

원자력시설 공기정화시스템의 운영기술
Operation Technology of Air Treatment System
in Nuclear Facilities

KAERI

提 出 文

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2001년도 “원자력시설 공기정화시스템의 운영기술에 관한” 과제의 기술보고서로 제출합니다.

2001년 11월

과제명 : 조사후시험시설운영분야

주저자 : 이형권

공저자 : 전용범

민덕기

박광준

양송열

황용화

엄성호

요 약 문

I. 제 목

원자력시설 공기정화시스템의 운영기술

II. 목적 및 필요성

원자력시설에서 공기정화시스템은 방사능오염으로부터 작업종사자를 보호하고 주변환경의 깨끗하게 보존하기 위하여 가동하게 된다. 그러므로 그 시스템을 구성하고 있는 모든 장치들이 정상 기능을 발휘하며 가동되도록 기술적인 뒷받침이 이루어져야 한다.

III. 내용 및 범위

원자력시설 공기정화시스템의 구성장치에 대한 성능을 평가하고 그 결과를 시스템운영에 반영하였다.

- 장치의 이론
- 고장 및 유지보수
- 환기장치에서 송·배풍기의 풍량측정
- 여과장치에서의 고성능필터의 누설시험
- 각 구역간의 차압측정
- 구성장치의 유지보수

IV. 결과 및 활용계획

정기적인 송·배풍기의 풍량측정, 고성능필터의 누설시험 및 각 구역간의 차압측정 결과를 공기정화시스템의 체계적인 운영에 반영되었으며, 이러한 시험 결과는 조사후시험시설 뿐만 아니라 하나로, 조사재시험시설, 방사성폐기물처리 시설 등 원자력관련시설 운영에 응용될 수 있을 것이다.

SUMMARY

I. Project Title

Operation Technology of air treatment system in nuclear facilities

II. Objective and Importance of the Project

The air treatment system in nuclear facilities should be operated for protecting the personnel from the contamination of radioactive particles and for keeping the environment clear. Therefore all kind of devices composited of the system have to support technically for their normal operations.

III. Contents and Scope of the Project

The performance of each device of the air treatment system in nuclear facilities was estimated and reflected for the system operations.

- Theory of system
- Trouble and maintenance of system
- Measurement of air velocities of blower and exhaust fans
- Leak test of HEPA filters in filtering system
- Measurement of pressure difference between the areas defined by radiation level
- Maintenance of each device of the system

IV. Result and Application

The results of measurement of the air velocities of blowing/ exhaust fan, the leak rate of HEPA filters and pressure difference the areas defined by radiation level were reflected for the operation of air treatment system, and they can be applied to the PIEF as well as other nuclear facilities such as HANARO, IMEF, RWTF, and so on.

CONTENTS

Chapter I. Introduction	1
Chapter II. Review of technology	3
Chapter III. Contents and results of research and development	4
Section I. Operation theory of blower and exhaust fan	4
1. Operation theory of blower	4
2. Specification and check list for blower and exhaust fan	9
3. Test(Preliminary operation) and check contents of fan	15
4. performance test and inspection method of blower(KSB 6311)	22
5. Phenomenon of blower	37
Section II. Pump	40
1. Centrifugal pump	40
2. Phenomenon of pump	44
3. Specification of pump in PIEF	46
Section III. Nuclear air treatment and filtering system	49
1. Nuclear air treatment system	49
2. Air filter	52
Section IV. Cooling and heating system	60
1. Cooling and heating coil	60
2. Design of Cooling and heating coil	60
3. Design values of Cooling and heating coil in PIEF	62
Section V. Results of research	92
Chapter IV. Application plan of research	95
Chapter V. Reference	96

TABLES

Table 3.1.2.1 List of blower and exhaust fan in PIEF	10
Table 3.1.2.2 Specification of blower and exhaust fan in PIEF	11
Table 3.1.2.3. Specification of motor for blower and exhaust fan	12
Table 3.1.2.4 Material and dimension of blower	13
Table 3.1.2.5 Material and dimension of Exhaust fan	14
Table 3.1.3.1 Trouble and maintenance method for fan	18
Table 3.1.3.2 Performance test and countermeasure for blower	20
Table 3.1.3.3 Trouble and maintenance method for motor	21
Table 3.1.4.1 Symbol and units	32
Table 3.2.3.1 Specification of pump in PIEF	47
Table 3.2.3.2 Check and maintenance method of pump	48
Table 3.3.1.1 Differential pressure and renewals at each area in PIEF ...	51
Table 3.3.1.2 Transfer screw in NAT system	51
Table 3.3.1.3 Exhaust screw in NAT system	52
Table 3.3.2.1 Specification of pre-filter and medium filter	56
Table 3.3.2.2 List of high efficiency particulate air filter	56
Table 3.3.2.3 Specification of high efficiency particulate air filter ...	57
Table 3.3.2.4 Differential pressure of each filter bank in PIEF	59
Table 3.4.3.1 List of cooling and heating coil in PIEF	63
Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF	64
Table 3.5.1.1 Results of flow-rate measurement for blower and exhaust fan in PIEF	92
Table 3.5.1.2 Results of differential pressure measurement at each room in PIEF	93
Table 3.5.1.3 Results of in-place leak testing for HEPA filter in PIEF	94

FIGURES

Fig.3.1.1.1 Vector of dynamic vane at suction and discharge area	6
Fig.3.1.4.1 blower operation With discharge duct	24
Fig.3.1.4.2 blower operation With both discharge and suction duct	25
Fig.3.1.4.3 blower operation With suction duct	25
Fig.3.1.4.4 blower operation Without both discharge and suction duct	26
Fig.3.2.1.1 Principles of centrifugal pump	40

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 국내외 기술개발현황	3
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	4
제 1 절 송·배풍기	4
1. 송풍기 이론	4
2. 송·배풍기 사양 및 점검사항	9
3. 송·배풍기의 시운전 및 점검내용	15
4. 송풍기의 성능시험 및 검사 방법(KSB 6311)	22
5. 송풍기의 제현상	37
제 2 절 펌프	40
1. 원심 펌프	40
2. 펌프의 제현상	44
3. 조사후시험시설의 펌프 사양	46
제 3 절 방사성공기정화시스템 및 필터장치	49
1. 방사성공기정화시스템	49
2. 필터	52
제 4 절 냉·난방장치	60
1. 냉난방코일	60
2. 코일의 설계	60
3. 조사후시험시설의 코일 설계값	62
제 5 절 결과	92
제 4 장 연구결과의 활용계획	95
제 5 장 참고문헌	96

제 1 장 서 론

조사후시험시설은 사용후핵연료의 성능 및 건전성을 파악하기 위한 시험시설으로써 방사선에 대한 작업자와 주변환경에 대한 안전은 필수적이라 할 수 있다.

조사후시험시설의 방사성공기정화시스템(nuclear air treatment system)은 원자력법 및 ANSI/ASME 코드에 의해 안전기준에 적합하도록 운영하고 있다. 또한 시설의 안전성을 검증 받기 위하여 매년 한국원자력안전기술원으로부터 정기검사를 수검 받고 있다.

방사성공기정화시스템의 구성은 냉·난방장치, 흡·배기장치, 여과장치 및 공기유동 제어장치로 되어있다. 냉·난방장치에는 시설 내부의 실험기기 보호와 쾌적한 작업환경을 유지하기 위해서 냉·난방 코일과 에어와서 펌프를 이용하여 실내의 온·습도를 제어한다. 그리고 시설운영에 대한 경제성을 확보하기 위하여 각 실험실의 중요도에 따라 온·습도를 관리하도록 되어있다. 흡·배기 장치는 축류형 송풍기와 원심터보형 배풍기가 있으며 실내의 열부하와 오염정도에 따라 풍량 및 환기횟수를 조절할 수 있도록 되어 있다.

여과장치에는 흡기 여과장치와 배기 여과장치로 나눌 수 있다. 흡기 여과장치의 경우 실내로 흡입되는 공기를 1차로 여과하여 실내환경을 쾌적하게 하고, 고성능필터의 수명을 연장할 수 있도록 전치필터와 중성능필터가 설치되어 있다.

배기 여과장치에는 내부의 오염된 공기를 시설외부로 배출할 때 오염된 물질이 배출되지 않도록 정화시킬 수 있는 고성능필터가 있으며, 9,000구역의 경우 안전성을 확보하기 위하여 필터 스테이지가 2단으로 구성되어 있다.

