



SNAKZINE

특별기고



선박해양플랜트연구소 LCT 탄생 이야기

글 : ((전)선박해양플랜트연구소(KRISO), (현)선박해양공학기술협동조합(SMTech Coop.)) 김기섭 박사 / kksprop@gmail.com

대한조선학회지 특별기고 주제를 무엇으로 할지 고민하다가 더 늦어지면 이런 이야기를 남길 수 있는 기회와 정리가 점점 어려울 수도 있다는 생각이 들었다. 필자에게 선박해양플랜트연구소(KRISO)는 입소(1979.3)부터 정년퇴직(2019.12)까지 첫 직장이었다. 줄곧 선박 추진기 분야에 종사할 수 있어 행운이라고 생각한다. 다행히도 지난 40년 동안 사명감과 자긍심을 갖고 여러 가지 연구업무를 할 수 있었다. 이런 것들이 여태까지 나를 잃지 않게 한 이유이기도 하다. 조선소, 해군, 국방과학연구소, 산업체 등 유관기관들과 상선, 함정 및 수중운동체 등에 적용되는 다양한 추진기와 캐비테이션 분야에 수탁연구사업 또는 국책연구사업 등에 참여 또는 주관하면서 평생의 시간을 보내온 셈이다.

본 기고는 그중에서도 국내 조선산업계 숙원사업이었던 ‘KRISO 대형 캐비테이션터널(Large Cavitation Tunnel, KRISO LCT)’ 탄생에 얽힌 이야기를 하고자 한다.

지금처럼 KRISO LCT를 활용할 수 있는 것은 산업계·학계·연구계·해군·산업자원부(현 산업통상자원부) 등에서 당시 현직에서 의사결정을 리드해 오신 선배님·후배님들의 의지와 협력의 결실이 있었기 때문이다. 이 모든 것에 깊은 감사의 말씀을 드린다. 이러한 기고는 훗날 후배들에게 조선산업의 발전을 위하여 합심하면 목표 지향적 대업을 이룰 수 있다는 한 톨의 교훈이 되기를 기대해 본다.

대형 캐비테이션터널을 꿈꾸다

캐비테이션은 자연계에 존재하는 물리적 현상이지만 감압이 가능한 특별한 시험시설에서만 볼 수 있다. 세계 최초의 캐비테이션터널은 영국 Newcastle-Upon-Tyne 대학의 Charles Parsons경이 1895년에 매우 작은 캐비테이션터널을 만들었다. 비로소 모형시험으로 선박프로펠러 날개에 발생하는 캐비테이션을 육안으로 처음 확인하였다. 지금으로부터 약 127년 전 일이다.

KRISO는 출연기관 특성상 다년간 축적한 잉여금의 집행이 불가능하다. 그래서 LCT와 같이 큰 예산이 소요되는 연구설비 확보사업은 정부 지원 없이는 수행이 불가능하다. 1982년 KRISO 중형 캐비테이션터널(Medium Cavitation Tunnel, MCT) 도입 이후 MCT는 크기가 작아 유체역학적 한계가 있었다. 이를 극복하기 위한 여러 가지 방법을 검토하였다. 그러던 중에 1995년 5월에는 '대형 캐비테이션터널 건설을 위한 기술조사'를 출장목적으로 송인행 박사와 함께 독일 HSVA 연구소, (독)Kemp & Remmers사를 방문하고 필자는 계속해서 스웨덴 SSPA 연구소, 프랑스 CERG 연구소를 방문하였다. 2002년과 2003년에도 대형 캐비테이션터널 확보를 위한 제안서를 작성한 바 있다. 필자는 선박추진기분야 연구원으로서 조선소 등과 함께 종종 애로기술을 논의하고 극복 방안을 협의하여 왔다. 가까운 장래에 예상되는 소요 기술과 이를 구현하는 해당 연구시설 확보 당위성을 제기하지 않는다면 어쩌면 직무 회피라는 생각이 들었다. 존재 이유를 찾고자 많은 고민을 하였다.

기관 특수성을 고려하여 진해 국방과학연구소에 LCT 기능 및 필요성과 함께 관련 자료를 전달하고 대형터널 건설을 독려했다. 그러나 약 2년 후 예산확보의 어려움으로 인해 불가능하다는 회신이 돌아왔다. 그냥 있을 수 없어서 전 세계 조선산업 선두주자이면서 선박 수주가 많은 현대중공업은 가능하리라 생각하였다. 점차 선박의 대형화 및 고효율 및 친환경 선박 수요에 부응하기 위하여 출자를 기대하면서 대형 캐비테이션터널 신규 확보를 독려했다. 필요성은 그들도 잘 알고 있다. 한참 후 현대중공업으로부터 전화가 있었다. 힘 빠진 목소리로 '김 박사님이 KRISO에서 해야 할 것 같습니다' 결국 돌고 돌아 다시 KRISO로 돌아왔다. 뿌린 자가 거두라는 말인가? 이 분야 발전은 여기까지인가? 당시로는 실현 가능성이 희박해지는데 어쩌면 좋을지? 필자는 세상을 조금더 살고 있는 것은 아닌지 반문하며 한참 동안 창밖을 내다보았다. 하늘엔 구름과 꿈은 점점 멀어져 가는 것 같았다.

아래 서술은 2004년 당시 주위 전문가들 의견을 모아 작성한 본 사업의 당위성 설명자료 중 일부를 발췌한 것이다. 시간이 많이 지난 요즘은 수행하는 연구주제들과 요구되는 기술적 상황과 비교할 때 오래전 작성한 논리와 예측이 현재 상황을 보는 것 같아 놀라움을 금할 수 없다.

