

풍수력기계의 기술개발 현황



윤 의 수

(KIMM 열유체기계실)

- '77-'81 부산대학교 생산기계과(학사)
- '81-'83 한국과학기술원 기계과(석사)
- '83-현재 한국기계연구원 선임연구원



최 태 민

(KIMM 기계부품연구부
부장)

- '69-'73 경북대학교 기계과(학사)
- '74-'77 국방과학연구소
- '77-'78 경북대학교 기계과(조교)
- '78-'81 Ohio 주립대 기계과(석사)
- '81-'85 Wisconsin대 기계과(박사)
- '86-'90 대우기전(주) 기술연구소
- '90-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 풍수력 기계의 정의와 종류

풍수력기계란 액체 또는 기체에 기계적인 에너지를 가하므로써 유체의 압력, 온도 등의 상태를 변화시키거나 공급하는 장치를 말하며, 크게 펌프, 압축기, 송풍기로 나뉘고 이들은 구조 및 원리상 터보형(turbo), 용적형(positive displacement) 그리고 특수형으로 분류된다. 유체와 기계 사이에서 에너지를 교환할 때 터보형은 임펠러의 회전에 의한 운동에너지를 이용하며, 용적형은 피스톤과 실린더 등과 같은 것에 의해 형성되는 공간의 팽창, 수축에 의한 체적변화를 이용한다. 여기서 유체는 물 또는 공기에 한정되지 않고 모든 기체와 액체를 포함하기 때문에 풍수력기계는 산업 전반에 걸쳐 널리 쓰이고 있다. 표1에 주요 풍수력 기계의 종류를 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 풍수력 기계의 종류는 매우 많으며 관련 기술도 다양하다.

송풍기는 팬과 부로워의 총칭이다. 팬은 블레이드의 회전운동에 의해 유체를 압송하고 토출 압력이 1mAq미만인 것을, 부로워는 블레이드 또는 로터의 회전운동에 의해 기체를 압송하며 토출 압력이 1mAq 이상, 1kg/cm² 이하인 기계를 말한다. 압축기는 블레이드 또는 로터의 회전운동 또는 피스톤의 왕복운동에 의해 기체를 압송하며 토출압이 1kgf/cm² 이상이거나 압축비가 2 이상인 기계이다.

1.1 펌프

펌프는 기능적으로 나누어 액체 공급용과 진공 발생용이 있으며, 이들 사이의 산업 및 기술적 특징에는 큰 차이가 있다.

표 1. 풍수력 기계의 종류

펌 프	터 보 형	원심(볼루트)펌프, 터빈(볼텍스)펌프, 축류펌프 등
	로 터 리 형	기어펌프, 베인펌프, 스크류펌프, 로브펌프 등
	왕 복 동 형	피스톤펌프, 다이아프램펌프, 플런저펌프 등
	기타 진공펌프	이온펌프, 유확산펌프, 크라이오펌프, 터보분자펌프 등
압축기	터 보 형	원심 압축기, 축류 압축기
	왕 복 동 형	피스톤 압축기
	로 터 리 형	스크류 압축기, 로터리 압축기, 베인 압축기
	기타냉매압축기	로터리 베인 압축기, 스크롤 압축기
송풍기	팬	원심팬, 축류팬
	부 로 위	원심 부로위, 볼텍스 부로위, 루츠 부로위

표 2. 액체공급 펌프의 특성

	터보형 (원심식, 축류식)	회전형 (스크류식, 기어식)	왕복동형
토출 유 동	정 상 류	정 상 류	맥 동 류
최대흡입 양정(ft)	15	22	22
사 용 액	청정액 불순액 연마제 포함된 액 고체입자 포함된 액	점성액 연마제 포함 불가	청정액
유 량	소~대	소~중	비교적 소

1.1.1 액체 공급용 펌프

액체 공급용 펌프는 에너지와 관련된 산업 전반에 걸쳐 필수적으로 사용되는 기계이다. 이 펌프는 유압기기, 상수도, 발전소, 석유산업, 화학산업, 제지, 직물, 식품, 오수처리, 관개 등 매우 폭넓은 분야에서 쓰이고 있으므로 국내·외의 시장규모가 크고 역사도 매우 길다. 이 펌프는 표1과 같이 터보펌프, 로터리펌프, 왕복동펌프로 나뉘는데 이들의 특성은 표2에 나타난 바와 같다. 여기서 로터리펌프와 왕복동펌프는 용적형에 속한다. 액체공급용 펌프는 작동원리와 제작공정이 비교적 간단하므로 많은 부분이 오래전에 국내에서도 개발되어 생산되고 있다. 로터리형과 왕복동형 펌프는 비교적 소용량이며 고압인 경우에 사용되고 있는데, 베인, 스크류 등 핵심부품에서는 소재 및 가공기술이 필요하지만 유체역학적 설

계기술은 크게 문제되지 않는다. 전체적으로 생산설비와 기술수준을 크게 요구하지 않으므로 중소기업형 생산품목으로서 적합하다. 우리나라는 상당한 수준의 가공기술을 보유하고 있으므로 특히 왕복동압축기와 같은 경우 기술자립의 성숙단계에 있다.

터보형의 경우 압력에 구애받지 않고 소용량에서 대용량까지 넓은 유량 범위에 쓰이고 있다. 비속도(specific speed)를 $n_s = (n)(Q)^{1/2}(H)^{3/4}$ 로 하였을 때, 그림1은 펌프의 비속도와 임펠러형상의 관계를 나타낸 것으로서, 비속도가 클수록 유량은 커지고 토출압은 작아지며, 비속도가 작아지면 그 반대가 된다. 여기서 n은 회전수(rpm), Q는 유량(m^3/min), H는 양정(m)이다. 원심펌프는 그림2와 같이 디퓨저(diffuser)가 있는 것(diffuser형)과 없는 것(volute형)이 있다. 볼루트형은 $n_s = 100 \sim 700$

의 넓은 범위에서, 그리고 디퓨저형은 효율은 높지만 $n_s=100\sim300$ 의 좁은 범위에서 사용된다. 일반적으로 터보펌프는 고도의 유체역학적 설계기술과 많은 경험이 필요하지만 회전수가 낮고 구조나 제작공정이 비교적 간단하다. 국내의 산업구조는 기술도입 또는 모방에 의한 생산에 치중하여 설계기술이 크게 부족한 실정이다. 따라서 우리나라 펌프의 생산량과 품종수는 많은데 비하여, 산업의 수요에 따르는 새로운 모델 개발에 큰 어려움을 겪고 있다. 대용량의 경우 큰 규모의 생산설비, 시험설비가 필요하므로 발전소용 보일러 급수펌프 등 특수한 용도의 소량 다품종 펌프를 제외하고는 대부분이 국내에서 생산되고 있다.