공기유동 제어장치는 원자력시설 내의 공기 중에 있는 오염물질이나 부유물질의 흐름을 제어하고 높은 오염준위의 공기를 희석시켜 낮은 오염준위를 낮추는 역할을 한다. 이 시스템의 구성은 차압과 환기횟수 조절장치로 구성된다. 차압의 경우 공급댐퍼와 배기댐퍼를 사용하여 오염도가 높은 공기가 낮은 구역으로 역류하지 않도록 공기의 유동을 제어한다. 그리고 각각의 작업구역을 방사선작업의 경중에 따라 작업오염준위별(6,000 구역, 7,000 구역, 8,000 구역, 9,000 구역)로 분류되며, 이 기준에 의해서 운영 및 관리되고 있다.^[1]

방사성정화시스템의 운영방법은 여러 가지의 장치를 조화하여 운영하므로 운영 및 방법상 매우 까다롭고 복잡하다. 예를 들어 한 구역을 기준에 의해 차압, 환기횟수 및 온·습도를 관리하다면 우선 방사선안전관리 안전기준에 의해서 차압과 환기횟수를 조절해야 한다. 그리고 시설내의 정밀 기기 및 장치 보호

를 위해서 온·습도 조절이 이루어져야 하나 환기횟수를 조절하기 위해서 풍량을 조절할 경우 차압이나 실내 온·습도에 영향을 끼쳐 이 기준에 맞추기 곤란하고 반대로 온·습도를 적용할 경우 각 구역의 차압과 환기횟수가 기준에 적용하기가 곤란해진다. 즉 시설내의 조건을 충족시키기 위해서는 각 구역의 차압, 환기횟수 및 온·습도가 삼위일체가 되어야 하며, 한 구역을 조정했을 때 다른 구역에도 영향을 끼칠 수 있다.

방사성공기정화시스템은 시설의 안전성을 확보하기 위하여 9,000 구역은 연중 무휴로 연속 가동되어야 하고, 방사성여과기 역시 완전무결하게 성능이 보증될 수 있도록 관리해야 하므로 체계적인 이론과 경험을 밑바탕으로 철저한 운영관리와 유지보수가 필요하다.

제 2 장 국내외 기술개발현황

방사성공기정화시스템은 원자력시설에 이용되는 공기조화시스템(heating and ventilation air conditioning system)의 한 종류이다.

공기조화시스템은 크게 보건용 공기조화시스템과 산업용 공기조화시스템으로 나눌 수 있다. 보건용 공기조화시스템은 일반적으로 실내의 온도와 습도를 유지하기 위한 냉난방시스템이며, 특수한 경우는 병원의 무균실에 이용되는 시스템이다. 산업용 공기조화시스템은 냉난방시스템과는 달리 유해한 분진 또는 기체로 인하여 매우 위험한 작업환경을 노출되어 작업이 곤란할 경우 이를 방지하기 위한 시스템이다. 방사성공기정화시스템은 시설내의 방사성물질을 정화시키는 시스템의 일종으로 산업용 공기조화시스템에 속한다.

일반적으로 원자력시설의 방사성공기정화시스템은 안전시스템이지만 타 분야에 비해 경시되어 시설내의 보건용 공기조화시스템 정도로 취급된다. 그러나 아무리 경제성이 있고 업적이 뛰어난 연구라 할지라도 안전이 우선되며, 철저한 운영 및 관리가 이루어져야 한다.

현재 국내의 공기정화시스템은 원자력시설의 경우 안전성 면에서는 매우 중요하다고 인식하고 있으나 이 시스템을 집중적으로 연구하고 관심가지는 연구자들은 거의 없으며 관심 밖으로 밀려나고 있다. 이러한 현상은 후진국에서 나타나는 것으로 볼 수 있다. 외국의 경우 환경 문제나 경제성 문제에 많은 연구비 투입하여 많은 연구가 수행되고 있다.

국내의 여과기술은 외국에서 여과재를 수입하여 조립하는 수준이며, 반도체 산업이 발달함으로서 이와 관련된 여과기의 조립기술은 거의 세계적인 수준에 이른다고 볼 수 있다. 그러나 여과기의 수명연장과 먼지 축적 능력 등을 고려한 연구개발이 이루어지지 않아 외국에 비하여 비경제적으로 운영되고 있다. 선진국의 경우 원자력시설에 사용되는 고성능필터의 사용수명을 연장하기 위하여 사용한 필터를 정화시켜 재사용하는 방법을 연구하고 있으나 미세한 입자의 경우 분진이 잘 탈착되지 않아 효율성이 없으며, 고압의 공기로 퍼지시킬 경우 여과지가 손상되는 것으로 나타났다. 또한 필터교체로 인한 방사성폐기물을 감소시키고 교체비용을 줄이기 위하여 필터를 영구적으로 사용할 수 있는 스테인레스강 소결체 또는 스크린메쉬(screen mesh)를 이용한 금속필터가 연구 중에 있다.^[2] 연구중인 금속필터의 효율은 기준치에 도달하나 필터의 공기저항이 커서 동력 손실이 크므로 아직까지는 경제성이 없는 것으로 나타났다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 송·배풍기

1. 송풍기 이론

1) 유체기계의 정의

유체기계는 각종 액체 또는 공기 등과 같이 점성과 압축성을 가지는 유체를 작업물질로 취급하여 유체가 가지고 있는 유체에너지를 기계적 에너지로 변환시키든지 또는 반대로 기계에너지를 유체에너지로 변환시키는 장치를 말한다. 기계에너지를 유체에너지로 변환시키는 장치로는 펌프(pump), 송풍기(blower), 압축기(compressor)등이 있으며 이들의 에너지 변환은 모두 회전차(impeller) 또는 피스톤(piston)의 동력학적 작용에 의하여 이루어진다. 그 밖의 유체에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 수차(turbine)와 풍차(windmill)등이 있다.

유체의 열을 기계적 에너지로 변환시키는 증기터빈이나 가스터빈도 있으나 이 보고서에서는 방사성공기정화시스템과 관련성이 적어 주로 송풍기, 펌프 등에 초점이 주어졌다.

2) 흡입 송풍기 이론

이 송풍기들은 축류형 송풍기로서 공기가 회전차 내를 회전축에 평행하게 흐른다. 그러므로 축류형 송풍기의 압력상승은 단지 회전차 내의 공기흐름이 상대속도의 감소에 의해서 생기고 1단의 압력비는 원심형에 비해 상당히 작다. 그러나 구조적으로 고속회전이 가능하기 때문에 큰 풍량을 비교적 소형으로 얻을 수 있고 다단구조로 하기 쉽기 때문에 고압을 비교적 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서 저압 소형의 것에서부터 고압의 대형의 것까지 광범위하게 이용된다.

축류형 회전차 및 안내 깃의 단면은 통상 익형이라 하고 회전차의 날개를 동익, 안내 깃을 정익이라 하며 2개가 짝이 되어 하나의 단락을 이룬다. 다단압축이 필요한 경우는 단락이 많이 필요하겠지만 가능한 회전차를 고속으로 회전시켜 단수를 줄여 사용하고 허용 최고속도는 회전차의 기계적 강도와 한계 마하수에 의해 제한된다. 여기서 송풍기에 대한 설계 및 운영시 필요한 간략한 이론을 소개하면 다음과 같다.

(1) 압력상승

공기가 회전 익렬에서 축방향으로 흐를 경우 유로 내에서 마찰과 그 밖의 유동저항이 작용하지 않고 공기가 모두 회전축에서 일정 반경의 원통면의 위로 흐르는 것으로 하면 날개가 공기에 가하는 양정은 다음 식으로 나타낸다.

$$H_{ht} = \frac{U}{g} (V_{2u} - V_{1u}) = \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \text{-----}(1)$$

여기서 U, V, W는 각각 임의의 반경에서 회전차의 원주속도, 공기의 절대속도, 상대속도이다. 또한 첨자 u는 절대속도 V의 원주방향 분속도, 1,2는 각각 회전차 내에 동익의 입구 및 출구를 나타낸다.

