

## 초고속 기어펌프 개발에 관한 연구 (컴퓨터 CPU 냉각용)

탁봉열\* · 지중호\*\* · 방창열\* · 탁봉식\* · 한기영\* · 박동식\*

### 1. 서론

본 연구개발은 중소기업청 지원 구매조건부 기술개발사업으로 국산화 초고속 기어펌프를 개발하였다.

컴퓨터의 CPU 등 정밀을 요하는 장비는 과열로 인한 처리능력 저하를 막아주기 위한 냉각 장치가 필요하다. 냉각 장치로는 여러 가지가 있지만 강제로 냉각시키는 방법으로는 냉각유의 종류에 따라 고압, 다량의 냉각유를 송출할 수 있는 기어펌프를 많이 사용하고 있다.

고속 방직기기, 반도체 장비, 특수 산업체 기계, 국방장비 등에 유사한 기능의 기어펌프를 선진국에서 수입하고 있어 국산화 개발이 시급한 실정이다.

당사는 오일 셸링형 기어펌프(실용신안 제 137702호 특허청 등록)를 개발 양산한 경험을 갖고 있으며, 고압 링 블로워 0.4~55 kW급 모델을 국내최초 국산화개발로 양산하고 있으며, 고압 피스톤펌프(플래저 펌프)를 산자부 지원을 받아 100 bar(1,451 psi)~500 bar(7,255 psi) 모델을 국산화하는데 성공하였다. 이러한 개발 기술경험과 국내 전문기관인 기계연구원(KIMM)의 기술지도와 국방품질관리소의 체계적인 3년여의 기술지도 및 협력 하에 소형 12,000 RPM 초고속 기어펌프를 개발하게 되었다.

기어펌프 국산화로 수입대체 효과 및 관련 기술 분야에 파급효과가 클 것으로 기대된다.

여기서는 컴퓨터의 CPU 등 정밀 전자장비의 냉각 장치용 소형 기어펌프 개발과 관련하여 핵심 주제인 기어설계, 제작, 시험평가에 관해 중점을 두었다.

### 2. 본론

#### 2.1 기어펌프의 구동원리

기어 펌프의 구동은 그림 1에서와 같이 두 개의 기어(구동 기어와 피동 기어)가 하우징 내에 조립되어 있으며, 엔진, 모터 등의 구동력을 받아 구동기어축이 회전하고, 구동축의 기어에 물려서 조립되어 있는 피동 기어가 따라서 회전하게 된다.

하우징 내에 두 개의 기어가 같이 회전하고, 기어의 끝 부분과 하우징 내면과의 틈 사이는 아주 작은 간극을 유지하면서 회전한다. 두 기어가 서로 역회전하게 되는데 이때 흡입구 쪽의 두 기어의 치차와 치차 사이에는 압력이 낮아지기 때문에 오일이 채워진다. 두 치차 사이에 채워진 오일은 기어의 회전에 의해 하우징 벽을 돌면서 토출구 쪽으로 이송된다.

토출구 쪽으로 이송된 오일은 다시 흡입구 쪽으로 되돌아오지 못하고 유압 회로로 공급된다. 이때 치차의 물리는 부분에 폐입부의 아주 적은 량의 오일은 흡입구 쪽으로 되돌려지기도 한다. 그러나 거의 일정한 유량을 반복 이송하기 때문에 정량형 펌프라고도 한다.<sup>(3)</sup>

#### 2.1.1 기어펌프의 폐입현상 및 릴리프홀

2개의 기어(구동기어, 피동기어)가 맞물려 회전하는 중에는 그림 2, 3에서와 같이, Bd, Bs 2점 사이처럼 양쪽의 치차가 꼭 물리는 점이 있으며, 이때는 치차 사이의 오일이 폐입된 상태가 된다. 이것을 폐입 현상이라 한다.<sup>(4)</sup>

기어 회전에 의해 폐입하기 시작하면서부터 폐입 중앙까지는 폐입용적이 차츰 감소하기 때문에 오일은 압축을 받게 되며, 압력이 비정상적으로 높아지게 된다.

