

# 터보펌프 소재의 기계적 물성치 검토에 관한 연구

이관호\* · 전성민\* · 김진한\*

## Study on the Mechanical Property of Turbopump Material

Kwan Ho Lee\*, Seong Min Jeon\*, Jinhan Kim\*

*Key Words* : Turbopump(터보펌프), Mechanical Property(기계적 물성치), Inducer(인두서), Impeller(임펠러), spline(스플라인), Turbine(터빈)

### ABSTRACT

The study was performed to search on alternative material for turbopump parts made of Russian material by analyzing and comparing chemical and mechanical material properties. Iron base material was generally used for turbopump. This material can be categorized into stainless steel and heat resisting steel by quantity of additional elements. Each steel was also classified into austenite steel, ferrite steel, and martensite steel. Alternative materials for turbopump inducer, impeller and casing are chosen by JIS SUS 631 and 321 as a result of this study. Because the material of Russian turbopump turbine may be developed by Russia itself, alternative material can be hardly found. However, Inconel 718 for turbine material is thought to be proper in the aspect of hardness considering general use of this material for turbopump turbine in Japan and France.

### 1. 서 론

액체로켓은 산화제와 액체연료를 연소시켜 분사시킴으로써 추진력을 얻는다. 고추력과 고효율을 얻기 위해서는 액체연료와 산화제가 가압상태로 연소실에 공급되어야 하는데, 이에 크게 두 가지 방식이 있다. 즉, 고압의 연료를 탱크에 직접 저장하는 고압 탱크 방식과 저압으로 탱크 내에 저장된 연료를 터보펌프로 가압시키는 터보펌프 방식이 있다. 고압 탱크 방식은 구조가 간단한 장점이 있지만, 고압을 지탱하기 위하여 탱크의 벽 두께가 두꺼워져야 하므로 엔진의 비추력이

낮아지는 단점이 있다. 반면, 터보펌프 방식은 고속으로 회전하는 터보펌프와 관련한 진동 및 공동화(Cavitation) 제어 등의 고도의 기술을 필요로 하지만<sup>(1)</sup>, 공급탱크의 경량화가 가능하여 비추력을 크게 할 수 있는 장점이 있다. 그 구조는 작동유체의 압력상승을 위한 인두서(Inducer), 임펠러(Impeller), 볼류트(Volute)로 구성된 펌프(Pump), 펌프를 구동하는 터빈(Turbine), 베어링(Bearing), 그리고 고속운전 조건을 갖으며, 극저온 환경에서의 고압에 대한 기밀 특성을 유지하기 위한 실(Seal)<sup>(2)</sup>등과 같은 축계통으로 이루어져 있다. 산화제 및 연료 펌프가 터빈과 일체형 구조를 갖는 비교적 소형 터보펌프의 초창기 구조는 Fig. 1과 같이 산화제 펌프와 연료펌프가 기어시스템을 이용하여 서로 다른 속도로 구동되는 구조로 되어있으나, 현재는 이 기어시스템의 구조적인 복잡성 때문에 Fig.2