식에서 우변 제 1항은 압력수두 증가량을 표시하고, 제 2항은 속도수두의 증가량을 나타낸다. 이 속도 수두의 일부는 정익에서 압력으로 변하며, 축류형 공기기계의 단열 일량은 다음과 같다.

$$P_1 V_1 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = U (V_{2u} - V_{1u})$$

또는 $\frac{k}{k-1} R [(T_2 - T_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}] = U (V_{2u} - V_{1u})$ 로 표현할 수 있으며, 위 식을 다음과 같이 다시 고쳐 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{k}{k-1} R [(T_2 - T_1) + \frac{1}{R} \frac{k-1}{k} \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}] = U (V_{2u} - V_{1u}) \text{--}(2)$$

식에서 T를 정온(static temperature), $\frac{1}{R} \frac{k-1}{k} \frac{V^2}{2}$ 을 동온(dynamic temperature)이라 하고 이들의 합을 전온(total temperature) 또는 정지온도(stagnation temperature)라 한다.

이 전온을 T*로 표시해 다시 나타내면

$$\frac{k}{k-1} R [(T_2^* - T_1^*) = U (V_{2u} - V_{1u}) \text{ 이 된다.}$$

이식은 회전차를 통과하는 흐름의 속도변화와 온도변화를 표시하고 있다.

(2) 반동도

축류형 공기기계의 회전차 입구에서 공기에 주어지는 예선회(prewhirl)의 정도를 구별하는데 이용된다.

각 단에서의 회전차 정압과 전압의 상승량을 ΔP_s , ΔP_t 라하고 각 동익의 입구 및 출구의 공기의 절대속도를 v_1 , v_2 , 공기의 밀도를 ρ 라 하면

$$\Delta P_s = \Delta P_t - \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \text{-----}(3)$$

반동도는 전압 상승량에 대한 정압 상승량의 비이므로

$$R = \frac{\Delta P_s}{\Delta P_t} = 1 - \frac{\rho}{2} \frac{v_2^2 - v_1^2}{\Delta P_t} \text{-----}(4)$$

위 식의 우변 제 2항은 전압 상승량에 대한 동압 상승량의 비로써, 동익 출구의 속도를 정익에서 감속하면 그것에 대응하여 정압은 증가한다. 단단의 축류 공작기계는 각 단락의 입구 공기의 속도가 똑같게 되도록 제작되므로, 동압의 증가분은 정익에서 전부 정압으로 변하고 하나의 단락에 주어지는 전압의 상승은 정압상승과 같다.

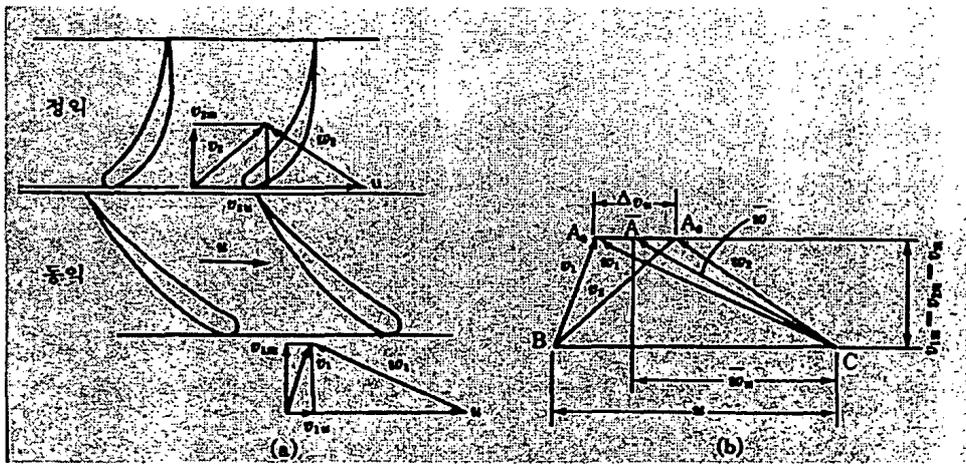


그림 3.1.1.1 동익의 입·출구 속도성분

이론양정 (H_{th})식에서 정압 상승량은

$$\Delta P_s = \frac{\rho}{2} (w_1^2 - w_2^2) = \frac{\rho}{2} (w_{1u}^2 - w_{2u}^2) = \rho w_u' \Delta w_u \text{-----}(5)$$

여기서 w_u' 는 w_1 과 w_2 의 기하학적 평균을 나타낸다. 그림 2.1.1을 참조하면 $\Delta w_u = \Delta w_u$ 이므로 위 식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta P_t = \rho u \Delta v_u, \Delta P_s = \rho w_u' \Delta v_u \text{-----}(6)$$

전압 상승량은 그림에서 속도삼각형을 주의하면

$$\Delta P_t = \rho u \Delta v_u \text{-----}(7)$$

식 4에 식 6, 7을 대입하면

$$R = \frac{w_u'}{u}$$

(3) 동익 및 정익 배열

축류 공기기계에 사용되는 날개 배열의 형태는 3 가지로 동익 및 정익의 입/출구의 속도 삼각형으로 표시한다.

① 후치정익형

단단의 축류공기기계에서 공기기계에서 공기가 축방향에서 동익에 유입하고 축방향으로 유출하는 경우로 회전차 뒤에 정익을 두어 동익에 생긴 선회성분을 없앤다. 이 날개 배열을 후치 정익형이라 하고 회전차 입구에서의 공기 절대속도가 선회성분을 갖지 않는 경우에 사용된다.

② 전치정익형

공기가 축방향에서 정익에 유입하여 동익에서 축방향으로 유출하는 경우로 회전차 출구의 공기 절대속도는 선회성분을 갖고 있지 않지만 회전차 앞에 정익에서 공기가 동익으로 들어오기 전에 동익의 회전과 반대방향의 예선회가 주어진다. 그리고 이 선회 성분을 갖는 공기가 동익에 의해 축방향으로 구부러져 유출하게 된다. 이러한 날개 배열을 전치 정익형이라 하며 축방향 속도 일정의 경우 이 날개의 배열은 최대 상대속도를 준다. 그러므로 마하 수에 대한 배려에서 허용 최고 회전속도는 다른 형식의 것 보다 낮게 하지 않으면 안 된다.

③ 대칭 속도 선도형

대칭 선도형은 50% 반도형이라고도 불려지며 1단 입구에서 공기가 동익의 회전 방향에 선회 성분을 갖고 절대속도를 동익에 유입하도록 전치 정익을 두고 각 단의 동익입구 및 출구의 삼각형사이에 유입각(α_1) = 출구각(β_2), 유출각(α_2) = 입구각(β_1), 출구의 절대속도(v_2)=출구의 상대속도(w_2), 입구의 절대속도(v_1)=입구의 상대속도(w_1)의 관계를 갖도록 한 것이다.

3) 배기 송풍기 이론

원자력시설의 배기에 사용되는 송풍기는 대부분 원심터보형이며 원심형 송풍기의 한 종류이다. 원심형 송풍기의 작동원리는 원심펌프와 거의 흡사하다. 케이싱 내에 있는 회전차의 회전에 생기는 원심력을 이용하여 기체를 송출시키며, 이때 압축정도가 높으면 압축에 의한 기체 상승온도가 크게되고 그것에 따라 압축일이 증가하여 요구동력이 증가하므로 물로 냉각할 필요가 있다. 또한 기체의 비체적은 액체에 비해 현저하게 크기 때문에 압력이 상승할 때는 회전차의 직경 및 원주속도는 재료의 강도면에서 제한을 받기 때문에 가하는 압력에도 한도가 있다. 회전차 하나의 발생 압력비는 1.2 정도로 그 이상의 압력비

를 필요로 하는 경우엔 다단식으로 하는 것이 좋다.

(1) 원심식 팬(centrifugal fan)

원심식 팬이란 회전차의 회전에 생기는 원심력으로 인하여 압력 상승이 1mAq 이하인 공기기계로 축류에 비해 양정이 크고 마찰저항이 큰 경우에 사용된다. 작동원리는 케이싱내의 회전차의 회전에 의해 에너지를 받는 기체는 와류실을 거쳐 송출구에 이른다.

회전차 및 케이싱은 보통 강판으로 만들지만 취급하는 기체의 성질에 따라 특수강 또는 특수재료가 사용되며 케이싱은 분해가 가능하도록 여러 개로 분할하여 조립되어 있다.