\* 디에이치엠(주) 연구소

\*\* 국방기술품질원 국산화개발센터

책임저자 E-mail : bytak@dh-m.co.kr

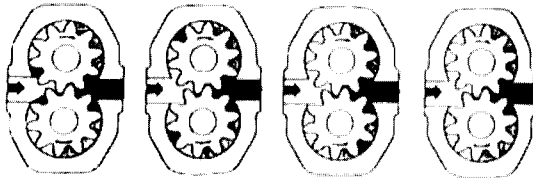


그림 1 기어펌프 유동개념

폐입 중앙에서부터 폐입 종료까지의 사이는 용적이 증가하며 부압이 발생하게 되는데 이때는 캐비테이션(Cavitation)현상을 일으킨다. 이로 인해 소음, 진동이 발생된다.

이 폐입 현상 방지책으로 가장 많이 사용되는 것은 f 릴리프(탈출) 홈에 의한 방법으로 그림 3에서와 같이 치차가 맞물리는 밀 부분에 릴리프 홈을 만들어서 폐입 현상에 의한 캐비테이션(Cavitation)현상을 방지한다.

## 2.2 설계

기어펌프 구성은 표 1과 같으며, 기어펌프 설계식을 참고하여 계산하고, 효율 및 안전율을 감안하여 각 부품의 크기, 구조 및 재질을 선정하였다.

### 2.2.1 기어

기어펌프는 2개의 기어(Gear)로 구성되어 있으며, Ge-ar Case 속에서 Main Shaft와 Idle Shaft가 회전하게 된다. 식 (1), (2), (3), (4)와 기어설계 계산식<sup>(4)(5)(2)</sup>을 참고한 설계치는 표 2와 같으며, 재질은 600℃ 전후 고온과 내마모성에 강한 합금공구강(SKD-61 KS D 3753)을 선정하였다.<sup>(1)(2)</sup>

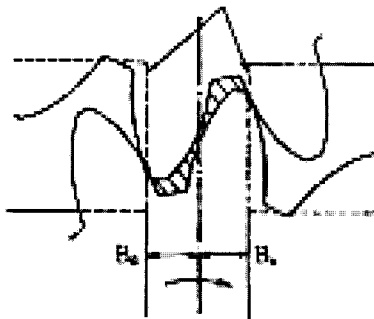


그림 2 폐입현상

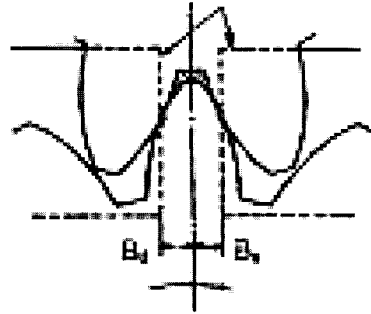


그림 3 탈출홈 현상

#### 1) 토출량

$$Q = 2\pi m' b Z N \quad [\text{mm}^3/\text{min}] \quad (1)$$

m=모듈울    b=치폭  
Z=잇수    N=회전수

#### 2) 펌프의 용량 계산

$$\text{펌프동력} : L_p = P Q \quad (2)$$

여기서,  $\rho$  [kg/cm<sup>3</sup>] : 차압=토출압력-흡입압력  
Q [ℓ/min] : 토출유량

위의 식에서 펌프동력(L<sub>p</sub>)을 kW, PS 단위로 나타내면,

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{P Q}{612} \quad [\text{kW}] \\ &= \frac{P Q}{450} \quad [\text{PS}] \end{aligned} \quad (3)$$

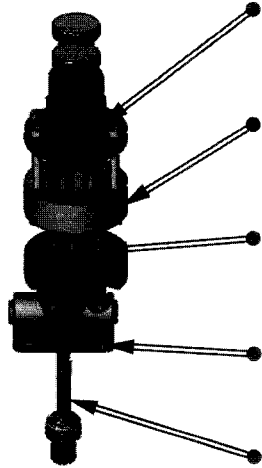
P : kgf/cm<sup>2</sup>    Q : ℓ/min

#### 3) 외접기어펌프 배출체적

$$V = m z b h \pi \quad [\text{mm}^3] \quad (4)$$

m : 모듈러  
z : 기어 이의 수  
b : 기어 이의 폭  
h : 기어 이의 높이

표 1 컴퓨터 냉각용 기어펌프의 구성

조립도	품명
	Rear Housing Ass'y
	Gear Case Ass'y
	Gear(Spur)
	Front Housing Ass'y
	Main Shaft Ass'y(Magnetic Seal Ass'y)