\* 한국항공우주연구원, 터보펌프그룹

E-mail : lkh@kari.re.kr

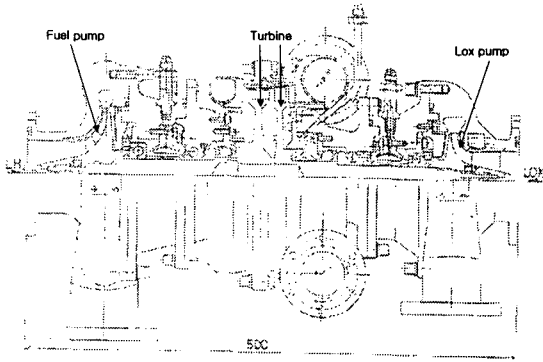


Fig. 1 Schematic of ISAS engine's TP-701 turbopump

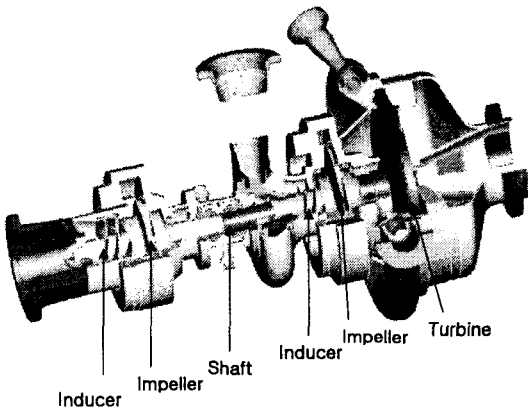


Fig. 2 Schematic of turbopump unit

와 같이 두 펌프는 터빈과 동일 축 선상에 위치한 구조를 취하고 있다. 이러한 터보펌프는 단위 중량당 에너지 발생효율을 향상시키기 위해 높은 DN(Diameter to rotation number)값을 갖게 되며, 저 점도의 액체연료 사용에 따른 극저온(-190℃이하)의 환경특성에도 작동이 가능하여야 한다. 그러므로, 본 논문에서는 러시아 공동 연구<sup>(3)</sup>에 사용된 산화제 펌프, 연료펌프, 그리고 터빈에 대한 대체 가능한 소재들의 물성치 및 특성에 대해서 비교분석하였다.

## 2. 철합금의 구분 및 첨가원소의 영향

### 2.1. 철 합금의 구분

철합금은 철을 기본금속으로 하며, 첨가 원소의 종류와 그 양에 따라 탄소강, 스테인리스강, 내열강, 공기강, 주철, 주단강 등으로 분류된다. 10톤급 터보펌프에

사용된 러시아 규격 소재가 대부분 스테인리스강과 내열강 범주에 국한되어 있으므로, 이 범위에서 조사를 하였다.

#### 2.1.1. 스테인리스 강의 개요

스테인리스 강(Stainless steel)은 철강의 최대 결점인 녹 발생을 방지하기 위해 표층부에 부동태를 형성하여, 녹슬지 않는 성질을 갖는 강으로 주성분이 크롬(Chromium : Cr)을 함유하는 특수강이다. 그러나, 넓은 의미로는 합금원소량 5%이상의 내식, 내산, 내산화 또는 내열성을 갖는 합금강을 총칭하는 경우도 있다. 또, 일반적으로 13Cr강, 18Cr강, 18-8(Cr-Ni)강으로 불리워지는 것들이 대표적인 스테인리스강이다.

#### 2.1.2. 스테인리스 강 첨가원소의 영향

스테인리스 강의 구분에 따른 합금원소의 전형적인 조성은 Table 1과 같다. 탄소(Carbon : C)가 많을수록 강도와 경도가 높아지지만, 내식성면에서 적을수록 좋다. 망간(Manganese : Mn)은 오스테나이트계를 안정화하는 원소로 니켈(Ni)대용으로 사용되며, 내식성에는 큰 영향은 없지만, 크롬(Cr)이 15% 이상 첨가되면  $\sigma$ -phase가 나타나기 쉬우므로 주의를 요한다. 크롬(Chromium : Cr)은 철(Fe : F)의 부동태화(Passivity)에 가장 필요한 원소로서 여러 가지 산에 충분한 내식성을 갖기 위해서는 12%이상의 크롬(Cr)이 필요하며, 경화 및 내마모성 증대에 기여한다. 니켈(Nickel : Ni)은 페라이트와 마르텐사이트에 첨가할 경우 기계적 성질이 개선되고, 비산화성 분위기에서의 내식성 개선 및 응력부식 균열(Creak)방지와 오스테나이트계의 안정화

Table 1 Typical compositions of the austenite, ferrite, and martensite stainless steels

Element	Austenite	Ferrite	Martensite
Carbon(C)	0.03-0.25%	0.08-0.20%	0.15-1.2%
Manganese(Mn)	2%	1-1.5%	1%
Silicon(Si)	1-2%	1%	1%
Chromium(Cr)	16-26 %	11-27%	11.5-18%
Nickel(Ni)	3.5-22 %		
Phosphorus & sulphur(P&S)	Normal(0%)		
Molybdenum(Mo)	Some cases		
Titanium(Ti)	Some cases		