① 다익팬(multi blade fan)

원심식 팬의 하나로 일명 시로코팬이라고도 불리며 날개출구각이 90° 이상인 전향곡 날개(forward curved blade)형으로 짧고 폭이 넓은 날개를 36~64매 정도 갖고 있으며, 날개의 출구각은 120~150°의 것이 주로 사용되고 있다. 회전차의 형상은 축방향으로 폭이 넓고 발생압력은 1.3 kpa 정도이다. 전향곡 날개를 갖는 원심회전차는 반동도가 작고 압력계수는 크기 때문에 같은 크기와 회전수에서 다른 형상의 날개에 비해 통풍능력이 크다. 그러므로 높은 압력상승을 얻기에는 부적합하고 효율도 그다지 높지 않지만 같은 압력상승을 얻는데 다른 형상의 것보다 소형으로 만들 수 있다. 또한 원주속도도 작아지기 때문에 소음도 작아 건물의 환기 및 그 밖의 비교적 작은 풍량의 환기 및 통풍용으로 사용되고 있다.

② 레이디얼 팬

회전차 출구각이 대체로 90°인 반경방향의 날개를 6~12매 갖고 있는 팬으로 압력상승은 25~400 mmAq 정도이다. 성능 및 효율은 다익과 터보팬의 중간적인 성질을 갖는다. 날개는 반경방향으로 되어 있기 때문에 원심력에 대해 충분한 강도를 가지며 설계 및 제작이 간단하기 때문에 부식, 침식이 불가피하나 고온의 기체를 다루는 경우에 적당하다. 그리고 날개의 형상 설계를 적절히 함으로써 이물질의 부착이 적고 날개의 청소 및 교환이 쉽기 때문에 부착성 먼지를 포함하고 있는 기체, 마모성이 강한 고형물을 갖는 기체, 섬유질 등 특수한 물질의 수송에 이용되며 환기용으로는 사용되지 않는다.

③ 터보팬

후향곡 날개(backward curved blade) 또는 후향사 날개 12 ~ 24매를 갖는 원심식 팬으로 날개 출구각은 주로 30 ~ 50 °이다. 원주속도가 똑같은 경우에는 날개출구각이 작기 때문에 대형이 되지만 다익팬보다 효율은 높다. 또한 입구 충돌손실이 작고 반동도가 커 좋은 효율을 얻을 수 있다. 날개수가 비교적 작기 때문에 강도를 지탱하기 위해 어느 정도 날개를 두껍게 한다. 날개를 두껍게 함으로서 안전성이 있고 팬의 효율 및 성능이 증가되며 부식과 침식의 염려가 있거나 고온의 기체를 취급할 때는 다익팬에 비해 수명이 길다. 따라서 일반 산업용 배풍기로 많이 사용되고 있다.^[3]

2. 송·배풍기 사양 및 점검사항

1) 조사후시험시설의 송풍기 현황

조사후시험시설에 설치된 송풍기는 외부 공기를 실내로 흡입하는 송풍기이다. 송풍기의 용량은 BF01, BF02 팬이 각각 100,000 CMH이며, BF03, BF04는 각각 50,000 CMH로 회전수를 제어할 수 있는 가변형 송풍기이다.

현재 사용 중인 송풍기는 축류형으로 임펠러는 고강도의 알루미늄의 재질로 하여 기계적 강도를 충족하였으며 경량이기 때문에 운전 및 기동시 동력손실을 절감할 수 있다. 송풍기의 풍압은 4대 모두 160 mmAq이며, 송·배풍기의 현황은 표 3.1.2.1과 같다.^[4]

2) 배풍기

원심터보형의 배풍기로써 실내의 오염된 공기를 고성능필터에 정화된 공기를 외부로 배출시키는 역할을 한다. 이 배풍기는 각 구역의 오염정도에 따라 풍압을 달리하여 사용하고 있으며 오염정도가 제일 높은 9,000구역의 풍압은 300 mmAq 이며 DUP(deep under pressure)팬이라고 한다. 그리고 오염도가 9,000 구역에 비하여 높지 않은 7,000, 8,000 구역에 사용되는 배풍기는 MUP(under pressure)팬이라 하며 풍압은 250 mmAq이다.

또한 화학분석용으로 사용되는 배풍기는 fume hood의 배기에 사용되며 배풍기 하나에 일반화학분석과 방사선화학분석용으로 동시에 이용되고 있으며 이 팬 역시 FH(fume hood)팬이라 한다.

3) 송·배풍기의 사양

송·배풍기의 사양은 방사성공기정화시스템 운영 담당자들의 유지보수 및

비상 상태시 신속하고 정확한 유지보수와 원활한 운전성을 확보하기 위하여 작성되었다. 송·배풍기의 사양에서는 장치의 기본사양인 회전수, 임계속도, 풍량, 풍압, 각 구성품의 재원 및 재질 등을 상세히 기록하였다.

표 3.1.2.2는 조사후시험시설에 송배풍기의 사양, 표 3.1.2.3은 각 송·배풍기와 전동기에 대한 형식, 임계속도, 풍압, 모터의 동력, 모터플리의 연결형식 등을 나타냈다. 또한 표 3.1.2.4와 표 3.1.2.5는 송·배풍기의 유지보수에 필요한 각 부품에 대한 재질과 크기를 나타내었다.

Table 3.1.2.1 List of blower and exhaust fan in PIEF

구 분	번 호	풍 량(CMH)	TP(온도알람)	비 고
blower	015 BF 01	100,000	TP+40-1	축류형
blower	015 BF 02	100,000	TP+40-2	축류형
blower	015 BF 03	50,000		축류가변형
blower	015 BF 04	50,000		축류가변형
MUP	015 EF 09	31,000	TP+40-3	원심터보형
"	015 EF 10	31,000	TP+40-4	"
"	015 EF 11	31,000	TP+40-5	"
"	015 EF 12	31,000	TP+40-6	"
"	015 EF 13	31,000	TP+40-7	"
"	015 EF 14	31,000	TP+40-8	"
DUP	015 EF 15	9,500	TP+40-11	"
"	015 EF 16	9,500	TP+40-12	"
FH	015 EF 17	34,000	TP+40-9	"
"	015 EF 18	34,000	TP+40-10	"
roof Vent.	015 EF 05	1,200		축류형
samitary	015 EF 06	540		"
"	015 EF 07	540		"
축전지실	015 EF 08	600		"

Table 3.1.2.2 Specification of blower and exhaust fan in PIEF

종류 사양	송풍기 (#1, 2)	송풍기 (#3, 4)	배풍기 (MUP)	배풍기 (DUP)	배풍기 (FH)
형 식	축류형	축류형	원심터보형	원심터보형	원심터보 형
임계속도 (RPM)	-	-	3,723	3,723	-
회전수 (RPM)	1,750	1,450	1,450	1,750	1,450
풍량 (m ³ /h)	100,000	50,000	31,000	9,500	34,000
풍압 (mmAq)	160	160	250	300	250
bearing No.	모터 직결형	모터 직결형	6316(동진) 6315(반도)	6311	6316
casing material	SS41	SS41	SS41	SS41	SS41
impeller material	AL	AL	SS41	SS41	SS41
shaft material	S45C	S45C	S45C	S45C	S45C
housing material	GC20	GC20	FC 20, 2bearing lunit type		
impeller boss	FC20	FC20	FC20	FC20	FC20
impeller diameter (mm)	1,400	1,225	1,030	620	1,050
송풍기 플리 연결 형식	직결형	직결형	벨트플리 CTY-5P- 12"	직결형	벨트플리 CTY-6- 12"

Table 3.1.2.3. Specification of motor for blower and exhaust fan

종류 사양	송풍기 (#1, 2)	송풍기 (#3, 4)	배풍기 (MUP)	배풍기 (DUP)	배풍기 (FH)
모터폴리 연결형식	모터 직결형	모터 직결형	CTY-5P -10"	커플링 HST 6S	CTY-6P -10"
V-belt size	-	-	C130 "		C125 "
날개수(개)	12	18	36	22	40
동력(KW)	95	37	37	22	45
frame No.	2805	2805	2001 55		
bearing No.	6317ZZ 6314ZZ	6313ZZ 6314ZZ	6312 ZZ 6310 ZZ	6209 6310	6313 6312
모터 중량 (kg)	900	277, 250	340	177	340
회전수 (rpm)	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
모터속도 조절형식	고정형	가변형	고정형	고정형	고정형