• 사업목표

- ▶ 한중일 동북아 3국이 전 세계 선박수주를 주도하고 있는 상황에 한국 조선의 지속적 발전을 위하여 중국 추격을 억제하고 기술우위 경쟁력 확보
- ▶ 선박의 성능, 품질 및 S/W적 기술력 중심의 고부가가치 선박 개발하여 조선산업 세계시장 주도, 지속적 성장 및 고용증대를 꾀함
- ▶ 해양기술 및 조선산업의 고부가화, 해양 방위력 기술향상 및 해양공간 활용기술 증대 효율화를 통하여 해양 공공기술과 미래 해양 기술을 선도, 세계 최고의 기술적 우위를 점유
- ▶ 국외 연구시설에 성능시험 의뢰는 선박 설계도면 및 축적된 국내기술 해외 유출이 우려됨

• 필요성

- ▶ 점차 일반상선 및 특수 선박들이 대형화, 고속화 및 은밀화에 따른 필수적인 연구시설이다. 종래의 국외 기술 의존을 탈피하고 독

자적인 기술개발과 기술축적이 필요

- ▶ 해군의 작전개념이 연안해군에서 대양해군으로 전환됨에 따라 해양 방위기술 전문화가 요구되고 있다. 특히 '소음전쟁(Noise War)이라 불릴 정도로 은밀성을 최우선으로 하는 수중무기(잠수함, 수중어뢰 등) 관련 기술은 외국에서도 대외국 비밀로 분류되어 국내 독자 개발이 불가피함
- ▶ 산학연군경 공동으로 활용되는 국가적 차원의 핵심연구시설이므로 출연(연)에서 확보, 기술 전문화 및 활용성 심화

• 기대효과

(조선해운산업 측면)

- ▶ 해상 물동량의 증가로 인하여 컨테이너선, 액화가스운반선(LNG), 산적화물선 등 선박이 점점 대형화 및 고속화 추세임. 이러한 고부하 추진기에서 발생하는 캐비테이션, 변동압력, 선체진동 등을 분석제어하는 21C 선도기술을 개발하여 국내 조선산업 국제경쟁력 강화에 기여
- ▶ 고속 여객선의 추진기 캐비테이션, 수중방사소음 및 선체진동을 감소시켜 여객과 승무원의 승선감과 인락성 증대
- ▶ 국내 건조되는 선박을 개발하기 위하여 국외 연구시설 이용 횟수가 상당히 많음. 국내에서 개발된 선박과 추진기의 설계도면 등 기술이 해외로 유출 억제

(해양방위 측면)

- ▶ 대형 및 소형 고속함정, 한국형 잠수함, 수중어뢰 등 수중무기 개발에 저소음 대형 캐비테이션터널은 필수적인 연구시설이다. 특히 저소음 특수추진기 설계, 몸체와 추진기 상호작용, 몸체와 부가물(사령탑, 데크, 제어판 등) 주위의 유동소음, 추진기 캐비테이션 소음제어, 소나(sona)돔 주위 유동소음 등 관련 기술개발은 연구시설에 의존도가 매우 높다. 본 연구시설을 활용하면 비교적 단기간에 세계적 수준에 이를 수 있으며 다양한 연구가 가능함
- ▶ 고속함정, 잠수함, 수중어뢰 및 저소음 고성능 복합추진기 국내 개발 및 국외수출은 물론, 국내 조선소의 막강한 선박 건조 능력을 바탕으로 동남아시아 등 국외 해양국가의 해양방위사업 유치
- ▶ 해양 방위기술 고도화 및 자립화로 해군 무기체계개발 관련 국외 기술종속을 탈피하고 외화유출을 억제는 물론 대외 군사비밀 및 보안유지
- ▶ 수중어뢰 또는 잠수함 개발을 위하여 국외시설 이용 증가가 예상됨. 국외시설을 이용한 기술개발은 경비와 시간적 제한 요소가 크며, 실질적인 기술개발 측면보다는 일회성 성능검사 수준에 머물 수밖에 없음.



〈2004.3.3. 중앙일보기사〉

LCT 탄생 배경 및 개요

LCT 필요성에 대한 현실적인 갈등을 먼저 얘기해야 할 것 같다. KRISO 중형 캐비테이션터널(MCT)은 필자가 입소 후 설치를 착수하였으며 시운전 과정을 거쳐 1982.7.23일에 내외빈을 모시고 준공식(박승덕소장 시절)을 하였다. MCT의 설계, 제작 및 설치의 독일 Kemp & Remmer사가 수행하였다. 국내에는 처음으로 도입되는 캐비테이션 터널이어서 운용부터 각종 시험법 개발 및 검증 등에 많은 시간을 할애하였다. MCT에는 선박모형선 설치가 불가능하기 때문에 예인수조 모형선시험에서 계속된 3차원 공칭반류 중에 축 방향 유속성분만을 밀하고 소한 스크린을 적용한 반류스크린(wake screen)으로 재현한다. 국내 최초로 도입된 MCT에서는 모형시험을 통하여 설계 프로펠러의 캐비테이션 발생량과 변동압력 등 제반 현상을 확인할 수 있어 엄청난 기대 속에 각광을 받았다.

선박 프로펠러의 캐비테이션 성능은 프로펠러에 유입되는 유속분포에 크게 영향을 받는다. 대형 캐비테이션터널에서는 모형선을 설치하여 3차원 반류를 재현하기 때문에 보다 정확한 반면에 MCT에서는 모형선 대신에 반류스크린을 사용하여 축방향 반류만을 재현한다. 따라서 MCT에서는 특히 횡방향 반류성분이 큰 경우에는 오차를 검토해야 한다.

그 외에도 터널 시험부 단면크기가 작아서 발생하는 벽면 효과(wall effect), 실물보다 작은 모형 사용과 낮은 유속으로 발생하는 레이놀즈 수(Reynolds number) 차이 등 여러 가지 유체역학 현상들이 복합적으로 발생한다. 같은 이유로 인하여 에너지 절약장치(ESD) 등 선체 부가물과 프로펠러 상호작용 해석이 불가능하다. 또한 터널 내부 자체유동 소음수준이 높아 향후 고부가 선박용 저소음 프로펠러 개발, 해군함정 및 복합추진기(Pump jet 추진기, 전후류 스테이터 프로펠러, 덕트 프로펠러, 상호반전 프로펠러 등) 연구에 매우 제한적이라 판단하였다.