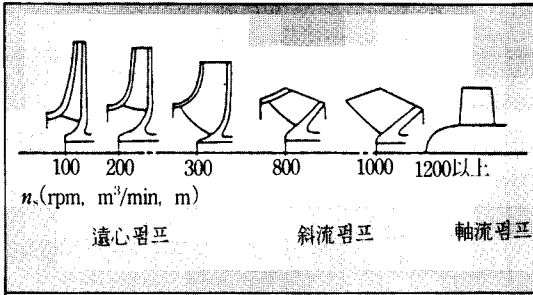


그림 1. 펌프에서 비속도와 임펠러 형상의 관계

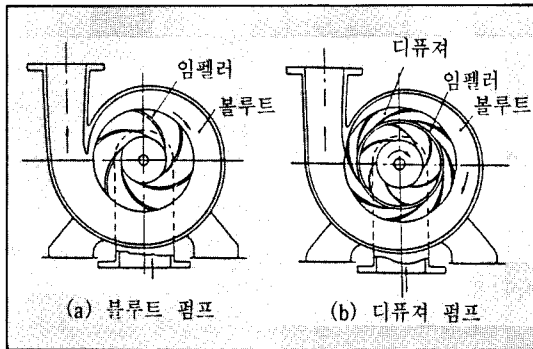


그림 2. 터보펌프의 형식

1.1.2 진공 펌프

근래에 들어 반도체 산업, 박막처리 산업의 규모가 급증함에 따라 진공 펌프의 시장과 기술수준이 빠르게 향상되고 있다. 중저진공(10 torr까지)을 발생시키기 위해서 로터리펌프가, 고진공은 확산펌프가, 초고진공은 오일확산펌프, 이온펌프,

크라이오펌프, 터보분자펌프 등이 쓰이고 있다. 앞에서도 언급하였듯이 로터리펌프는 요구하는 기술수준이 높지 않으며 국내에서도 생산되고 있는 상태이나, 초고진공용의 진공펌프는 기초기술 뿐만 아니라 가공정밀도, 재질 및 씰기술 등 고도의 첨단기술을 요구하고 있기 때문에 미국, 독일, 일본 등 소수의 선진공업국만이 세계시장을 점유하고 있는 실정이다. 따라서 초고진공용의 진공펌프 개발에 더욱 더 많은 투자와 연구가 필요한 상태이다.

1.2 압축기

흔히 쓰이는 압축기의 종류는 압축방법에 따라 터보형(원심형, 축류형)과 용적형(왕복동형, 로터리형)으로 나뉜다. 그림3은 토출압력과 유량에 의해 압축기를 선정하는 일반적인 방법을 제시한다. 그림에 나타나 있듯이 압축기들은 형식에 따라 고유의 영역을 갖고 있는데 특히 터보형 압축기의 사용범위가 넓은 것으로 나타나 있다. 압축기는 펌프와 작동원리상 유사하지만 압축과정시 기체의 밀도변화 때문에 열역학 및 기체역학적으로 많은 기술을 필요로 한다. 또한 기체 압축기는 액체공급용 펌프보다 고속으로 회전하므로 진동, 소음, 누설의 문제를 해소하기 위해서는 높은 정밀도로 가공해 주어야 한다.

1.2.1 터보압축기

터보형 압축기는 그림4에 보이는 바와 같이 회전하는 임펠러에 의해 기체의 에너지를 증가시키므로써 압력과 속도를 높여 주는 것으로, 용적형 압축기와는 아주 다른 작동원리를 갖고 있다. 터보형 압축기는 기체역학적으로 많은 경험과 기술을 필요로 하고 있으며, 우리나라 기업의 기술이 선진공업국에 비하여 기술격차가 아주 심한 분야이다. 터보형 압축기는 원심식과 축류식이 있는데 일반적으로 쓰이는 산업용 터보압축기의 규모는 소요동력의 범위가 수백에서 수천 KW에 이르고 있어 왕복동형이나 스크류형에 비해 용량이 큰 특징을 갖고 있다. 축류식에 비해 낮은 유량과 높은 압력비에서 쓰이는 원심압축기는

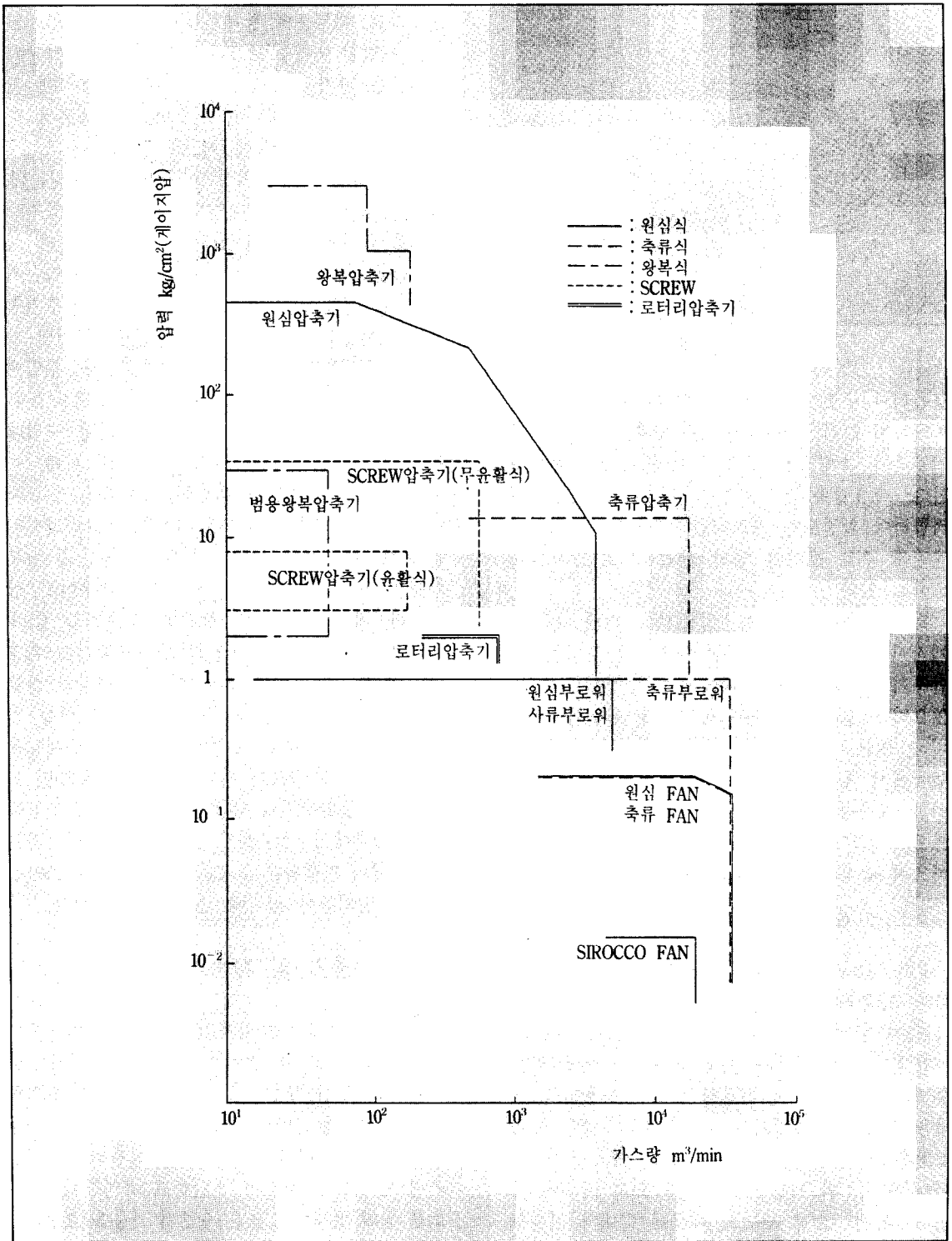


그림 3. 압축기의 형식선정

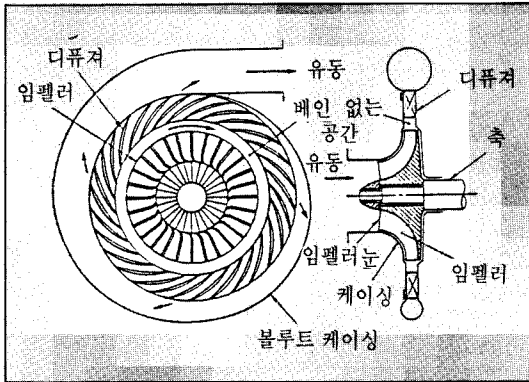


그림 4. 원심압축기

임펠러의 구조가 튼튼하고 작동이 축류식에 비해 까다롭지 않기 때문에 냉매용 압축기, 산업용 공기압축기, 소형 가스터빈, 터보차저 등에 쓰이고 있다. 축류압축기는 효율이 높으나 대용량에만 적합하여 발전소용 가스터빈, 항공기용 가스터빈 엔진에 주로 쓰이며 일반 산업용으로는 드물게 쓰이고 있다.

