

# 스마트무인기 신개념추진시스템 개념연구

전용민\* · 정용운\* · 양수석\*

## Conceptual Study and Design Ideas for SUAV Propulsion System

YongMin Jun\* · YongWun Jung\* · SooSoek Yang\*

### ABSTRACT

In this paper, the result of the conceptual study of a tipjet driven propulsion system is presented. The concept of a tipjet driven propulsion system is to employ tipjet as power source to drive a rotor. Because the vehicle is supposed to takeoff and land vertically, a rotor system, which has tipjet nozzles, is adopted to fly like a helicopter. Exhaust gas, which is generated by an engine, passes through an internal duct system and divided into four blade ducts. The design code is consists of two parts, engine model and internal duct model. Inside a rotating duct, compressible flow is affected by two additional force terms; centrifugal force and coriolis force and they govern the performance in rotary mode. The intention of this paper is to address the issues associated with sizing and optimizing configurations of a tipjet driven propulsion system especially in rotary wing mode.

### 초 록

본 논문에서는 팁제트 로터를 사용한 CRW 비행체의 추진시스템에 대한 개념연구 결과를 다루었다. 비행체 중앙에 위치한 엔진으로부터 배기가스를 로터나 주 추력노즐까지 공급하기 위해서 길고 복잡한 내부덕트 시스템이 필요하며 배기가스 분배장치 등이 필요하다. 추진시스템의 성능해석을 위해 엔진운전특성과 내부덕트 시스템 특성을 함께 해석하였다. 본 연구에서는 회전익모드에서 내부덕트 시스템의 형상변화에 따른 엔진 및 전체 추진시스템의 운전특성을 분석하여 추진시스템 설계를 위한 중요설계변수를 도출하였으며 파라메트릭 연구를 수행하여 향후 설계방향설정에 기여하였다.

Key Words: Smart UAV(스마트무인기), Propulsion System(추진시스템), Tipjet팁제트(Tipjet)

### 1. 서 론

한국항공우주연구원(이하 항우연)은 2002년부터 과기부 주도하의 21세기 프론티어 사업의 하나로 스마트무인기 기술개발 사업을 수행중이다. 이 사업은 그간 국내에 축적된 무인항공기

† 2003년 7월 2일 접수 ~ 2003년 9월 4일 심사완료

\* 정희원, 한국항공우주연구원 항공추진그룹  
연락처, E-mail: ymjun@kari.re.kr

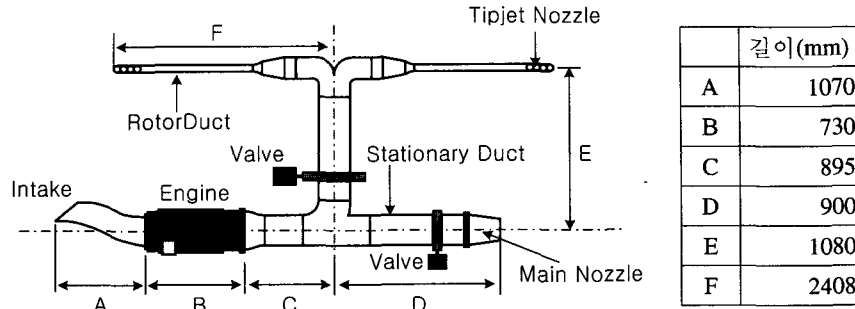


Fig. 1 스마트무인기 신개념추진시스템 개략도

분야의 연구기반 위에 수직이착륙과 고속비행이 가능하며 고신뢰도, 소형경량화 및 지능형 자율 비행을 가능케 하는 스마트 기술을 접목하여 실용적인 민수 용도의 무인항공기를 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 현재 CRW, Tilt rotor 등을 포함한 여러 가지 비행체에 대한 연구가 진행 중이며 본 논문은 이중 팁제트를 이용한 CRW 비행체의 추진시스템에 대한 연구결과를 다루었다.

팁제트 로터 CRW는 터보팬/제트엔진의 배기가스를 사용하여 회전익모드에서 로터를 회전시키다가 혼합모드를 거치면서 배기가스를 로터에서 주 추력노즐로 전환하고 고정익모드에서 주 추력노즐로 추력을 얻는 개념이다. 추진시스템은 회전익모드와 고정익모드에서 원하는 추력을 발생시킬 수 있어야 하며 혼합모드에서는 추력과 동시에 비행안정성을 확보해야 한다.

