한국추진공학회 2007년도 추계학술대회 논문집 pp.325~328 2007 KSPE Fall Conference

소형가스터빈용 C-9N 스탠드 설비에 대한 개념설계

김상화* · 한풍규 · 김영수

Conceptual Design on the C-9N Test Stand for Small-sized Gas Turbine

Sanghwa Kim* · Poonggyoo Han · Youngsoo Kim

ABSTRACT

In this study, intended to high flight condition test, air flow test and environmental condition test of Small-sized Gas Turbine (including auxiliary power utility - APU) improve preexisting large size test stand C-9N(SCIAM) in Russia. In the process of developing C-9N test stand, this study includes conceptual design approach. This test stand consists of environmental condition, thermostat, cooling/drying, thrust measuring system and SAR (system of automatic regulation).

초 록

본 연구에서는 소형가스터빈의 고공 및 속도시험, 환경시험 등을 수행하기 위해, 러시아의 SCIAM 연구소에 설치된 기존 대형 시험설비를 개량하여, C-9N 시험스탠드를 개발하는 과정에서 수행된 개념적 설계의 내용을 다루고 있다. 본 시험 스탠드는 환경모사 시스템, 항온유지 시스템, 냉각/건조 시스템, 추력측정 시스템, SAR 시스템으로 구성되어 있다.

Key Words : C-9N stand, Small-sized Gas Turbine

1. 서 론

소형가스터빈은 소형 비행기나 헬기, 그리고 순항미슬 등의 주 및 보조 동력장치로서 다양하게 이용되면서, 최근 여러 나라에서 개발에 큰 관심을 보이고 있다. 엔진 개발과정에서 가장 복잡하고, 많은 비용이 소요되는 분야가 시험 설비 개발 및 시험평가이며, 가스터빈을 포함한 엔진 개발 분야의 선진국가에서는 엔진의 작동영역별로 성능평가를 시험설비를 갖추기 위해 노력해 왔다. 러시아의 대표적인 엔진 시험 센터인 찌암(SCIAM)에는 큰 출력과 추력성능을 가진 50 여개의 시험스탠드가 구비되어 있는데, 이들은 소형가스터빈을 시험하기에는 효율 측면에서 적합하지 않다.

본 연구에서는 찌암의 대형시험설비를 활용하여, 소형가스터빈의 고도 및 속도 성능 시험에 적합한 스탠드, C-9N을 개발하는 과정에서 수행

* (주)로템 기술연구소

된 개념적 연구의 내용을 다루기로 한다.

2. C-9N 스탠드 개발

2.1. 시험대상 엔진 및 시험평가 항목

C-9N 스탠드에서 시험 가능한 소형가스터빈은 4가지 유형으로, 출력 4000 마력 이하의 헬리콥터용 엔진, 출력 4000 마력 이하 비행기용 터보프롭엔진, 추력 4t이하 및 압축비 m>4의 여객기용 Ducted fan jet engine, 그리고 보조동력장치 등이 있다. 본 연구에서는 초당 공기 유량 22 kg/s 이하, 기압 6 kg/cm^2 이하, 흡입공기 온도 673K 이하의 시험 조건에서, 표 1의 러시아産 엔진을 시험할 수 있는 설비를 개발하기로 한다[1].

Table 1. 시험대상 엔진의 운용조건

엔진명 / 주요특성	RU-19-300	AI-20
엔진형식	터보제트	터보프롭
공기유량	16kg/s	20.9kg/s
압축비	4.6	7.32
내부온도	1150K	1080K
출력		4000hp
추력	900kg	

C-9N 스탠드 개발 개념연구 단계에서, 소형가스터빈에 대한 다음과 같은 여러 성능평가 시험이 수행가능하도록 고려하였다.

(1) 초킹 특성 검사(H=0, M=0, t=275~300K 조건에서 Throttle Valve 작동시험)
(2) 환경 시험
(3) 공회전모드에서의 성능시험
(4) 순항모드/가속모드에서의 시스템 자동조절 기능 검사시험
(5) 연료 및 윤활유 공급시스템 효율성 검사시험
(6) 연소실 내부 진동여부 검사시험
(7) 시동시험
(8) 컴프레셔 블레이드의 진동여부 검사시험

특히, 엔진의 초킹 특성(chocking characteristics) 검사시에는 엔진입구의 전압력과 노즐 단면의 정압력을 동일하게 유지시킬 수 있도록 하였으며, 가스터빈과 팬 엔진의 시험을 위해서 엔진 입구에 추가 연결 덕트를 설치하도록 하였다. 또한, 환경시험은 영상 및 영하온도 조건에서 최대 출력 모드에서 수행되도록 하였다.

