

선박용 디젤기관의 연구개발 동향

최 갑 석

한국기계연구소 부설 해사기술연구소 책임연구원



● 1945년생
● 내연기관을 전공하였으며, 디젤엔진의 연소 특성 해석과 스테어링 엔진 개발연구에 관심이 있다.

1. 머리말

국내 선박용 원동기연구는 1980년대에 들어서면서부터 엔진의 성능시험평가, 요소 기술개발연구, 소형엔진의 성능개량연구등이 연구인력확보, 연구시설 확충 및 연구기반 구축과 병행하여 진행되고 있다. 선박용 원동기는 디젤엔진이 대부분이며, 이 분야의 연구는 국내 선박용 디젤엔진 생산업체의 발전 및 실수요자들의 요구사항과도 밀접한 관계를 유지하고 나아가 미래지향적인 고성능 고효율엔진의 개발로 전개되고 있다. 국내 100GT이상 선박은 1930척(7,334,000GT)중 1918척(6,546,000GT)이 디젤엔진선이고, 연근해 어업에 종사하는 어선은 약 74,000척으로 경운기, 양수기등의 구동용 엔진을 탑재한 선박도 있으나 대부분이 디젤엔진선으로 구성되어 있는 반면, 공급측인 디젤엔진공장은 기존의 소형엔진공장과 1970년대 말부터 중·대형엔진공장이 외국기술 도입으로 가동됨으로서 국내 디젤엔진공업이 본격화 되기 시작하였다.

중·대형엔진공장을 유치하여 생산공급하기도 급급했던 초기단계에서 수요확보를 위한 노력이 절실히 요망 되었고, 또 부품 국산화, 수요자 요구에 부응키 위한 자체 능력향상은 가공생산기술축적, 설계능력향상, 수리전문 기술자 및 AS등으로 도모되어 왔다. 외국 기술도

입에 의한 생산의 장점-기술도입자체외에도 세계적인 서비스 네트워크, 상표사용, 새로운 기술의 확보등은 한국형 엔진 개발을 위한 연구를 도외시해 왔다.

한편 소형엔진에서는 어선 근대화 사업, 어민들의 엔진성능인식이 상향됨으로써 새로운 고성능 엔진개발이 1980년대에 활발하게 진행되어 상당한 진전을 보여 왔으며 고속엔진개발이나 대체에너지 이용 엔진개발에도 연구가 확대되고 있다.

본글에서는 국내 박용 원동기 연구개발동향을 소개하기 위하여 국내 박용디젤엔진 산업과 연구배경, 개발연구등에 대한 내용을 실적 및 진행중인 과제를 위주로 요약 소개하고자 한다.

2. 국내 박용 원동기산업과 연구실적

2.1 국내 디젤엔진공업 개요

우리나라의 선박용 원동기 산업은 디젤엔진 공업으로 대표할 수 있으며 본글에서는 디젤엔진공업을 소개한다.

우리나라의 선박용 디젤엔진공업은 1960년대까지 주로 4~50마력 정도의 소형엔진과 200마력급 미만의 소형엔진 정도였다. 그 이후 우리나라 디젤엔진공업은 표 1과 같이 주로 일본과의 기술제휴에 의한 500마력 정도까지의 소출력 엔진에 한정되었다.

표 1 '70년대 박용 디젤엔진의 기술제휴 실태

회사명	한국기계	대동중공업	진일공업	조선공사
기술제휴선	KUBOTA	Mitsubishi	YANMAR	Niigata
계약기종	8~150ps (19기종)	7~250 (38기종)	4~650ps (71기종)	250~850 (9기종)
기 간	'86.7~'77.7	'69.9~'72.9	'70.7~'75.7	'69.4~'77.4

그러나 정부에서는 제4차 경제개발 5개년 계획 기간중에 대·중형 선박용 디젤엔진의 생산 규모의 합리화를 기하기 위해 3가지의 생산형식을 택하여 소형 400마력까지는 대우중공업(한국기계 인수), 중형 400~6000마력을 쌍용중공업(진일기계 인수), 6000마력급 이상 대형을 현대엔진공업이 전문적으로 생산하도록 하였으며, 그 후 한국중공업도 대형엔진 생산에 참여하였다. 또한 이들 대표적 4개사 외에도 대동중공업, 중앙기계등 수개의 소규모 소형 디젤엔진 회사가 정부의 특별한 보호 육성지원도 받지 못한 채 어려운 여건속에 생산을 계속하고 있으며 생산기종은 약 55기종이었다. 최근의 조사에 의하면 현재 박용 디젤엔진의 제조를 계속하고 있는 업체는 대형 2개사, 중형 1개사, 소형 5개사이다.