추진시스템은 엔진, 내부덕트 시스템, 요소부품(밸브, 노즐 등), 통합제어시스템 등으로 나뉘어진다. 엔진은 터보팬/제트를 사용하며 내부덕트는 엔진배기가스를 로터나 주 추력노즐까지 공급하기 위해서 길고 복잡한 형상을 갖는다. 특히 1개의 수직관에서 로터로 분기되는 부분과 로터내부에 설치되는 블레이드 덕트는 그 형상과 특성이 추진시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 추진시스템의 효율을 높이기 위해서는 내부덕트 시스템의 손실을 최소화하는 것이 중요하다. 또한 내부덕트 시스템의 특성이 엔진운용특성과 연동되기 때문에 내부덕트 특성해석과 함께 엔진운전특성 해석을 수행해야 한다. 내부덕

트 시스템 모델은 1차원 압축성유체의 특성을 갖게 하였으며 덕트 손실정보는 기존의 경험식과 CFD 해석결과를 비교하여 사용하였다.

추진시스템 1차년도 연구에서는 회전익모드 해석을 수행하였으며 고정익과 혼합모드연구는 향후 수행할 예정이다.

## 2. 본 론

### 2.1 추진시스템 개요

CRW 스마트무인기 추진시스템은 팁제트 로터를 이용한 수직이착륙과 로터가 고정된 상태에서 고속전진비행을 할 수 있어야 하기 때문에 1개의 엔진에서 발생하는 추력을 적절히 조절하는 것이 필요하다. Fig. 1은 스마트무인기 신개념 추진시스템의 개략도이다. S자형 흡기구를 통해 들어온 공기는 엔진을 통과하면서 고온, 고압의 배기가스가 되며 고정덕트를 통해 T자형 분기로 이어진다. 회전익모드의 경우, T자형 분기에서 수직으로 상승하여 다시 한번 90° 꺾여 로터방향으로 돌로 나뉘어 진다. 로터 양방향으로 나누어진 배기가스는 로터내부에서 다시 4개의 블레이드 덕트로 나누어지며 블레이드 끝에 장착된 팁제트 노즐까지 연결된다. 팁제트 노즐에서 발생하는 추력으로 로터를 회전시키는 방식인 이 추진시스템은 팁제트 노즐에 공급되는 가스의 특성에 따라 전체 시스템의 특성이 달라진다. 공급되는 가스특성에 따라 팁제트 추진방식을 'Hot' 사이클, 'Warm' 사이클 그리고 'Cold' 사이클로 분류하며 Table 1과 같이 정의

한다. 본 연구에서는 터보제트엔진을 사용한 'Hot' 사이클 시스템을 사용하였다. 엔진과 내부덕트의 상호작용을 고려한 전체 추진시스템의 성능해석을 위해 엔진모델과 내부덕트모델을 개발하고 이를 연동하여 계산하였다.

본 논문은 추진시스템 설계에 기준이 되는 최대 동력요구조건에 대한 연구로 기준대기조건과 HOTDAY 조건에 대한 회전익모드 이륙상태 해석을 수행하였다.

Table 1. 구동가스 특성에 따른 사이클 분류

분류	특징	작동온도
Hot cycle	터보제트엔진의 배기가스를 직접 사용하는 방식	1,000K 이상의 고온
Warm cycle	터보팬엔진의 배기가스를 직접 사용하는 방식	700K 전후의 온도
Cold cycle	터보제트/팬의 압축기 블리드 공기를 사용하는 방식	400K 전후

2.2 엔진 모델링

터보제트엔진을 모델링하기 위해 정상상태 엔진성능해석이 가능한 엔진모델을 개발하였다. 엔진의 각 구성품을 모델링하고 이 구성품의 성능선도를 이용하여 전체 시스템의 성능을 해석하게 된다. 본 연구에 사용한 대상엔진은 단일축에 3단 축류압축기와 1단 축류터빈으로 구성되며 엔진모델은 Table 2의 성능을 나타낸다.

