한 의사결정을 지원하는 과학적이고 객관적인 근거를 주는 수법이다. 이 기법의 대상으로는 단순한 제품에서 복잡한 시스템에 이르기까지 목적에 따라 자유롭게 설정할 수 있으며, 환경에 대한 영향으로는 국지적인 환경오염물의 배출뿐만 아니라 자원, 에너지의 소비 또는 인간의 건강, 생태학적 영향까지 포함된다. 이 기법의 목적은 인간 활동의 다양한 국면에서 환경부하를 저감하는 방향으로 의사결정을 하기 위한 판단재료를 제공하는데 있으며, 이러한 측면에서의 평가방법이 지역환경문제와 동시에 지구환경문제를 억제하는데 있어 유효하다.

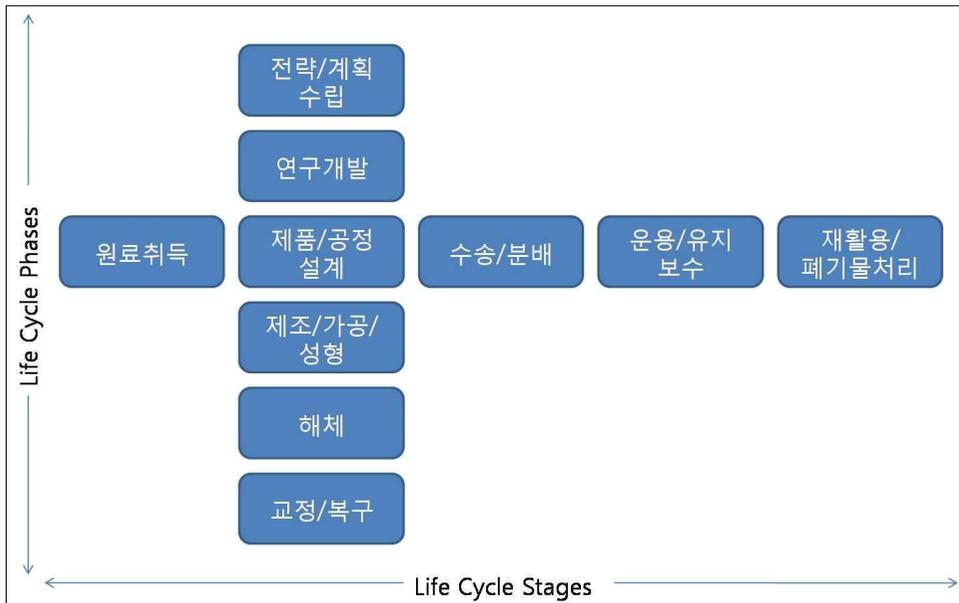


그림 3.1 전과정의 개념

LCA에 대한 구체적인 내용은 1996년 환경독성학 및 화학협회(SETAC: Ther Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서 제시된 LCA의 골격을 기초로 한 다음의 ISO 규격으로 제시되어 있다.



그림 3.2 환경경영과 관련한 ISO 규격

### 3.1.2 LCA의 방법론

LCA는 그림과 같이 목적 및 범위설정(Goal and Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 전과정 결과해석(Life Cycle Interpretation)의 단계를 포함한다.

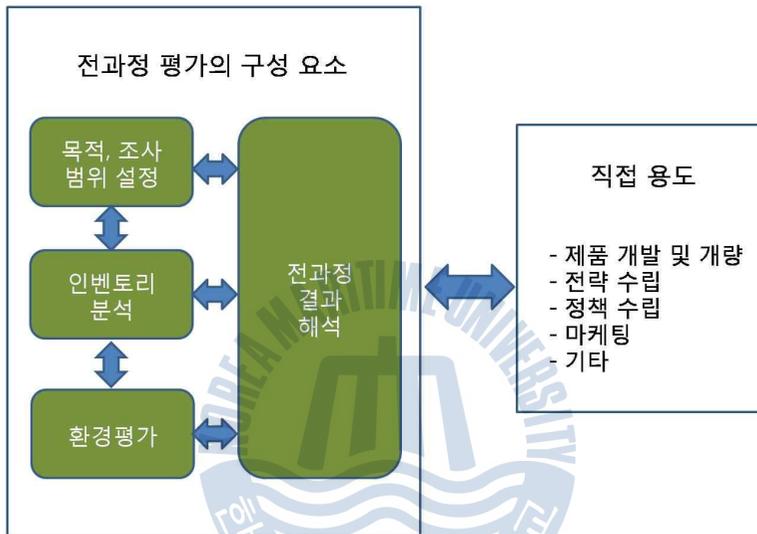


그림 3.3 LCA의 구성 및 목적

#### (1) 1단계 : 목적과 범위의 설정(Goal and Scope Definition)

목적 및 범위 설정 단계에서는 연구의 목적, 범위, 기능단위(functional unit) 등을 정하는데, 연구의 범위 및 정도를 정의한다. LCA는 사용목적에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과가 다르기 때문에 우선 LCA를 어떠한 목적으로 사용할 것인가를 명확히 해야 한다. LCA의 목적과 범위설정에 필요한 사항은 다음과 같다.

표 3.1 LCA의 목적과 범위

LCA의 목적	LCA 실시 이유
	보고대상자
	LCA 결과의 응용
LCA의 범위	LCA 대상이 되는 제품이나 서비스(시스템)의 명확한 정의
	제품명, 기능 및 기능단위(functional unit), 경계(전과정 평가 분석범위) 등
	필요한 데이터의 범위, 질(Data Quality)
	전제조건, 제약사항
	고려할 환경영향평가항목의 설정과 그 평가방법
	할당(Allocation) 방법
	제품과 부산물, 또는 재활용에 대한 환경부하의 배분 방법 등

(2) 2단계 : 목록분석(Inventory Analysis)

목록분석 단계는 상품, 포장, 공정, 물질, 원료 및 활동에 의해 발생하는 에너지 및 천연원료 요구량, 대기오염물질, 수질오염물질, 고형폐기물 배출량 등의 환경 오염부하량 등에 대한 기술적, 통계적 자료구축과정이다. 제품이나 시스템의 파급 효과를 포함한 에너지 소비량과 환경부하에 대한 자료수집의 방법론은 크게 개별적산방식(Process Analysis)과 산업연관방식(Input-output Analysis), 그리고 이 두 가지를 조합한 조합방식의 세 가지로 구분할 수 있다.

### 1) 개별적산방식(Process Analysis)

이 방식은 제품과 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 제조공정·소재 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 폐기되는지를 제품마다 구체적으로 조사해나가는 방법이다. 이 방식은 주로 제품의 LCA에 이용되며, 이를 위해 해외에서는 원단위(原單位) 정보 등의 축적이 진행되고 있다. 이 방식은 SETAC과 미국환경보호청(U.S.EPA)에 의해 집중적으로 발전되었다. 이와 같은 개별적산방식의 장점은 필요에 따라 상세한 부문구분이 가능하기 때문에, 환경부하의 실체와 원인이 명확히 하고, 각 제품의 제조, 유통, 소비에 따른 환경부하대책의 정량적 검토와 평가가 가능하다는 것이다. 하지만 이 방식을 이용한 LCA의 수행은 다음과 같은 몇 가지의 단점이 있다. 즉, 개별적산방식으로는 검토할 수 있는 프로세스에 한계가 있고, 프로세스 모두를 망라할 수 없으며, LCA를 수행하기 위한 포괄적인 데이터가 부족하다. 또한 데이터의 신뢰성이 문제시 될 수 있으며, 사회의 복잡한 산업구조로부터 생산되고 있는 각종 소재와 부품의 원단위의 계산이 어렵고 복잡하다.

### 2) 산업연관방식(Input-output Analysis)

산업연관표는 국민경제에 있어서 통산 1년간에 이루어진 재화나 서비스의 산업상호간의 거래를 행렬로 나타낸 것으로, 투입·산출표(input-output tables)라고도 한다. 산업연관방식은 405개 부문의 산업가운데, 대상이 되는 산업부문의 생산품에 따라 에너지 소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식이다. 구체적으로는 각 산업의 최종 수요액으로부터 역행렬표 등을 이용하여, 궁극적으로 발생하는 생산액을 구하여 에너지소비량과 환경부하량 등을 구하는 매크로적인 방식이다. 이 방식의 장점은 생산 활동 등에 따라 직접적인 에너지소비량 및 환경부하량과 함께 간접적으로 소비되는 에너지 및 배출되는 환경부하량을 빠짐없이 집계할 수 있기 때문에, 환경부하를 종합적으로 파악할 수 있다. 또한 집계결과가 객관적이라는 점 때문에 개별적산방식의 결점을 보완할 수 있다. 또한 이 방식은 매우 복잡한 제조공정에 대해 산업연관표를 이용하여 합리적인 분석을 수행할 수 있다는 등의 여러 장점을 갖고 있다. 하지만 이 방식은 산업연관표 작성시 산업구조와 생산 활동이 단순화·평균화되어 있기 때문에 각각

의 제품과 기술 분석에는 불충분한 점이 있다. 또한 신기술과 재활용 등의 산업연관표에 나타나 있지 않은 항목은 분석할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

### 3) 조합방식

조합방식은 개별적산방식으로 구분한 대상에 산업연관표 등으로부터 별도로 구한 에너지 원단위, CO<sub>2</sub> 배출원단위 등을 이용하는 방식이다. 특히, 건축물의 에너지, 물질대사구조와 같이 다양한 제품이 조합되거나 시스템성이 있는 대상에 효과적으로 이용할 수 있다. 이 방식의 장점은 상세한 부문구분이 가능하며, 포괄적이라는 것이다. 반면 단점은 앞서 기술한 개별적산방식과 마찬가지로 선정한 프로세스의 목록이 특정 조건하의 값이기 때문에, 객관성이 결핍될 수 있다. 또한, 설계 자료와 견적서 등으로부터 소재를 정확하게 추출해야 하므로, 작업량이 방대해진다는 단점이 있다.