터보압축기는 용적형 압축기에 비해 설계와 제작이 아주 까다롭기 때문에 일부 터보냉동기용 압축기를 제외하고 국내에서는 생산되고 있지 않으며 기술수준도 매우 미약하다. 원심압축기는 미국, 일본, 독일, 영국, 벨기에 등 일부 선진공업국에서 독과점하고 있는 실정에 있으며 이는 항공, 우주용의 추진기관 기술과도 연관되어 있으므로 우리나라가 선진국으로 도약하기 위해서는 반드시 축적해야 할 기술분야이다.

1.2.2 용적형 압축기

왕복동압축기는 일상생활에서 가장 흔히 마주치는 압축기로서 작동원리가 비교적 간단하고, 그림3에 나타나 있듯이 작은 유량에 대하여 수기압에서 수천기압까지 넓은 범위의 압력을 얻을 수 있다. 소형으로서 적합하여 현재 사용되는 가정용 냉장고, 공조기와 산업용 공기압축기 중에 소형은 많은 부분이 왕복동압축기를 채택하고 있다. 국내·외 시장규모가 아주 크고 국내에도 입된 시기도 오래 되었기 때문에 국내의 기술수준은 성숙단계에 있다. 현재 우리나라는 수백 기압의 고압용이나 수요가 많지 않은 특수용도용을

제외하고, 대부분의 왕복동압축기를 생산하고 있거나 개발할 능력을 보유하고 있다. 국내의 압축기 회사들은 단지 밸브소재를 제외하고 100%에 가까운 국산화율을 보이고 있으며, 외국으로의 수출량도 매우 큰 규모에 이르고 있다.

스크류압축기는 용적형 압축기로 분류되는데, 대형 냉동·공조용 냉매압축기와 중형의 공기압축기로서 주로 쓰이고 있다. 스크류압축기의 핵심기술은 스크류(에어엔드)로서 이는 전용가공기에 의한 정밀가공이 필요하며 국내의 일부기업에서 개발 완료 단계에 있으나, 전용가공기의 가격이 너무 고가이어서 아직은 대부분을 수입에 의존하고 있다. 국내의 가공기술도 어느 정도 높은 수준에 있으므로 조만간 국산화에 의한 수입대체가 이루어질 것으로 예상되며 이를 위해서는 국내의 수요의 확보가 필수적 요소이다.

냉장고나 소형 에어컨에 사용되는 로터리베인 압축기는 수요가 비교적 많기 때문에 베인 등 일부 부품을 제외하고 대부분 국산화가 이루어진 상태이며, 대외 경쟁력도 충분히 확보하고 있다. 그러나 왕복동형이나 베인형 냉매압축기는 기술적으로 성숙단계를 지나 이제는 더 이상의 성능향상을 기대할 수 없는 수준에 이르러 이들 압축기가 갖는 한계에 도달하였다. 따라서 새로운 형태의 압축기 수요가 이미 창출되어 있으며, 이것은 스크롤압축기로 내정된 상태다. 스크롤압축기는 일본에서 실용화되어 있으나 우리나라는 연구개발이 진행되는 초보단계에 있으므로 조만간 대일 수입의존이 심각해 질 것이 우려된다.

1.3 송풍기 및 환풍기

송풍기와 환풍기는 압축기보다는 낮은 압력으로 공기를 공급하거나 공기를 외기로 배출하는 장치로서 사무실 또는 공장의 실내공기를 환기시키거나 공조용 보조기로서 쓰이고 있다. 송풍기는 비속도에 따라 그림5와 같은 임펠러의 형상을 가진다. 이들은 제작이 간단하고 공기역학, 진동, 소음 등의 설계에서 높은 수준의 기술을 요구하고 있지 않기 때문에 중소기업을 중심으로 생산되고 있다.

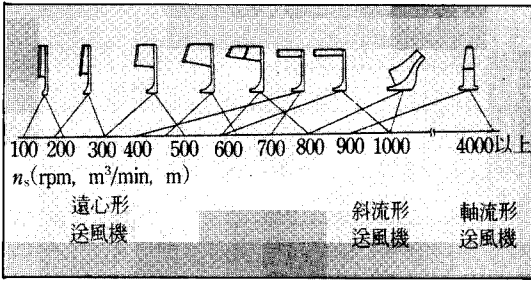


그림 5. 송풍기에서 비속도와 임펠러형상의 관계

국내에는 수백여개의 송풍기, 환풍기 제조업체가 있으나 많은 부분이 종업원수 10인 이하의 영세 업체이어서 정확한 통계가 나와 있지 않다. 소형의 경우 많은 업체가 난립하여 가격 경쟁을 벌이고 있기 때문에 효율, 진동, 소음, 외관 및 내구성 면에서 매우 낙후되어 있으며 성능평가가 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 대형 프랜차이즈에서 정확한 성능을 필요로 하는 송풍기 사용자들은 대부분 외국제품을 선호하고 있는 실정이다. 또한 대형 빌딩 공조용 송풍기의 국내의 기술수준은 비교적 높게 평가되고 있으나, 아직 외국기술에 의존하는 경향이 많고 설계기술자립이 부족하므로 앞으로 각 기업이 기술축적 및 기술 개발에 투자해야 할 분야이다. 여기서 기술의 첨단성을 요구하고 있지 않기 때문에 기술자립은 쉽게 성취할 수 있을 것이다.

2. 국내 수급구조 분석

'89년까지의 펌프 및 압축기 산업의 업체수, 종업원수 및 생산액 등을 표3에 나타내고 있으며, 산업의 발달과 생활환경의 개선과 더불어 풍수력기계의 산업규모는 큰 증가세를 보이고 있다. 이 표를 보아 알 수 있듯이 '85년까지는 변화를 보이지 않고 있다가, '86년 부터 서서히 증가하기 시작하고, '89년 한해 동안 업체수가 37%, 종업원수가 100%, 생산액이 139%나 갑자기 증가하였다. 이는 일인당 에너지 소비와 냉난방 수요의 증가에 관계 있는 것으로 판단된다. 이 통계에서는 송풍기 및 환풍기 관련 산업은 제외되어 있으므로 실제로 풍수력 기계 산업의 규모는 이보다 훨씬 클 것이다.

표 3. 펌프 및 압축기의 국내 산업규모

구 분	업 체 수	종업원수	생 산 액
단 위	개 사	명	백 만 원
1982	100	3,483	50,952
1983	102	3,905	78,321
1984	94	3,698	71,582
1985	105	3,820	75,821
1986	110	4,619	110,860
1987	120	4,322	118,804
1988	139	4,481	147,790
1989	191	8,969	353,750

자료: 기계공업진흥회, 기계공업편람, 1991

풍수력기계 중에 펌프, 압축기, 송풍기가 차지하는 국내 생산액을 표4에 나타내어, 각 산업의 상대적 크기를 비교할 수 있도록 하였다.