에 기여한다. 몰리브덴(Molybdenum : Mo)이 페라이트와 마르텐사이트에 첨가될 경우 비산화성 분위기에 대한 내식성을 개선하고, 특히 구리(Cu)와 공존하면 그 효과는 증대된다. 반면, 탄화물 형성원소로서 오스테나이트계를 불안정하게 하므로 몰리브덴을 첨가할 때는 니켈(Ni)의 양을 증가할 필요성이 있다. 티타늄(Titanium : Ti)은 안정한 탄화물을 만들고, 탄소(C)를 고정해서 오스테나이트계의 입계부식 방지에 유효하다. 인(Phosphorus : P)은 첨가되는 원소가 아닌 불순물의 개념으로서 완전 제거는 불가능하기 때문에 일반적으로 0.04 ~ 0.045이하에서 규제되고, 황(Sulphur : S)은 절삭성이 약간 증가하지만, 내식성이 감소하는 경향이 있다.

### 2.1.3. 스테인레스 강 분류와 특성

스테인레스 강에 대한 특성을 Table 2와 같이 정리를 하였다. 오스테나이트계의 종류는 JIS SUS 201, 202, 301, 302, 302B, 304L, 310, 316, 321이고, 페라이트

Table 2 Typical property of the stainless steels

분류	성분	특성
오스테나이트계 (200~300계열)	18-8(Cr-Ni) stainless steel	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내부식성 매우 좋음</li> <li>· 용력부식균열에 민감</li> <li>· 가장 연성이 좋음</li> <li>· 냉간가공으로만 경화</li> <li>· 가공성이 뛰어남</li> <li>· 극저온 환경에서 사용</li> </ul>
페라이트계 (400계열)	13Cr stainless steel	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cr Max 27%</li> <li>· 내부식성 좋음</li> <li>· 연성은 오스테나이트계 보다 다소 저하</li> <li>· 경화 및 열처리 안됨</li> <li>· 비구조용으로 사용(자성)</li> <li>· 용접성 양호</li> </ul>
마르텐사이트계 (400~500계열)	steel	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Cr함유량 보통 8%</li> <li>· 대부분 Ni 포함하지 않음</li> <li>· 열처리에 의해 경화</li> <li>· 높은 강도, 경도 및 피로저항성이 좋은 연성을 가짐</li> <li>· 내부식성 다소 저하(자성)</li> <li>· 용접성 나쁨</li> </ul>
석출경화계 (600계열)	Cu, Al첨가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내부식성과 연성 우수</li> <li>· 고온에서 높은 강도</li> </ul>
이중구조계	오스텐나이트 + 페라이트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 높은 강도</li> <li>· 300계열 오스테나이트계 보다 내부식성이 좋음</li> <li>· 용력부식균열에 대한 저항성 좋음</li> </ul>

계의 종류로 JIS SUS 405, 430, 446이며, 마르텐 사이트계의 종류는 JIS SUS 410, 420, 440C이다. 마지막으로 석출경화계 종류는 JIS SUS 630(410+Cu), 631(301+Al) 등이 대표적이다.

### 2.2.1. 내열강의 개요

내열강은 고온에서 사용하도록 만들어진 특수강이고, 고온에서 사용하기 위해서 고온 내산화성 사용 분위기에 대한 내식성과 사용온도에서 적당한 강도를 갖는 것이 필수조건이며, 대체적으로 350℃ 이상, 화학 성분상으로 4% 크롬(Cr) 이상에서 사용되는 강을 내열강으로 분류하는 것이 보통이다. 스테인리스 강은 내식성을 주로 한 강이지만, 화학성분으로서는 내열강 범주에 들어가기 때문에 내열강으로서도 많이 사용된다.