Table 3.1.2.4 Material and dimension of blower

	번호	품 명	재 질	소 재 치 수
b l o w e r (#1,2)	1	non-return damper	SS41	t 3.2
	2	fan casing	SS41	t 4.5
	3	cover	SS41	t 3.2
	4	motor	-	125 hp
	5	motor base	SS41	t 4.5
	6	suction cone	SS41	t 4.5
	7	air(spring) mont	fiber stone	-
	8	common bed	SS41	형강 C-150
b l o w e r (#3,4)	1	non-return damper	SS41	-
	2	fan casing	SS41	t 4.5
	3	impeller cover	AL	t 1.0
	4	insulation	artron	t 25
	5	lock nut	SS41	-
	6	blade	AC4C	-
	7	boss	AL	φ 650
	8	frame	SS41	C-100 형강
	9	angle	SS41	L-50
	10	suction cone	SS41	t 3.2
	11	air mount	fiber stone	-
	12	common bed	SS41	C-150 형강
	13	motor	-	50 hp

Table 3.1.2.5 Material and dimension of Exhaust fan

	번호	품 명	재 질	소재 치 수
M U P	1	suction cover	SS41	-
	2	casing	SS41	-
	3	impeller	SS41	-
	4	impeller boss	FC20	-
	5	bearing casing	FC20	-
	6	bearing	-	6315/6316
	7	shaft	S45C	-
	8	motor	-	50 hp
	9	v-pulley	FC20	C5 x 12"/10"
	10	v-belt	합성고무	-
	11	belt cover	SS41	-
D U P	1	suction cone	SS41	t 3.2
	2	fan casing	"	t 3.2
	3	impeller	"	t 1.6, 3.2, 4.5
	4	impeller boss	FC20	-
	5	bearing casing	"	-
	6	bearing	-	-
	7	shaft	S45C	φ 70
	8	grid coupling	-	HST 3060
	9	motor	-	22 KW(30hp)

3. 송·배풍기의 시운전 및 점검 내용

송·배풍기의 유지보수를 수행할 때 절차에 따라 원활하게 수리될 수 있도록 하기 위하여 분해 및 조립순서, 주의사항, 점검 및 보수절차, 시운전에 관한 사항 등을 기술하였다.^[4]

1) 송·배풍기 분해시 주의사항

(1) 장시간 작동 후에는 부품이 밀착되어 분해할 수 없는 부위가 있으므로 무리한 힘을 가하여 파손되지 않도록 주의를 요한다.

(2) 분해 순서를 잘 기억하고 기록한다.

(3) 분해한 부품은 깨끗한 종이 또는 천 위에 놓고 먼지와 이물질 등이 닿지 않도록 커버를 씌운다. 그리고 작은 부품은 분실하지 않도록 잘 보관한다.

(4) 부품의 접촉부 등에는 방청유를 발라두어 산화를 방지한다.

(5) 임펠러를 케이싱에서 분해할 때는 임펠러의 마모, 부식상태, 균열유무, 임펠러의 형상, 볼트의 산화 등을 주의 깊게 조사한다.

(6) 재사용이 불가능한 부품을 조사하여 예비품을 미리 준비해 둔다.

(7) 케이싱 내부에 이물질 유무를 확인한다.

2) 송·배풍기 조립시 주의사항

(1) 조립할 때는 분해할 때의 역순으로 하고 무리하게 조립하지 않는다.

(2) 각 조립부품은 조립 전에 깨끗이 세척한다.

(3) 조립할 때 이물질이 들어있는가를 확인한 후 조립하고 비슷한 부품이 있을 때는 혼동하지 않도록 주의를 요한다.

(4) 임펠러를 조립할 때는 충격에 의하여 변형되지 않도록 하고 흡입콘, 후렌지, 볼트 위치를 정확하게 확인한 후 조립한다.

(5) 조립이 끝나면 잔류 부품이 없는가 확인하고 모든 조립 위치를 다시 확인한다.

(6) 분해할 때 제거해 둔 계기류 등을 분해전과 같이 장착한다.

(7) 조립완료 후에 시운전을 수행하여 송풍기의 전반적인 사항에 대한 이상 유무를 확인한다.

3) 송풍기의 분해 및 조립 순서

(1) 모터의 전원을 off 시킨다.

- (2) 회전체의 정지상태를 확인한다.
- (3) 반개형 케이싱 상부 볼트를 풀어낸다.
- (4) 모터와 회전체의 볼트를 풀어낸다.
- (5) 회전체와 모터를 체인블록으로 들어올린다.
- (6) 고장부분을 수리 및 교체한다.
- (7) 조립할 때는 분해할 때의 역순으로 한다.
- (8) 조립완료 후 전동기에 전원을 넣어 회전방향을 확인한다.
- (9) 잠시 동안 회전시켜 이상음, 진동 등의 이상유무를 확인한다.
- (10) 반개형 케이싱을 조립하여 정상운전 상태로 한다.

4) 배풍기의 분해 및 조립 순서

- (1) 팬의 분해를 요할 때는 모터의 전원을 Off 시킨다.
- (2) 전체의 정지상태를 확인한다.
- (3) 벨트커버를 분리한 후 V-벨트를 분리한다.
- (4) 모터와 주축에 연결된 카플링을 풀어내고 베어링하우징 상부를 분리시켜 축을 들어내어 베어링을 이탈시킨다. (직결형 팬에 해당)
- (5) 흡입커버를 분리하여 회전체 고정볼트를 풀어 회전체를 분리한다.
- (6) 회전체를 분리시킬 때는 회전체 홀더에 지그를 설치하고, 볼트를 조이면 서 축에서 분리시킨다.
- (7) 주축에 연결된 벨트풀리를 분리하여 베어링하우징을 몸체에서 분해시키고, 커버를 분리하여 베어링을 분리시킨다.
- (8) 조립할 때는 분해의 역순으로 시행한다.
- (9) 조립 완료 후 전동기에 전원을 넣어 회전방향을 확인한다.
- (10) 잠시동안 회전시켜 이상이 없음을 확인한 후 계속 가동한다.

5) 송·배풍기의 일반점검 및 보수 절차

- (1) 임펠러 마모, 부식상태, 날개의 균열 유무 등을 점검하고 깨끗이 청소한다.
- (2) 축의 휨에 의한 진동유무 또는 마모 상태를 점검한다.
- (3) 임펠러, 축을 깨끗이 청소한 후 필요에 따라 밸런스를 조정한다.
- (4) 베어링 하우징의 틈을 측정하고 마모가 클 때는 예비부품과 교환하고 마모가 되지 않아도 베어링 하우징의 접촉에 이상이 있을 때는 다시 정비한다.

- (5) 케이싱 내부의 이물질 상태를 점검한다.
- (6) 벨트의 인장을 점검하여 조정한다.
- (7) 베어링 내부에 윤활유가 충분한지 점검하고 부족할 때는 보충한다.
- (8) 기타 운전 중에 소음, 진동이 발견되면 유의하여 관찰하였다가 정기점검 시 충분한 손질한다.
- (9) 마지막 단계로 연결 상태를 조정하고 5 ~ 10 분간 시운전해서 이상이 없다는 것을 확인하여 운전할 수 있는 상태에 임하도록 한다.

6) 유지보수 후 시운전 점검 절차

- (1) 가동전에 송풍기 내부 및 전기회로 장치의 결선 등 이상유무를 확인한다.
- (2) 베어링 하우징에 지정된 윤활유가 적당량이 주입되어 있는지 확인한다.
- (3) 가동시 모터스위치를 잠시 넣어 회전시키면서 케이싱 내부접촉 및 음향상태를 점검한다.
- (4) 전동기를 단독 운전하여 운전상태, 회전방향, 진동 등의 이상유무를 확인한다.
- (5) 공기의 흡입구, 토출구 및 non-return 댐퍼의 이상 유무를 확인한다.
- (6) V -belt의 인장, 탈선 유무를 확인한다.
- (7) 위 사항에 이상이 없을 때 다시 스위치를 넣고 주의하면서 계속 가동한다.
- (8) 운전중인 상태에서 축의 진동, 베어링의 소음, 케이싱 내부의 진동 및 이상음 등을 점검한다.

7) 고장원인 및 대책

송·배기의 운전중에 이상이 생긴 경우 어떤 원인으로 일어난 것인가 하는 것을 간단히 점검하고 그에 대한 대책을 요약하였다. 송풍기의 베어링, 윤활유, 진동 및 이상음에 대한 고장원인과 대책 표 3.1.3.1에 나타냈다.

표 3.1.3.2는 풍량, 압력 및 회전수변동으로 인하여 송풍기의 성능에 영향을 끼칠 때 간단하게 원인과 대책을 판단할 수 있는 성능검사방법을 나타냈다. 그리고 전동기에 대한 고장은 표 3.1.3.3에 나타냈다. 이 표의 상부에는 원인, 왼쪽에는 상황, 오른쪽에는 대책을 나타내며, 1차적인 고장을 중점적으로 나타냈을 뿐 2차적인 고장까지는 표시되어 있지 않았다. 이 표에서 판단이 불가능한 것은 제작자와 협의하여 원인 및 대책을 마련하는 것이 타당하다.