한편, 국내의 중·대형 디젤엔진은 모두 외국기술제휴에 의해 생산하고 있으며, 대형은 주로 스위스 Sulzer, 덴마크의 B & W, 독일의 MNA사로부터, 중형은 Sulzer, SEMT Pielstick, MTU, Hanshin, Niigata, Daihatsu, Wartsila등의 기술도입에 의존하고 있으며 대개 60%이상의 국산화 실적을 보이고 있다. 반면에 소형엔진은 대부분이 외국 구식엔진을 모방 생산하고 있으며 제작사중 1~2개사가 외국 고속엔진 기술을 도입하여 생산을 하고 있으나 상품화에는 그리 성공치 못하였다.

2.2 개발연구 배경

연근해 어선 근대화 계획이 '81년부터 착수되어 FRP선형이 채택되고, 선형에 맞는 소형

어선용 엔진의 개량 연구가 불가피하게 되었다. 이때까지의 국내 소형 디젤엔진은 대부분이 실제성능이 파악되지 않은 상태에서 사용되어 왔고 군소영세업체에서 공급하는 엔진은 그 성능의 불확실함외에 중량, 진동문제와 정비, 보수상의 어려움도 수반되어 연근해 어선 근대화 계획의 엔진분야에서는 우선적으로 성능실험에 의한 성능평가 연구가 수행되었다. 성능시험방법 및 평가기준을 제정하고 1차적으로 23개기종(표 2참조)에 대한 성능 시험평가를 행하고 성능향상을 위한 문제점을 도출하여 20PS 간접분사식 디젤엔진 성능향상 연구에 활용하였다. 특히 20PS개발연구에서는 기존엔진에 비해 비출력 42.4%, 연료소비율 10.9%, 경량화 19.9%의 획기적인 효과를 올렸다. 성능시험평가에서 시작된 연구는 20PS 외에 50PS 직접분사식 엔진, 10PS 직접분사식 디젤엔진 개발연구를 계속 수행하게 되어 産·研共同研究에 박차를 가해왔다.

한편 중·대형엔진의 경우는 외국기술도입으로 생산하더라도 실수요자들의 사용 기피 현상은 피할 수 없어 정부에서는 1979년 국내 디젤엔진공업의 보호육성정책으로〔선박용 엔진 및 동부분품 성능평가위원회(상공부고시 제79-103호)〕 구성으로 직접적으로는 국내 디젤엔진공업육성을 도모하고 간접적으로는 장래에 예측되는 국제기술 충격에 대비하여 국내 기술 자립을 도모하게 하였다. 상기 위원회는 전문가들로 구성되어 성능시험방안 및 평가기준을 강화제정 하였으며, 그 기준에 따른 엔진성능평가로 기술적인 보장과 국산 엔진사용에 대한