### 2.2.2. 내열강 합금원소의 영향

크롬(Cr)은 산화(Chromium oxide)피막에 의해 내산화성에 기여하고, 15~30% 정도의 것이 사용되며, 석출경화에 의한 크립(creep) 파단 강도를 향상시키고, 질소와 공존하여 결정립을 미세화 한다. 니켈(Ni)은 안정한 오스테나이트를 만들고, 인성을 향상시키며, 크롬(Cr)과 공존상태로 내산화 향상에 유효하며, 10% 이상 첨가될 경우 크립(Creep)파단 강도가 향상된다. 몰리브덴(Mo)은 페라이트의 고온강도를 향상 시키지만, 오스테나이트에 대해서도 크립(Creep)파단 강도를 향상 시키는데 기여한다. 텅스텐(Tungsten : W)은 석출경화해서 고온강도를 향상시키지만, 취성이 나타난다. 알루미늄(Aluminum : Al)은 강 표면에 극히 안정한 산화물 보호 피막을 생성하고, 강의 내스케일성을 향상 시키며, 다량의 크롬(Cr)과 니켈(Ni)이 포함된 스테인리스 강인 초내열 합금에서는 크립(Creep) 파단 강도를 현저하게 향상시킨다. 티타늄(Titanium : Ti)은 고온강도 향상에 기여하고, 강력한 탈산 및 탈질제이다.

### 2.2.3. 내열강 분류와 특성

내열강에 대한 특성을 Table 3과 같이 정리를 하였고, SUH 600, 616, 661은 각각 터빈블레이드, 고온용 볼트, 너트, 터빈로터샤프트, 터빈블레이드에 사용된다.

## 3. 소재 분석

### 3.1. 단품별 소재

터보펌프의 산화제펌프, 연료펌프, 터빈, 그리고 사

Table 3 Typical property of the heat resisting steel

분류	성분	특성	JIS Type
오스테나이트계	Cr-Ni	· 1150℃의 내산화용 · 디젤엔진용	SUH 31
		· 1100℃ 이하의 내스케일성 양호 · 고온강도	SUH 309
		· Cr, Ni을 더욱 증가 · 1150℃ 이하의 내스케일성	SUH 310
		· Cr을 갖추고 Ni을 35% 높게 함 · 800~1150℃에서 내스케일성향상	SUH 330
		· 816℃이하에서 높은 강도 · 782℃이하에서 내산화성을 가짐	SUH 661
페라이트계	Cr	· SUH 계에서 유일한 페라이트계 · 고온에서 산화막 탈락이 적음 · 응력이 큰 곳에는 사용이 부적합	SUH 441
마르텐사이트계	Cr	· 8.5Cr-3.0Si 강 · 제조기술 및 인성등에 문제 있음 · 가격이 저렴 · 750℃까지 내산화성이 있음	SUH 1
		· SUH 1의 Si를 낮게하고 Cr을 증가시키고 Mo를 추가 · SUH 1에 비해 인성이 있음 · 850℃까지 내산화성 있음	SUH 3
		· 20Cr-2Si계로 Ni 소량 첨가 · SUH 3와 사용 용도 비슷함	SUH 4
		· 600℃ 이하에서 크립 강도 우수	SUH 600
		· 12%Cr에 Mo, W, V, Ni등 첨가 · 550℃ 이하의 온도에서 고온강도가 큰 합금	SUH 616

Table 4 Russia material of the turbopump part

Unit	Part	Russia material	Alternative material
Oxidizer pump	Inducer	07X16H6	SUS 631
	Impeller		
Fuel pump	Casing	12X18H10T	SUS 321
Turbine	Disk	ЭП-741HP	Inconel 718
	Nozzle Block	12X18H10T	
	Casing		
Transmission shaft	Spline shaft	13X11H2B2 MΦ-III	SUS 431

프트의 러시아 재료를 Table 4와 같이 정리하였으며, 쉽게 얻을 수 있는 대체 가능한 소재도 포함하였다.

### 3.2. 케이싱 소재(12X18H10T)

니켈(Ni)이 함유된 점으로 오스테나이트계로 추정되며, JIS SUS 321, 347과 유사한 것을 화학적, 기계적 물성치 Table 5, 6에서 볼 수 있다. JIS SUS 321과 347 스테인리스 강은 오스테나이트 계열인 JIS SUS 302에서 입계부식성을 개량하기 위해 탄소(C)를 줄인 후 티탄늄(Ti) 또는 니오븀(Niobium : Nb)과 탄탈(Tantalum : Ta)를 첨가하였다. JIS SUS 321은 용접을 요하는 곳이나 고온용 설비에 사용되며, JIS SUS 347은 고온용 화학용기에 사용된다.