### (3) 3단계 : 영향평가(Impact Assessment)

영향평가단계는 목록에서 제시된 항목에 가중치를 제시하는 과정이다. 일반적으로 이 단계는 특정한 잠재적인 환경영향들과 목록 데이터를 연결하고, 이들의 영향들을 이해하는 것을 포함한다. 아직 특정한 잠재적인 환경영향들과 목록 데이터를 일관되고 정확하게 연결시킬 수 있는 방법론들이 개발되지 못한 상황이다. 일반적인 영향평가 단계는 다음과 같다.

- 1) 영향범주에 따른 목록 데이터의 분류(classification)
- 2) 영향범주들 내에서 목록 데이터의 특성화(characterization)
- 3) 영향범주의 정규화(normalization)
- 4) 결과들의 종합적 가중치 부여(weighting)

이 단계에서 고려하는 평가범위로는 지구환경문제를 중심으로 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

표 3.2 평가범위

자원/에너지 소비량	지구온난화	오존층의 고갈
산성비	대기/수질오염	위해폐기물
해양오염	삼림 파괴	사막화
야생생물의 감소	인간의 건강 위해	토지이용

(4) 4단계 : 결과의 해석(Interpretation)

영향평가까지 마친 LCA 결과는 의뢰자에게 결론과 조언의 형태로 전달된다. 이 단계를 전과정 결과해석이라고 한다. 전과정 결과해석은 신뢰성을 주기 위해 설계된 정보가 의사결정자에게 원활히 전달되도록 연결시켜 주는 단계이다. 그러므로 결과해석 단계의 적용에 있어서, 그 이전의 단계로 다시 돌아가는 반복적인 절차의 수행도 중요하지만, 품질기능전개(Quality Function Deployment ; QFD)나 전과정 비용평가(Life Cycle Cost ; LCC)와 같이 해석의 결과를 이용하는 방향으로 나아가는 것도 매우 중요하다. LCA에 대한 구체적인 내용은 1996년 환경독성학 및 화학협회(SETAC : The Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서 제시된 LCA의 골격을 기초로 한 다음의 ISO 규격으로 제시되어 있다.

ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment  
- Principles and framework(1997)

ISO/DIS 14041 Environmental management - Life cycle assessment  
- Goals and scope definition and inventory analysis(1997)

ISO/CD 14042 Environmental management - Life cycle assessment  
- Life cycle impact assessment(1997)

ISO 14043 Environmental management - Life cycle assessment

(5) 5단계 : 보고(Reporting)

1단계에서 4단계까지의 순서에 따라 얻어진 LCA 조사결과는 보고서의 형식으로 정리되어 보고대상자에게 제시되어야 한다.

(6) 6단계 : 검토(Critical review)

검토는 ISO규정에 따르고 있는지, 과학적 근거가 있는지 또한, 적용한 방법과 데이터가 목적에 대해 적절하며 합리적인지를 보증하는 것으로, 그 범위 내에서 LCA 결과의 정당성을 간접적으로 보증하는 것이라 할 수 있다.

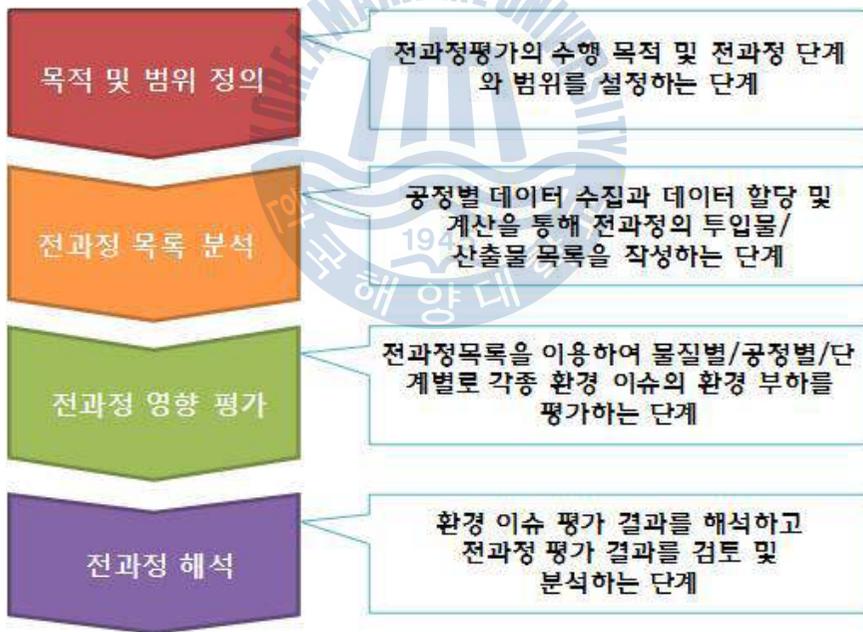


그림 3.4 LCA의 주요 단계

3.1.3 LCA의 특징

LCA의 주요 특징은 아래와 같다. 이와 같이 LCA 연구를 통하여 제품의 전 과정을 고려함으로써 이전에 발견하지 못했던 문제점을 도출할 수 있다. 그리고 자원 및 에너지 고갈, 산성화, 지구온난화(온실가스 배출) 등 다양한 환경 영향들에 대한 종합 분석을 통하여 대안을 비교하고 최적안을 선택할 수 있다.

첫째, LCA의 대상은 제품, 서비스 정책 등 환경과 관련된 매우 광범위한 인간행위를 대상으로 한다. 본래 LCA는 제품의 환경성을 평가하려는 관리도구로 시작하였으나 향후 서비스나 정책을 평가하는 도구로 확장될 가능성이 많다.

둘째, 특정한 과정에 편중되지 않고, 전과정을 대상으로 평가를 실시한다. 환경문제를 해결하는데 있어서 기존에 진행되었던 매체별 접근방식은 많은 한계를 가지고 있다. 예를 들어 폐기물 문제를 해결하기 위해 소각장을 건설한다고 하자. 만약 대기오염정화시설에 신경을 쓰지 못하였다면 이는 폐기물 문제를 대기오염문제로 전환시킨 셈이 된다. 그러므로 본질적으로 환경문제를 해결하고자 하는 사람에게는 LCA와 같이 통합적으로 문제를 파악하고자 하는 노력이 필요하다.

셋째, LCA는 환경부하를 객관적으로 정량화하려고 한다. 물론 정량화하는데 있어 한계가 노출되고 있기 때문에 정성적인 평가가 덧붙여지기는 한다. 하지만 본질적으로 LCA는 환경부하의 정량화를 목표로 한다.

넷째, 환경오염에 대한 사후 처리(end of pipe)에서 사전예방(front of pipe)으로 전환한다는 것이다.

다섯째, LCA의 목적은 환경개선 방안의 도출이다.



그림 3.5 환경문제에 대한 사후관리와 사전관리의 비교

### 3.2 국내·외 LCA 연구 현황

LCA 기법을 활용하여 제품의 전과정 동안의 환경성을 평가하기 위해서는 제품시스템의 전과정에 관련된 투입물과 배출물들에 대한 데이터를 수집하고 이들을 정량화해야 하므로 막대한 시간과 비용이 소요된다. 따라서 주요 모듈에 대해서 공통으로 사용할 수 있는 전과정 목록 데이터베이스는 LCA 수행시에 반영되는 시간과 비용의 비효율성을 해결해 줄 수 있는 대안이라 할 수 있다. 즉 원료채취와 원료가공, 에너지, 중간물질, 수송, 재활용, 소각, 매립 등의 주요 모듈에 대하여 전과정 단계별로 공공의 전과정 목록 데이터베이스를 구축하고 이들을 활용하여 제품에 대한 환경성 평가를 수행함으로써 시간과 비용을 현저하게 줄일 수 있다. 이러한 이유로 미국 및 유럽에서는 전과정 목록 데이

터베이스의 개발에 노력을 기울인 결과 BUWAL250, IDEMAT, ETH, APME, SimaPro 등과 같은 데이터베이스들이 개발되어 사용되고 있다. 이에 한국과 일본에서도 1998년부터 국가 평균 전과정 목록 데이터베이스를 구축하고 있다.

### 3.2.1 국내 LCA 연구 현황

우리나라에서는 1993년 경실련 환경개발센터가 유리병 재활용 활성화 방안에 관한 연구를 발표함으로써 처음으로 LCA가 소개되었다. 그 이후로 서울대학교와 한국과학기술원을 중심으로 논문이 발표되었으며 공업진흥청, 상공회의소, 환경과학연구협회의 후원 하에 LCA에 관한 연구가 진행되었다. 국내의 LCA 연구는 아직 미흡한 단계이긴 하나 최근 들어 관심을 보이는 단체가 하나 둘씩 늘어나고 있다. 환경마크협회는 LCA를 환경마크 부여기준으로 책정하고 세탁기와 에어컨을 포함한 대상제품에 대한 LCA를 실시할 계획이다. 한국품질환경인증협회도 LCA 관련 정보를 수집, 보급하고 교육프로그램을 개발하기 위하여 1996년 9월 LCA센터를 건립하였다.