Table 3.1.3.1 Trouble and maintenance method for fan(lubricant)

상황	베 어 링			운 활 유					대 책
	과열 소손	이상 음	진동	압력 부족	유압 변동	기포 발생	배관 진동	기름 누설	
원인									
배관의 패킹불량								○	교체
유량부족	○			○	○	○	○	○	보충
기름 속의 먼지	○			○					교체
기름의 열화	○								교체 재생
기름 속의 수분혼입	○			○					교체 재생
볼/로울러의이상	○	○							교체
벨트의 불량	○		○						교체 조정
직결불량	○		○						수정

Table 3.1.3.1 Trouble and maintenance method for fan(impeller and casing)

상황	진 동					이 상 음			대 책
	일전 정속 한도 회에	회관 전계 속없 도이	회비 전계 속해 도서	일에 정있 풍어 량서	풍계 량없 에이 관	케과 이열 싱 의	연 속 음	일는 식연 적속 또음	
원인									
임펠러의 마모부식	○		○		○				수리, 교체
임펠러의 파손	○		○		○		○	○	"
임펠러의 리벳파손	○		○		○		○	○	수리
임펠러보스 끼워마 춤불량	○	○	○		○		○		교체
임펠러의 변형	○		○		○				수리 교체
축의굽힘	○	○	○		○				수정
축너트의 짐불량	○	○	○		○				수정
보스의언밸런스	○		○		○				평행 시험
이물질 혼입	○		○		○				청소
먼지부착	○		○		○				청소
드레인의 꺾		○			○		○	○	드레인 을 개봉

Table 3.1.3.1 Trouble and maintenance method for fan(casing and boss)

상황	진 동					이 상 음			대 책
	일전정속한도회	회관전계속없도이	회비전례속해도서	일에정있풍어량서	풍계량없에이관	케과이열상의	연속음	일식연속또음	
서어징		○		○			○		운전점의 변경
열팽창에 의한외력		○	○		○				설치방법 개조
설치불량 기초불량	○	○	○		○				설치수정 기초개조
직결불량	○	○	○		○				수정
위험속도와의합치	○								운전점 변경개조
혼입가스 시방과의 상위						○			영구적이면임펠러 개조

Table 3.1.3.2 Performance test and countermeasure for blower

원인	풍 량		압 력		과부하	개량압력의변동		회전속도의 변동		서어징발생	대 책
	부하	과잉	부족	과잉		일정부하에	상시	일정상태	상시		
밸브조작의 잘못	○	○	○	○						○	변 경
흡입가스의 온도의상위	○	○	○	○						○	영구적이면 임펠러개조
사이클또는 회전속도의차	○		○								
계기불량	○	○	○	○							교체 또는 조정
임펠러, 케이싱에 디스크 부착	○		○								청 소
임펠러 마모 및 부식	○		○								수리 교체
회전방향의 오차	○		○								변 경
중간냉각기 능력저하	○		○								공기빼기 청소 수리
배관의 공기 진동							○				배관개조
전원 불량							○	○	○	○	
관로저항의 진동							○	○	○	○	

Table 3.1.3.3 Trouble and maintenance method for motor

상황 원인	전동기 진동				베어링		전동기 과열	전동기 이상음	과부하		기 동 불 능	축 의 축 방 향 의 진 동	대 책	
	과 부 하 에 있 어 서	출 력 에 관 계 없 이	속 도 에 관 계 없 이	일 정 회 전 속 도 에	과 열 소 손	전 동 기 이 상 음			기 동 시	정 상 시				
로우터의 언밸런스		○	○	○									평형시험	
로우터의 내부접촉		○	○	○			○	○	○	○	○	○	접촉부 가공 설치 수정	
내부풍압 분포의변동												○	개조, 트러스트 베어링 추가	
축의 변형		○	○	○							○	○	수정 또는 교체	
직결 또는 축이음불량	○	○	○	○								○	수정 또는 개조 교체	
설치또는 기초불량	○	○	○	○								○	설치 수정 기초 개조	
전원의불량								○						
윤활유부족					○	○								보충
오일휘프 를 발생		○		○	○									유압 기름흡 변경
계획출력 오차									○					영구적인 임펠 러 개조
시방과다른 가스흡입									○					"
시방점의 변경									○					"
기동방법 의 오차								○		○				변경 전동기 교체
관성모멘트 의 과대								○		○				기동방법 변경 전동기 교체

4. 송풍기의 성능시험 및 검사 방법(KSB 6311)

1) 적용범위

이 규격은 압력비가 약 1.1미만인 원심송풍기, 축류송풍기, 사류송풍기 등 (이하 송풍기라 한다.)을 상온·상압 공기를 사용하여 공장에서 수행하는 시험 및 검사 방법에 대하여 규정한다. 특수한 송풍기 또는 특수한 가스, 기타 특수한 상황에서 사용하는 송풍기의 시험 및 검사의 경우에는 인수·인도 당사자간의 협정에 따르며 이 규격에 알맞게 취사 보충한다.

이 시험 및 검사방법은 원자력시설에서 사용되는 있는 송풍기들의 교체 또는 송풍기의 성능에 영향을 끼치는 유지보수 완료 후 송풍기의 성능을 보증하기 위해서 적용한다.

2) 용어

이 규격에서 사용하는 중요한 용어의 뜻은 KSB 0062(송풍기·압축기 용어)에 따르는 이외에 다음에 따른다.

(1) 공기 상태식

$$P_{abs}v = RT \text{-----}(8)$$

P_{abs} : 공기의 절대 압력[kgf/m^2 , 또는 mmAq, Pa]

$$P_{abs} = P_a + P_g$$

P_a : 대기압 [kgf/m^2 , 또는 mmAq, Pa]

P_g : 공기의 게이지 압력 [kgf/m^2 , 또는 mmAq, Pa]

T : 공기의 절대 온도(°K) $T = 273 + t$

t : 공기의 온도 (°C)

v : P·T에서의 공기의 비체적(m^3/kgf)

R : 공기의 가스정수

$$R = \frac{29.27}{1 - 0.378\psi \frac{P_s}{P_{abs}}} \text{ [kgf.m/kgf} \cdot \text{K]} \text{-----}(9)$$

$$= \frac{287}{1 - 0.378\psi \frac{P_s}{P_{abs}}} \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

P_s : 포화증기압력(kgf/m², Pa)

ψ : 상대습도

참고) 표준흡입 상태에서 있어서 공기의 가스정수 R 값은 29.44(289)로 한다. 이 값은 온도 -15 ~ 40 °C의 대기에 적용하여도 무방하다.

(2) 표준 흡입상태

송풍기의 온도가 25 °C, 절대압력 760 mmHg 또는 10333 mmAq(101.3 kpa), 상대습도 65%인 공기를 흡입하는 경우의 흡입상태, 표준흡입 상태에 있어서 공기의 1m³ 당의 무게는 1.2 kgf, 밀도는 1.20 kg/m³로 한다.

(3) 전압 공기 동력

송풍기가 규정 공기량을 규정송풍기 전압까지 압축하는데 필요한 이론 동력

(4) 정압 공기 동력

송풍기가 규정 공기량을 규정 송풍기 정압까지 압축하는데 필요한 이론 동력

(5) 송풍기의 공기량

시험에 따라 산출한 공기량을 표준 흡입상태(특별히 명기하고 있을 경우에는 그 지정 상태)의 체적으로 환산한 값

(6) 송풍기의 규정 회전수

전동기의 구동일 경우에는 규정의 전원상태, 기타 원동기 구동일 경우에는 규정의 운전상태에서 운전하였을 때의 단위 시간당 송풍기 축의 회전수

(7) 피토우관

KS B 0062에서는 피토우 정압관이라고 불려지고 있는 것.