### 3.3. 인듀서, 임펠러, 펌프 샤프트 소재(07X16H6)

케이싱과 같이 니켈(Ni)이 함유된 점으로 추측하여

Table 5 Chemical composition of 12X18H10T, JIS SUS 321 and SUS 347

분류	화학적 성분(wt%)							Base
	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	
ГОСТ 12X18H10T	0.12	0.8	2.0	9 ~ 12	17 ~ 19	0.03	0.02	Fe
JIS SUS 321	0.08	1.0				0.04	0.03	
JIS SUS 347	0.80							

Table 6 Mechanical properties of 12X18H10T, JIS SUS 321 and SUS 347

분류	기계적 물성치					
	Y.S (Mpa)	T.S (Mpa)	e (%)	Ra (%)	HB	E.M (Gpa)
ГОСТ 12X18H10T	≥ 200	≥ 550				
JIS SUS 321	≥ 206	≥ 517	≥ 40	≥ 50	≤ 187	
JIS SUS 347	≥ 206	≥ 517	≥ 40	≥ 50	≤ 187	193

Table 7 Chemical composition of 07X16H6, JIS SUS 301, SUS 631, and 17-7PH

분 류	화학적 성분(wt%)							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Base
Ty14 07X16H6	0.05 ~ 0.09	0.8	0.8	5~8	15.5 ~ 17.5	0.03	0.02	Fe
JIS SUS 301	0.08	1.0	2.0	6~8	16	0.04	0.03	
JIS SUS 631	0.09		1.0	6.50 ~ 7.75	~ 18			
17-7PH								

Table 8 Mechanical of 07X16H6

분 류	기계적 물성치					
	Y.S (Mpa)	T.S (Mpa)	e (%)	Ra (%)	HB	E.M (Gpa)
Ty14 07X16H6	≥ 900	≥1100				

오스테나이트계 JIS SUS 301이거나, 석출경화능이 부여된 17-7 PH와 매우 유사하며, Table 7, 8은 화학적, 기계적 물성치를 비교하였다. 17-7PH는 315℃이하의 온도에서 높은 강도와 내식성을 요구할 경우 사용하고, 성형을 용이하게 위해서는 Condition A(1070±3.89℃ and air cool)상태여야 한다. 가공된 최종부품은 TH1050 (566±12.2℃ - 90min. and air cool) 열처리하여 사용하는 것이 강도면에서 유리하다.

### 3.4. 샤프트 소재(13X11H2B2M $\phi$ -III)

크롬(Cr)과 니켈(Ni)이 함유되어 있으므로 오스테나이트계로 판정하기 쉬우나 크롬(Cr)과 Ni(니켈)의 함량이 오스테나이트계의 기준치인 18% 및 3%에 미달되므로 마르텐사이트계 혹은 페라이트계 강으로 추정되며, 이들 중 니켈(Ni) 성분을 포함하는 것은 JIS SUS 431 뿐이다. 즉, 크롬(Cr)계 강에 내식성 향상을 위해서 니켈(Ni)이 소량 첨가되었다고 보는 것이 타당할 것으로 판단된다. JIS SUS 431강은 니켈(Ni)을 함유한

Table 9 Chemical composition of 13X11H2B2M $\phi$ -III, AISI431 and JIS SUS 431

분 류	화학적 성분(wt%)							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Base
Ty14 13X11H2B2M $\phi$ -III	0.10 ~ 0.16	0.6	0.6	1.5 ~ 1.8	10.5 ~ 12	0.03	0.02	Fe
AISI 431	0.2	1.0	1.0	1.25 ~ 2.50	15 ~ 17	0.04	0.03	
JIS SUS 431								

Table 10 Mechanical properties of 13X11H2B2M $\phi$ -III, AISI 431 and JIS SUS 431

분 류	기계적 물성치					
	Y.S (Mpa)	T.S (Mpa)	e (%)	Ra (%)	HB	E.M (Gpa)
Ty14 13X11H2B2M $\phi$ -III	930	1080			57 ~ 63	
AISI 431	625	858	20	50		200
JIS SUS 431						

크롬(Cr)계 강으로서 마르텐사이트계 스테인리스 강중에서는 내식성이 가장 우수하다. Table 9와 10에서 물성치값을 비교하였다.