Table 2. 대상엔진 사양 (@해면고도, 정지조건)

Net Thrust	809	lbf
SFC	1.24	lbm/lbf/hr
Airflow rate	6.24	kg/s
PR	3.77	
TIT(Turbine Inlet Temp)	1204	K
TET(Turbine Exit Temp)	1062	K

2.3 내부덕트 모델링

엔진배기가스는 내부덕트를 따라 이동하면서

고온의 압축성유체 거동을 보이게 된다. 본 연구에서는 1차원 해석을 수행하기 위해 단열압축성 거동을 가정하여 Fanno line 해석을 수행하였다. 내부덕트는 엔진후방에서 팁제트 노즐까지를 9단계로 구분하여 압축성유체해석, 곡관손실해석, 회전효과해석, 덕트형상해석, 벨브영향해석 등을 단계적으로 수행하였다.

엔진에 연결된 주배관은 로터로 가면서 분기되어 최종단에서 주 배관의 1/8의 면적을 갖는다. 이것은 제한된 로터 블레이드 공간 내에 요구되는 배기가스를 흘릴 수 있는 블레이드 덕트를 설치해야 하기 때문이다. 블레이드 덕트는 1개를 해석하고 이 결과가 8개 모두 동일하다고 가정하였다. 본 연구에서는 Fig 2와 같은 손실모델을 개발하였다.

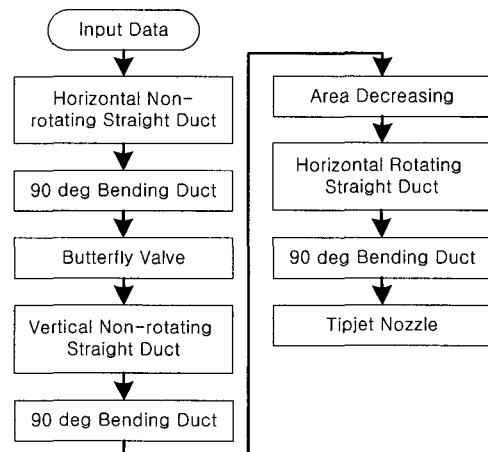


Fig. 2 내부덕트 해석 순서도

Fig. 3은 Fig. 1과 같은 형상을 갖는 내부덕트의 주요 곡관부분을 보여주고 있다. (a)에서는 T자형 분기에 알맞은 곡률과 주 추력노즐 쪽에 설치되는 벨브가 T자 후방에 위치함에 따른 재순환영역생성 등을 고려해야 한다. (b)는 로터허브에서 로터 양방향으로 분기되는 부분이다. 회전하는 허브에서 양쪽 로터로 같은 유량이 전달되어야 하며 제한된 높이의 허브에서 적절한 곡률을 갖도록 해야 한다. (c)는 허브에서 분기된 로터덕트가 다시 4개의 블레이드 덕트로 나뉘는

부분이다. 이미 설명한바와 같이 로터 블레이드 두개의 제한을 받는 블레이드 덕트는 본 연구를 통해 가능한 작은 직경을 갖도록 하였다. (d)는 팁제트 노즐 직전의 곡관부로 그림에서 보이는 부분 직후방에 팁제트 노즐이 장착된다. 팁제트 노즐은 단순 축소노즐로 작은 면적변화율을 갖는다.

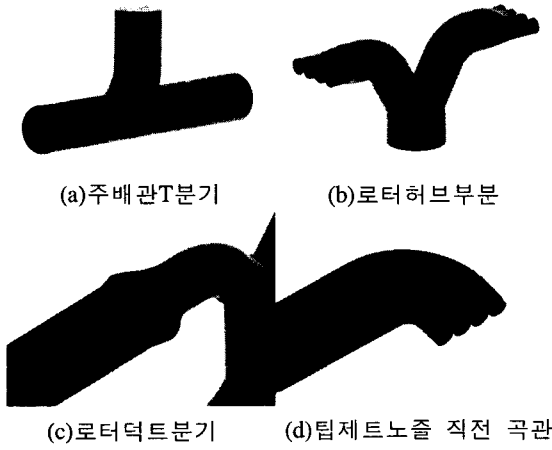


Fig. 3 곡관손실계수 적용구간

내부덕트의 손실은 다음과 같은 방법으로 모델링 하였다.