1998년부터 산업자원부와 환경부의 지원 하에 전과정 목록 데이터베이스를 개발하는 연구를 수행하고 있다. 산업자원부에서 지원하는 연구사업의 목표는 물질 및 에너지, 공정, 수송, 폐기 등에 대한 국가 평균 전과정 목록 데이터베이스의 구축과 이들을 환경친화적인 설계에 효과적으로 활용할 수 있도록 하기 위하여 각 모듈에 대하여 LCA를 수행하여 환경지수(Eco-indicator)를 개발하는 것이다. 한편 유해화학물질 배출량 공개제도를 실시하여 유해화학물질을 이용하는 모든 사업장은 배출량을 공개 보고하도록 되어 있으며, 유해화학물질에 대한 배출 목록을 공개하여 물질에 대한 유독성 정보와 관리법을 소개하고 있다. 또한 제품의 친환경성을 제3자 검증을 통해 인증하는 Type III 인증으로 환경부에서 2005년부터 운영한 환경성적표지제도에 이어 2009년 탄소성적표지제도를 도입하여 현재 100여개 이상의 제품 및 서비스가 등록되어 있다.

현재까지 국내에서는 산업자원부와 환경부 및 대학 및 컨설팅 업체들이 많은 노력과 비용을 투자하여 약 200여개의 모듈에 의한 데이터베이스가 개발되었

다. 그러나 아직 외국의 데이터베이스의 현황과 비교해 보면 아직 많이 부족한 실정이다. 앞으로 우리나라의 LCA를 통한 환경성 평가 수준이 세계적으로 경쟁력을 갖기 위해서는 전과정 목록 데이터베이스의 지속적인 추가보완 및 수정 작업이 필요하다.

### 3.2.2 국외 LCA 연구 현황

선진국에서는 LCA를 친환경제품개발 및 환경비용절감에 활용하고 있다. 대표적으로 미국의 3M, 휴렛팩커드, IBM, XEROX사, 유럽의 PHILIPS, SEMENS, 일본의 도시바, 일본IBM, 마쯔시다, 히다찌 등을 들 수 있다. 미국의 3M에서는 LCA 모델을 개발하여 제품의 환경영향평가, 비용적합성 평가에 사용하고 있다. 휴렛팩커드사에서는 LCA를 통해 제품을 회수하여 연간 2천만 불의 절감효과를 거둔 바 있다. IBM사에서도 전과정 평가를 통한 환경부하 조정을 통해 환경성 극대화를 꾀하고 있다. XEROX사는 LCA 적용을 통해 회수, 재활용, 재사용을 실시하여 연간 1억 달러 정도를 절감하였다.

선박 LCA에 대한 대표적인 연구개발 사례는 다음과 같다.

#### (1) 노르웨이의 LCA-SHIP 프로젝트

노르웨이의 해상운송 관련 대학 및 회사들이 컨소시엄을 구성하여 1999년부터 2000년까지 "LCA-SHIP ; Environmental Management in a Life Cycle Perspective"라는 프로젝트를 수행하였다. 이 프로젝트에서는 해상운송시스템의 환경적 위해도 평가를 통해, 환경적 측면에서 운송수단들을 평가하고, 이를 통해 최적의 운송수단을 제시하고자 하는 기초연구를 위해 수행되었다.

이 프로젝트에서는 선박의 전과정에서 환경위해물질의 배출과 관련된 선박의 수명주기를 정의하였고, 해상운송시스템의 LCA를 통해 운송수단의 비교평가를 수행하였다.

#### (2) EU의 TEES 프로젝트[6]

TEES(The Energy Efficient Ship)는 선박의 개발 초기단계에서 환경적 측면을 고려하고 관련 설계도구의 개발을 목적으로 한 EU의 프로젝트로서 덴마크의 Hauschidt Marine사의 주도하에 영국의 Armstrong Technology, 네덜란드의 NEA Transport and Trading, 노르웨이의 SINTEF등이 참여하였다. TEES 프로젝트의 산업적 측면에서의 목적은 어선 및 내항선을 에너지 측면에서 효율적으로 설계하기 위한 새로운 설계 도구를 개발함으로써, 유럽 조선소들의 경쟁력을 유지하기 위함이다. 또한 경제적 측면으로는 이러한 선박들의 라이프 사이클 전과정에서 에너지 효율성을 개선하고자 하는 것이 목적이다. 프로젝트의 결과로 다음의 내용을 포함하는 Vessel Design Tool Package라는 소프트웨어를 개발하여 환경설계를 위한 도구로 활용하고 있다.

- DFE(Design for Environment) tool
- Environmental & Energy Database
- Design Features & Functions tool
- Cost-Income Features tool

이 Vessel Design Tool Package는 초기에 원양어선, 고속 웨리선 및 컨테이너선에 대해 개발되었으며, 점차적으로 다양한 종류의 선박에 대한 모델을 개발하여 적용 예정이다.

### (3) EU의 TRESHIP 프로젝트[7]

유럽에서는 해운분야에 있어서 강화되고 있는 IMO의 환경관련 규제 등에 대응하기 위하여 유럽의 14개국 40여 기관(보험회사, 선급, 해운사, 대학, 연구소)이 참여한 "Technologies For Reduced Environmental Impact From Ships"(이하 TRESHIP)프로젝트를 1999년부터 2002년까지 수행하였다. TRESHIP 프로젝트에서 LCA는 환경 전반적 관점에서의 기술통합을 검토하는 "Integration of technologies-processes & analyses" 영역에서 법규 및 규정, 환경친화선의 설계 방법론, 위험분석 기법 등과 함께 고려되었다. TRESHIP에서는 LCA의 기술적 프레임워크, 영향요소의 범위 파악, 주요영향 요소에 대한 프로세스 파악, Ship LCA 연구현황, LCA 방법론, 도구 및 데이터

베이스 등에 검토가 이루어졌으며, LCA 기술을 선박에 적용하기 위한 연구개발 방향 및 세부적인 개발항목들을 도출하고 EU FP6(2002~2006)의 계획에 반영하여 추진할 것을 제안하였다.

대표적인 과제는 다음과 같다.

- System Boundaries
- Functional Units,
- Model and Data for Inventory Analysis
- Impact Assessment and Performance Evaluation
- Accident and Risk
- Life Cycle Costs
- Life Cycle Assessment S/W tool
- Data Base
- Life Cycle Inventory

#### (4) 일본의 선박 LCA 연구

일본은 통상산업청(MITI)의 주관하에 1998년부터 2002년까지 총 8억5천만 엔을 투입한 "National LCA Project"를 추진하였다. 이 프로젝트는 일본의 산업 환경을 위한 LCA 방법론의 개발, LCA 공공데이터베이스의 구축 및 운영시스템의 개발을 주요 내용으로 하고 있으며, 이를 통하여

- 환경제품 디자인
- 환경생산공정건설
- 마케팅
- 환경라벨링 인증
- 환경경영
- 그린구매
- 교토의정서 대응
- LCA 보급가속화
- 환경교육자료 확대
- LCA 전문가 양성

등을 목적으로 하고 있다.

선박 분야에 대한 LCA 연구는 해상기술안전연구소를 중심으로 수행되었으며 이 프로젝트는 선박의 건조, 운항, 해체 및 리사이클의 수명주기에 걸친 환경부하 또는 환경 영향을 정량적으로 평가하는 수법을 개발하기 위한 것으로, 이를 통해 선박의 건조, 운항, 폐기 처리 및 리사이클에 이르는 선박의 수명주기 전반에 걸친 환경부담을 정기적으로 파악하는 전과정 평가 수법을 확립하고자 하는 것이다. "선박의 LCA"에 관한 1단계(1998~2000)연구에서는 선박의 라이프 사이클 전반에 관해 LCA의 적용을 위한 가이드라인의 작성, 목록 분석 수법의 확립(에너지 소비량, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 배출 등), 유해물질 등의 배출물 및 폐기물의 명확화에 관련 연구를 수행하였으며, 2단계(2001~2003)연구에서는 모델선(76K Bulk Carrier)을 대상으로 건조 프로세스 및 운항 프로세스의 상세조사를 통하여 다양한 Life Cycle과 여러 가지 배출 형태를 가지는 선박에의 LCA 적용을 위한 guideline 및 지원 프로그램을 작성하는 것을 목적으로 하였다. 건조공정조사에는 76K Bulk Carrier를 대상으로 선박 한 척의 건조에 필요한 소재와 부품의 사용량, 수송량, 조선소에서의 에너지소비량, 소재가공과 조립 등 작업량에 대한 구체적인 조사를 수행하였다. 그리고 조사결과에 기초하여 정도 높은 입출력 프로세스 데이터를 정비하고 건조단계에서의 inventory 분석을 수행한 결과 건조에 수반되는 CO<sub>2</sub> 배출량이 약 15000톤에 이르는 것을 밝혔다. 운항단계에 대해서는 항해기록에 기초하여 탱커, LNG선, Bulk Carrier, 컨테이너선, 자동차운반선 등 6개 선종 총 8척에 대한 운항실적을 조사 분석하여 평균적인 항해거리, 속력, 화물 적재율 및 기관의 부하율등 운항조건을 파악하였다. 또 조사결과를 기초로 운항단계에 대한 Inventory를 분석하여 VLCC 탱커의 단위 수송량 당 CO<sub>2</sub> 배출량이 6g-CO<sub>2</sub>/ton-mile임을 파악하는 등 각 선종에 대한 평균적인 Inventory 데이터를 얻었다. 또한 선박 LCA를 위한 소프트웨어를 개발하여 프로세스데이터 및 Inventory 데이터를 취득하고 선박용 Inventory 분석과 환경영향평가기능을 정비하였다. 또한 해석 S/W의 실용화 및 고도화를 목적으로 현장작업분류에 대응하는 입출력 format의 작성과 민감도 해석기능을 정비하였다.