### 2.2.2 기어축 (Main Shaft)

구동축(Main Shaft)은 기어를 잡아주기 위한 키(Ke-y) 홈, 카본 하우징(Carbon Housing)을 잡아주기 위한 핀 홈, 마그네트 씬(Magnet Seal)을 잡아주기 위한 스톱 홈과 스프라인 기어를 조립할 수 있게 하였다. 회전 강도를 감안하여 직경은 4.75 mm 로 하였으며, 재질은 베어링 강(KS D 3525 SUJ 2)으로 선정하였다.

피동축(Idle Shaft)은 피동기어가 결합되어 구동기어의 동력을 받아서 회전하게 된다. 피동축의 직경은 4.75 mm로 하였으며, 재질은 베어링 강(KS D 3525 SUJ 2)으로 선정하였다.<sup>(2)</sup>

### 2.2.3 리어하우징 (Rear Housing)

리어하우징(Rear Housing)은 베어링 역할을 하는 부쉬(Bush) 2개와 샤프트 회전에 의한 마모를 막기 위한 플레이트(Plate) 2개가 압입되는 홈을 갖게 하였으며, 오일의 입,출(IN, OUT) 역할을 하는 관을 갖도록 하였다. 재질은 구조용 알루미늄 합금(KS D 6759 A6061-T6)으로 선정하였다.

### 2.2.4 기어케이스 (Gear Case)

기어케이스(Gear Case)는 2개의 기어가 회전하는 공간을 갖는 기어박스로서 유압을 생성시키는 부분을 갖게 하였으며, 리어하우징(Rear Housing) 과 프론트하우징(Front Housing)의 조립 중심도를 잡아주기 위

해 2개의 안내핀(Dowel pin)을 갖도록 하였다. 재질은 탄소강(KS D 3517 S45C)로 선정하였다.

### 2.2.5 카본씰 (Carbon Seal)

카본씰하우징(Carbon Seal Housing) (SUS410 스테인레스강 KSD 3698 자력에 영향받음) 내면에 조립된 카본씰(Carbon Seal)은 마그네트 자력에 의해 카본씰하우징이 끌여 당겨져 카본씰이 마그네트씰 면에 밀착되게 하였으며, 카본씰하우징(Carbon Seal Housing)의 외면은 구동중 오일 압력을 분산시키는 기능을 하게 하였다. 카본은 마찰이 적고, 내구성은 좋아서 고속회전부에 유막을 형성하게 하여 누유를 예방하는데 많이 사용한다. 카본씰의 규격은 KDM-400(극동셀테크(주)-Seal전용, 경도 85 (HS))이다.

### 2.2.6 마그네틱씰(Magnet Seal)

기어펌프가 구동하게 되면 발생된 압력에 의해서 구동축과 프론트하우징내의 가운데 구멍사이로 누유가 발생된다. 프론트하우징 가운데 구멍사이로 흐르는 누유를 막기 위해서 3곳에 누유방지 장치를 설계하였다. 1차로는 프론트하우징 실린더 벽면을 타고 흐르지 못하게 하였고, 2차로는 구동축과 카본하우징의 가운데 구멍을 타고 흐르지 못하게 하였으며, 3차로는 카본하우징면과 마그네틱씰면이 맞닿는 부위로 흐르지 못하게 하였다.

마그네틱씰의 재질은 Alnico(MK강-MCB 500 이방성 KS C 2505-1), 자력은 500 Gaus, 극성은 앞면이 S, N, 뒷면이 S, N, S 가 되도록 하였다.

### 2.2.7 프론트하우징 (Front Housing)

프론트하우징에는 구동축이 지나가는 구멍, 모터와 연결할 수 있게 하는 베이스판을 갖게 하였다. 재질은 구조용 합금 알루미늄(KSD 6759 A6061-T6)을 선정하였다.