1) 수평 비회전 직선덕트 : 회전이 없는 직선 덕트의 손실을 고려한 압축성유동은 식(1)을 사용하여 해석했으며 이때 소요되는 손실계수는 Colebrook 방정식을 식(2)와 같이 사용하였다.

이때 사용된 내부덕트의 거칠기  $\epsilon$ 는 표면가공에 주의한 상용steel pipe(carefully manufactured new steel pipe)값을 사용하였다.

$$\frac{4f dx}{D} = \frac{2}{\gamma M^2} (1 - M^2) [1 + \frac{1}{2} (\gamma - 1) M^2]^{-1} \frac{dM}{M} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

2) 90° 곡관 구간 : 90° 곡관은 Fig. 3의 (a),

(b), (d) 부분을 해석하는데 사용되었으며 기본적인 곡관해석방법은 같으나 손실계수는 각 형상에 따라 달리 사용하였다. 해석을 위한 곡관 손실계수는 1차원 경험식과 3차원 CFD 결과를 비교하여 사용하였다. 손실모델은 Fig. 3의 (b)와 (c)의 손실을 구별하지 않고 (b)의 90° 손실을 모델링하면서 (c)의 손실을 동시에 고려하였다. 사용한 3개의 손실계수는 Table 3과 같으며 민감도 해석결과는 Fig. 4와 같이  $k_3$ 이  $k_1, k_2$ 에 비해 2배 이상의 민감도를 갖는 것으로 분석되었다.

3) 수평 회전 직선덕트(로터덕트) : 회전을 고려한 압축성유체의 내부유동은 식 (3)과 같이 정의할 수 있다. 식(3)은 여러 변수에 의한 덕트 내 유동의 마하수 변화를 나타내며 대괄호안의 4개 항들은 각 면적변화, 마찰에 의한 변화, 전 온도 변화 그리고 원심력을 표현하고 있다. 식 (3)에서 블레이드 덕트는 면적변화가 없으며 단 열조건을 가정했으므로 전 온도 변화도 없다.

Table 3. 곡관손실계수

	(a)	(b)+(c)	(d)
손실계수(k)	$k_1$	$k_2$	$k_3$
	0.3	0.6	0.4

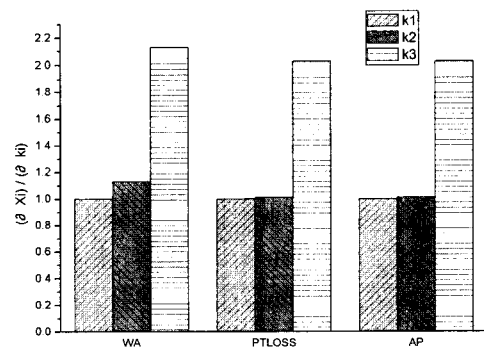


Fig. 4 손실계수 민감도 분석결과

### 2.4 시스템 성능예측기법

체계에서 요구하는 요구동력(Required Power)

은 식(4)와 같이 정의되며 값은 Table 4와 같다.

$$\frac{dM}{dr} = \frac{M \left\{ 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right\}}{1-M^2} \left( -\frac{1}{A} \frac{dA}{dr} + \frac{\gamma M^2}{2} \left( \frac{4f}{D} \right) + \frac{(1+\gamma M^2)}{2T} \frac{dT}{dr} - \frac{\left\{ 1 + \frac{(\gamma-1)}{2} M^2 \right\}}{RT} \Omega^2 r \right) \quad (3)$$

$$P_{req} = C_p \pi R^2 \rho V_{tip}^3 \quad (4)$$

추진시스템 설계에 필요한 체계요구성능을 만족시키기 위한 팁제트 노즐의 가용동력은 식(5)와 같이 정의된다.

Table 4. 조건별 체계요구동력(@680rpm)<sup>4</sup>

조건	요구동력
해면고도, 표준대기조건	370 마력
고도300m, HOT day 조건(43.3℃)	401 마력

$$\begin{aligned} \text{Available Power} \\ = \text{Tipjet Power} - \text{Coriolis Power} \end{aligned} \quad (5)$$

Tipjet Power는 단순 수축형 팁제트 노즐에서 발생하는 추력으로부터 얻을 수 있으며 팁제트 추력은 식(6)으로 정의할 수 있다.

$$F_N = (C_D \dot{m}) V_{jet} + (P_e - P_a) A_N \quad (6)$$

수축형 노즐을 사용하는 것은 팁제트 추진시스템에서 발생할 수 있는 소음을 감소시키고 아음속 탈설계 운전영역에서도 좋은 성능을 얻기 위해서이다. 같은 이유로 팁제트 유속을 아음속으로 제한하였다.