3) 시험 항목

송풍기의 시험 항목은 온도, 송풍기의 전압, 송풍기의 정압, 공기량, 회전수, 축동력 소음 및 운전상태

4) 시험 장치

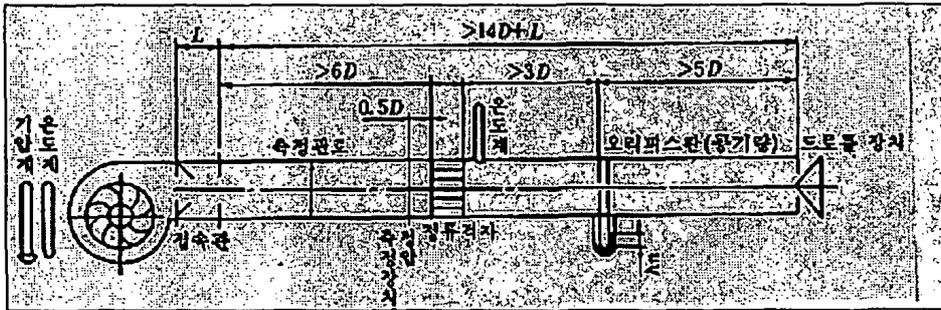
(1) 시험장치

시험장치는 사용운전상태 또는 그에 가까운 상태의 송풍기의 성능 및 운전상태를 표시하는데 필요한 값을 정확히 측정할 수 있어야 한다.

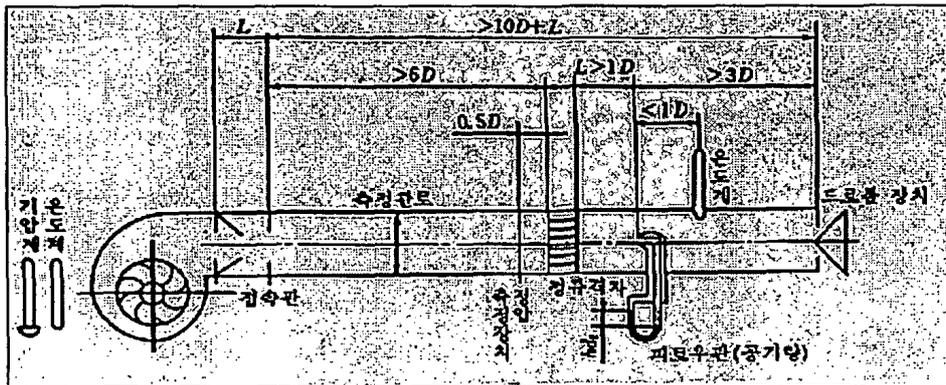
시험장치 및 측정장치의 배치는 원칙적으로 그림 3.1.4.1, 그림 3.1.4.2, 그림

3.1.4.3과 그림 3.1.4.4에 따른다. 참고로 송풍기의 흡입구 또는 측정관로의 흡입구의 중심은 벽 또는 바닥으로부터 $1D$ (D 는 송풍기의 흡입구 또는 측정관로의 지름)이상 떨어지게 하는 것이 좋다.

(a) 오리피스관을 사용한 경우



(b) 피토관을 사용하는 경우



(c) 피토우관과 정류망(금속제)을 사용한 경우

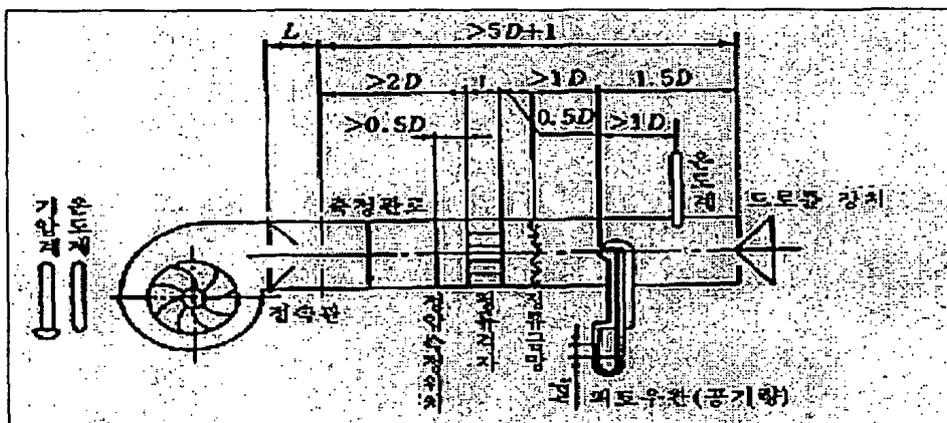


Fig.3.1.4.1 blower operation With discharge duct.

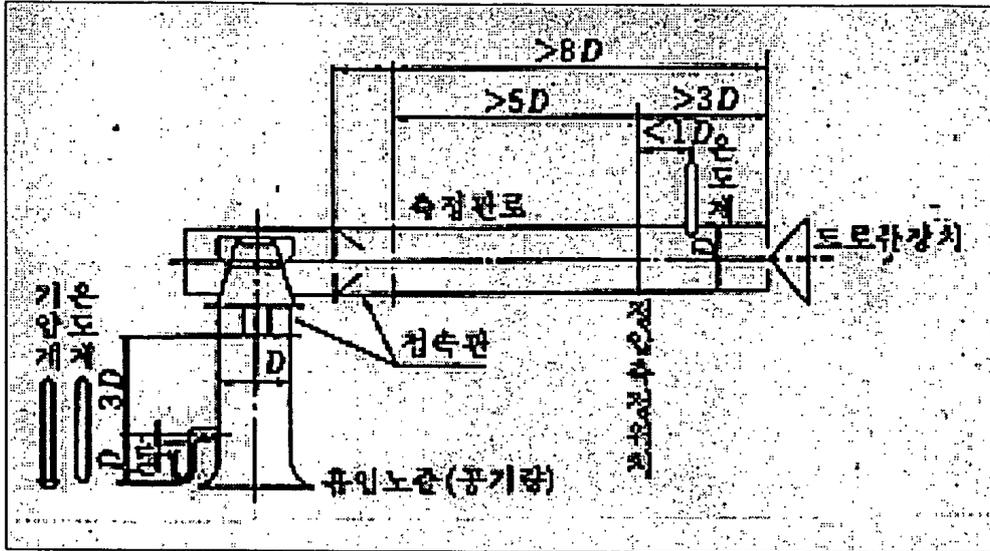


Fig. 3.1.4.2 blower operation With both discharge and suction duct

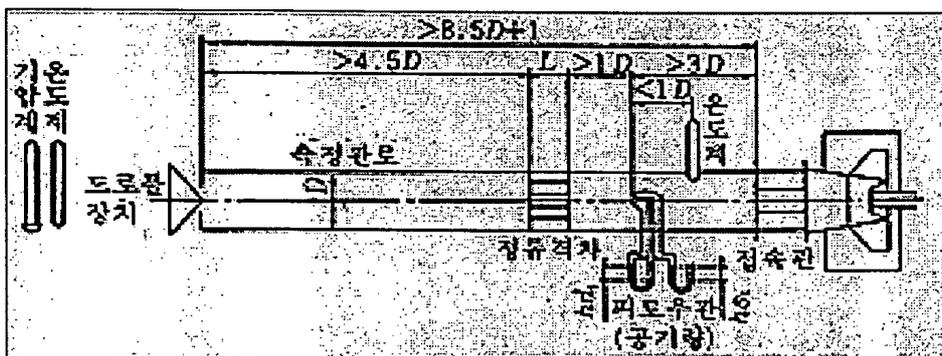
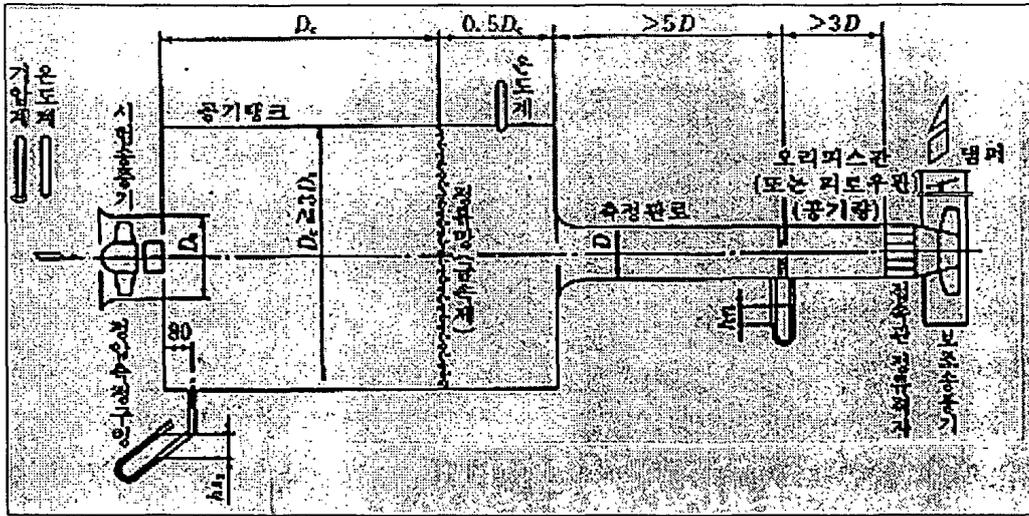


Fig. 3.1.4.3 blower operation With suction duct.