### 3.5. 터빈 소재

터빈디스크의 경우 고온의 환경에서 열하중과 고속 회전으로 원심력에 의한 하중을 충분히 고려하여야 하므로, 국내에서 연구되어지고 있다<sup>(4,5,6)</sup>. 따라서, 고온에서 강도가 좋은 재료를 선정하는 것과 가공성을 고려하여야 한다. 이러한 조건의 특성을 가진 내열합금의 고온 환경용 비철합금은 고온 특히, 1100℃ 혹은 그 이상의 온도에서 고강도, 크립 저항성, 내부식성을 요하는 곳에 사용되는 금속성 재료로서 분류에 따라 Iron-chromium-nickel base alloy, Nickel base alloy, Cobalt base로 하였다. 이 합금들은 대부분이 석출경화가 가능하며, 항복강도는 690Mpa를 가진다. 특히, 니

켈(Ni)을 기본으로 하는 금속 합금은 상온에서 항복강도와 인장강도는 각각 1200Mpa, 1450Mpa 이상으로서 나머지 두 종류의 합금에 비해 높은 강도를 가질 뿐만 아니라, 815℃에 대한 파괴응력도 450Mpa이다.

### 3.5.1. Iron - chromium - nickel base alloy

가격 및 사용온도 측면에서는 내열강과 Ni-base 및 Co-base 내열합금의 중간 정도이며, 철(Fe)이 많이 포함되어 있어 저가의 소재가 필요하거나 스테인리스 강 재료를 사용하기 어려운 경우와 사용온도범위가 538℃에서 649℃의 항공기 기체에 많이 사용된다. Inconel P, Incoloy 825, 901, 16-25-6(Cr-Ni-Mo), N-155, A286 등이 해당되며, N-155는 816℃정도의 온도범위에서 큰 응력을 받는 구조에 쓰이며, 내산화성과 연성이 좋고, 일반적인 방법으로 가공이 쉽고, 용접성은 오스테나이트계와 비슷하다. 주로 항공기의 후연기용 부품, 연소 챔버, 배기관, 터빈부품 및 볼트 등에 적용된다. A-286은 강도가 비교적 좋고, 기계가공이 용이하며, 큰 용접 부위의 확산용접은 힘들다. 사용용도는 제트엔진과 가스터빈에 많이 사용된다.

### 3.5.2. Nickel base alloy

니켈(Ni)은 고온의 내열 합금의 기초원소이고, Iron-base보다 비싼 단점이 있지만, 동등한 강도를 갖는 페라이트 구조에 비해서 인성과 가공이 좋으며, 저항용접 및 확산접합으로 용접가능하다. 단, 시효경화성 합금은 특별한 주의가 필요하다. 이와 관련된 재료는 Hastelloy X, IN-100, Inconel 600, 625, 706, 718, X-750, Rene 41, 80, 95, Udimet 500, 700, Waspaloy B, M-252등이다. Hastelloy X는 1450℃ 이상의 온도에서 적절히 높은 강도와 내산화성을 요하는 곳에 사용되며, 냉간 가공에 의해서만 경화가 가능하고, 일반적으로 용체화 처리(풀림) 상태로 사용되며, 절삭성은 오스테나이트계와 유사하다. 가공시 낮은 절삭속도와 많은 절삭유가 필요하며, 저항용접, 확산접합 그리고 브레이징이 가능하다. Inconel 600은 1090℃까지의 낮은 응력을 받는 부품에 사용하고, 단조는 가능하지만, 기계가공은 어렵다. 저항용접, 확산접합 그리고 브레이징이 가능하다. Inconel 625는 982℃까지 부식과 내산화성이 필요하고, 용접이 필요한 부품에 사용된다. Inconel 706은 Inconel 718과 비슷한 특성이지만, 기계가공성이 더욱 향상된 특성과 용접성이 좋다. Inconel 718은 -253~704℃온도범위 내에서 크립(Creep)과 응