$\dot{m} (\Omega R)^2$ 으로 정의되는 Coriolis Power는 유체가 회전하는 블레이드 덕트를 통과할 때 코리올리스 힘을 받아 진행하는 방향과 직각되는 방향으로 발생하게 된다. 정해진 형상에 대해 회전수의 제곱에 비례하는 코리올리스 힘은 유

체 진행을 방해하여 전체 추진시스템의 가용동력을 감소시키게 된다.

### 2.5 엔진 운전특성분석

본 추진시스템에서 사용하는 내부덕트를 장착한 엔진은 기존의 엔진특성과는 크게 다른 운전특성을 갖게 된다. 추진시스템의 특성은 내부덕트의 형상과 회전속도 등에 영향을 받으며 이것은 곧바로 엔진의 상태에 영향을 주기 때문이다. Fig. 5에서 엔진의 비장착 운전특성과 내부덕트 모델을 붙인 장착 운전특성을 볼 수 있다. 장착상태 해석에 사용된 내부덕트 모델은 뒤에서 설명할 기준형상(Case1)이다. 압축기 회전수가 최대대비 83%, 93% 그리고 100%인 경우에 내부덕트 장착에 의해 압축기 서지마진이 각각 15.7%, 27.7%, 51.9%씩 감소하였다. 이 결과로부터 엔진 체계장착 및 운영 시 압축기 서지위험에 대한 고려가 반드시 필요함을 확인하였다.

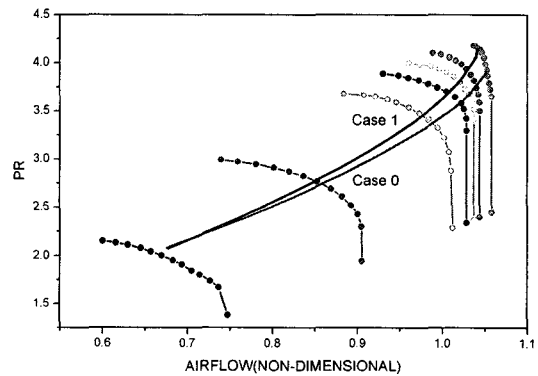


Fig. 5 장착상태 엔진운전특성 분석

### 2.6 추진시스템 개념연구

설계요구사항을 만족하는 추진시스템의 개념연구를 위해 우선 초기 내부덕트 치수를 선정하고 이를 바탕으로 민감도 해석과 파라메트릭 해석을 수행하였다. 이를 통해 중요 설계변수를 확인하고 향후 설계 방향등을 설정할 수 있었다. Fig. 6은 민감도 해석결과로 팁제트 노즐출구에서의 압력(P), 온도(T), 배기가스유량(WA)과 팁제트 노즐까지의 전압손실(PTLOSS), 여유동력

(Available power; AP), 그리고 연료소모율(PSFC)을 나타낸다. Fig. 6에서 전체 추진시스템 특성에 가장 큰 영향을 주는 인자는 로터블레이드 내 덕트 형상(Rotor)과 팁제트 노즐의 형상(Tipjet)임을 알 수 있으며 이런 설계변수 변화에 팁제트 노즐부위의 온도와 가용동력이 가장 크게 영향을 받는 것을 볼 수 있다.

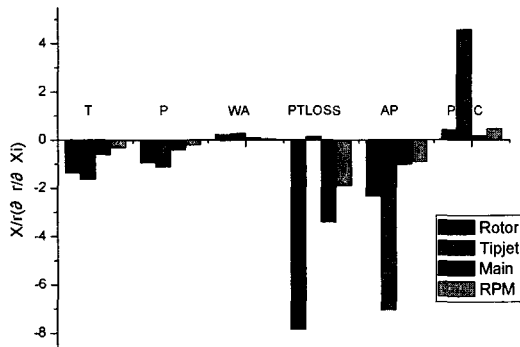


Fig. 6 주요인자에 대한 추진시스템 민감도 해석

이렇게 결정된 초기내부덕트 형상을 Case1으로 구별하고 이 형상에 대한 추진시스템 성능해석을 Fig 8과 같이 2가지 환경조건에 대해 수행하였다. STD 조건에서 요구동력을 만족시키는 영역은 PCN(percentage rpm)=91이상으로 Max AP=760hp, PSFC=0.3633~0.3192의 성능을 갖으며 Hotday 조건에서는 PCN=96이상에서 Max AP=776hp, PSFC=0.3656~0.3369의 성능을 갖는다.