2.2 시스템 구성

C-9N 스탠드는 고습도/고온 기후조건 모사, 인젝터 분사를 이용해 구름, 비, 안개조건을 모사하는 가습시스템, 항온유지시스템, 냉각기 XT-3 이용한 냉각/건조 시스템, 측정범위 50~1500kg와 측정오차 0.5~3%의 추력측정 시스템(Mobile-1), 출입구 온도/압력 자동조절시스템(SAR-System of Automatic Regulation), 그리고 측정오차 0.5%의 터보프롭엔진 시험용 모멘트 측정 시스템 등으로 구성하였다. 그림 1은 C-9N의 항온유지시스템의 모습이다.

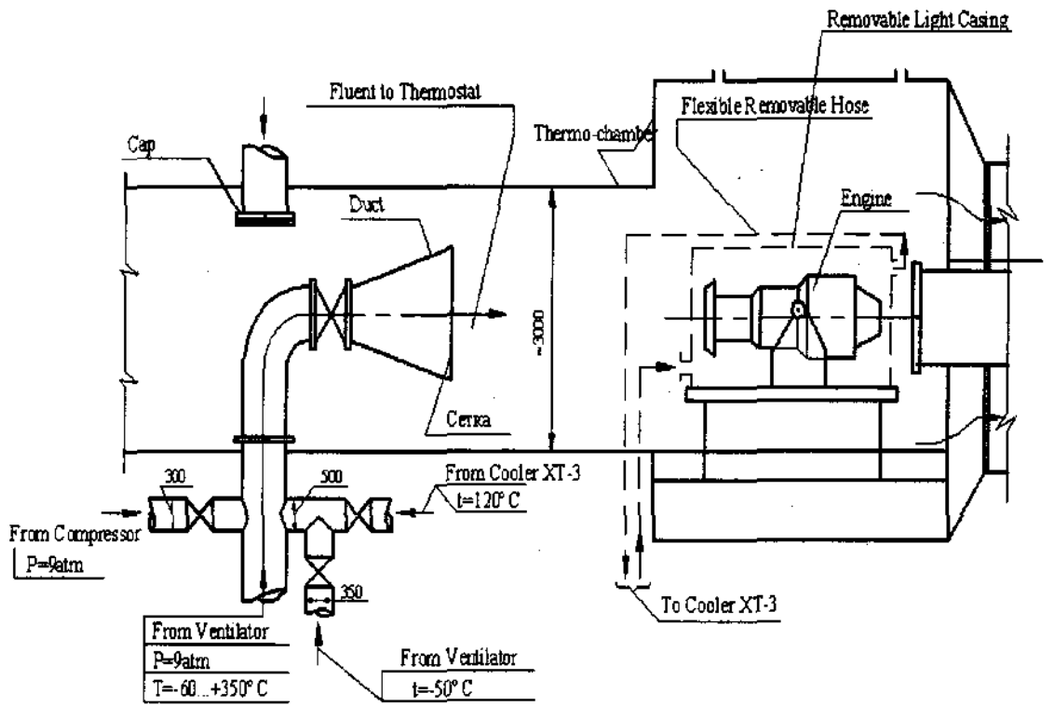

Fig.1 Thermostat system of C-9N Stand with Receiver

2.3 SAR - System of Automatic Regulation(자동조절 시스템)

C-9N 스탠드에서 특히 중요한 것이 SAR로서, 시스템 내의 온도와 압력을 다양한 모드에 적합하도록 자동으로 조절시켜 주는 시스템이다. 주요 측정 파라미터와 측정 범위는 표 2에 나타내었다.

Table 2. Parameters and Measuring Scope of SAR

파라미터		측정범위 ($G_{air} = 1 \sim 20kg/s$)
엔진	P_{inlet}	0.02 ~ 0.3 MPa
	T_{inlet}	-50℃ ~+120℃
	P_{noz}	0.02 ~ 0.103 MPa
냉각기 (XT-3)	T_{exit}	+10℃ ~-50℃ (XT-3와 연결된 바이패스 이용)

한편, 순항모드에서 P_{inlet}의 측정오차는 1mmHg 이내, T_{inlet}의 측정오차는 0.5℃ 이내이어야 하며, 비순항 모드(고속 비행, 항로변화)에서 P^*_{inlet}(정압) 및 T^*_{inlet}(정온도)는 시간에 따라 능동적으로 변화하여야 하는데,

$$\frac{dT^*_{inlet}}{d\tau} = 20^\circ C/\min,$$

$$\frac{dP^*_{inlet}}{d\tau} = 0.5atm/\min$$

를 만족시켜야 한다. 또한, 비순항 모드에서 압력오차는 3mmHg 이내, 온도오차는 1.5℃ 이내이며, 시험조건에 따라서 자동조절 모드와 수동모드의 선택사용이 가능하여야 한다[2],[3].