표 4. 풍수력기계 생산액

(단위: 백만원)

품 명	'91년 1~2월	'92년 1~2월
펌 프	8,643	12,820
공기 압축기	3,218	3,550
냉매 압축기	25,417	22,830
송·배풍기	3,780	9,747
풍수력 기계	41,508	48,947

자료: 한국기계공업 진흥회, 내외기계 공업동향.

1992. 1~2월

이 표에 나타나 있듯이 풍수력기계 생산액 중 펌프가 24%, 공기압축기가 8%, 냉매 압축기가 54%, 송·배풍기가 14%를 차지하고 있다. 냉매 압축기가 생산액의 절반 이상을 차지하고 있는 반면 공기압축기는 상대적으로 아주 작은 양이 생산되고 있음을 보이고 있다. 냉매압축기 시장이 큰 것은 국내 가전제품을 생산하는 대기업과 중소기업에서 냉매압축기를 국산화하여 국내 수요의 대부분을 충당하고 많은 양을 수출하기 때문이다.

풍수력기계의 수출입 실적은 표5에 보이고 있는 바와 같이 크게 신장하고 있다. '90년도에 들어서 수출과 수입량 모두 30~40%씩 증가하고 있는

표 5. 우리나라의 연도별 수출입 실적

(단위 : 백만불)

년도	17. 풍수력기계			펌프 및 압축기			송풍기 및 환풍기		
	수출	수입	무역 수지	수출	수입	무역 수지	수출	수입	무역 수지
1986	20	282	△262	16	237	△221	4	46	△42
1987	32	425	△394	29	362	△333	3	64	△60
1988	90	544	△454	64	390	△326	26	154	△128
1989	79	618	△539	64	418	△353	15	200	△185
1990	118	910	△793	100	611	△510	18	300	△282
1991	159	1189	△1,030	139	801	△662	20	388	△368

자료 : 한국기계공업진흥회, 기계공업무역통계, 1992

추세이지만 수출은 수입의 13% 수준에 지나지 않아 해가 갈수록 무역적자액이 커져 10억불에 도달하고 있으므로 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

3. 일본의 풍수력 기계

풍수력기계의 기술은 세계대전 이후 항공기 엔진분야에서 축적된 기술을 적극적으로 도입, 개량하므로써 미국과 유럽을 중심으로 발전해 왔다. 구미에서 터보기계가 발전한 것은 관련 회사의 기술개발력 뿐만 아니라 최신 기술을 적극적으로 평가하고 채용한 사용자의 기술력과 도전정신이 크기 때문이다.

일본의 풍수력기계 기술은 2차대전 후 구미 선진국기업과 기술제휴에 의해 급속히 발전하여 전쟁후의 부흥과 경제대국에의 성장에 크게 기여하였다. 기술제휴에 의해 육성된 기술은 제조 기술과 그것을 중심으로 한 개량기술이 주가 되므로써, 제품은 일류이나 독창적 설계기술, 설계 시스템 및 설계데이터의 체계화 등 기반기술은 소홀히 하여왔다. 진동, 강도 등 기계의 트러블 대응에 직접적으로 관계하는 기술분야는 오래전에 육성되었지만 공력설계기술은 근래 들어서 발달하게 되었다.

그림6은 일본의 풍수력기계의 연도별 기술교류를 나타낸 것으로써, 펌프기술은 '60년대와 '80

년대에, 압축기는 '60년대에 활발히 도입되었다. 도입한 기술을 충분히 소화하여 '80년대에 들어 외국에의 기술제공이 본격화되기 시작하였다. 그림 7은 일본이 기술교류한 국가를 나타낸 것으로서

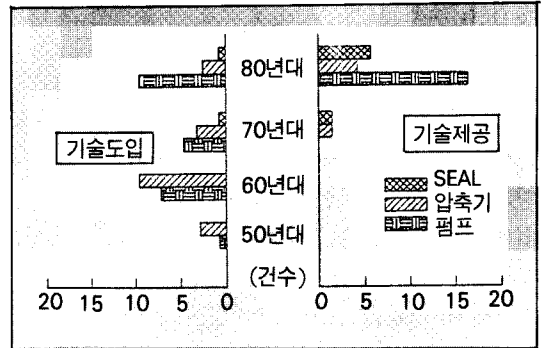


그림 6. 일본의 연대별 기술도입·제공의 건수 추이 (89년까지의 풍수력기계)

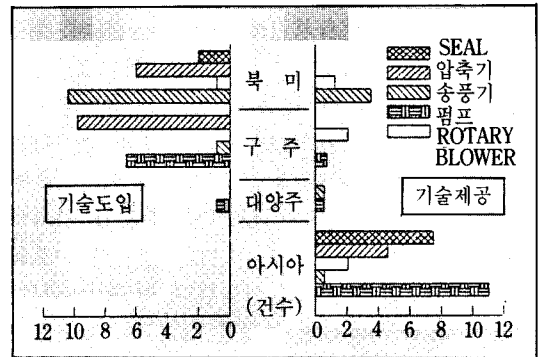


그림 7. 일본의 지역별 기술도입·제공의 건수 추이 (89년까지의 풍수력기계)

기술도입은 압도적으로 구미에 치우치고 기술제공은 우리나라와 같은 아시아 신흥 공업국에 집중되어 있다. '70년대까지는 구미로부터 기술도입을 하고 이들 도입된 기술을 흡수, 더욱 개발한 결과, 일본의 기업이 기술적으로 성숙되어 국제시장에 경쟁할 만한 능력이 '80년대에 형성되었다. 일본의 풍수력기계 산업은 오래전에 정착되어 있기 때문에 일부 항공·우주용을 제외하고 전체적으로 높은 기술을 유지하고 있으며, 세계시장의 많은 부분을 점유하고 있다. 표6은 일본의 풍수력기계 무역동향을 나타낸 것으로서 '89년까지 매년 10억불 이상의 무역흑자를 기록하고 있다. 반면, 우리나라는 동기에 수억불의 풍수력기계 분야 무역적자를 보이며(표5 참조), '89년 무역량에서는 일본의 27%에 지나지 않아 두나라 사이의 산업규모는 비교가 안 될 정도로 차이가 있다. '89년에 전세계 국가의 풍수력기계 총 수출량은 약 200억불이었으므로, 이중에 일본의 제품이 차지하는 비율은 10%에 이른다.

표 6. 일본의 풍수력기계 무역동향

(단위: 백만불)

년 도	수 입	수 출	무역수지
1986	328	1,912	1,584
1987	408	2,159	1,751
1988	657	3,211	2,554
1989	547	2,032	1,485

자료: 한국기계공업진흥회, 기계공업무역통계, 1992

'91년 풍수력기계 분야에서 우리나라와의 수입 또는 수출이 천만불이 넘는 국가는 13개 국가이며, 이들과의 수출입 실적을 표7에 나타내었다. 우리나라가 이들 13개 국가에 수출한 액은 전세계 국가에 수출한 액의 60%인데 비하여, 수입액은 전세계 국가로부터 수입액의 97.8%에 해당하므로, 수입이 일부 국가에 편중된 것을 알 수 있다. 우리나라의 수출액 중 미국이 19%, 일본과 홍콩이 9%, 인도네시아 8%를 차지한 반면에, 수입액은 일본이 43%, 미국이 28%, 독일이 13%를 각각 차지하고 있다. 일본은 우리나라 풍수력기계 분

야의 무역적자에 가장 큰 영향을 주고 있으며, '91년 대일 무역적자액은 약 5억불로서 전체 적자액의 49%에 이르고 있다.