한편, 산업연관표를 이용한 LCA 해석으로는 환경부하 원단위 데이터북을 이용하여 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, SPM의 배출에 관한 LCI 분석지원 S/W를 개발하

였다. 그리고 금액 base의 선박건조부문에 관한 산업연관표에 의한 분석결과를 물량 base의 적산법과 분석하여 타당성 있는 결과를 얻었다. 아울러, 선박 LCA의 구체적인 용도로 "Green Ship"에의 접근방법을 제안하고 지구환경보전을 위한 구체적인 목표를 설정하였다.



## 제 4 장 선박재활용에 대한 LCA 적용

### 4.1 선박재활용에 대한 LCA 적용의 필요성

LCA를 통하여 전과정 목록 연산 이후 영향 평가 단계를 거치면 제품의 생산 공정의 환경 부하에 대한 상대 평가가 가능하다. 특정 공정의 어떤 영향 범주에 따른 환경 부하가 높은지, 또는 어떤 물질이 전체 공정에서 가장 큰 환경 영향을 미치는지 객관적으로 평가가 가능하다.

예를 들어, 세탁기에 대한 LCA 연구를 수행하는 경우, 제조 단계에서 일부 부품 제조에서 오는 환경 영향이 큰지, 또는 사용 단계에서 세제와 물 사용에 따른 수자원 이용의 영향이 큰지를 비교할 수가 있다. 또는 해외 수입 등 물질 수급의 변화에 따라서 일부 자원 물질의 출처가 바뀌어 먼 거리를 수송하는 경우에 전체 공정에 미치는 환경 영향을 평가할 수 있다. 또한 자원 이용량 또는 환경 오염물질 배출량이 많아서 환경 부하가 높은 물질의 경우, 대체 물질을 고려하거나 제품 생산 라인에서 물질 재활용을 고려할 수도 있다.

이처럼 선박재활용에도 LCA를 도입하여 선박재활용 전체 공정을 파악하고 그에 따른 환경영향평가를 실시한다면 선박해체작업의 문제점을 보완하고 해양 환경보호에 이바지할 수 있을 것이다.

현재 선박재활용협약이 발효되어 친환경적 선박해체가 이루어지려는 단계에 있지만 각 공정에서의 CO2 배출량 등 유해물질목록에 포함되지 않은 물질에 관한 전과정에 걸친 전반적인 관리가 이루어지기 어렵다. 이에 따라 선박재활용협약에서 규제하고 있는 데이터에만 치중할 것이 아니라 LCA 기법을 도입하여 선박의 전과정에 걸친 입출력 데이터를 파악하고 그에 대한 Inventory 분석과 소프트웨어 개발이 필요할 것이다.

### 4.2 친환경 선박재활용을 위한 LCA 적용 방안

LCA를 수행하기 이전에 LCA 연구의 목적과 범위를 설정하여 대상 제품을

설정하고 LCA의 활용 의도와 대상 제품의 시스템을 명확히 정의하는 것이 중요하다.

선박재활용에 대하여 LCA 적용을 하기 위해서는 선박은 건조단계에서부터 해체단계까지 선박의 일생동안 축적된 유해물질을 추적하여 규제하고 감시하기 때문에 기자재 생산, 선박건조, 선박운항, 선박해체 등 다음과 같은 전과정이 적용 대상이 된다.

선박은 연료에너지, 원재료를 가공 조립과 간접업무를 통하여 건조되어 운항하고 해체되며 일생을 마친다. 운항 중에는 해상수송을 하며 폐기물을 배출하고 처리하게 되며, 다시 연료에너지(주로 산소절단이므로 산소)를 이용하여 해체작업을 거쳐 고철은 배 또는 건축 자재로 재활용되고 기름/ 발전기, 에어컨, 모터 등의 부품들도 재활용된다. 그 후에 남은 폐기물은 처리된다.

이러한 선박의 전과정을 도표로 표현하면 다음과 같다.

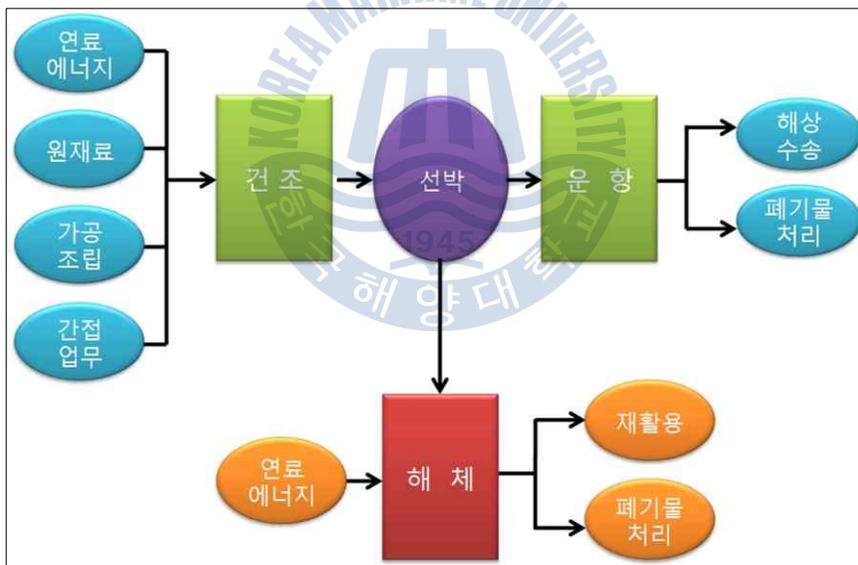


그림 4.1 선박의 전과정

이러한 선박의 전과정에서 발생하는 유해물질목록과 선박 해체 시 발생하는 폐기물의 유해성을 저감하고 낙후된 해체 시설과 안전하지 못한 작업자의 환경을 개선하며 친환경적 선박재활용으로 발전하고자 선박의 해체 부분에 주목하

여 LCA를 도입해 보려 한다.

#### 4.2.1 친환경 선박재활용을 위한 전과정 목록 분석(Life Cycle Inventory Analysis, LCI)

전과정 목록 분석(LCI) 단계에서는 연구의 목적 및 범위 정의 단계에서 설정한 연구의 목적 및 범위에 따라 데이터를 수집하고 검증 및 계산하는 데이터 처리과정으로 전과정 목록의 결과를 도출하며 그 수행절차는 다음 그림과 같다. LCA 수행은 반복적인 과정이므로 연구 진행 동안 연구목적 및 범위단계는 전과정 목록분석 단계와 상호 보완하여 재조정할 수 있다.