표 2 시험대상기관의 사양 및 요목상세

제 작 자	기 종	기통 수 (n)	출력 (ps)	회전수 (RPM) (기관/축계)	실린더 경 (mm)	행 정 (mm)	면 적 (mm)	S/D	기통당출력 (ps/cyl)	피스톤속도 (m/sec)
중앙철공소	JAM5	1	5	2,200/1,100	78	84	47.78	1.075	5	6.61
"	JAM10	1	10	1,800/ 900	96	105	72.38	1.093	10	6.6
"	JAM14	1	13	1,800/ 900	105	125	86.59	1.190	13	7.5
"	JAM16	2	16	1,800/737.9	96	110	72.38	1.145	8	6.6
대동중공업	1DM6	1	6	2,200/ 902	80	95	50.26	1.187	6	5.567
"	1DM11	1	11	1,200/740.4	110	150	95.03	1.363	11	6.0
"	2DM15	2	15	1,500/ 615	95	120	70.88	1.263	7.5	6.0
"	2DM22	2	22	1,200/740.4	110	150	95.03	1.364	11	6.0
"	3DM30	3	30	1,800/491.4	105	120	86.59	1.142	10	6.3
"	3DM45	3	45	950/490.2	135	180	143.13	1.333	15	4.275
백천기업	1PIME120	1	10	1,800/ 900	95	105	70.88	1.105	10	5.7
국제기계	KHD F1L210D	1	12.4	3,000/1,103	95	95	70.88	1.0	12.2	9.5
안 마	3QM30	3	30	2,600/ 810	88	90	60.82	1.023	10	7.8
"	3SME45	3	45	2,200/ 562	105	120	86.59	1.143	15	8.8
한진기공사	HME6	1	6	2,200/ 920	82	85	52.81	1.036	6	6.233
"	HME8	1	8	1,800/795.6	85	100	56.74	1.176	8	5.52
"	HME10	1	10	2,200/ 969	95	95	70.88	1.0	10	6.976
경북기계	1KHM8	1	8	1,800/ 910	92	95	66.47	1.033	8	5.7
"	1KMC10	1	10	1,800/ 720	97	115	73.90	1.186	10	5.82
"	2KMA18	2	18	1,800/ 720	97	115	73.90	1.186	9	5.82
"	3KMA30-1	3	30	1,800/644.4	97	115	73.90	1.186	10	5.82
"	3KMA30-2	3	30	1,800/599.4	97	115	73.90	1.186	10	5.82
우신산업	1WS12	1	12	1,100/ 550	110	150	95.03	1.364	12	4.033

표 3 형식별 성능평가 현황

구분 \ 년도	'79		'80		'81		국산화 엔진
	CKD	국산화	CKD	국산화	CKD	국산화	
대형엔진 (6000PS 이상)	15		25	2		3	81 Sulzer 6RLA66 (국산화율 18.8%) B&W 7L67GFCA (국산화율 25.7%) B&W 6L80 (국산화율 38.5%) B&W 5L67GFCA (국산화율 37.1%)
중형엔진 (400~600 이상)	12		34		6	1	81 Hanshin 6ILUN28 (국산화율 37.1%)
소형엔진 (400PS 이하)	1				6		
합 계	28		59	2	12	4	

표 4 주요엔진 연구설비(연구소)

장비명	사양	수량	비고
동력계 1	200마력, 직류식 토크크 : 181kg.m(최고) 회전수 : 800~2500rpm 용량 : 150kW 제작사 : Carl Shenck AG.	1 식	
동력계 2	50마력, 직류식 토크크 : 53kg.m 회전수 : 800~3000rpm 용량 : 37kW 제작사 : 세보 기계	1 식	
동력계 3	30마력, 직류식 토크크 : 32kg.m 회전수 : 800~3000rpm 용량 : 22kW 제작사 : 세보 기계	1 식	
연소해석기	기능 : 압력-크랭크각/ 압력-체적 압력상승률	1 식	
배기가스 분석기, 매연측정기 외다수	일산화탄소, 탄산가스, HC, NOx, 산소, THC 제작사 : 일본, 호리바	1 식	

신뢰감을 선주들에게 심어 주었으며, 엔진제작, 성능시험의 표준화, 엔진부품 생산업체의 계열화, 관련 공업육성 및 공동연구개발 체제 구성 운영등에 있어서 3년간의 기간동안에 중요한 역할을 하였다. 상기 위원회의 실적을 표 3에 제시한다.

외국기술도입에 의한 엔진 생산의 장점은 노하우 도입에 의한 위험부담의 감소외에도 세계적인 서비스 네트워크, 상표사용, 새로운 기술 확보등이 보장되기 때문에 한국형 엔진개발을 위한 연구투자보다도 부품국산화에 노력을 경주하여 원가절감, 납기단축등을 도모하여 왔고, 독자적인 엔진개발을 위한 투자에는 미약한 실정이었다.

2.3 연구시설

연구인력, 연구시설은 정부출연 연구기관과 박용 디젤엔진 회사에서 각각 80년대 초반부터 확보하기 시작한 것이 박용 엔진연구를 본격화

시킬 수 있는 계기가 되었다. 중·대형 엔진의 성능평가는 쌍용중공업, 현대엔진공업, 한국중공업의 연구시설이 활용되고 소형엔진은 업계와 연구소의 시설이 활용되어 성능공인과 연구개발을 위한 중요한 역할을 하였다.

표 4에서는 공인시험기관의 기능을 가지고 있는 연구소의 주요엔진 연구설비를 나타낸다.