이러한 핸디캡을 최소화하기 위하여 추진기 팀은 유럽과 미국의 대형 캐비테이션터널 모형시험 또는 실선계측 자료를 바탕으로 MCT 결과와 비교/분석하며 많은 노력을 하였다. 다양한 선종과 선속의 프로펠러에 대하여 캐비테이션 검증을 잘해야 하므로 항상 조심스러웠으며 간혹 안타까운 일들이 생기곤 하였다.

• KRISO LCT 규모

KRISO LCT는 2009년 기준 규모 면에서 세계 2번째 크기이다. 세계 최대 규모는 미국 해군연구소(NSWC-CD)가 보유하고 있는 LCC이다. LCC에서는 일반상선 모형시험 연구업무를 수행하지 않으므로 KRISO LCT는 상선 프로펠러 캐비테이션 성능시험 연구시설로는 세계 1위 규모이다. (표 참조)

- ▶ 본체 크기 : 60.0mL×22.5mH×6.5mB
- ▶ 시험부 크기 : 2.8mB×1.8mH×12.5mL
- ▶ 음향계측부 크기 : 2.0mB×1.5mH×11.8mL
- ▶ 수축부 수축비 : 5.2 : 1
- ▶ 용수량 : 2,370 tons
- ▶ 시험부 최대유속 : 16.5m/s
- ▶ 주모터 출력 : 3,690 kW @ 70 RPM
- ▶ 압력 조절 범위 : 절대압 0.02~3.5 bar

LCT 사전연구 및 조사

전술한 애로기술 극복 과정에 국외 대형 캐비테이션터널에서 수행한 연구들을 조사·분석하고 해외 대형 캐비테이션터널의 특성과 성능을 조사하였다. (독)Kemp & Remmers사는 전 세계 캐비테이션 터널의 약 60% 이상을 설치하고 각종 동력계를 납품하는 전문회사이며 KRISO 중형 캐비테이션터널(MCT)도 K&R 제품이다. HSVA와 SSPA 연구소는 유럽에서 EU 국가 연구과제와 상업적 연구 활동을 많이 수행한 연구소로 한국 조선소들과도 오랜 인연을 맺고 있다.

앞서 설명한 바와 같이 LCT 건설 과제 착수 약 10여 년 이전부터 LCT 필요성과 해당 기술 검토, 관련 자료를 분석해 왔다. 이러한 사전연구 및 조사로 인하여 2004년 당시 제안한 대형 캐비테이션터널의 본체와 시험부 크기 등 제원은 지금의 LCT 제원과 거의 동일하다.

프랑스 대형 캐비테이션 터널(GTH)을 설계한 M. Visconti 씨가 근무하는 연구소 CERG(프랑스 남부 Grenoble에 위치)를 방문하였다. GTH 장점으로는 전 세계에서 유일하게 캐비테이션 터널 상부 하류 쪽에 체적이 매우 큰 downstream tank와 상류 column 부에 조절된 공기 방울 크기와 양을 분사하는 노즐을 보유하고 있다. 이것은 GTH가 자랑하는 주요 설비로써 물속에 함유된 공기 함유량 등 water quality 등을 항상 일정하게 유지 조절이 가능하다. 반면에 상부에 시험부 2개가 하부에 동시에 연결되어 마치 몸통은 하나인데 머리가 2개인 터널의 형상을 하고 있다. 따라서 시험 중에는 사용하지 않는 다른 시험부의 수로를 막아야 한다. 이와 같은 구조물 특성으로 유동소음 수준이 높을 것으로 생각되었다.

Kemp & Remmers사는 Dummy 모형선 설치하는 규모의 터널 실적을 보유하고 있으나 KRISO가 원하는 대형 캐비테이션터널 규모를 설계한 실적이 없다. 미국 LCC, 독일 HYKAT, 일본 FNS 및 스웨덴 SSPA 등 대부분 터널들은 오랜 시간을 투자하여 자체 연구·설계하였다. 또한 LCC, GTH 및 FNS 대형 캐비테이션터널에서는 주로 해군사업 연구를 하고 있어서 활동 실적이 외부로 잘 알려지지 않았다.

〈전 세계 대형 캐비테이션터널 확보 동향 (2004년 기준)〉

구분	구축 연도	터널 본체 크기 (m)	시험부 크기, m (폭×높이×길이)	최고 유속 (m/sec)	압력조절(절대압) kPa	터널 명칭, 보유기관
프랑스	1987	72×17	2,0×1,35×10,0	12,0	9~200	GTH, DCN (해군연구소)
독일	1990	52×15	2,8×1,6×11,0	12,6	15~250	HYKAT, HSVA (선박연구소)
미국	1991	73×20	3,0×3,0×13,0	18,0	3,5~414	LCC, NSWCC (해군연구소)
한국	1997	36×13	3,0×1,4×12 1,2×1,2×6	12,0 28,0	2~200 2,0~400	SCAT, 삼성중공업
타이완	2002		2,6×1,5×10,0	12,0	18~240	NTOU (타이완대학교)
일본	2004	53×20	2,0×2,0×10,0	15,0	10~300	FNS, TRDI (방위사업청)
한국	2009	60×22,5	2,8×1,8×12,5	16,5	2,0~350	LCT, KRISO (선박해양플랜트연구소)

국내 조선소를 비롯하여 국외 조선소에서도 상선 추진기 캐비테이션 성능 검증시험을 HSVA와 SSPA 터널을 많이 활용하여 왔다. SSPA 터널은 1970년에 완공했다. 당시에는 소음성능을 크게 고려하지 않았으며 본체 길이가 20m 수준이며 시험부 유속은 비교적 낮은 편이다.