### 2.2.8 오 링 (O-Ring)

누유를 막기위해 2곳에 O-Ring을 부설하도록 하였다. 구동축과 카본하우징내의 가운데 구멍사이로 흐르는 누유 예방을 위하여 NBR AS 008(AS 568A 미 항공우주국 표준규격) 규격품을, 마그네틱씰 외면과 프론트하우징 실린더 벽면사이로 흐르는 누유 예방을 위하여 NBR AS 013(AS-568A 미 항공우주국 표준규격) 규격품을 선정하였다.

표 2 기어설계제원

항목	단위	설계결과
피치경	mm	10.16
외경	mm	11.84
톱니수	개	11
모듈	-	0.9236
압력각	도	30
축경	mm	4.75
치폭	mm	1.45
총이높이	mm	2.07
축간거리	mm	10.16
회전수	rpm	12,000
토출량	ℓ/min	10
토출압력	kgf/cm <sup>2</sup>	7.7
흡입압	kgf/cm <sup>2</sup>	-25

### 2.2.9 냉각유 (Cooling Oil)

냉각유 OS-59 의 점도는 40℃ 에서 7 cSt(Centistokes)이며, 자세한 제원은 표 3과 같다.

## 2.3 제작

### 2.3.1 기어 (Spur Gear)

모듈 0.9236, 압력각 30도, 톱니수 11개, 피치원 지름 10.16 mm 의 제원으로 가공하고, 초음파 열처리를 하여 경도(HRc 55~57)와 내마모성을 높였으며, 호닝가공한 후 직각도, 동심도, 표면조도를 측정하여 확인하였다.

표 3 오일(OS-59) 규격 (MIL-C-47220B)

속성		OS-59(Type III)
기본성분		Silicate-Ester Base
점도	40℃	7.0 cSt
	100℃	2.1 cSt
인화점		188℃
비중(25℃)		0.879-0.882 g/cm <sup>3</sup>
유동점		-62℃
인화점		188℃
연소점		224℃
자동점화		246℃

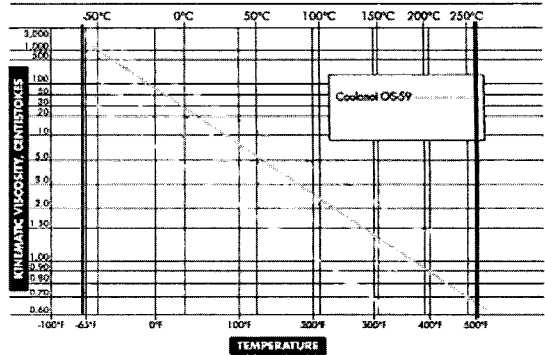


그림 4 오일(OS-59)의 점도 변화

### 2.3.2 축 (Shaft)

구동축과 피동축을 가공한후 고주파 열처리를 하여 경도(HRc 55~60)와 내마모성을 높였다.

### 2.3.3 리어하우징 (Rear Housing)

리어하우징내에 원형 플레이트(Plate)를 넣고 부쉬(Bush)를 압입한 후 리어하우징면과 부쉬면이 평면이 되도록 표면을 연삭가공 하였다.

### 2.3.4 기어 케이스 (Gear Case)

기어케이스를 가공한 후 조질처리 (HRc 20~25)를 하고, 조립면과 실린더면의 조도를 맞추기 위하여 연삭가공을 하였으며, 직각도, 동심도, 표면조도를 측정하여 확인하였다.

### 2.3.5 카본씰 (Carbon Seal)

카본씰(Carbon Seal)의 마그넷 접합면에 마찰을 줄이기 위하여 래핑(Lapping)가공하였다.

### 2.3.6 마그넷씰 (Magnet Seal)

마그넷씰 양면은 매끄럽게 되도록 래핑(Lapping) 연마를 하였다. 평면도 3 Light Band 0.87 μm 이하에서 씰링(Sealing) 효과가 증대되기 때문이다. 자력과 극성 배열을 확인하였다.