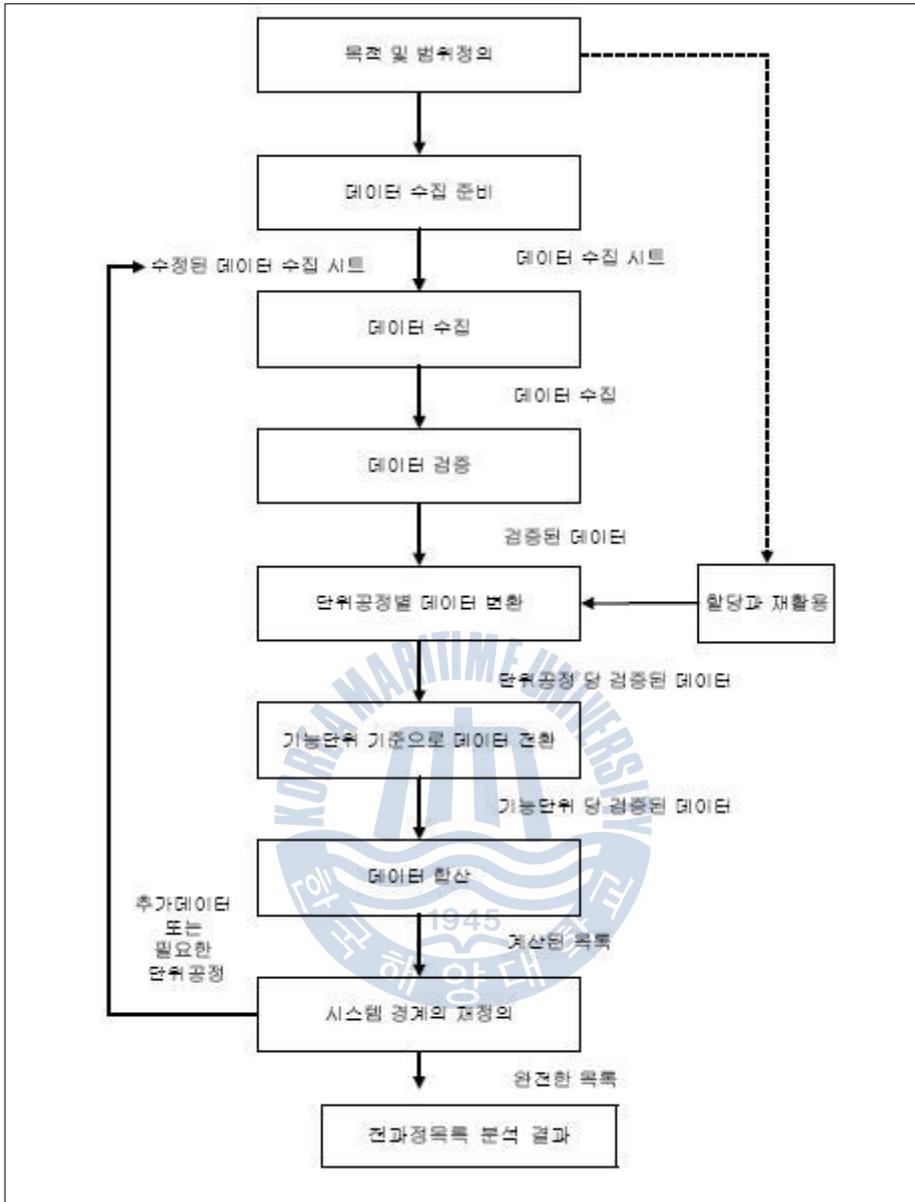


그림 4.2 전과정 목록분석 수행절차

선박재활용에 대한 LCA 도입의 전과정 목록 분석은 여러 방법론 중 시스템성에 적합한 조합방식을 적용하며 이 방식에 근거하여 선박의 전과정 목록을 파악해보면 다음과 같다. 이 단계에서는 일본의 선박 LCA 연구와 같이 특정한 동일 선박에 대하여 건조부터 폐선에 이르기까지의 데이터 목록을 파악하는 것

이 바람직할 것이다.

표 4.1 선박의 전과정 목록

선박 전과정의 단위공정	데이터
선박의 설계 및 건조	유해물질목록 Part I (선박의 구조와 기기에 함유된 물질)
선박의 운항	유해물질목록 Part II(운항상 발생한 폐기물), Part III(저장분)
연료에너지 투입	주로 산소절단이므로 산소
선박해체작업	노동력
	작업장
	작업도구
선박해체방식	해안에 끌어올리는 비칭방식(beaching)
	선체 일부분을 육지에 올려서 작업하는 방식(landing)
	전 선체가 해상에 떠있는 상태로 작업하는 방식(afloat)
	선체를 드라이도크에 입거하여 작업하는 방식(dry)
재활용	고철
	기름/ 발전기, 에어컨, 모터 등의 부품
남은 폐기물	기타 유해물질

일반적인 선박의 전과정에 대한 단위 공정에 대하여 각각의 데이터가 산출되는 것을 볼 수 있다. 그러면 선박 전과정의 단위 공정에 대하여 살펴보고 각각의 데이터에 대하여 목록을 분석할 수 있을 것이다.

#### 4.2.1.1 선박의 설계 및 건조

선박의 설계 및 건조 단계에서 발생하는 데이터는 선박재활용협약상 유해물질목록 Part I (선박의 구조와 기기에 함유된 물질)으로 볼 수 있다.

유해물질목록 Part I 은 다음과 같이 개발된다.

##### (1) 신조선

신조선의 목록 Part I 의 개발은 선박의 설계와 건조 단계에서 실시된다.

선박건조에 따른 공급사슬 상의 물품(기기, 부품, 물질) 공급자는 선박재활용협약에 따라 물질신고서(MD)와 준수신고서(SDoC)를 의무적으로 제출하고, 그 제출된 서류를 기준으로 조선회사는 유해물질목록을 개발해야 한다.

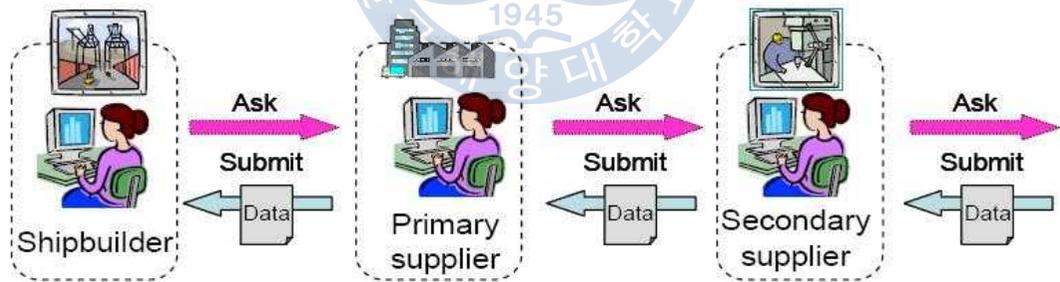


그림 4.3 해사 공급 사슬

표 4.2 물질신고서(MD)에 포함된 내용

물질신고서(Material Declaration : MD)의 정보
1. 신고날짜
2. 공급원의 성명
3. 생산품명
4. 생산품 숫자
5. 생산품의 전체량
6. 국제적으로 허용한계수준을 넘었다면 "예/아니오"와 Table A & B 물질의 양

표 4.3 준수신고서(SDoC)에 포함된 내용

준수신고서(Supplier's Declaration of Conformity : SDoC)의 내용
1. 회사의 정책
2. 적용법
3. 관리책임
4. 획득한 화학 내용물의 정보
5. 수정된 화학 내용물 신고 정보
6. 서류관리
7. 내부검사의 직무대행
8. 관리 검토

특정 물질신고서가 입수될 수 없는 경우, 이 신고서의 누락을 유해물질목록

에 명시하여 주관청에 신고해야 한다.

또한, 협약 부록 I, 부록 II에 실려 있는 목록을 의무적으로 개발해야 한다.

신조선의 유해물질목록의 개발 순서는 다음과 같이 3단계로 이루어진다.

- 1단계 : 유해물질 정보 수집 : 물질신고서, 준수신고서 활용
- 2단계 : 유해물질 정보 활용 : 물질 신고서는 임계수준 이상으로 유해물질을 함유한 제품을 정확하게 확인
- 3단계 : 목록의 준비 : 표준양식 작성

## (2) 현존선

현존선의 목록 Part I의 개발은 선박의 운영단계에서 실시한다. 따라서 설계 및 건조단계에서 물품공급자로부터 입수한 물질신고서가 없기 때문에 정보수집단계부터 많은 어려움에 직면하게 된다.

이러한 애로사항을 해결하기 위해 일반적으로 선박의 특정 부분이 어떠한 유해물질을 함유하고 있는지를 조사한 '시사목록(Indicative List)'를 참조하는 것이 목록 개발의 효율성 측면에서 중요하다.

협약 부록 I의 목록을 의무적으로 개발하고, 부록 II에 실려 있는 물질은 강제사항이 아니며 실행 가능한 범위 내에서 개발하는 권고사항이다.

- 석면, 폴리염화비페닐, 오존파괴물질(9), 유기 주석 화합물(3)

현존선의 유해물질목록 개발 순서는 다음과 같다.

- 1단계 : 정보 수집
  - 입수문서 열람 : 선사가 보유한 문서뿐만 아니라 조선소, 제조업자, 선급으로부터 해당선박에 관한 각종 문서 수집에 노력
  - 시사 목록 준비 : 선상의 기기, 시스템 또는 구역 전체에 대한 유해물질 함유 여부를 조사하는 것은 불가능하므로 선내의 어느 부분에 유해 물질이 함유되어 있는지를 추정하는 '시사 목록(Indicative List)'을 준비
- 2단계 : 조사 범위 분석과 정의 - 대조표(Check List) 활용
- 3단계 : 시각 및 표본검사 계획 수립

- 4단계 : 주관청이나 주관청에 의해 권한을 부여받은 사람이나 기관에 의해 시각 및 표본검사 계획 승인
- 5단계 : 선내 시각 및 표본검사 실시 - 문서분석 결과를 선상에서 확인
- 6단계 : 목록 Part I 및 관련 증빙서류 준비

선주나 선사(선박관리회사 포함)는 1단계와 2단계에서 해당 선박(현존선)에 대한 정보 수집과 수집된 정보를 통해 '조사범위 분석과 정의'를 대조표(Check List)에 작성한다.

3단계에서는 작성된 대조표를 확인하여 주관청 혹은 주관청에 의해 권한을 부여받은 사람이나 기관에 의해 자격을 인정받은 '전문가나 전문가단'이 시각검사(Visual Test) 및 표본검사(Sampling Test) 계획을 수립해야 한다.

4단계에서는 수립된 계획이 무리 없이 진행되고 기타 선상의 업무를 방해하지 않고 안전하게 진행될 수 있는지를 판단하기 위해 주관청 혹은 주관청에 의해 권한을 부여받은 사람이나 기관에게 승인을 받아야 한다.

동 계획이 승인되면 5단계에서 문서분석 결과가 표시된 대조표를 바탕으로 선내시각 및 표본검사를 실시하고, 마지막으로 6단계에서 유해물질목록 Part I 및 관련 증빙서류를 준비하여 주관청에 제출하여 승인을 받아 최종적으로 '유해물질목록 국제증명서'를 발급받아야 한다.