대형 캐비테이션터널에서 모형선 선미표면에 작용하는 프로펠러 캐비테이션 변동압력을 계측한 후 상사법칙을 따라 ITTC 표준방법을 적용하여 실선으로 확장한다. 그런데 국외 어떤 대형터널은 모형시험 계측 변동압력 결과에 1.0보다 작은 보정 factor(실선자료를 기반)를 적용하는 것으로 알려져 있다. 이들은 대형 캐비테이션터널 역사가 오래되고 다수의 실선자료 확보한 기관들이기에 시도할 수 있을지 모른다. 그러하지 못한 우리는 KRISO LCT에서 추가적인 보정 없이 모형선 계측 변동압력에 ITTC 표준방법을 적용하여 실선값으로 확장하고자 했다. 모형선 프로펠러 캐비테이션 유기 선체표면 변동압력 계측값에 어떤 보정 factor를 적용한다는 것은 터널에서 재현되는 프로펠러 캐비테이션 특성이 실선과 다를 수 있음을 의미한다. 어떤 터널은 실선자료를 바탕으로 모형선 재현반류를 개선코자 시험부 내부 바닥면과 양 측면에 flow liner 설치를 검토한 적이 있다.

이런 현상은 터널의 규모, 시험부 크기 등 수로 형상 설계에 따라 대형터널의 특성에 영향을 준다고 생각된다. 결과적으로 말하자면 지금 LCT에서는 모형선 변동압력을 실선 확장시 계측점 위치나 변동압력 harmonic 차수에 관계없이 보정 factor를 적용하지 않고 ITTC 방법을 적용한다. 이는 실선 프로펠러 캐비테이션 관찰시험과 실험실 실선 변동압력 계측을 통하여 확인한 바 있다. 참 다행스러운 결과라 생각한다.

강창구 소장, 대형 캐비테이션터널 추진을..

2003년 12월 어느 날 소장실(강창구 소장)에서 전화가 왔다. 내년에 산업자원부 기반조성사업으로 ‘대형 캐비테이션터널’ 확보 사업을 추진해 보자는 것이다. KRISO 내부에서는 오래전부터 ‘대형 캐비테이션터널’ 보다 ‘고속 감압수조’가 우선순위가 있었다. 우선순위가 선정 회의에도 참석했던 필자로서는 눈이 번쩍 뜨이는 일이었다. 그동안 국내 조선업계에서는 2개 연구시설에 대하여 효용성 및 활용성에 대한 논의가 있었을 것으로 생각된다.



〈산업기반조성사업 착수회의 (2004. 7. 23)〉



〈산업자원부 산업기반조성사업 현판식 기념행사, 2004.12.9〉



〈산업자원부 산업기반조성사업 현판 (2004.12.9)〉

〈사전연구기획〉

2004년 6월 착수를 목표로 하는 산업기반조성사업은 진행일정들이 너무 긴박하였다. 2004.1.29 '산업기반기술조성사업 수요조사 제안서' 제출(김기섭) 후 2004년 2월 초 '2004년 산기반조성기획사업 대상과제' 로 확정하였다. 본 제안과제는 아래와 같이 사전기획사업이 수행되었다. 기획연구위원으로는 아래와 같이 산·학·연·군·관 11명으로 구성하였다.

- ▶ 사전기획사업 : '고부가가치 선박 산·학·연 공동연구기반구축'
- ▶ 수행기간 : 2004.2.11~2004.3.12.(약 1개월)
- ▶ 사전기획 연구위원 (2004년 기준)
 - 이진모(총괄) / 산업자원부 수송기계산업과 (사무관)
 - 홍성훈(간사) / 한국산업기술평가원 기반조성실
 - 박노준(팀장) / 한진중공업 수석연구원, 한국조선공업협회 총무
 - 이창섭(팀원) / 충남대학교 선박해양공학과 교수
 - 유병세(팀원) / 한국조선공업협회 기술지원실장
 - 이덕열(팀원) / 대우조선해양(주) 이사 (기본성능연구소장)
 - 이흥기(팀원) / 현대중공업(주) 이사 (현대선박해양연구소)
 - 정영운(팀원) / (주)한진중공업 상무 (상선설계담당 임원)
 - 임효관(팀원) / STX조선(주) 상무 (조선해양연구소장)
 - 박동기(팀원) / 국방부 연구개발관실 (해군중령)
 - 홍성인(팀원) / 산업연구원(KMI) 주력기간산업실 부연구위원
 - 김기섭(팀원) / 한국해양연구원 해양운송시스템연구본부장

산기 기획사업 결과는 2004.3.19 서울대 호암회관에서 다른 과제들과 경쟁 속에서 '2004년 산기반 연구기획과제 평가발표회(산학연 공동연구기반구축 분과)' 에서 '고부가가치 선박 산학연 공동연구기반구축' 평가발표회를 하였다. 내용 발표는 당시 국내 조선산업계를 대표하여 박노준수석(한진중공업)께서 수고하였다. 당시 박노준수석은 한진중공업 수석연구원이면서 한국조선공업협회 기술교류회 총무 직책을 겸하고 있었다. 후일 알게 된 얘기이지만 본 기반조성사업 과제가 조선산업의 숙원사업인지라 사명감에 불탔고, 제한된 시간에 효과적인 발표를 위해 전날 잠을 제대로 이루지 못하였다 한다.

당시 국방부 연구개발관실에 근무하던 박동기 해군 중령은 군복차림으로 참석하여 대형 캐비테이션터널이 해군 발전에 필요한 연구 시설임을 피력하였다. 효과적으로 어필했다고 생각했다. 그리고 필요시 많은 자료와 논리를 제공해주신 산업연구원 홍성인 박사님께도 감사드린다. 그 외 다른 분들의 많은 도움이 있었으나 일일이 거론치 못함에 양해 말씀을 드린다. 참으로 고마운 일들이다.