### 2.3.7 프런트 하우징 (Front Housing)

프런트하우징내에 부쉬(Bush)를 압입한 후 프런트하우징면과 부쉬면이 평면이 되도록 표면을 연삭가공 하였다.

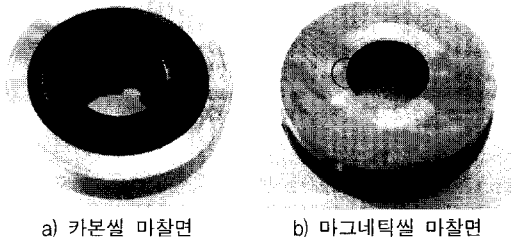
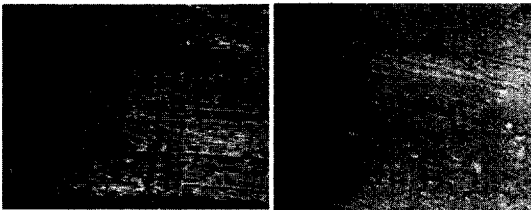
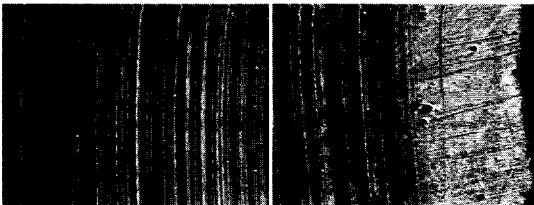


그림 5 카본셀 및 마그네틱셀 마찰면



a) 카본이 회전하여 생긴 마찰면 b) 선 위쪽 마찰하지 않는 부위

그림 6 카본셀 마찰면(100배 확대)



a) 카본이 회전하여 생긴 마찰면 b) 위 그림 5항의 ○ 부위

그림 7 마그네틱셀 마찰면(100배 확대)

### 2.3.8 기어펌프 조립 형상

조립 완성된 기어펌프는 그림 8와 같다.  
(w40xw40xh80(mm))

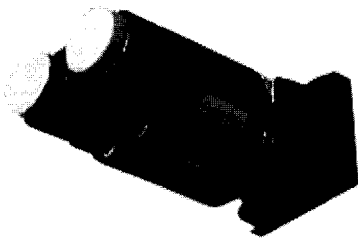


그림 8 기어펌프

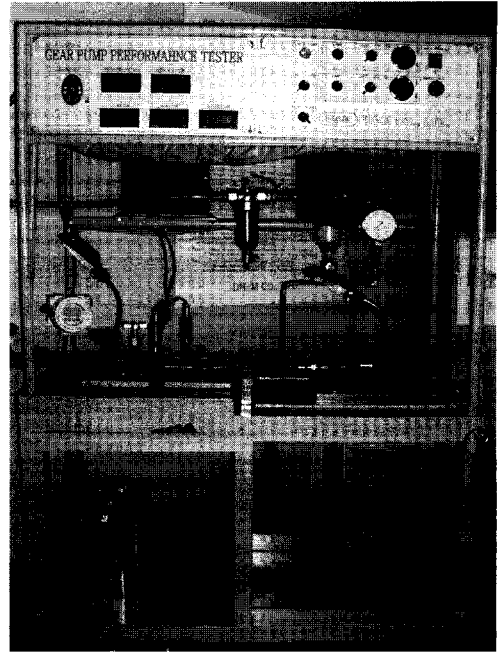


그림 9 기어펌프 시험기(MAX - 20,000 RPM)

## 2.4 시험평가

조립 완성된 기어펌프의 성능, 내구성, 진동, 저온, 고온 시험 등을 시험 규정에 기준하여 평가하였다. z 성능시험은 규격서 ETP 2340A-2, KSB 6302, KSB 6307, KSB 6341, ETP A31B를 참고로 하였다.

진동시험 평가 방법은 MIL-H-8775D 4.5.9 / MIL-S TD 810E 514.4 38에 따라 실시하였다.

### 2.4.1 시험기준 및 결과

시험을 위한 조건으로 냉각유액은 OS-59(7 cSt (centistokes)(40℃)), 냉각유액의 온도는 5~35℃, 외기 온도는 5℃ 이상이다.