표 7. 우리나라 풍수력기계산업의 주요 국별 수출입 실적(1991년)

국 명	수 출	수 입	무역수지
전세계	1590	1188.7	△1,029.7
일본	143	512.6	△497.3
홍콩	142	0.2	140
인도네시아	123	0.0	123
프랑스	0.4	21.5	△21.1
이탈리아	42	27.4	△232
독일	7.5	151.5	△144.0
네델란드	0.0	13.8	△13.8
덴마크	0.0	10.4	△10.4
영국	5.1	31.4	△26.3
벨기에	6.3	21.8	△15.5
노르웨이	0.0	27.4	△27.4
스위스	0.0	10.8	△10.8
미국	30.8	334.0	△303.2

자료: 한국기계공업진흥회, 기계공업무역통계, 1992

풍수력기계가 일본에 의존하고 있는 것은 다른 산업과 마찬가지로 지리적, 문화적으로 가깝기 때문이기도 하지만 일본은 우리나라가 추구하는 산업발전의 모델이 되고 있는 실정이어서 대일 의존도가 더욱 심화되어 있다. 실제로 풍수력기계의 최첨단 기술은 항공·우주용 추진기관이 가지고 있으므로 미국, 유럽 등의 기술에 비하여 일본의 풍수력기계 관련 기술은 첨단성이 뒤떨어지고 있다.

4. 풍수력기계의 핵심기술

용적형 풍수력기계는 공기역학적 설계가 그다지 중요하지 않고 로터 또는 스크류의 기계적 가공과 씰(seal)등이 기술적으로 문제가 된다. 이에 비하여 터보형의 경우 성능이 유체유동에 큰 영향을 받기 때문에 공기역학적 설계가 중요하고 또한 회전

수가 비교적 높기 때문에 진동, 쉘 등이 용적형에 비하여 더욱 심각하다. 최근에는 프랜트의 대형화에 따라 왕복동 압축기가 원심형으로 대체되어가고 있으므로 여기서는 터보형 풍수력기계 특히 원심압축기에 초점을 맞추어 핵심기술을 기술하고자 한다.

4.1 원심 압축기 기술

지구환경 문제를 대응하기 위해 에너지 절약은 중요한 과제이다. 최근 공정용 터보기계에서 소형경량화를 위해 임펠러를 고속, 고부하로 운전시키며, 고비속도, 3차원 임펠러, 사류임펠러(mixed-flow impeller)를 채용함으로써 공력설계에 의한 고효율화를 달성하고 있다. 이밖에도 가공, 베어링, 쉘 등의 기술향상에 의해 효율 증대, 수명 연장, 고기능화가 이루어지고 있다.

원심압축기에 필요한 기술은 다음과 같으며 이는 터보기계 전반에 걸쳐서도 적용될 수 있다.

- i) 공력설계를 기초로한 원심압축기 설계기술
 - 공력설계(효율, 속도, 운전범위, 사용재료 등이 결정됨)
 - 회전체역학(rotordynamics)에 의한 검토(운전시 진동에 의한 트러블 억제)
 - 요소설계(베어링, 쉘, 스톱스트 바란스, 휠 바란스, 커플링)
 - 규격, 요구사양을 설계·제작에 반영
 - 제어, 보완기술, 안전대책 기술
- ii) 제작·시험기술
 - 주조, 단조기술
 - 판금, 용접기술
 - 기계가공, 마무리기술
 - 조립기술
 - 성능시험기술
- iii) 기타 기술
 - 설치
 - 운전
 - 사후관리

이러한 기술 중에서 핵심기술인 공력설계기술, 요소기술, 가공기술에 대하여 상세히 기술하기로 한다.

4.2 공력설계기술

그림8은 축류터보기계 내부에서의 유동을 나타낸 것으로서, 그림에 보인바와 같이 매우 복잡하다. 원심압축기에서는 임펠러의 유로가 더욱 길고, 비틀려져 있어 그림8 보다 더 복잡한 유동현상을 갖고 있다. 공력설계의 대상은 임펠러, 디퓨저, 볼루트 및 IGV(inlet guide vane)가 있으며, 여기서 임펠러는 회전유로를, 나머지는 정지유로를 이룬다.

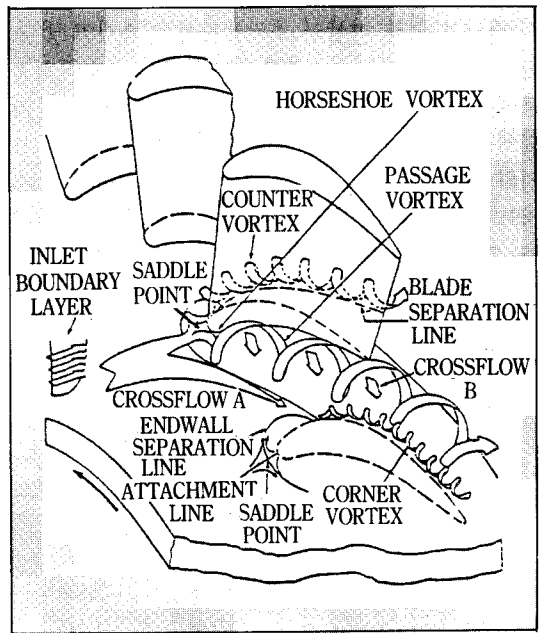


그림 8. 터보기계 내부유동의 일례

터보기계에서 공력성능의 향상을 위한 2가지 주안점은 다음과 같다.

- 2차 유동에 의한 손실의 억제
- 내부 누설손실의 억제

원심압축기의 공력설계는 그림9에 보이고 있듯이 기본설계, 형상설계, 유동해석 및 성능예측으로 이루어져 있다. 기본설계에서는 Euler의 터보기계식(Euler's turbomachine equation)에 기초하여, 여기에 슬립 인자(slip factor), 유로폐색(blockage) 및 손실 등을 고려하므로써 원심압축기 임펠러의 직경, 날개각, 날개높이 등을 계산한다.