〈연구계획서 작성 및 제출〉

사전기획사업 평가발표회(2004.3.19.)에 이어 1개월 이내 기반조성사업 연구계획서를 제출(200.4.20) 해야 한다. 잘 아는 바와 같이 연구계획서에는 연구내용 및 방법, 소요예산, 사업비 확보방안 등이 구체적으로 적시되어야 한다. 다행히 대형 캐비테이션 터널 기본제원 및 규모는 앞서 설명한 바와 같이 오래 전부터 검토한 탓에 비교적 작성이 용이했다. 그러나 총 사업비 중 민간분담금 약 95억원에 대한 약속과 확보가 준비가 부족했다. 또한 당해년도 민간분담금 확보 또한 쉬운 일이 아니었다. 분담금 출자 관련하여 아래 표에 적시된 분들 거의 대부분을 만나 산기반사업의 취지와 당위성을 강조하며 많은 지원과 도움 말씀을 나누는 바빴던 일정들이 스쳐지나간다. 행정부서 누군가는 필자가 출장 후 귀소하면 전화를 한다. '어제는 분담금을 얼마나 확보했어요?'

국내 선형설계 최고 전문가인 김호충 전무는 '당연히 go다. 우리기술이 out 된다. 대우가 먼저 나선다' . 임효관 상무는 '조선 산업계 숙원사업이다. 세계화를 위해서는 향후 대형 컨테이너선은 선형과 추진기를 동시에 개발해서 기술의 불확실성을 확실성으로 바꾸어야 한다.' 이덕열 이사와 박재상 부장은 '초대형 LNG선(single, twin)과 13,000TEU 이상의 초대형 컨테이너선을 준비해야 한다' . 이창섭 교수는 '조선설계기술 세계 1위 확보 및 유지 그리고 대 중국 기술경쟁력 기술우위를 확보해야 한다' . 라고 말씀하셨다. 신동식 회장 방문은 장석 전임 소장님과 동행하였다. 설명 자료를 잔뜩 준비하였으나 신 회장님은 취지만 들으시고 '필요한 일이군요. 자네 동기생 김용철 전무와 앞으로 잘해 보세요' 라고 하시며 단숨에 분담금 출자를 약속하셨다.

이와 같이 많은 분들로부터 받은 격려와 뜨거운 열정들은 시대적 사명감과 사회적 책임감으로 이어져 필자에게는 필연적인 책무라 생각하게 되었으며 버팀목이 되었다. 정성립 사장, 김성기 사장과 김호충 전무 방문에는 강창구 소장과 함께하였으며 민간분담금 확보에 많은 심혈을 기울였다. STX조선 분담금을 시작과 기준으로 추진하였다.

2004.5.6.에는 '고부가가치 선박 산학연 공동기반 구축' 신규사업 선정평가발표회가 있었다. 발표자는 주관기관 연구책임자인 필자가 하였다. 그 후 본 과제는 2004년 국가지원과제로 선정되었으며 착수일은 2004.6.1.이다. 이제부터 시작인데 어디서부터 시작을 해야 하는지 끝이 보이지 않는 것 같았다.

아래는 본 사업개요를 보여준다.

- 사업개요

- ▶ 사업수행기관: 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소
- ▶ 과제명: 고부가가치 선박 산학연 공동기반 구축
- ▶ 연구시설명: 저소음 대형 캐비테이션터널
- ▶ 사업기간: 2004. 6. 1 ~ 2009. 6. 30 (5년 1개월)
- ▶ 연구책임자: 김기섭
- ▶ 총 사업비: 현금 192.01억 원 (정부출연금 96.21억 원 + 민간분담금 95.8억 원)

아래 표는 본 사업에 민간분담금 출자에 참여한 기관과 도와주신 고마운 분들임을 알립니다.

참여기관	분담금(천원)	도움주신 분들
대우조선해양(주)	3,500,000	정성립사장, 김호충전무, 이덕열이사, 이성근연구소장, 신동원이사, 윤인상이사, 박재상차장 외
(주)한진중공업	500,000	홍순익부사장, 박규원부사장, 정영운상무, 박노준수석 외
STX조선(주)	1,500,000	김성기사장, 신상호상무, 임효관상무 외
SLS조선(주)	356,000	유수언사장, 배승만이사, 손재우부장 외
(주)21세기조선	300,000	문귀호사장, 노재근상무, 김성환이사 외
(주)한국해사기술	300,000	신동식회장, 김호벽부사장, 이경환전무, 김용철전무 외
(주)신라금속	50,000	김일웅사장, 김형진이사, 최종섭부장 외
성동조선해양(주)	500,000	유관홍사장, 엄기찬부사장 외
대선조선(주)	300,000	이상우상무, 장민석부장
SPP조선(주)	400,000	이낙영사장, 권홍주이사 외
(주)극동선박설계	100,000	김인수사장, 안정강사장, 조성진이사, 옥군도부장 외
KRISO	1,774,000	강창구소장, 홍석원소장 외
합계	9,580,000	

기관별 특성과 사정에 따라 민간분담금에 참여할 수 없었던 기관들도 있었다. 사업의 목적과 취지에는 동의하면서 직접 참여하지 못하고 완공 후 ‘활용기관’으로 등록된 기관과 협조해 준 고마운 분들은 아래와 같다. (2004년 기준)

- ▶ 대한조선공업협회 / 이병호부회장, 유병세실장, 강사준부장
- ▶ 국방과학연구소(진해) / 최진혁본부장, 박의동박사
- ▶ 대한민국 해군 / 이홍희소장(조함단장), 황기철준장(사업처장), 손귀현대령(함정기술실장), 박동기중령, 민영기중령
- ▶ 현대중공업(주) / 민계식부회장, 엄덕준상무, 이흥기이사, 장봉준박사
- ▶ (주)현대미포조선 / 최길선사장(겸, 조선공업협회장), 황성호상무
- ▶ 현대삼호중공업(주) / 심현상이사
- ▶ 마스텍중공업(주) / 하병영상무
- ▶ (주)녹봉조선 / 박관배차장

필자는 조선산업계의 참여도를 높이기 위하여 조선공업협회 연구조합이사회 총회(용인, 2004.2), 조선산업기술교류회(거제, 2005.1), 해군본부 조함단(계룡대 2005.5), 국방부 합참 연구개발관실(2005.5), 조선공업협회 기술협의회(2008.8) 등을 방문하여 산기반조성사업의 진행상황을 보고하고 지원을 요청하였다. 이런 노력에도 불구하고 부족했던 17.74억 원은 연구소 적립금으로 출자(2008년, 홍석원 소장 시절) 하기로 하였다. 의사결정에 참여하신 분들께 감사드립니다.