3. 연구개발동향

3.1 어선기관 개발연구

어선기관용 디젤엔진으로 400PS 이하의 예연소실적을 대상으로 주요 설계주안점은

- 벽지어촌에서의 연료관리 문제를 고려하여 예연소실을 채용
- 어선 및 기타선예의 활용 다변화를 기하기 위해 경량·고출력화에 주력
- 운항 경제성을 고려하여 저연비

표 5 3 MD 30엔진의 예측출력

행정 (mm)	150			
압축비	18			
1800rpm (MCR)				
직경 (mm)	120	125	130	135
제동마력 (PS)	20.53	22.15	23.73	25.22
연료소비량 (g/PS.hr)	178.82	179.78	181.20	183.15
열손실률 (%)	24.16	23.87	22.63	23.45
공연비 (전체, %)	25.0	25.0	25.0	25.0
2000rpm (MCR)				
직경 (mm)	120	125	130	135
제동마력 (PS)	21.99	23.60	25.12	26.46
연료소비량 (g/PS.hr)	182.76	184.36	186.60	189.59
열손실 (%)	23.76	23.51	23.32	23.19
공연비 (전체, %)	25.0	25.0	25.0	25.0

- 진동·소음의 제어로 승선감의 쾌적 및 기기 손실을 극소화
- 안전조업을 위한 신뢰도 향상
- 생산원가 및 운용비의 극소화를 위해 기존 국내부품의 활용을 최대화에 두며

1차적으로 20PS 예연소실식 디젤엔진 개발을 위해 연소실의 기하학적 형상 변화와 조건에 따른 성능평가의 방법을 택하여 엔진초기설계 프로그램을 개발하였다.

2차로 50PS 직접분사식 디젤엔진 개발연구의 주연구 내용은 직접분사식 엔진으로 바뀔 때 따라 피스톤 크라운의 캐비티를 중심으로 한 연소 시스템설계, 실린더 헤드, 피스톤 크랭크 메카니즘, 캠과 캠축, 냉각 방식, 연료분사 시스템 등에 대한 설계 방법이 이론을 전제하여 경험자료를 활용하는 단계로 전개된다.

1차년도의 프로그램을 이용한 50PS급 엔진의 초기설계치 결과(표 5참조)를 참조하여 엔진설계에 많은 진전을 보았으며 설계검토 내용도 크게 확장되었다. 3차년도의 연구과제로는 100PS급 직접분사식 디젤엔진 개발로 설계방법은 2차년도의 방법을 응용하였으며, 성능분석에 의해 설계보완을 위한 debugging work를

계속 수행중에 있다.

3.2 디젤엔진 연소특성 해석

현재 국내 박용 디젤엔진 연구와 관련하여 가장 중요한 것은 연구기반구축이다. 모방생산, 기술제휴에 의한 가공기술의 향상은 많은 진전을 보였으나 엔진 기본 연구나 엔진 개발 연구를 위한 토대는 너무 허약한 실정이다. 이러한 점을 고려하여 부족한 인력과 실험장비의 여건속에서 기술자료를 쌓아올리기 위해, 엔진의 핵심기술의 초석이 되는 연소실내의 공기유동해석, 연소특성 해석, 분사계의 분사특성 해석 및 연소실 벽면온도등에 관한 연구를 수행하고 있다. 이 연구는 최적의 연소실을 도출하기 위한 연소시스템의 설계기술 개발을 위한 많은 기술자료를 축적하는 것이 목적이다.

1차적으로 공기유동 해석에서는 k-ε 난류모델과 벽법칙을 이용한 2차원 컴퓨터 코드를 개발하여 모델엔진의 압축과정을 수치적으로 시뮬레이션하였고 연소특성 해석에서는 연소현상을 가시적으로 해석하기 위해 연소과정의 변화를 고속도 촬영하고 이것으로부터 얻은 음화로그 결과의 예를 그림 1에 소개한다. 분사특성