2.4. C-9N Stand의 P&ID

2.2절에서 열거한 C-9N 스탠드의 시스템 구성에 따라 그림 2와 같은 시스템 구성도를 도출하였다.

굵은선으로 표시된 부분은 스로틀 밸브를 통해 자동 조절되는 시스템(SAR)설치를 위해 원래의 스탠드 C-4N에 전기히터와 냉각기가 연결된 라인이 새로 설치되었음을 나타낸다. 또한, 시험엔진은 Thermo-Chamber 안에 설치되며, 유량측정장비와 엔진으로 유입되는 유량분포를 고르게 하는 Receiver 및 Mixer 등으로 구성되어 있음을 볼 수 있다.

시험은 가열 및 냉각공기를 이용하여 이루어질 수 있는데, 냉각공기 Line에는 냉각터빈(그림 2의 하단, XT-3), 가열공기 Line에는 전기히터가 있어 Thermo-chamber에 유량을 공급함으로써, 원하는 시험조건을 모사할 수 있다. 그러나, 두

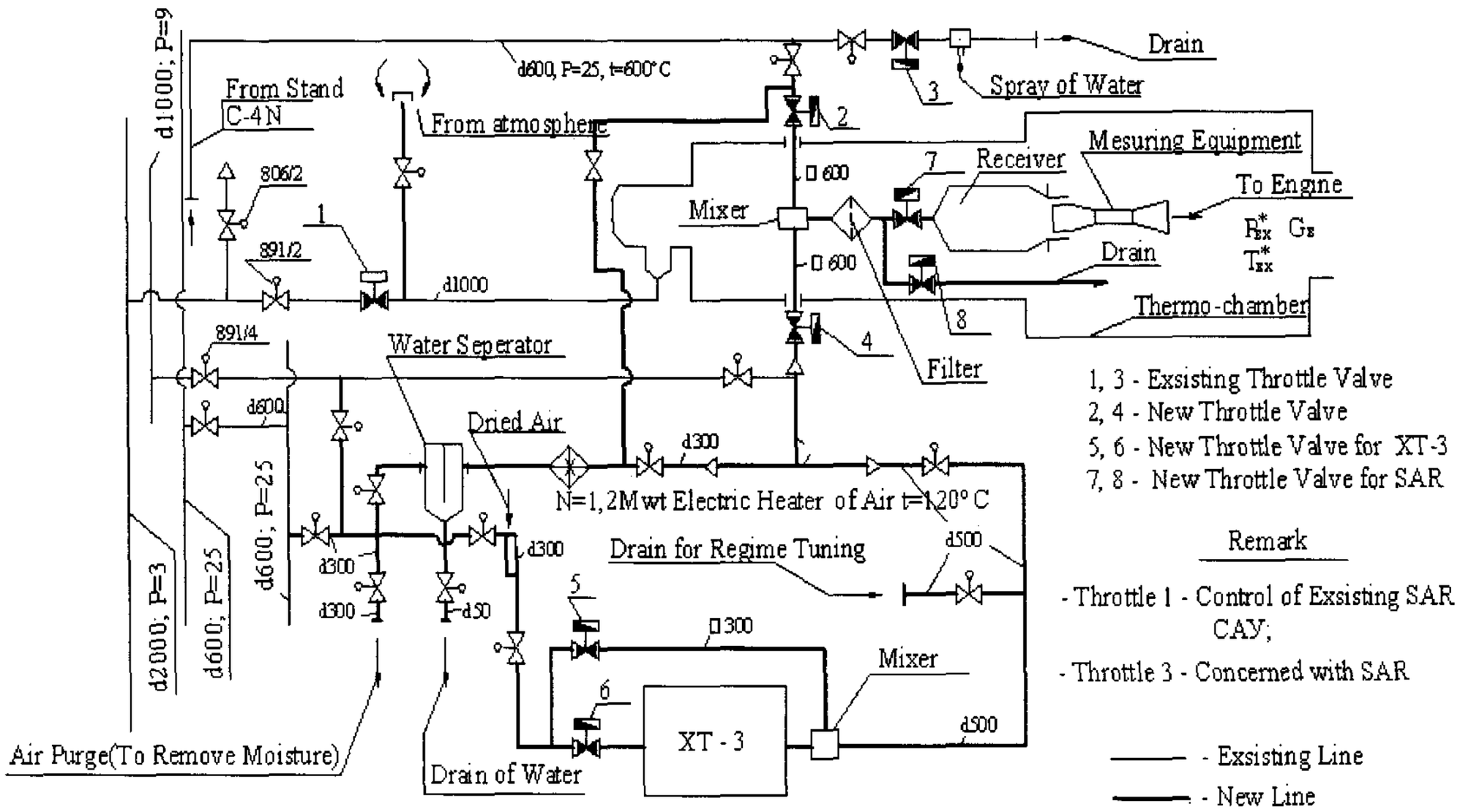

Fig. 2 Principal Schematic of Stand C-9N

개의 Line을 동시에 가동하는 것은 불가능하도록 하였다.