〈대형 캐비테이션터널 기공식 ' 시삽식(25명) (2006.11.21.)〉

LCT본체 상세설계·제작 및 건축

제작사양서(서류작성 협조, 김영창팀장, 김용직사장 외)를 기반으로 국내 제작업체를 물색하였다. 유사한 제작품 실적이 전혀 없는 국내 사정으로는 쉬운 일이 아니었다. 첫 입찰공고에서는 대기업과 중소기업들이 입찰하였는데 견적이 거의 비슷한 금액의 견적을 보이며 모두가 예산을 훨씬 웃도는 금액이었다. 마치 가격단합이 아닐까 하는 생각이 들었다. 하는 수 없이 유찰을 거듭하였다. 입찰에 응하는 제작업체 추가 확보를 위하여 입찰 자격조건을 일부 완화하였다.

LCT 구조물과 비교적 유사한 실적을 갖고 있을 만한 중소기업들을 찾아 경기도(시화공단 등), 경상남도 등 산업단지를 돌며 건설한 제작업체가 있는지 물색하였으나 결코 쉬운 일은 아니었다. 결국 3차 입찰 후 최종협약을 대명 엔지니어링(황종균 사장, 김석수 전무)과 하게 되었다. 그동안 시간은 덧없이 흘렀다.

그리고 LCT 구조물의 외형 크기가 워낙 크기 때문에 기초공사 후에 LCT 본체를 설치한 후 시간이 한참 경과한 후에 건물 벽 및 지붕 작업을 해야 했다. 그러는 동안 연장된 건축기간에 따른 물가 및 인건비 등 에스컬레이션 비용추가 요구에 응해야 하는 어려움도 있었다.

• LCT 설계 및 제작

대형 캐비테이션터널 형상설계는 터널내부의 유체역학적 성능과 구조물 강도를 고려하여 KRISO 자체적으로 수행하였다. 여러 차례의 형상설계/해석 및 각종 모형시험들을 수행하였다. MCT를 약 22년 동안 운용한 경험을 바탕으로 우리 현실에 적합한 편이성 등을 설계에 녹여 넣었다. 뿐만이 아니고 향후 LCT에서 수행할 모형시험 종류를 파악하고 이를 반영하였다. 그 동안 축적된 경험들이 결정적인 큰 힘이 되었다. 제작설치는 조달청을 통하여 제작업체와 납품 계약체결(2007.7) 하였다.

당시에는 중국이 자국 내 중공업 육성을 위하여 전 세계 강판을 빨아들이는 시절이라 시의적절하게 강판 확보를 해야 하는 어려움이 도사리고 있었다. 대명엔지니어링 황종균 사장은 납품기간 준수를 위하여 사전에 기계산업진흥회와 포항제철을 접촉하여 철판 재료 확보를 위한 논의를 하였다.

LCT 본체 상세설계 도면검토 및 실물 제작·설치 등 감리는 한국해사기술(KOMAC) 이경환전무께서 맡아주셨다. 대 선배님임에도 불구하고 현장 구석구석을 꼼꼼히 살피셨다. 필자는 거의 매일 점심을 이경환전무님과 함께했으며 그 분께 많은 것을 배웠다.

LCT 제작 소요 재료비의 50% 이상을 차지하는 SUS 304L 판재 단가가 니켈값 상승으로 인하여 계획 당시 2004년 2,600원/kg에서 제작 발주하던 2007년에는 6,000원/kg으로 상승하였다. 이는 본체 제작비 상승으로 이어졌다.

기 확정된 예산에 목표 달성을 위하여 터널의 크기와 성능을 유지하면서 재료비가 상승한 현실에 대처하기 위해서는 재료비와 제작비 절감을 위한 노력이 필요하였다.

제작비를 줄이는 제일 쉬운 방법으로는 터널의 크기를 줄이는 것인데 이것은 후일 예산이 가능하더라도 다시 크기를 증가시킬 수 없는 일이다. 일반적으로 터널 내부 면에는 물이 닿기 때문에 단가가 높음에도 불구하고 녹이 슬지 않는 SUS를 사용한다. 하지만 단가가 낮은 일반 mild steel(SS41)을 채택하는 경우에는 녹이 잘 쓰기 때문에 접수면 부식방지 방법 및 가능성을 전문가와 검토한 바 있다. 이 방법은 완전하지 않으며 향후 주기적인 페인트 처리 또는 전기분해장치 등 유지보수에 어려움이 많다고 판단하였다. 결국 접수 부분은 부식을 방지하기 위하여 SUS판재를 사용하되 직접 접수하지 위치의 보강재는 SS41로 사용하기로 하였다. 터널 내부 압력조절 최대압력을 4.0 Bar에서 3.5 Bar로 낮추어 조금이라도 재료비 절감을 꾀하였다.

터널 내부 최고압력이 높을수록 좋은 점은 터널 용수에 녹아있는 기포 크기 조절범위가 보다 넓어지기 때문이다. 이를 통해 기포크기와 관련된 기초연구의 시험조건 선정이 용이하다. 최대압력 감소에 대한 대책으로 본 터널에 설치되는 공기함유량조절장치(Deaeration/Aeration System)의 작동시간을 충분히 조절하여 터널 수에 내포하는 기포를 제어코자 하였다. 그 외에도 예산절감을 위하여 프로펠러 동력계는 시운전용으로 1대만 구매발주 하였으며 터널 건물의 폭을 1m만큼 줄이고 건물의 창문 개수도 줄여 건축비 일부를 줄였다.

그리고 2008년 세계적으로 불어 닥친 금융위기의 어려움 속에 매우 힘들어하는 LCT 제작·건축업체들을 보며 보상할 수도 없는 상황에 속수무책이었다. 후일 대명엔지니어링은 본 사업수행으로 많은 손실을 겪었다 한다.