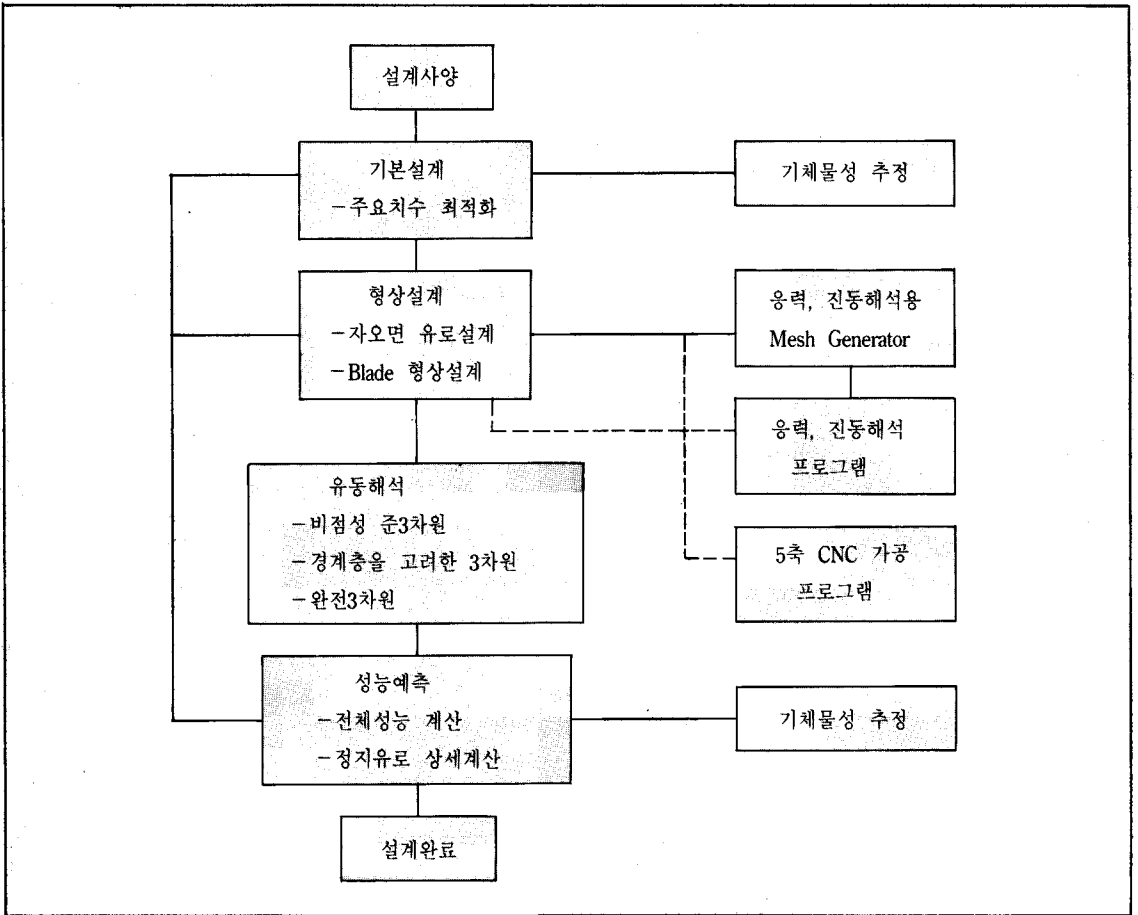


그림 9. 원심압축기 설계 시스템

형상설계에서는 자오면(meridional plane, H-S면) 유로와 블레이드 형상을 생성시킨다. 자오면의 형상은 허브(hub)와 쉬라우드(shroud)에 의해 결정되며 이들은 원호 또는 타원 곡선으로 이루어진다. 그림10은 고효율 임펠러를 나타내며 블레이드 형상은 3차원 곡면으로써 날개각, wrap각, lean각, 날개면 곡률을 갖는다. 블레이드 곡면은 가공시 가공이 용이하도록 설계해 주어야 한다. 이러한 곡면 생성법으로서 Bernstein-Bezier 방법 [1]이 있으며 이는 옆면 밀링 커터(flank milling cutter)가 한번 지나므로써 블레이드 가공면을 마무리할 수 있도록 해준다.

그림11은 원심압축기 내부의 속도분포를 나타낸 것으로서 [2], 그림에 보이고 있듯이 유동현상은 매우 복잡하다. 미국 NASA의 Wu[3]가 터보기계

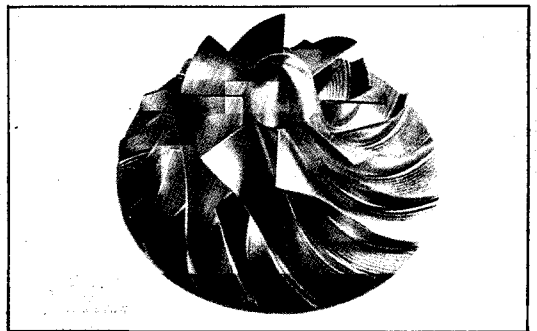


그림 10. 고효율 임펠러

내부의 복잡한 유동을 해석하기 위해 간단한 준3차원 방법을 제안한 이후, 컴퓨터를 이용한 전산 유동해석이 급속히 진전하게 되었다. 준3차원 방법은 터보기계 내부유동해석을 H-S면(hub-sh-

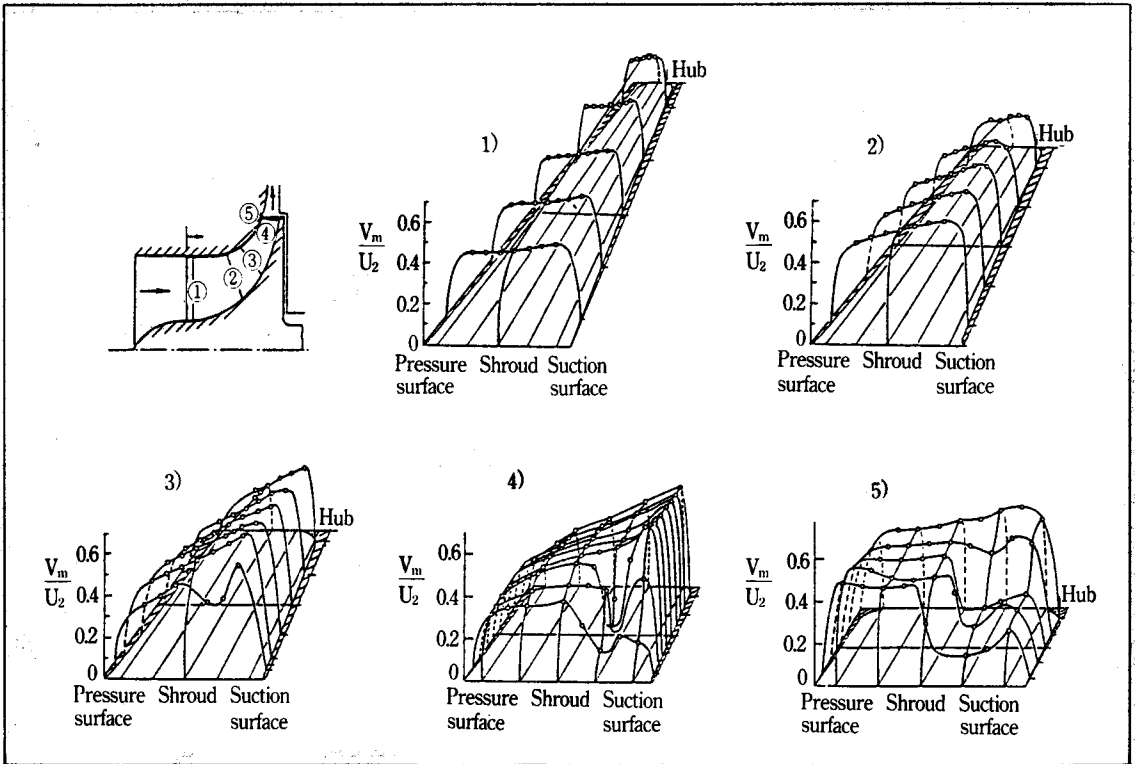


그림 11. 원심압축기 내부에서의 유동속정 일례(Eckardt [2])