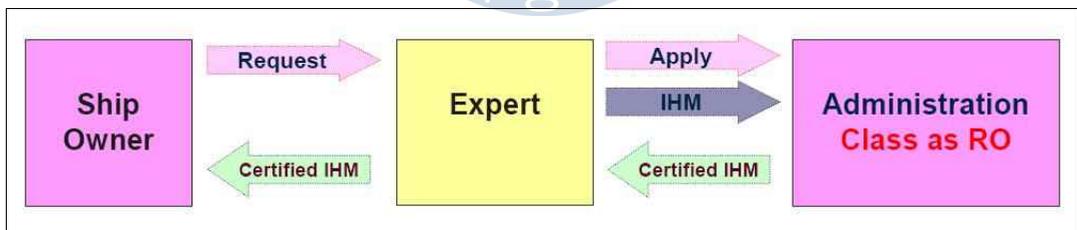


그림 4.4 현존선 유해물질목록 개발 과정

다음의 표는 협약의 부록에 실려 있는 유해물질목록 Part I 이다.

표 4.4 협약의 부록 I (Appendix I)에 실려 있는 물질

번호	물질	목 록			허용수준 (Threshold level)	
		Part I	Part II	Part III		
A-1	석면(Asbestos)	x			허용수준 없음	
A-2	폴리염화비닐(Polychlorinated Biphenyls, PCBs)	x			허용수준 없음	
A-3	오존 파괴 물질 (Ozone Depleting Substance)	염화불화탄소 (CFCs)	x			허용수준 없음
		할론(Halons)				
		여타 수소화 염화불화탄소 (Other fully halogenated CFCs)				
		수소화 염화불화탄소 (Carbon Tetrachloride)	x			
		트리클로로메탄(메틸클로로포름) (1.1.1-Trichloroethane, Methyl-chloroform)	x			
		하이드로클로로플루오카본 (Hydrochlorofluoro-carbons)	x			
		하이드로브로모플루오카본 (Hydrobromofluor-carbons)				

번호	물질		목 록			허용수준 (Threshold level)
			Part I	Part II	Part III	
		브롬화메틸 (Methyl bormide)	x			
		브로모클로로메탄 (Bromochochromet- hane)	x			
A-4	유기 주석 화합물 (Organotin compound)	트리부틸주석류 (Tributyl Tins)	x			2,500 mg/kg
		트리페닐주석류 (Triphenyl Tins)	x			
		트리부틸주석옥사이드 (Tributyl Tin Oxide, TBTO)	x			

자료 : 지침서(안) Appendix I -Table A.

선박의 설계 및 건조 단계에서는 선박의 구조와 기기에 함유된 물질인 Part I 물질을 데이터 목록으로 리스트업할 수 있다.

#### 4.2.1.2 선박의 운항

선박을 운항하는 단계에서 발생하는 폐기물, 그리고 저장분 등을 데이터로 리스트업해야 한다. 이와 같은 데이터는 선박재활용협약상 유해물질목록 Part II로 대체할 수 있다.

현존선의 경우 최종적으로 선박이 재활용되기로 결정되면 최종 검사를 받기 전에 선사(선주)는 지침서의 유해물질목록 Part II(운항상 발생한 폐기물)와 Part III(저장분)를 개발해야 한다.

표 4.5 협약의 부록 II(Appendix II)에 실려 있는 물질

번호	물질	목 록			허용수준 (Threshold level)
		Part I	Part II	Part III	
B-1	카드뮴, 카드뮴화합물 (Cadmium and Cadmium Compounds)	x			100mg/kg
B-2	6가크롬, 6가크롬화합물 (Hexavalent Chromium and Hexavalent Chromium Compounds)	x			1,000 mg/kg
B-3	납, 납화합물 (Lead and Lead Compounds)	x			1,000 mg/kg
B-4	수은, 수은화합물 (Mercury and Mercury Compounds)	x			1,000 mg/kg
B-5	폴리브롬화비페닐 (Polybrominated Biphenyl, PBBs)	x			1,000 mg/kg
B-6	폴리브롬화디페닐에스테르 (Polybrominated Diphenyl Ethers, PBDEs)	x			1,000 mg/kg
B-7	폴리염화나프탈린(Polychlorinated naphthalenes, more than 3 chlorine atoms)	x			허용수준 없음
B-8	방사능 물질 (Radioactive Substances)	x			허용수준 없음
B-9	쇼트체인염화파라핀(알칸, C10-C13, 염소) (Certain Shortchain Chlorinated Paraffins, Alkanes, C10-C13, chloro)	x			1%

자료 : 지침서(안) Appendix I - Table B.

#### 4.2.1.3 연료에너지 투입

선박해체작업시 해체를 위한 절단은 주로 산소절단이다. 따라서 투입되는 산소의 양을 데이터로 리스트업한다.

#### 4.2.1.4 해체작업

선박해체작업에는 기본적으로 해체작업이 진행되는 작업장과 해체작업에 필요한 작업도구, 그리고 작업자들의 노동력이 투입된다. 원래 선박 해체 산업은 주요 조선국들의 차지였지만, 환경오염과 산업 재해를 낳는 3D 업종으로 인식되면서, 1970년대에 규제가 느슨한 동남아로 대부분 이전되었다. 현재 주요 선박 해체국은 방글라데시, 인도, 파키스탄 등이다. 일이 힘들고 사고가 자주 발생하며 노동 환경이 열악하므로, 해당 나라에서도 가장 저소득층 국민이 선박 해체 산업의 최전선에 나선다. 적절한 장비와 보호 조치 없이 오로지 맨손으로 치명적인 독성 물질과 접촉한다. 이러한 해체작업에 투입되는 노동력과 작업환경에 대한 데이터를 산출하고 각 항목에 대한 내용을 정리하도록 한다.

#### 4.2.1.5 재활용

선박해체작업에서 해체된 선박에서 나온 고철은 대부분 다른 선박이나 건축 자재 등으로 재활용된다. 또한 기름/발전기, 에어컨, 모터 등의 부품은 시장에서 판매되는 등 재활용되고 있다.

#### 4.2.1.6 남은 폐기물

선박해체 후 재활용이 되고 남은 폐기물에 대하여 리스트업이 이루어져야 한다. 선박재활용협약상의 유해물질목록 Part I, II, III 에도 포함되지 않은 기타 유해물질들에 대하여 리스트업해야할 것이다.

### 4.2.2 친환경 선박재활용을 위한 전과정 영향 평가

전과정 목록분석을 수행한 후에 환경적인 측면을 파악하기 위해서는 전과정 영향평가는 필수적이다. 전과정 영향평가는 전과정 목록분석의 결과를 영향범주별로 분류하는 1)분류화(classification) 단계와 영향범주별로 분류된 파라미터들이 영향범주에 미치는 영향을 정량화 하는 2)특성화(characterization) 단계, 영향범주별 환경영향을 지역적인 인자 또는 시간적인 인자, 인구수에 의한 인자 등에 의해 기여한 환경영향으로 나누는 3)정규화(normalization) 단계, 마지막으로 영향범주별 상대적인 가중치를 결정하는 4)가중치 부여(weighting) 단계로 진행된다. 분류화와 특성화단계는 필수적인 단계이지만 정규화와 가중치 부여 단계는 선택사항으로 분류한다.



- 
- 1) 전과정 목록분석(LCI) 결과로 도출된 데이터가 각각 어느 환경 영향을 미치는지 영향범주별로 분류함.
  - 2) 영향범주에 따라 분류된 데이터 값에 범주 지표(category indicator)를 계산하여 환경 영향을 정량화하는 단계.
  - 3) 영향범주별 환경영향을 지역적(국내적) 또는 시간적 인자 등으로 나누어 환경영향을 제시하는 방법.
  - 4) 영향범주별로 상대적인 가중치를 정하는 것으로 과학적인 데이터보다는 주관적인 가치 판단을 따를 수 있음.



그림 4.5 전과정 영향평가의 선택적 요소와 의무적 요소

(1) 데이터 분류(Classification)

전과정 목록분석 결과상의 모든 파라미터를 해당 영향범주에 배정한다.

- 지구온난화 : Carbon dioxide, Methane 등
- 산성화 : Sulfur dioxide, Nitrogen oxides 등

데이터 분류는 목록분석 결과에 의한 투입물과 배출물을 영향범주와 연결시키는 과정으로써 일반적으로 영향 범주로는 크게 3가지 대상인 천연자원, 인간 건강, 생태계로 나뉘며 그 하부에 산성화, 부영양화, 오존층파괴, 자원고갈 등의 세부 영향범주들이 포함된다. 다음 그림과 같이 정해진 영향평가 방법론이 있는 경우 이에 해당되는 영향범주와 영향범주별 영향평가 인자가 정해져 있다. 일반적으로 LCA 소프트웨어에 국내외 영향평가 방법론이 내부 구축되어 있다. 그 중에서 국내에서 자주 이용되는 영향평가 방법론은 다음 그림과 같으며 이에 해당하는 영향 범주가 다르다.