〈대형 캐비테이션터널 매트 기초공사 (2007.3)〉



〈LCT 본체와 건물 철구조물 설치작업 (2008.10)〉

토목/건축

LCT는 대형 연구시설로서 주 구동 모터(3,690kW) 외에 여러 종류의 급배수 펌프, 진공펌프 및 제어시스템을 가동해야 하므로 큰 전력이 소요된다. 한국기계연구원으로부터 공급받는 기존의 전원공급 시스템으로는 불가하여 별도 신규로 22,900볼트 전원공급시설 확보가 시급하였다. 본 사업에서 전혀 고려하지 못한 부분이다. 이에 추가 예산확보와 전원 매설을 위한 인입로 대지 확보 등 복잡한 일들이 도사리고 있었다. 당시 임용곤 소장을 비롯하여 구광모/이길준 건설지원단장과 맹주영 감독 등 여러분이 LCT 건설뿐 아니라 새로운 전원공급시스템 확보를 위하여 대덕 특구본부, 한국토지공사 및 한국전력공사 등으로 동분서주하였다. 한국전력공사로부터 전원공급 착수시기를 2009.3.30경으로 통보를 받았다. 이는 사업기간 연장의 원인이 되기도 한다. 이 새로운 전원공급시스템은 과학기술부 출연금 사업 '기반 에너지 공급시설 구축사업' (08 ~ '09, 32.9억 원)으로 확보되었다.

또한 LCT 용수(2,370톤)의 신속한 공급을 위하여 사유지에 있는 직관에 신규로 송수관을 연결하였다. 그 이전까지는 한국기계연구원에 있는 중앙공급 지하수조와 살금산 자락에 있는 고가수조를 거쳐야 했다. 기존의 방법으로는 LCT에 용수공급에 소요시간이 너무 많이 걸렸을 뿐만 아니고 기숙사와 사무실에서 물이 나오지 않아 직원들의 불평이 매우 높았다. LCT 건설로 인하여 KRISO는 별도의 전원공급시스템과 급수장치를 확보하게 되었다.

• 지질조사

LCT 설치 위치는 향후 예상되는 신규 시설물과 충돌되지 않아야 한다. 해외 연구소 시설 등에 경험이 많은 양승일 전임소장께 여쭙고 확인하였다. LCT는 대형 구조물이기 때문에 지반이 견고해야 한다. 그렇지 않으면 서서히 침하하여 터널본체 철 구조물에 균열이 갈 수도 있고, 비틀림이 생겨 유동에도 영향을 주어 LCT 본연의 기능을 잃어버린다. 따라서 시추조사와 표준관입시험을 통하여 지층구조와 지하수 분포 등을 파악하였다. 시추조사는 시험공(6개소)을 굴진하여 지반의 성상 및 각 지반의 공학적 특성, 기안반의 분포상태 및 풍화도를 파악하는 것이다.

표준관입시험으로는 토질의 연경도와 다져진 정도를 파악하여 지반의 지지력과 토층의 구성 상태와 성분을 파악한다. 예상 설치부지는 지표로부터 풍화토, 풍화암, 연암 층으로 구성되어 지표면 성토작업으로 충분히 튼튼한 기초를 세울 수 있다는 판단되었다. 그럼에도 불구하고 보다 튼튼하게 유지하기 위하여 파일을 박고 기초를 올렸다.

- 지반전달 소음

LCT는 모형 프로펠러 소음수준을 예측할 수 있을 정도로 주변 배경소음 수준이 충분히 낮아야 한다. 배경소음이 클 경우에는 터널에서 프로펠러 소음계측에 어려움이 발생하기 때문에 사전에 그 특성을 파악해야 한다. 연구소는 특성상 주변에 크고 작은 시험시설 및 장비들이 상시 운용되고 있다. 주변에는 빈번한 차량 통행과 고속도로가 위치하고 있다. 예정 부지 주변을 보면 예인수조가 고속도로 쪽에 평행하게 지하에 설치되어 있다. 터널 예정지는 산 쪽 높은 곳이 위치하는 장점도 있다. 지반으로 전달되는 소음수준을 확인하기 위하여 지하 2개소에 수중청음기를 설치하고 약 1주일 정도 계측하였다. 해석 결과는 미국 LCC 대형터널에서 유속이 0.0m/s인 경우 계측한 배경소음과 비교하였다. 거의 전 주파수 영역에서 LCT 지반전달 소음이 LCC보다 더 적었다. 해석 결과로는 LCT 운용에 심각한 문제는 유발하지 않는 것으로 파악했다.

LCT 준공식을 맞으며

LCT와 빙해수조 준공식은 아래 사진에서 보는 바와 같이 내외부 인사를 모시고 공식행사(2010.5.25, 임용근소장시절)를 가졌다. LCT 생년월일은 최종 인수시운전 완료일(2009.10.10.)로 정했다.

산업기반조성사업은 과제의 성격상 예산이 항상 부족하다. 본 사업 경우에는 거의 5년이 소요되었다. 장 기간동안 PBS 제도 하에서 안중우박사를 비롯하여 여러 참여연구원들의 헌신적인 노력과 수고에 감사한다. 그리고 예기치 못하여 발생하는 부족한 예산 확보에 힘 노력해준 그들에게도 감사를 표한다. 향후에는 보다 타당한 추진방법이 제도적으로 모색되기를 바란다.



〈 '대형 캐비테이션터널' 준공식 (2010.5.25), 단체 기념촬영〉

본 기반조성사업 종료에 이어서 아래의 산업융합원천기술개발사업을 수행하여 LCT 가동 정상화 시기를 조기에 이룰 수 있었다. 이는 기반조성사업에서 부족하였던 각종 계측장비 및 연구설비들을 확보하는 계기가 되었으며, LCT의 각종 모형시험법을 개발하고 여러 조선소가 제공한 선박에 대하여 프로펠러 캐비테이션 성능을 여러 각도로 검증하였다. 특히 실선 프로펠러 캐비테이션 관찰, 변동압력 및 수중소음 계측을 통하여 LCT의 모형시험 신뢰성을 확인하였다. 이 과제 선정과 추진에 도움을 주신 참여기관 및 위탁기관 모든 분께 감사의 말씀을 드린다.