C-9N 스탠드에서는 2기의 러시아産 소형가스터빈 시험에 적합한 히터(T-1233) 3기가 병렬설치된다. 히터의 Heating Tube는 별 형태의 연결방식을 취하고 있는데, 각 위상마다 8개의 Tube Group이 순차적으로 연결되어 있으며, 한 Group에는 2개의 Tube가 평행하게 놓여있다. 전기히터의 가열봉에 설치되어 있는 연결선(jumper, 전류보정 역할)의 온도는 가열봉 종단 온도를 초과하지 않는다. 표 2에는 전기히터에 대한 파라미터들을 나타내었다[4].

Table 2. Parameters of Electric Heater

Air Flow(to 1 Heater)	1.2kg/s
Original Temperature	20℃
Material of Tube	X20H80T(Steel)
Voltage	220V

그림 3은 측정장비, 연결덕트 및 시험엔진이 체결된 모습이다. 측정부는 벤츄리 관 형태를 하고 있는데, 150, 200, 300 mm 길이의 직경은, 소형가스터빈의 입구직경 300, 350, 400mm(순서대로)에 맞게 교환하여 설치할 수 있도록 하였다.

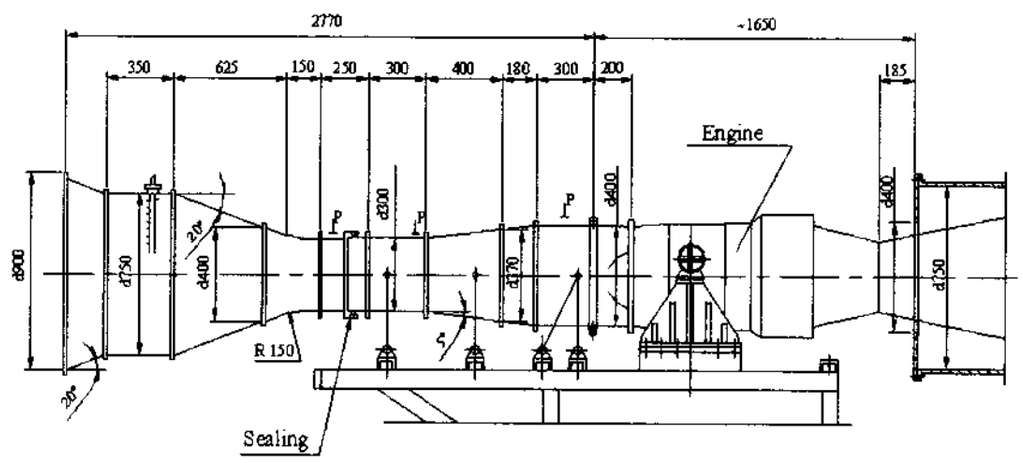

Fig 3. Connecting Duct with Mesuring Equipment

3. 결 론

본 연구를 통해 얻은 C-9N의 개발내용은 아래와 같다. 찌암의 대형시험설비를 활용하여, 소형가스터빈의 고도 및 속도 성능 시험에 적합한 스탠드, C-9N을 개발하는 과정에서 수행된 개념적 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, C-9N 스탠드는 공기유량 20kg/s, 공기압력 $6kg/cm^2$, 그리고 유입 공기온도 673K 이하인 시험조건에서 추력 4t이하의 소형 가스터빈 엔진을 시험하기 위해 개발되었으며, 가습시스템, 항온유지시스템, 냉각/건조 시스템, 추력측정시스템, SAR 시스템으로 구성하였다.

둘째, 자동조절 시스템은 시스템 내의 온도와 압력을 모사된 비행조건에 다라 자동으로 조절시켜주는 기능을 하며, 조절되는 파라미터로는 엔진의 입구압력(P_{inlet}), 입구온도(T_{inlet}), 출구압력(P_{noz}), 냉각기의 출구온도(T_{exit}) 등이 있다.

셋째, 기존의 C-4N 시스템에 전기히터와 냉각시스템 라인을 연결하고, 스로틀 밸브 6기를 새로 설치하여 스탠드 C-9N의 시스템을 구성하였다.

참 고 문 헌

1. U.P.Dobryakov. "Types & parameters of gas turbine and nomenclature of height-environmental test stands", T.C. No. 487=3280, 1999
2. P.M.Ladyjdenskyi. "Air conditioning. 3rd edition" Gosizdattorglit Moscow, 1962
3. I.E.Idelchik. "Manual for hydraulic resistance" <Gosenergoizdat>N-L, 1960
4. T.U. "Design of Electric Heater in stand C-101"