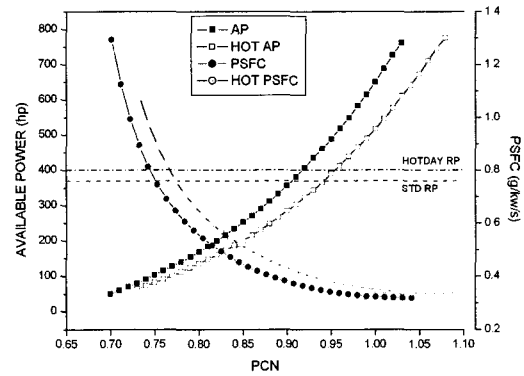


Fig. 8 Case1 형상의 작동환경에 따른 추진시스템 성능분석

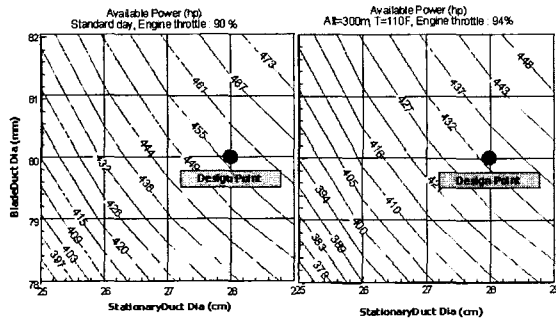


Fig. 7 초기덕트 형상해석

Table 5. 초기덕트 형상(Case1)

배관	형상(mm)
주배관	280
블레이드덕트	80
팁제트노즐	73

Table 4와 같은 체계요구조건을 만족시킬 수 있는 덕트형상을 정하기 위해 형상에 따른 가용동력 분포(Fig 7)를 해석하여 Table 5와 같이 초기형상(Case1)을 결정하였다.

민감도 해석 결과에 따라 로터 블레이드 덕트 형상, 노즐면적 그리고 회전수에 대해 Case1형상의 파라메트릭 연구를 수행하였다.

Fig. 9는 Case1을 기준으로 블레이드 덕트 면적이 -15%인 Case2와 +15%인 Case3에 대한 시스템 해석결과이다. 블레이드 덕트 면적변화에 따라 요구동력이상을 낼 수 있는 엔진운용조건이 Case1의 PCN=91에서 Case2 PCN=88과 Case3 PCN=93으로 각각 변화하였으며 이때의 PSFC =0.3667에서 Case2 PSFC=0.3957과 Case3 PSFC =0.3482로 각각 8%와 -5%씩 변화하였다. 블레이드 덕트 면적을 축소시킴으로써 블레이드 덕트 내부를 통과하는 유동을 가속시켜 더 큰 모멘텀을 얻는 것이다. 그러나 엔진회전수가 낮아진 반면 엔진배기가스온도는 Case1의 983K에서 Case2, Case3의 1097K와 925K로 각각 증가하였다. 이것은 블레이드 덕트의 면적감소가 전압손실을 증가시켜 엔진의 배압이 높아지게 되고 엔

진은 높은 배압을 극복하기 위해 더 많은 연료를 소모하게 되어 배기가스 온도가 상승하는 것이다. Case1과 3은 장착상태에서도 비장착상태의 엔진최대 회전수인 PCN=103까지 작동하지만 Case2는 장착상태에서의 최대 운용영역이 PCN=97로 제한된다. 이것은 엔진의 배압이 상승하면서 압축기의 작동선이 서지 쪽으로 이동하여 PCN=97이후에서 압축기 서지가 발생하기 때문이다. 가용동력은 엔진회전수가 높아질수록 덕트면적변화에 민감하게 반응하고 효율은 엔진회전수가 낮아질수록 민감해진다.