- ▶ 사업종류 : 지식경제부 산업융합원천기술개발사업
- ▶ 과제명 : '친환경 추진기 캐비테이션 성능 제어기술 개발'
- ▶ 연구기간 : 2009.6 ~ 2014.5
- ▶ 연구비 / 연구책임자 : 현금 93.59억 원 / 김기섭(KRISO)

▶ 참여/위탁 기관 : 대우조선해양, STX조선해양, 한진중공업, 성동조선해양, SPP조선, 충남대, 서울대, 부산대



〈LCT 3층 시험부 앞에서 캐테이션 시험 시연회
(카메라 가까이 긴 코트 : 김훈철박사님) (2010.5.25.)〉



〈LCT 준공식(2010.5.25) 당시 추진기 팀원들 기념 촬영 [좌로부터 박철수, 김건도, 설한신, 문일성, 김기섭, 박영하, 안중우, 백부근]〉

• LCT 연혁

▶ LCT 기본설계 : 2004.6 ~ 2006.8 (2년 2개월)

자료조사 및 개념설계, LCT 시스템 구성, 본체/운용설비/장비 사양도출 및 시스템 최적화, 유체성능/구조물 기본설계, 국내/외 설계성능 검증시험

▶ 건물 설계 및 LCT 본체 기초공사

건물 건축 설계 : 2005.4 ~ 2006. 6 (1년 2개월)

건물 건축 공사 및 준공 : 2006.11 ~ 2009.7 (2년 8개월)

▶ 조달청 입찰 및 협약 : 2006. 9~ 2007.6(9개월)

국내 제작업체 조사, 견적자료 조사, 제작사양서 작성, 조달청 입찰 : 3차 입찰 후 최종 협약

▶ LCT 본체 및 시스템 상세설계, 제작, 설치, 성능시운전 : 2007.7~2009.10 (2년 3개월)

제작업체 협약, 본체 및 운용설비/장비 상세설계, 제작 및 설치, LCT 최종 시운전 완료(2009.10.10)

▶ 프로펠러 캐비테이션 관찰 및 변동압력 계측 처음 시도 : 대우 151K LNG 운반선 모형선+프로펠러+방향타+흡수판 설치 (2009.12.27)

▶ 입주 및 준공식

LCT 연구동(J동)에 입주식 : 2010.1.25

LCT 준공식 : 2010.5.25.

마치면서

본 과제는 산업자원부 산업기반조성사업으로 수행되었다. 과제 지원과 수행에 열정을 보여주신 수송기계산업과 전상헌과장, 이진모사 무관을 비롯하여 ITEP 여러분들께 감사드린다. 지금 LCT는 KRISO(김부기 소장) 선박연구본부(김광수 본부장) 함정공학연구센터(설한신 센터장) 소속으로 관리되고 있다. LCT는 철 구조물이며 기계장치인 만큼 수시로 유지보수가 필요하다. 추진기팀원들과 LCT 해외 모형시험과 수치해석 등에 참여한 김진박사, 안해성박사께도 감사한다.

오늘날 LCT는 조선소 수탁과제, 민군겸용기술과제, 방위사업청 핵심기술과제, 국과연 용역사업 외에도 방위사업청 '미래잠수함 저소음 추진기 특화연구실' (설한신 연구실장) 유치에 이르기까지 LCT를 잘 활용하고 있다. 이것은 그 동안 LCT 확보에 지원하고 수고하신 분들에 보답하는 길이며 고맙고 참 다행이라 생각한다. LCT가 대형 구조물이고 고속유동이기 때문에 실제 운영과 실험에 참여하는 안종우박사와 박영하책임에게 항상 안전에 유의를 당부한다.

필자가 입소 당시 국내 조선업계와 KRISO 상황을 비교하면 그 동안 많은 변화와 발전을 거듭하였다. 많은 격세지감을 느끼면서 얼마나 행복한 일인지 모른다.

참고문헌

- 김기섭, 안종우, 'MOERI 대형 캐비테이션터널 확보로 국내 프로펠러 캐비테이션 연구 가속화' 대한조선학회지 제 47권 제3호, 2010.9.30., 연구실 탐방
- 김기섭, 안종우, 박영하, 'MOERI 대형 캐비테이션터널 (LCT) 준공 후 3년', 대한조선학회지 기술보고, Vol. 49, No. 4, December 2012
- 설한신, 김기섭, 박영하, '선박 추진기소음 기술동향 및 KRISO 연구개발 현황', 대한조선학회지 기술보고, Vol. 54, No. 2, June 2017
- Kim K. S., Ahn J. W. et al, 2009, Construction of the low noise large cavitation tunnel, final report, Ministry of Knowledge Economy of Korea
- Kim K. S., Ahn J. W., Park Y.H., Paik B. G., Kim G. D., Kim S. P., Yu Y. W., 2010.6, Proceedings of SNAK, A Characteristics of Model Ship Wake Generated at MOERI Large Cavitation Tunnel using a Model Ship
- 김기섭, 안종우, 문일성 외, 친환경 추진기 캐비테이션 성능 제어 기술개발, 지식경제부 산업원천기술개발사업 연구보고서(1차~5차년도), 2009.6 ~2014.5)
- 김기섭, 안종우, 문일성, 박영하, 김건도, MOERI '대형 캐비테이션터널 (LCT)' 및 프로펠러 캐비테이션 성능검증 시험법, 2012년 하계 대한조선학회 선박설계연구회

• Ki-Sup Kim, Jong-Woo Ahn, Young-Ha Park, Gun-Do Kim, Sung-Pyo Kim, Yong-Wan Yu and Chang-Sup Lee, Correlation Study on Pressure Fluctuation Measurement at Large Cavitation Tunnel with Full-Scale Data for Two Container Carriers, KOREA, PRADS 2013 Nov, 2013