력파괴에 대한 특성이 좋고, 극저온과 고온에서 높은 강도를 갖는다. 982℃의 온도범위까지 좋은 내산화성을 보이며, 터빈디스크, 블레이드, 터빈 케이스 등에 많이 사용된다. Inconel X-750은 538℃까지 높은 응력과 816℃까지 높은 크립(Creep)강도가 필요로 하는 곳과 1040℃까지 낮은 응력을 받는 부품에 주로 사용되며, 오스테나이트계보다 기계가공이 어렵다. Rene 41은 기계가공이 어렵고, 649~982℃범위에서 높은 응력을 받는 부품에 사용되며, 후연기용 부품, 터빈캐스팅, 휠, 고온용 볼트에 사용된다. Waspaloy는 843℃까지 높은 응력을 받는 구조에 사용되고, 용접이 쉽지 않다. 항공기 가스터빈, 블레이드, 디스크, 로켓엔진 부품등에 사용된다.

### 3.5.3. Cobalt base

단조와 기계 가공시 특수 장비가 필요로 하며, 용접성과 브레이징은 오스테나이트계와 비슷하고, L-605, HS 188등이 해당된다. L-605는 538~1040℃에서 적절한 강도를 요하는 곳에 사용되고, 가공이 다소 힘들며, 가스터빈 블레이드, 연소실, 후연기용 부품에 많이 사용된다. HS 188은 1150℃까지 응력을 받는 부품에 사용되며, 단조와 용접성이 좋다.

고온 환경용 비철합금에 해당되는 러시아 규격 재료는 화학적 성분에서 서방재료와 유사한 재질을 찾기 어렵고, 이 재질들은 부품의 기능조건을 충족시키기 위해서 자체 개발 된 것으로 판단된다. 강도측면에서 러시아재료와 비교하여보면, Inconel 718, Rene 41, Waspoly으로 압축되어진다. 터빈디스크 재료로 일본 및 프랑스에서는 Inconel 718 사용되며, 국내 산업체에서 많이 사용되는 재료이다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 러시아소재의 각각 단품별 대체 가능한 서방소재에 대한 화학적, 기계적 물성치 및 특성을 비교분석하였다.

터보펌프에 사용된 소재는 철을 기본으로 하며, 첨가원소의 함량에 따라 분류되는 스테인리스강 및 내열강으로 국한되며, 오스트나이트계, 페라이트계, 마르텐사이트계로 구분된다.

인듀서, 임펠러, 케이싱은 대체 가능한 소재로 각각

JIS SUS 631, 321이고, 러시아의 터빈 소재는 제품의 기능조건을 만족시키기 위해서 자체 개발한 소재로 추측되며, 강도측면에서 프랑스 및 일본에서 사용된 Inconel 718이 대체가능한 소재로 판단된다.

향후 제작된 터보펌프의 실매질 시험을 통하여 소재의 적합성을 검증할 예정이다.

### 참고문헌

- (1) Huzzel, D. K. and Huang, D. H., 1992, Modern Engineering for Design of Liquid Propellant Rocket Engines, AIAA Press.
- (2) 이용복, 광현덕, 안경민, 김창호, 하태웅, 2003, “터보펌프용 고압 실,” 제 4회 우주발사체기술 심포지엄, pp 61-68
- (3) 우유철, 2001, “액체로켓 엔진용 고압터보펌프 개발,” 제 2회 우주발사체기술 심포지엄, pp. 28-32.
- (4) 전성민, 김진한, 이대성, 2003, “액체로켓 터보펌프 터빈 구동터빈의 구조 강도 및 진동 안전성에 관한 연구,” 한국항공우주학회지, 제31권, 제8호, pp. 77-84
- (5) 유재한, 전성민, 최지훈, 이은석, 김진한, 이인, 2003, “액체 로켓 터보 펌프 터빈의 천이 열전달 및 구조 해석,” 제 4회 우주발사체기술 심포지엄, pp 209-216