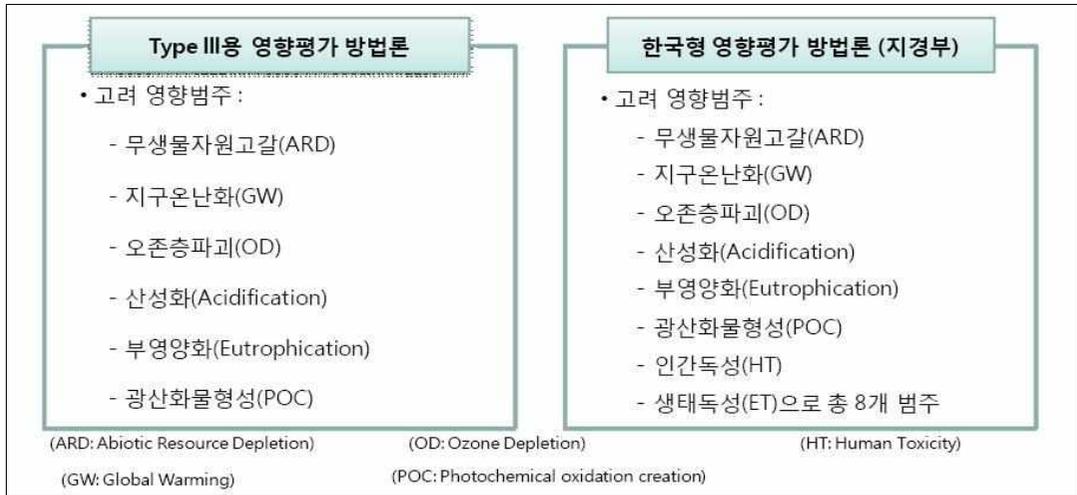


그림 4.6 영향평가 방법론에 따른 영향범주

환경부에서 지정한 제3자 인증인 환경성적표지제도(Type III 라벨링)에 이용되는 영향평가 방법론에는 6가지 영향 범주가 포함되며, 지식경제부에서 개발한 한국형 영향평가 방법론은 8가지 영향범주를 따르고 있다.

앞에서 살펴본 선박의 전과정에 대한 단위공정에서 각각 파생되는 물질을 데이터화하여 각 물질이 영향을 끼치는 영향범주에 따라 분류화를 시행하도록 한다.

즉 유해물질목록상의 각각의 물질들에 대하여 고려할 영향범주 안에 속해있는지를 파악하고 해체작업시 소요되는 노동력, 작업장, 작업도구와 재활용이 되고 남은 폐기물에 관련하여 기타 유해물질 또한 영향범주 안에 속하였는지 분류하도록 한다.

선박의 전과정에 대한 단위공정에서 각 데이터에 대하여 위험범주를 분류하면 다음과 같다.

표 4.6 선박의 전과정 단위공정 당 데이터의 위험범주

선박 전과정의 단위공정	데이터	영향범주
선박의 설계 및 건조	유해물질목록 Part I (선박의 구조와 기기에 함유된 물질)	오존층 파괴
선박의 운항	유해물질목록 Part II(운항상 발생한 폐기물), Part III(저장분)	중금속, 방사능물질 배출-생태독성
연료에너지 투입	주로 산소절단이므로 산소	
선박해체작업	노동력	인간독성, 인간건강
	작업장	인간독성
	작업도구	인간독성
선박해체방식	해안에 끌어올리는 비칭방식(beaching)	무생물자원고갈, 생태독성
	선체 일부분을 육지에 올려서 작업하는 방식(landing)	
	전 선체가 해상에 떠있는 상태로 작업하는 방식(afloat)	
	선체를 드라이도크에 입거하여 작업하는 방식(dry)	
재활용	고철	
	기름/ 발전기, 에어컨, 모터 등의 부품	
남은 폐기물	기타 유해물질	생태독성

## (2) 데이터 특성화

전과정 영향 평가에서 특성화는 반드시 수행되어야 하는 절차로 영향범주의 특성화 인자를 곱하여 전과정 목록의 물질의 환경 영향을 정량화하는 단계이다.

특성화는 영향범주별로 분리된 목록 파라미터들에 대하여 영향범주별 상응인자를 사용하여 잠재적인 기여도를 나타내는 방법이다.

지식경제부의 영향평가 방법론을 예를 들어 설명하면 아래의 계산식과 같이 목록항목별 환경부하량에 목록항목별 상응되는 특성화 인자를 곱함으로써 구할 수 있다.

$$C_{ij} = E_j \times W_{ij}$$

- $C_{ij}$  : 투입/산출물  $j$ 로부터 발생하는 영향범주  $I$ 에 대한 잠재적 환경 영향에 대한 기여도
- $E_j$  : 목록항목  $j$ 의 환경부하량
- $W_{ij}$  : 항목별 특성화 인자

특성화 계산식에 따라, 물질의 배출량과 특성화지수를 곱하면 각 단계별로 물질의 환경 영향을 파악할 수 있다.

표 4.7 영향범주별 특성화인자의 예

영향범주	단위	출처
자원고갈	1/yr f.u.	EIA, International Energy Annual U.S. Geological Survey(USGS) 2001-2002
지구온난화	g CO <sub>2</sub> -eq/f.u.	IPCC 1996, 100 year base
오존층파괴	g CFC11-eq/f.u.	UNEP, 2002
산성화	g SO <sub>2</sub> -eq/f.u.	Hauschild & Wenzel (1998)
부영양화	g (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -eq/f.u.	Heijung et al, 1992
광화학산화물형성	g ethane-eq/f.u.	Jenkin & Hayman, 1999 Derwent et al, 1998
생태독성	담수생태독성	g 1,3DCB-eq/f.u. Huijbregts, 1999 & 2000, CML
	해수생태독성	g 1,4DCB-eq/f.u. Huijbregts, 1999 & 2000, CML
	토양생태독성	g 1,4DCB-eq/f.u. Huijbregts, 1999 & 2000, CML
인간독성	g 1,4DCB-eq/f.u.	Huijbregts, 1999 & 2000, CML

자료 : 전과정평가(LCA) 가이드라인, 녹색경영확산지원단, 2010

표 4.8 영향범주의 물질별 특성화지수표(예)

영향범주	물질명	특성화지수
지구온난화	Carbon dioxide(CO <sub>2</sub> )	1.00E+ 00
	Halon-1301	5.60E+ 03
	Methane	2.10E+ 01
	Nitrous oxide(N <sub>2</sub> O)	3.10E+ 02
오존층 고갈	1.1.1.-trichloroethan	1.10E-01
	CFC-11	1.00E+ 00
	Tetrachloromethane	1.20E+ 00

자료 : 전과정평가(LCA) 가이드라인, 녹색경영확산지원단, 2010

선박재활용의 전과정의 경우 특히 문제가 되고 있는 유해물질들에 대하여 영향범주별로 특성화 인자를 분류, 계산하여 특성화지수와 비교한 위와 같은 환경영향평가를 실시할 수 있다.

선박해체방식은 UNEP의 선박해체작업의 기술지침서(Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships)에 준하여 비칭방식을 제외한 Aflat 방식, Landing 방식 및 드라이 도크방식에 의해 해체 작업이 이루어져야 한다.

선박해체작업을 수행하기 위한 가스 제거 상태의 기준은 다음과 같다.

표 4.9 가스 제거 상태 기준

		가스 포함량	적용	제한	비고
연료가스		0.1% 미만	작업 구획 및 근접 구획	열작업이 허가된 곳	
석유화물 가스		0.1% 이상	모든 화물 구역 및 인접 구획	-도킹 제한 -출입 제한	도킹시 선박소유자는 가스 프리 기준을 충족시킬 것
		0.05% 이상 0.1% 미만	모든 화물 구역 및 인접 구획	-도킹 허용 -냉간가공 작업 허용	도킹 이후 가스 제거 작업 은 재활용시설에서 실시하 고 가스함유량은 0.1% 미 만을 유지할 것
		0.05% 미만	작업 구획 및 인접 구획	-열작업 허 용	작업구획과 인접구획은 0.05% 미만 유지 불에 탈 위험이 있는 경우 가스양이 안전하더라도 열 작업을 해서는 안됨
산소		19% 미만 23% 이상	작업구획	출입제한 열작업 제한	
		19% 이상 23% 미만	작업구획	출입허용 열작업 허용	
액화 석유 가스	액화 석유 가스	≥0.19%	모든 화물탱크 및 인접구획	-도킹 제한 -출입 제한	도킹시 선박소유자는 가스 프리 기준을 충족시킬 것
	산소	<19%			
	이산 화탄 소	≥1%			
	액화 석유 가스	≥0.095% <0.19%	모든 화물탱크 및 인접구획	-도킹 허용 -냉간가공 작업 허용	도킹 이후 가스프리작업은 재활용시설에서 실시할 것 선박재활용시설은 이 표에 표시된 CO <sub>2</sub> 와 LPG 함유 량을 유지할 것
	산소	≥19% <23%	작업구획 및 인 접구획	-열작업 허 용	인접 작업 구획은 이 표에 표시된 것을 유지할 것
	액화 석유 가스	<0.095%			
산소	≥19% <23%				

		가스 포함량	적용	제한	비고
액화천연가스	액화천연가스	$\geq 0.5\%$	모든 화물탱크 및 인접구획	-도킹 제한 -출입 제한	도킹시 선박소유자는 가스프리 기준을 충족시킬 것
	산소	$< 19\%$			
	이산화탄소	$\geq 1\%$			
	액화천연가스	$\geq 0.25\%$ $< 0.5\%$	모든 화물탱크 및 인접구획	-도킹 허용 -냉간가공 작업 허용	도킹 이후 설비에 의하여 가스 제거 작업 시행되어야 함. 선박재활용시설은 이 표에 표시된 CO <sub>2</sub> 와 LPG 함유량을 유지할 것
	산소	$\geq 19\%$ $< 23\%$			
	액화천연가스	$< 0.25\%$	작업구획 및 인접구획	-열작업 허용	인접 작업 구획은 이 표에 표시된 것을 유지할 것
산소	$\geq 19\%$ $< 23\%$				

또한 인간건강에 관련하여 위험범주임이 인식된 선박해체작업상의 작업장, 작업도구, 노동력에 관해서는 다음과 같은 체크리스트를 작성하여 영향평가를 하도록 한다. 체크리스트는 IMO 선박재활용시설 지침서 및 UNEP 환경친화적 선박해체 기술 지침서에 준한다.