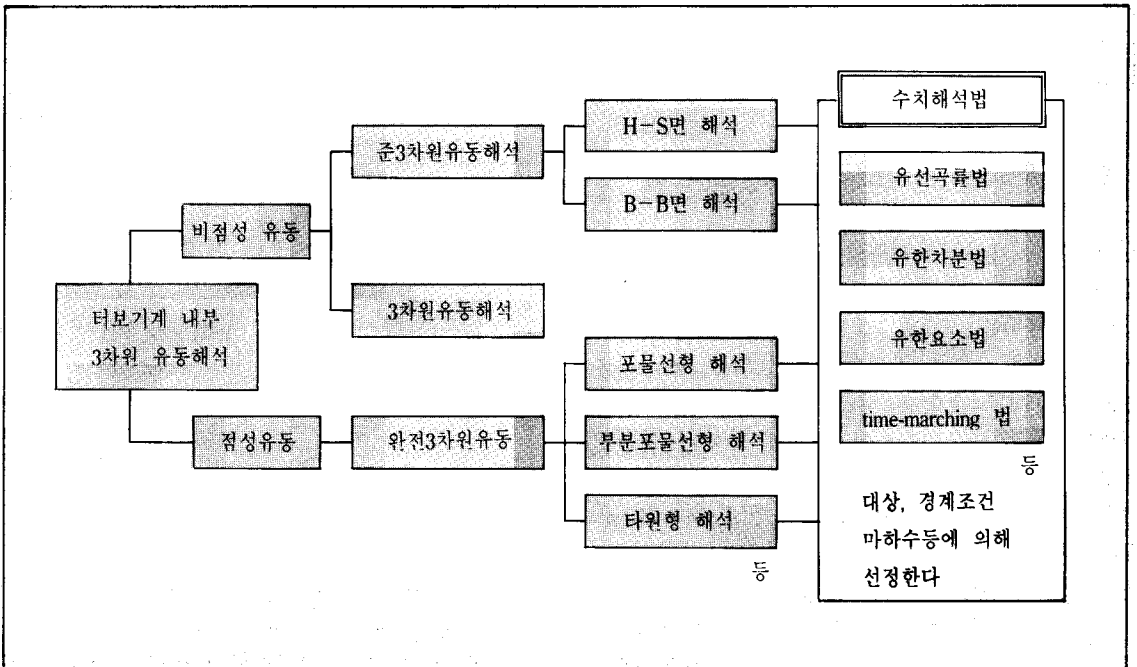


그림 12. 터보기계 내부유동의 해석방법

roud면, 자오면)과 B-B면(blade-blade면)으로 분리하여 2차원적으로 해석한 후 통합하는 것으로, 주로 비점성으로 계산한다. 현재는 비점성 완전3차원 유동해석법이 실용화되고 있으며, 완전3차원 점성유동 해석연구도 활발히 진행되고 있다. 터보기계 내부유동의 여러가지 해석방법을 그림12에 그려두었으며 각각의 비점성 유동해석의 특성을 이해하기 위해서는 Adler[4]의 논문을 참고하면 좋다. 비점성 3차원 유동해석에서는 유한체적법에 의한 Denton(Cambridge대)의 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법은 천원속 영역에서도 적용 가능하며, 항공기엔진, 가스터빈 업계에서 압축기 설계에 사용되고 있다. 지금까지 언급한 해석방법들은 모두 정상상태의 유동에 대한 해석이며, 블레이드면에서의 형상이 적합한가를 판정하는데 활용된다. 이외에도 전산유동해석은 정의과 동익의 간섭효과까지 해석할 수 있으며, 슈퍼컴퓨터의 발달로 최근에는 터보기계 내부에서의 비정상 3차원 유동해석이 시도되고 있다.

4.3 요소기술

터보기계와 관련한 기술향상을 이끌어가는 요소기술의 최근의 동향에 대하여 베어링과 셸을 중심으로 기술하기로 한다.

4.3.1 베어링

최근의 베어링의 발전방향을 종합한 것이 표8에 있다. 표에 나타나 있듯이 어떠한 형식의 베어링도 고속화, 저손실화 및 특수한 환경조건에의 적용을 목적으로 개발이 추진되고 있다.

원통베어링 또는 틸팅패드(tilting pad) 베어링과 같은 미끄럼베어링은 기본설계에 필요한 정특성,

동특성에 관하여 기초 데이터가 축적, 실용화되어 있다. 산업용 원심압축기에서 널리 쓰이는 것이 틸팅패드 베어링이다.

터보기계에 쓰이는 볼베어링은 초고속 또는 진공 중과 같은 특수한 환경에 사용할 목적으로 연구되고 있으며, 고속용 세라믹 볼베어링도 개발 중에 있다.

미끄럼 베어링을 초고속용으로 사용하여도 오일 휩(oil whip)이 발생하지 않도록 하거나, 볼베어링을 탄성로터에 적용하므로써 위험 속도의 감도를 저하시키기 위해, 베어링의 감쇄 능력을 증가시키는 스퀴즈 필름 댐퍼(squeeze film damper) 베어링이 채용된다.[5] 댐퍼베어링의 최적 설계에 관한 연구도 많이 수행되어 실용화에 이르게 되었다.

자기베어링은 오래전부터 연구되어 왔으나 실용화가 크게 진전되지 못하고 최근들어 실용화 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 자기 베어링은 진공 중 또는 저온, 고온 분위기에서도 사용되고, 손실이 적고 로터의 진동을 억제하는 기능을 갖고 있다. 앞으로 더욱 자기 베어링의 용도가 증가할 것으로 기대되므로 가격 감소와 신뢰성 향상이 시급한 과제가 되고 있다.

4.3.2 셸

오래전부터 공기 압축기에서는 라비린스(labyrinth) 셸이 구조가 간단하기 때문에 널리 사용되어 왔다. 그러나 누설량이 크다는 단점을 가지고 있어 제작시에는 간극이 약간 접촉하는 것과 같이하고 운전에 의해 마모시켜 간극을 발생하는 마모셸(abradable seal)이 일부 채용되고 있다. 펠트(felt)상의 금속재료 또는 프라스틱계 복합재료가 마모셸의 재료로서 이용되고 있다. 원심압축기의 슈라우드

표 8. 베어링 발전동향

용도 \ 베어링 형식	sliding	ball	damper	magnetic
고속화	진동 문제	○	○	○
	열적 문제		○	○
저 손 실 화	○			○
특 수 한 환 경		○		○

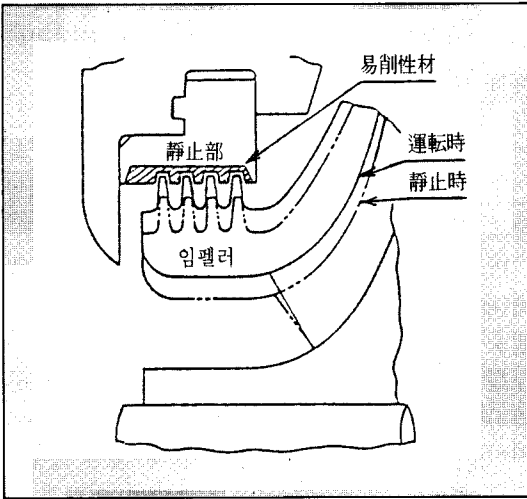


그림 13. 마모셀

셀에 채워진 예가 그림 13에 있으며, 이것은 단 효율을 4% 향상 시키기도 한다.[6].

원주셀(circumferential seal)은 누설틈새를 작게 하기 위해서 탄소 링(carbon ring)을 축의주면에 접촉 마모시키는 것이다. 이것은 항공용 제트엔진에 이용되어 왔으나 최근에는 일반산업용 압축기에도 채용되려고 하고 있으며, 누설량이 라비린스 셀에 비해 1/10로 줄어든 것이 확인되고 있다.[7]

가스압축기의 축셀 장치로서는 유막셀(oil film seal)이 이용되고 있다. 유막셀은 고속회전시 셀부에 점성마찰손실이 커지기 때문에 가스를 직접 셀하는 드라이 가스 셀(dry gas seal)이 개발되어 있다.[8] 이러한 셀은 라비린스 셀에 비하여 1/20~1/10의 누설량과 점성마찰을 대폭적으로 감소시킬 수 있다.