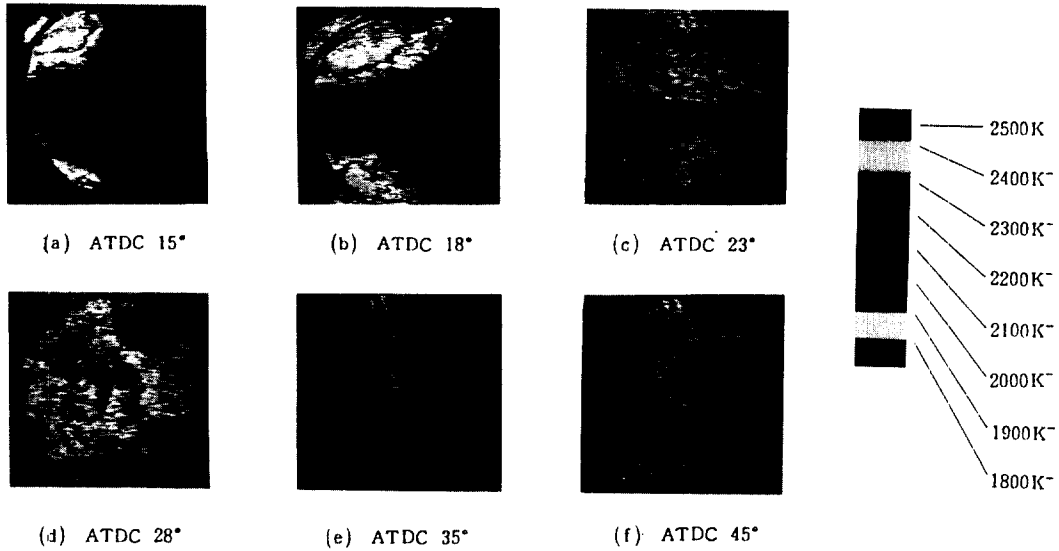


그림 1 고속도 사진의 회상처리 결과

해석에서는 연료펌프의 압축실, 델리버리실, 노즐홀더입구에서 압력과 니들양정을 동시에 측정하여 분사특성을 얻었으며 그림 2에는 이 차 분사 발생시의 결과를 나타낸다. 한편 열전달 해석분야에서는 피스톤의 온도측정을 위해 L-link방법과 비접촉법인 FM transmitter 방법으로 온도측정을 시도하여 측정기법을 습득하고 연소실 벽면주위의 온도분포 상태를 파악하였다.

본 과제는 2차년도 과제에서 계속 진행되고 있으며 연구내용은 1차년도 내용의 연장으로 설계자료 도출을 목표로 하고 있다.

3.3 진동해석 및 소음저감

선박진동의 85%정도가 기관진동으로 선박에서 기관진동 해석은 고효율화, 저속화로 인한 기진력 증대현상에 대비하여 중요한 과제가 되어왔다. 진동으로 인한 추진 축계의 손상이나 선체진동 문제에 대처하기 위해 비틀림진동 댐퍼나 종진동 댐퍼를 이용하는데 B & W 8L 60 MCE, B & W 5S 28 LH-4H의 두 기종을 대상

으로 비틀림진동 해석이 수행되었다.

표 6에는 상기 두 기종에 대한 비틀림진동 댐퍼사양을 제시하였으며 실선실험에 의한 성능평가가 완료되어 기술이전후 양산체제중에 있다.

한편 디젤엔진의 소음은 상당히 높은 편으로 소음해석과 그 대책이 중요한 과제로 등장해 오고 있다. 1차적으로 배기 머플러를 4중 다공 모델에 의해 해석을 완료하고 모델 영역을 확장한 해석을 계속되는 과제에서 진행하고 있다.

3.4 집중 모니터링 시스템

모니터링 기술, 제어기술, 고장진단기술, 선박관리기술로 이루어지는 선박자동화 기술중 디젤엔진 집중모니터링 기술개발을 위하여 LMU(local monitoring unit)의 하드웨어를 설계하고 선박주기관의 운전상태를 모니터링 할 수 있는 소프트웨어를 완성하였다. 나아가 제어기술, 고장진단기술, 선박관리기술에 관한 연구가 계속되어 선박자동화를 위한 기술축적

표 6 비틀진동제어기의 설계사양

내 용	제어기	Holset 2100 ϕ ×350	Holset 650 ϕ ×100
1. 엔진		B&W 8L60MCE	B&W 5S28LH-4E
출력		14400PS 111PRM	1200PS×720RPM
제조사		현대엔진공업(주)	쌍용중공업(주)
2. 제어기		유체, 볼트체결	유체, 볼트체결
케이스 외경(mm)		2134	659
케이스 내경(mm)		1262.4	422.2
케이스 폭(mm)		350	100
유효 관성 모우먼트 (kg.mm.sec ²)		353424	
링 관성 모우먼트 (kg.mm.sec ²)		323620	2088
케이스 관성 모우먼트 (kg.mm.sec ²)		191614	
간극(mm)		0.8	0.61
중량(kg)		6937	155

을 도모할 예정이다.