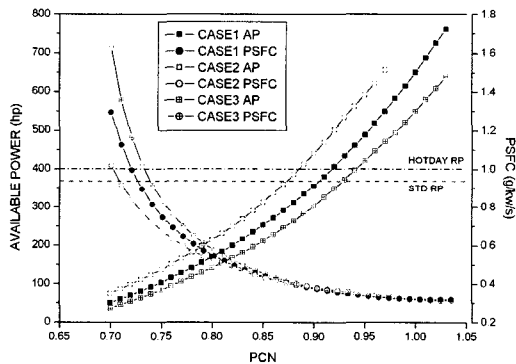


Fig. 9 블레이드 덕트 면적변화(Case2, 3)에 따른 추진시스템 성능분석

Fig. 10은 Case1을 기준으로 노즐면적을 20% 축소한 Case4와 20% 증가시킨 Case5에 대한 시스템 해석결과이다. 노즐면적 변화에 따라 요구동력이상을 낼 수 있는 엔진운용조건이 Case1의 PCN=91에서 Case4 PCN=81과 Case5 PCN=101으로 각각 변화하였으며 이때의 PSFC는 0.3667에서 0.348과 0.4265로 각각 변화하였다. 블레이드 덕트면적 변화와 같은 효과로 노즐면적을 축소 시킴으로써 배기가스를 가속시켜 동압에 의한 효과를 높일 수 있으나 전압손실이 크게 일어나며 같은 이유로 배기가스 온도가 상승하였다. Case1의 983K에서 Case4와 Case5의 1086K와 1025K로 각각 증가하였다. Case5에서 면적이 확장되어도 배기가스온도가 상승한 것은 노즐면적이 확장되면서 노즐이 추력발생장치로서의 역할

을 하지 못했기 때문에 엔진이 그만큼 일을 더 많이 해서이다. Case4는 Fig. 9의 Case2와 같이 면적축소에 따른 압축기 작동선 이동으로 압축기에 서지가 발생했다. Fig. 10에서 보는 것과 같이 노즐면적 변화는 블레이드 덕트 면적변화보다 가용동력이나 효율에 미치는 영향이 크며 이것은 Fig. 6의 민감도 해석결과와 일치한다.

Fig. 11은 Case1을 기준으로 회전수를 20% 증가시킨 Case6과 20% 감소시킨 Case7에 대한 시스템 해석결과이다. 회전수 변화에 따라 요구동력이상을 낼 수 있는 엔진운용조건이 Case1의 PCN=91에서 Case6 PCN=94와 Case7 PCN=91로 각각 변화하였으며 이때의 PSFC는 0.3667에서 0.3407과 0.3912로 각각 변화하였다. 이때의 온도 변화는 983K에서 978K와 1038K로 각각 변하게 된다. PCN 증가에 따른 가용동력의 변화가 블레이드 면적변화나 노즐면적변화와 달리 낮은 PCN에서 벌어지고 높은 PCN에서 모이는 경향을 나타내고 있다. 이것은 회전수에 대한 시스템 성능이 엔진저추력 상태(낮은 PCN)에서는 영향을 크게 받지만 엔진 추력이 높아짐에 따라 회전수보다는 추력 상승에 따른 영향을 훨씬 더 받기 때문으로 해석할 수 있다.

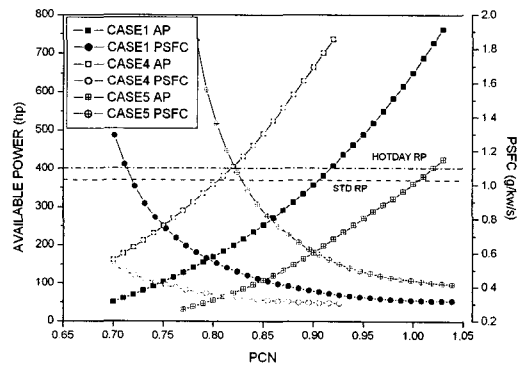


Fig. 10 노즐면적변화(Case4, 5)에 따른 추진시스템 성능분석

회전수는 추진시스템과 양력을 발생시키는 공력부분과 긴밀히 협조하여 결정해야 하며 본 비행체의 회전수는 Fig. 11의 결과로부터 PCN 변화에 따라 너무 크지 않은 출력 변화를 보이

고 있으며 반대로 회전수가 20% 증가한 경우와도 비슷한 성능을 보임으로써 적절한 회전수를 선정했음을 확인할 수 있다.