성능시험, 계속시험, 특수시험, 검사기준, 환경시험, 운용시험에 따른 기준 및 측정결과는 표 4, 5, 6, 7, 8, 9 와 같다.

### 2.4.2 시험장비

기어펌프의 성능시험기는 자체 제작한 시험기를 한국 산업기술시험원(KTL 05-1452-10 산업기술시험원 인증)으로부터 검증을 받아 시험했으며, 다른 시험은 공인 시험소에 의뢰하여 시험하였다.

표 4 성능시험 기준 및 결과

시험항목		단위	기준	결과
토출량	토출량	ℓ/min	7.8~11.4	9.8
토출압	토출압	kgf/cm <sup>2</sup>	7.7	7.8
회전수	회전속도	rpm	11,960	11,960
축동력	동력	kW	0.175	0.175
전압	효율	%	83	83
흡입 상태	토출량	ℓ/min	7.8~11.4	9.8
	이상음	유무	무	무
	흡입압력	kgf/cm <sup>2</sup>	-	-26
운전 상태	진동	mm/s	0.15	무
	소음	dB(A)	59	무

표 5 계속시험 기준 및 결과

시험항목		단위	기준	결과
운전 상태	진동	mm/s	1.5미만	0.9mm/s
	이상음	유무	무	무
	펌프온도	℃	15~35	31

표 6 특수시험 기준 및 결과

시험항목	단위	기준	결과	
완폐 과압	누유	cc	0 cc 21 kgf/cm <sup>2</sup> , 11,900rpm 30분	없음
			40cc 이하 7.7 kgf/cm <sup>2</sup> , 12,000rpm 190시간	없음

표 7 검사 기준 및 결과

시험항목		단위	기준	결과
운전상태	이상진동	유무	무	무
	이상음	유무	무	무
	누유	유무	무(30분)	무
	액온도	℃	15~35	34
내유압	토출량	ℓ/min	7.8~11.4	10
	토출압	kgf/cm <sup>2</sup>	10, 3분	10
	회전속도	rpm	11,960	11,960
	누유	유무	무	무
내구시험	누유	cc	40 190시간	3

표 8 환경시험 기준 및 결과

시험항목		단위	기준	결과	
저온 시험	온도	℃	-32℃	28	
	토출량	ℓ/min	7.8~11.4	9.9	
	토출압	kgf/cm <sup>2</sup>	7.7	7.9	
	흡입압	kgf/cm <sup>2</sup>	-	-26	
	회전수	rpm	11,960	11,960	
	액 온	in	℃	15~35	30
		out	℃	15~35	30.8
	펌프온도	℃	15~35	31	
	누유	유무	무	무	
고온 시험	온도	℃	135℃2h	36	
	토출량	ℓ/min	9.9	9.8	
	토출압	kgf/cm <sup>2</sup>	7.7	7.8	
	흡입압	kgf/cm <sup>2</sup>	-	-34	
	회전속도	rpm	11,960	11,960	
	누유	유무	무	무	

표 9 운용시험 기준 및 결과

측정항목	단위	기준	결과
부착성	조립성	교체용이	용이함
압력	kgf/cm <sup>2</sup>	7.7	21
토출량	ℓ/min	7.8~11.4	8.2
회전속도	rpm	11,960	11,921
오일온도	℃	15~35시작	38~65
누유	누유	무	없음
이상진동	-	무	없음
이상소음	-	무	없음

### 3. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지금까지 수입에 의존하던 특수 컴퓨터 CPU 냉각용 기어펌프를 국내 개발에 성공함으로써 수입 대체 효과가 클 것으로 기대된다.
- 2) 초 과압 21 kgf/cm<sup>2</sup> 까지 견디기 때문에 규정 사용 압력 7.7 kgf/cm<sup>2</sup> 에서는 무난히 사용가능할 것으로 사료된다.
- 3) 국산화 개발완료로 고속방직기기, 반도체 장비, 국방장비 등에 활용성이 증대됨은 물론 국내

일반기계, 특수 산업체 기계 전반에 기술 파급효과가 클 것으로 기대된다.