4.3.3 증속기

원심압축기는 보통 2만-3만 rpm으로 회전하며, 이의 구동에는 전동기, 스팀터빈, 가스터빈 등이 이용되고 있다. 스팀터빈이나 가스터빈은 주로 원심임펠러에 직결되어 사용되지만, 전동기는 자체가 갖는 낮은 회전수 때문에 증속기를 부착하는 것이 필요하다. 증속기 내장형 원심압축기는 압축기 케이싱 내에 기어와 피니온을 설치하고 있어, 구동기와 증속기를 포함한 압축기 전체 크기를

컴팩트하게 구성한다. 그러나 케이싱 강도상의 문제 때문에 주로 토출압 15kg/cm² 이하의 저압 압축기에 채용된다. 증속기의 기어비는 20:1 정도로서 가공의 정밀도와 진동의 대책이 요구된다. 외국의 기술수준에서는 큰 문제가 되지 않지만 국내는 증속기 기술이 매우 낙후되어 있으므로 이에 대한 기술향상 대책이 시급하다.

4.4 가공기술

풍수력기계 특히 원심압축기의 생산에 있어 필요한 기술은 케이싱 등의 주조기술과, 강판 또는 단조재의 용접기술 등이 있지만 가장 고도의 기술이 요구되는 것은 임펠러 가공이다. 최신의 고효율 임펠러는 lean각과 후향경사(backsweep)각을 갖는 3차원 형상이 일반적인데, 이것을 고정밀도로 가공하기 위해서는 5축 CNC 밀링머신이 필수적이다. 그림14는 5축 밀링머신을 사용하여 임펠러를 가공하는 사진을 나타낸다. 5축 밀링머신은 고가이므로 국내에는 대우중공업 등 극소수의 업체가 보유하고 있다. 형상설계과정(그림9 참조)에서 구한 형상데이터를 이용하여 3차원 날개를 가공하는데 가공비용을 최소화하기 위해서는 가공공정(tool path)의 최적화가 필요하다. 일반적으로 사용되는 최적가공 공정은 임펠러 날개면을 옆면

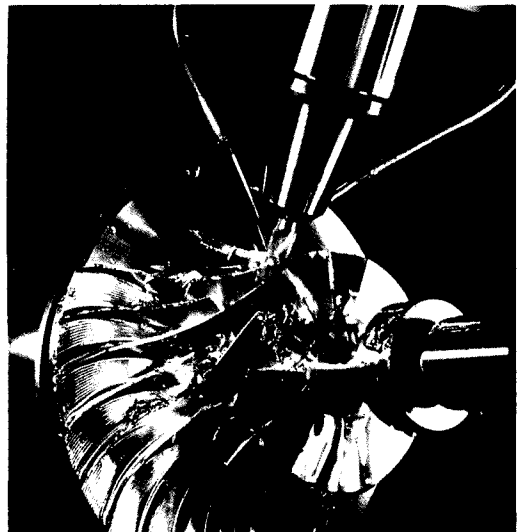


그림 14. 원심임펠러의 5축가공

밀링 커터가 한번 지나므로써 마무리할 수 있도록 가공 소프트웨어를 짜는 것이다. 이를 위해 Bernstein-Bezier방법[1]에 의해 날개 곡면을 생성시켜 주는 것이 바람직하다.

5. 우리의 기술개발 대응방안

세계가 당면하고 있는 지구환경 문제에 대응하기 위해서는 에너지 절약이 시급하며, 이에 대한 국제적인 기술개발의 요구가 매우 높다. 대부분의 풍수력기계는 에너지 이용 설비와 직접적으로 연관되어 있기 때문에 종류도 다양하고 시장규모도 매우 크다. 우리나라 풍수력기계의 생산은 팬, 부로워, 펌프 등과 같이 제작이 용이한 것, 용적형 압축기와 같이 공기역학적 설계 없이도 설계가 가능한 것 그리고 가정 또는 자동차에 어콘용 냉매압축기와 같이 소형이면서 수요가 많은 것에 치중하여 왔다. 국제산업에서 이러한 제품들은 기술적 성숙기를 지나 더 이상의 기술개발을 기대할 수 없는 것이 대부분이어서 대외경쟁을 생산비절감 또는 덤핑에 의존할 수밖에 없다. 우리나라는 현재와 같은 임금구조와 생산설비 자동화율의 여건상 선진국과 후진국 양측에서 협공을 받고 있는 실정에 있다. 이를 탈피하기 위해 우리의 실정에 알맞는 전략적 상품을 개발하는 것이 필요하다. 산업이 고도로 발달한 오늘날, 우리의 독창성에 의해 개발한 신제품으로 세계시장의 점유율을 크게 신장하기란 매우 어려운 일이다. 따라서 일본이 과거에 그러하였듯이, 외국의 선진기술을 적극 활용하는 것이 기술수준향상에 바람직하다. 지금까지 라이선스에 의해 도입된 기술은 물론, 터보형 압축기와 같은 선진국형 풍수력기계기술을 새로이 도입하여, 이를 철저히 소화, 흡수하여 우리 기술화하는 것이 필요하다. 우리의 기술이 선진국과 어느 정도 대등해졌을 때, 우리의 상품은 국제시장에서 경쟁할 수 있고 기술의 대외 종속 탈피가 가능해지리라 본다. 우리의 기술수준을 정확히 알아야 한다는 점과 개도국이 모방할 수 없는 상품과 기술을 전략적으로 개발하는 것이 필요하다.

플랜트가 대형화, 복합화함에 따라 압축기는 왕복동형에서 터보형으로 대체되어 가고 있다. 또한 효율향상, 공정의 가혹화, 안전성 향상, 공해방지 등의 측면에서 풍수력기계는 고도의 기술수준을 요구하고 있다. 이러한 세계시장의 성향에 적극적으로 대처하기 위해서 우리나라가 집중적으로 투자해야할 풍수력기계의 기술과제는 다음과 같은 것이 있다.

- 터보압축기 : 공력설계, 요소기술, 가공기술
- 스크류 압축기 : 가공기술, 설계기술
- 스크롤 압축기 : 가공기술, 요소기술
- 발전소 보일러용 펌프 : 설계기술, 요소기술
- 진공펌프 : 설계기술, 요소기술, 가공기술

풍수력기계 중에 특히 터보압축기는 터빈, 연소기와 함께 항공, 우주, 방위용 추진기관의 3대 구성요소를 이루고 있다. 터빈추진기관 기술은 우리나라가 선진외국과 기술격차가 가장 심한 분야이다. 2000년대에 가장 보편적인 동력기관으로 유력시키는 가스터빈 분야의 대외 기술의존도 억제와 국제적인 기술격차의 해소를 위해서, 가장 기본이 되는 기술인 터보형 압축기의 기술향상을 위해 국가적인 지원책을 마련해야 한다.

사용자는 안정성, 수명 등이 무엇인가 기준으로 되는 규격을 만족하는 품질높은 제품을 원한다. 산업의 국제화가 보편화되어 있는 요즘 품질보증의 국제화가 아주 중요하다. 머지 않아 대부분의 풍수력기계는 API 6000계열 또는 ISO 9000계열의 표준을 따르지 않고는 세계시장에 발을 들여놓지 못하게 된다. 지금까지의 품질은 제작자 중심(TQC)이었지만, 앞으로는 구입자 및 사용자 주도형(ISO 9000)으로 바뀌어 갈 것이다. 규격의 표준은 항상 선진국의 기술을 기준으로 하기 때문에, 우리의 기술수준을 우선 그들의 수준에 접근시켜 두는 것이 아주 시급하다. 따라서 우리나라의 산업구조는 종래와는 달리 기초기술과 핵심기술의 자립화를 위해 산·학·연 모두가 효율적인 역할분담과 상호 협동적인 연구체제에의 노력이 필요하다.