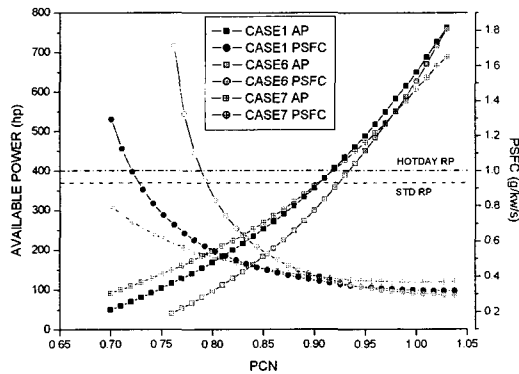


Fig. 11 회전수변화(Case6, 7)에 따른 추진시스템 성능분석

### 3. 결론

팁제트를 사용하여 회전하는 로터로부터 추력을 얻는 팁제트 로터 추진시스템의 이륙조건에 대한 성능해석을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 팁제트 추진시스템은 배기가스가 통과하는 내부덕트의 전압손실이 중요하며 이를 평가하고 개선하는 과정이 필요하다. 이를 위해 내부덕트 시스템의 손실계수에 대한 민감도 해석을 해본 결과 높은 동압이 존재하는 블레이드 덕트 최종단의 손실이 중요한 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 회전하는 블레이드 덕트를 통과한 유체로부터 추력을 얻는 팁제트 로터 방식은 회전체 내부에서 유체가 받는 코리올리스 힘을 고려해야 하며 이를 측정하는 것이 불가능함을 알 수 있었다. 이것은 비행체에 필요한 동력을 구하는데 있어서 매우 중요한 일이며 추진시스템에서 발생시킬 수 있는 가용동력을 정확히 산출하기 어려운 원인이 된다.

셋째, 팁제트 추진시스템의 성능에 큰 영향을

주는 주요 형상인자들은 블레이드 덕트 면적, 팁제트 노즐면적 그리고 회전수임을 알 수 있었다. 이 중에서 블레이드 덕트 면적은 전압손실에 그리고 팁제트 노즐면적은 시스템의 효율에 큰 영향을 준다.

넷째, 블레이드 덕트와 노즐 면적 변화에 따라 좀 더 작은 면적에서 좀 더 높은 출력을 얻을 수 있었으나 엔진 배압상승의 결과로 배기가스 온도가 상승하며 효율이 나빠지는 것을 확인하였다.

다섯째, 회전수에 의한 추진시스템의 성능은 낮은 PCN에서는 큰 영향이 있으나 PCN이 높아지면서 회전수보다는 덕트내 질유량에 의한 영향이 더 높아짐을 확인하였다.

내부덕트는 가능한 작은 단면적을 갖도록 설계하는 것이 비행체 무게와 공력성능 측면에서는 좋으나 추진의 입장에서는 손실증가에 따른 성능저하, 배기가스 상승이라는 문제가 발생하게 된다. 이상의 결과로부터 내부덕트 시스템의 손실을 줄이면서 체계에서 요구하는 덕트 단면적을 유지 하는 방향으로 향후 팁제트 추진시스템의 설계를 진행할 것이다.

### 참고 문헌

1. Jimmy Tai, "A Multidisciplinary Design Optimization Approach to Sizing Stopped Rotor Configurations Utilizing Reaction Drive and Circulation Control," AIAA, 1976
2. 정용운, 전용민, 양수석, "CRW 비행체 덕트 시스템 설계를 위한 CFD의 활용", 2003년도 한국전산유체공학회 춘계학술대회
3. William Crossley, John Rutherford, "Sizing Methodology for Reaction-Driven, Stopped-Rotor Vertical Takeoff and Landng Concept", J. of Aircraft, vol.32, no.6, 1995
4. 황수정, 오수훈, 구삼욱, 김재무, 임철호, "스마트무인기의 활용 및 운용성능요구도", 2002년도 한국추진공학회 추계학술대회