- 4) 컴퓨터 CPU 냉각용 기어펌프의 전개도가 부록 1에 제시되어 있으며, 현재 HAWK 중고도 레이더(AN/MPQ 5 (XO-2))의 냉각용 순환 펌프로 활용 되고 있다.

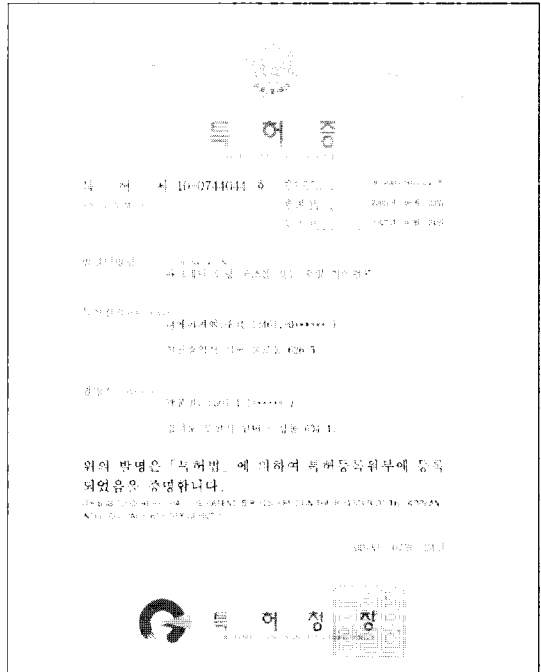
후 기

본 개발품은 2007년 7월 12일 제07-14호로 개발 확증을 국방기술품질원으로부터 받았으며 3년여 연구 개발에 최선의 노력을 한 당사 연구소 연구원과 국방품질관리소 지원 관계자와, 특히 지중호 선임연구원께 감사드립니다.

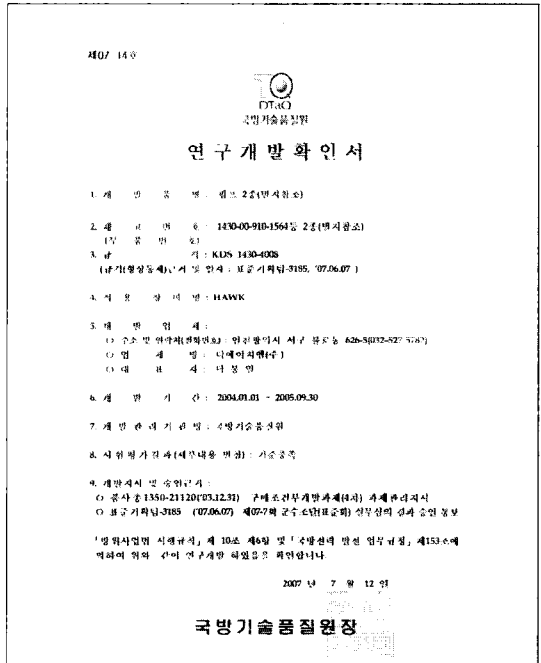
참고문헌

- (1) 탁봉열, 2005, "HAWK 레이더 냉각용 펌프" 디에이치엠(주), 경기도 인천시, pp. 1~102
- (2) 이원평, 1995, "기계설계연습" 도서출판 원화, 서울 마포구, pp. 111~146, 227~248
- (3) 하재현, 박선중, 1996, "유체기계" 문운당, 서울 종로구, pp. 297~298
- (4) 박문식, 이건상, 주석재, 2002, "컴퓨터통합 기계설계" 도서출판 인터비전, 서울 은평구, pp. 295~350
- (5) 안승일, 2007, "외접형 기어펌프의 설계에 관한 연구", 창원대학교 산업대학원, 경남 창원, pp. 4~7
- (6) 김철호, 정재연, 1996, "유압 기어펌프의 특성에 관한 연구(제1보)(폐입현상과 도망흡의 위치에 대하여)" 전북대학교 자연과학 논문집, 전북 전주, pp 108~111

부 록



(기어펌프 특허증(특허 제 10-0744044 호))



(기어펌프 연구개발확인서(제07-14호))