3.5 요소기술개발

(1) 연소가시화·화상처리기법

디젤 연소현상해석과 화염온도분포를 파악하기 위해 긴 실린더를 이용한 연소가시화와 직접분사식 디젤엔진의 연소실내 연소현상이나 온도분포, 밀도분포가 시간적·공간적 진행상황에 따른 해석방법을 추구하고 있다.

(2) 연료분사특성 해석

연료분사계의 특성 해석을 위하여 분사특성 실험장치, 캠형상 프로그램을 개발하고 분사압력, 니들양정의 측정으로 분사율의 계산이 가능함을 확인하였으며 가압용기내 연료분사 해석에 관한 연구가 진행되고 있다.

(3) 디젤폐열 활용 연구

대형 디젤엔진의 배기가스와 냉각수 여열을 이용하여 디젤엔진의 열효율을 향상시키고 한편으로 선내에서 소모되는 전원, 스팀, 온수공급을 위하여 배기보일러, 조수장치 구동등에 대한 연구가 수행되고 있다.

배기가스로부터 회수가능 에너지로 보조보일러, 조수장치의 구동에 대한 열평형 해석과 설비투자에 대한 경제성 검토가 주요내용이 되고 있다.

3.6 스테어링엔진 개발연구

대체에너지 이용 기관개발에 관한 연구로 1차년도에 개념설계, 2~4차년도에 연구 시제품을 제작하여 실험연구계획중 1차년도 연구가 수행중에 있다. 스테어링엔진의 동력발생기구, 제어기구등에서나 연료의 다양화, 환경보존성에서 선박용이 1차적으로 대상이 될 수 있는 이점을 살려 연구가 진행되고, 상기 정부주도 연구과제가 완료될 무렵부터 실용화를 위한 산·연공동연구가 추진될 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) 한국선박연구소, 1980, "선박용 엔진성능 평가를 위한 조사연구".

- (2) 한국기계연구소, 1981, "선박용 디젤 기관 및 동부분품에 대한 성능평가사업".
- (3) 한국기계연구소, 1982, "선박용 디젤엔진 및 동부분품 성능평가사업".
- (4) 한국기계연구소, 1982, "연근해 어선 근대화에 관한 연구".
- (5) 과학기술처, 1983, "소형 어선 근대화에 관한 연구".
- (6) 과학기술처, "선박용 소형 엔진개발".
- (7) 과학기술처, 1987, "고성능 선박용 중소형 엔진개발".
- (8) 과학기술처, 1989, "디젤연소특성해석".
- (9) 과학기술처, 1987, 1988, "선박디젤기관 집중 모니터링 시스템 개발(I), (II)".
- (10) 한국기계연구소, 1986, "KIMM 95 선박용 디젤엔진의 성능향상 실험연구".
- (11) 한국기계연구소, 1988, "디젤엔진 연소 소음 저감기법 개발".
- (12) 한국기계연구소, 1983, "30 PS, 50 PS 어선용 엔진 동력계 개발 보고서".
- (13) 한국기계연구소, 1982, "소형 선박용 디젤엔진의 연료분사에 관한 연구".
- (14) 한국기계연구소, 1982, "IBRD구조 조정 차관 관련 중기계 공업부문(디젤엔진)에 관한 연구 보고서".
- (15) 한국기계연구소, 1988, "年報".
- (16) 해운산업연구원, 1989, "해운통계 요람".
- (17) 박태인, "박용 디젤엔진의 개발과 연구전망", 대한기계학회 1988년 춘계학술대회 초록집, pp. 417~427.
- (18) 과학기술처, 1981, "연근해 어선 근대화에 관한 연구".
- (19) 한국박용기관학회, 1984, "선박의 경제적인 운항관리", 태화출판사
- (20) 과학기술처, 1987, "디젤엔진의 연소가시화 기술개발(II)".
- (21) 과학기술처, 1988, "연소화염의 화상처리 기법에 관한 연구(I)".
- (22) 과학기술처, 1987, "연료분사장치에 관한 특성연구".