표 4.10 선박해체작업시 체크리스트(화재 및 폭발 방지 1)

항 목	점검여부	
	예	아니오
해체목적으로 선박을 육지로 끌어올리거나, 부두계류 또는 입거할 경우 가스프리상태를 확인하였는가?		
선박의 세정 시스템(원유세정, 증기세정 등)을 이용하여 카고 오일 탱크를 세정하는 것을 피하였는가?		
열작업에 필요한 가스프리 기준에 따라 탱크내 또는 제한구역에서 작업하기 전 가스프리상태를 확인하였는가?		
모든 구획과 탱크에 있는 가스들을 식별하고 그것들의 농도가 안전한 제한상태 안에 있다는 것을 보증하도록 적절한 가스 측정 장치로 유자격자가 이를 검사하였는가?		
통풍이 허용될 경우 즉시 맨홀, 통풍구, 해치커버 그리고 추가적인 통풍 구멍을 개방하여 통풍을 실시하였는가?		
갑판상의 파이프나 엔진룸안의 잔유를 제거할 경우, 냉간가공 작업을 실시하였는가?		
외판에 추가로 통풍구를 만들려고 할 경우, 작업 시작 전 가스 농도가 충분히 낮은지 확인하였는가? 또한 외판에 물을 뿌리는 작업을 하고자 할 때에 이 작업이 적합한지 고려하였는가?		
저장소 및 카고룸과 같은 밀폐된 구획을 선박재활용 시설에 도착하기 전 가스가 축적되는 것을 방지하기 위해 개방해두었는가?		
가스 절단시 발생하는 gas와 열에 특별히 주의하면서 매일 카고 탱크의 가스농도를 확인하였는가?		
열작업을 수행중인 작업장과 가까운 곳에 소화기와 소화전을 두고, 선박 출입구에 이들 보관위치를 명확하게 표시해 두고, 유자격자가 모든 소화기 및 장치를 검사, 유지 및 적절하게 사용하였는가?		
기름 침 화학약제 화재에 적합한 소화기를 사용하고 정기적으로 소화기 성능을 검사하는가?		









친환경 선박재활용을 위하여 전과정 목록을 분석하고 영향평가를 마친 다음 단계에는 연구 목적을 바탕으로 전과정 영향 평가 결과를 해석한다. 또한 결과의 타당성 및 정확성을 판단하기 위한 일관성, 완전성, 민감도 분석을 수행하도록 한다.

선박 재활용의 전과정의 경우 해체시 투입되는 노동력에 대한 인간건강과 선박의 구조와 기기에 함유된 물질(Part I), 운항상 발생한 폐기물(Part II), 저장분(Part III)에서 발생하는 유해물질과 같은 위험범주의 데이터 결과와 환경영향평가 결과에 대하여 주요 환경적 이슈를 규명하고 민감도를 분석하도록 한다.

민감도 분석의 일반적인 접근법은 다음과 같다.



그림 4.7 민감도 분석의 일반적인 접근법

LCA는 일반적으로 보고서 즉 문서화로서 그 결과를 표현한다. 가능한 연구 수행 방법론, 고려사항, 제한 및 한계사항, 결과 등을 구체적으로 기술하는 것이 바람직하다. 따라서 선박재활용 전과정에 대한 데이터를 수집하고 그에 대한 계산 근거, 참고문헌, 용어 설명 등을 첨부하는 것은 결과의 수정 및 보완에 유용하다.

## 제 5 장 결 론

국제적인 우려를 낳고 있는 선박해체작업에 관련하여 상대적으로 노후화되고 위험한 해체 시설과 환경에 대해 친환경적으로 규제하기 위한 선박재활용협약이 채택되었고 이러한 선박재활용협약에서 요구하는 규제범위에서 나아가 전과정평가(LCA)라는 환경영향평가를 적용하여 선박재활용 전체과정에 걸쳐 영향평가를 실시하여 더욱 더 친환경적인 선박재활용으로 나아가기 위한 방안을 제시하여 보았다.

선박재활용협약이 채택되면서 선박의 전과정 중 발생하는 데이터 중 위험범주에 해당되는 유해물질목록이 리스트화되고 아무 규제도 없었던 해체작업장이나 해체작업에 동원되는 노동력까지도 선박재활용협약으로 규제되면서 선박 전과정평가가 용이해졌다. 또한 선박재활용협약은 법적으로 해양환경보호를 위한 노력을 구체화한 것으로서 선박의 LCA에 대한 연구를 활성화할 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 선박재활용협약을 채택함으로써 유해물질목록의 작성 등 지속적인 노력이 이루어 질 것이고, 건조에서부터 폐기에 이르기까지 친환경적인 선박이 출현할 것으로 보인다. 그러나 선박재활용협약만으로는 CO<sub>2</sub>나 선박재활용협약에서 규제하지 않는 기타 유해물질에 관련해서 환경영향평가를 할 수 있는 방법이 없다.

따라서 선박재활용에 LCA를 적용하게 되면 CO<sub>2</sub>나 기타 유해물질에 대한 환경영향평가 및 규제를 실시하고 입력 및 출력되는 모든 데이터에 대한 Inventory를 작성/ 분석하여 더욱 더 친환경적인 선박재활용을 이룩할 수 있을 것이다.

LCA는 제품 또는 서비스에 대하여 라이프 사이클 전체를 대상으로 각 단계에서 투입되는 자원·에너지 및 배출물을 정량적으로 파악하고, 이것들에 의한 환경 영향을 객관적으로 평가하여 환경 개선 등에 대한 의사결정을 지원하는 과학적이고 객관적인 근거를 주는 환경영향평가 기법이다.

LCA에 선박재활용을 적용하여 우선적으로 선박재활용의 전체과정에 대하여 분석하면, 선박재활용은 건조단계에서부터 해체단계까지 선박의 일생동안 축적된 유해물질을 추적하여 규제하고 감시하기 때문에 기자재 생산, 선박건조, 선

박운항, 선박해체 등의 전과정이 적용 대상이 된다.

이러한 선박재활용의 전체과정에 LCA를 적용하여 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 선박의 설계 및 건조 및 운항 단계에서 선박재활용협약 상 유해물질목록 PART I 과 PART II, III 물질이 데이터화되는 것을 파악할 수 있다. 이는 오존층파괴, 중금속/방사능물질 배출 등 생태독성에 대해 영향을 미치며 선박재활용협약이 발효됨에 따라 법적으로 규제되는 물질로써 배출 물질에 대한 규제와 관리가 가능하다.

둘째, 연료에너지 투입과정에 산소가 발생한다. 산소는 위험범주로 파악되지 않는다.

셋째, 선박해체작업상 노동력, 작업장, 작업도구 등의 데이터가 파악된다. 이는 인간독성과 인간건강에 영향을 미치는 것으로 분석된다. 위에서 제시한 체크리스트를 사용해서 점수화하여 데이터를 정량화한다.

넷째, 선박해체방식으로는 비칭방식(beaching), 랜딩방식(landing), 어플로팅방식(afloating), 드라이방식(dry)이 파악되며 이 중 비칭방식(beaching)이 무생물자원고갈, 생태독성에 영향을 미치므로 위험범주로 파악된다.

다섯째, 고철이나 기타 선박부품이 재활용되고 남은 폐기물에 대한 유해물질들이 데이터로 파악된다. 이러한 남은 폐기물은 생태독성에 영향을 미치므로 위험범주로 파악될 수 있다.

이와 같이 영향평가에서 위험범주로 파악된 공정과 데이터들은 정량화하여 규제할 수 있으며 친환경적인 선박재활용으로 나아갈 수 있다.

선박재활용협약이 발효되어 우리나라에서도 선박재활용에 대한 LCA를 적용한 결과를 검증하기 용이하게 되었지만 아직까지는 많은 노력과 시간이 걸리므로 전과정 목록분석과 영향평가에 대한 소프트웨어의 개발 등의 좀 더 심도있는 연구가 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 국승기, 윤중휘, 최정호, 박영남, 문정환, 국은미, 조미란, 「친환경 선박 재활용 협약 발효에 따른 국내 대응방안 정책 연구」, 2009
- [2] 임남균, 조호진, 최경순, 「전과정 평가의 선박 적용 연구」, 해양환경안전학회 춘계학술발표회법, 2006
- [3] 이종갑, 이인규, 「선박 전과정 평가(LCA)와 재활용(Recycling)」, 대한조선학회 제43권 제1호 통권147호 pp.17-21, 2006
- [4] "전과정평가(LCA) 가이드라인", 녹색경영확산지원단, 2010
- [5] 신경순, <<선박설계전문가과정(친환경청정선)>>, 도서출판 아진(2006)
- [6] 최정호, 정연부, 오정우, 국승기, 「선박재활용 협약의 국내법상 수용방안 연구(해양경찰 업무를 중심으로)」, 한국항해항만학회지, 제34권 제6호, pp.459~470, 2010