(a) 압입 송풍기의 경우



(b) 흡출 송풍기의 경우

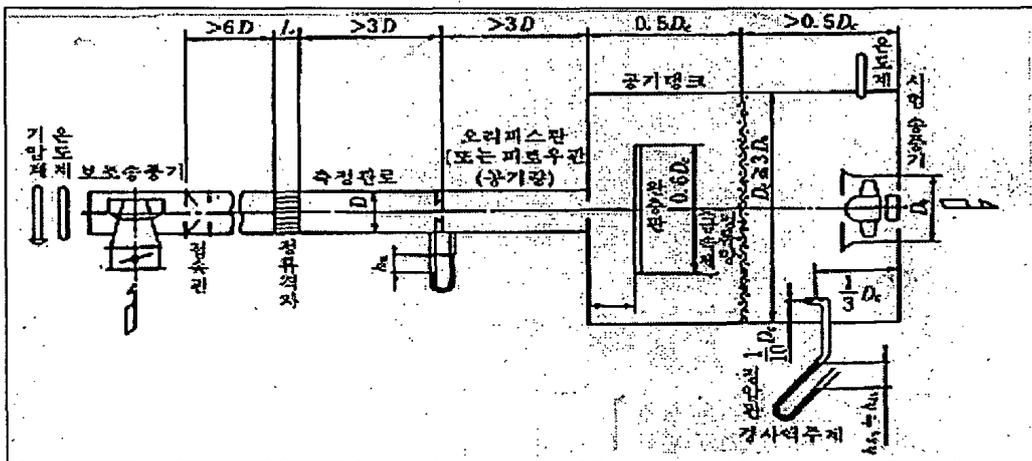


Fig. 3.1.4.4 blower operation Without both discharge and suction duct

(2) 측정관로

측정 관로는 내면이 매끈하고, 그 단면적이 송풍익의 흡입구 또는 토출구의 단면적과 같은 원형 단면의 곧은관(안지름 D)을 사용하는 것이 좋다. 부득이 모양 또는 단면적이 다를 경우는 송풍기와 측정관로 사이에 접속관을 사용한다. 측정관로 단면적은 송풍기의 흡입구 단면적 또는 토출구 단면적의 0.7미만의 것. 또는 1.3을 초과하는 것을 사용해서는 안 된다. 다만 그림 3.1.4.4 의 경우는 시험송풍기와 관계가 없으므로 측정 관로의 단면적은 이 제한을 적용하지 않는다.

접속관이 원형, 직사각형에서 원형 또는 원형에서 직사각형으로 되는 경우에는 다음에 따른다.

① 원형에서 원형으로 되는 경우의 접속관과 축사이의 각도는 확대관으로 사용하는 경우에는 14 °이하, 축소관으로써 사용하는 경우에는 30 °이하로 한다.

② 직사각형에서 원형으로 되는 경우에는 다음에 따른다. (토출측)

- 축소관($m \leq 1$) : $L/D \geq 1.8 \left(\frac{1}{\sqrt{m}} - 1 \right) + 0.4 \frac{a}{b}$ -----(10)

- 확대관($m \geq 1$) : $L/D \geq 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) + 0.4 \frac{a}{b}$ -----(11)

③ 원형에서 직사각형으로 되는 경우에는, 다음에 따른다. (흡입측)

- 축소관($m \geq 1$) : $L/D \geq 1.8 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) + 0.4 \frac{a}{b}$ -----(12)

- 확대관($m \leq 1$) : $L/D \geq 4 \left(\frac{1}{\sqrt{m}} - 1 \right) + 0.4 \frac{a}{b}$ -----(13)

L : 접속관의 길이

D : 측정관로의 안지름

m : 면적비 = $\frac{\pi D^2}{4ab}$

a : 직사각형의 긴변의 길이

b : 직사각형의 짧은 변의 길이

(3) 공기탱크를 사용해서 시험할 경우

그림 3.1.4.4 (a)의 경우에는 공기 탱크 내에 정해진 압력이 되도록 하고 그림 3.1.4.4 (b)의 경우는 마이너스압력이 되도록 보조 송풍기의 회전수 또는

댐퍼에 의해서 공기량을 조절한다.

(4) 정류격자

정류격자 축방향 길이 l 은 정류격자의 눈금(정사각형)의 한 변의 길이 3 배 이상으로 한다. 측정관로 안지름 D 의 $1/4 \sim 1/12$ 로 한다.

(5) 공기량 조절 장치

토출쪽의 측정관로에서 공기량 조절을 할 경우에는 댐퍼 기타 트로틀장치를 설치하고, 흡입쪽의 측정관로에서 실시할 경우에는 측정관로의 축심에 대칭으로 설치된 원판, 원뿔 등의 트로틀장치를 사용하여야 한다. 측정관로에 설치한 댐퍼, 원판, 원추 및 기타 트로틀 장치는 측정에 악영향이 없도록 벽, 바닥 등으로부터 적당한 거리를 둔다.

(6) 습도 측정기구

습도 측정에는 건습구 습도계를 사용한다.

(7) 대기압 측정기구

대기압 측정에는 수은 대기압계를 사용한다.

5) 시험방법

(1) 시험조건

① 흡입상태

흡입 공기의 상태는 특별한 지정이 없는 한 표준 흡입상태로 한다.

② 시험 회전수

시험은 규정 회전수에서 한다. 전원 및 설비 등이 사정상 송풍기를 규정 회전수로 운전하기 곤란할 경우에는 규정회전수 $\pm 20\%$ 이내의 회전수로 시험하고 그 결과를 규정회전수로 환산하여도 무방하다. 대형 또는 대동력이므로 시험을 할 수 없는 경우에는 모형시험을 한다. 다만 그 시험의 결과 합부에 대해서는 거래 당사자의 협정에 따른다.

③ 측정점

측정점은 송풍기의 종류에 따라 다음과 같다.

㉠ 원심 송풍기는 잠금상태 또는 서어징점으로부터 5종류 이상의 서로 다른

공기량에 대하여 되도록 큰 공기량까지 시험하고 적어도 1종류는 규정 송풍기 전압 또는 정압보다 낮은 압력으로 시험한다.

㉞ 사류 송풍기는 규정 공기량을 포함한 5 종류 이상의 서로 다른 공기량에 대하여 되도록 적은 공기량 및 큰 공기량까지 시험한다.

㉟ 축류 송풍기는 규정 상태를 포함한 5종류 이상의 서로 다른 공기량에 대하여 되도록 적은 공기량까지 시험하고 적어도 1종류는 규정 송풍기 전압 또는 정압보다 높은 압력에서 시험한다.

㊸ 고속회전체의 회전시험

임펠러의 원주속도가 25 m/s를 초과할 때 회전체의 회전시험에는 안전을 확인 후에 시험한다.

(2) 시험기구 및 측정방법

① 온도

온도의 측정은 미리 교정된 눈금나비 1 °C 이하에서 최고눈금 100 °C, 최저눈금 - 10 °C의 수은봉입 온도계 또는 열전대 온도계를 사용한다. 온도계를 송풍기의 흡입쪽 공기 및 토출측 공기의 온도를 정확히 측정할 수 있는 장소에 놓고 1 °C까지 측정한다.

② 압력

㉑ 정압, 동압, 흡입노즐 및 오리피스판 직전·직후의 압력 측정에는 U 자관 또는 기타의 액주계를 사용한다. 다만 액주계와 비교하여 교정할 수 있는 그 밖의 압력계를 사용하여도 좋다. 액주계의 액체에는 물 또는 미리 비중을 측정한 알코올을 사용한다.

액주계 유리관의 안지름은 6 ~ 12mm로 하고 U자관의 안지름은 좌우가 거의 같고 균일하여야 하며 눈금나비를 1 mm로 한다. 또한 51 mmAq(500 Pa)이하의 압력을 측정할 경우에는 경사 액주계 또는 미압계를 사용한다.

오리피스판 및 흡입 노즐의 압력 측정은 적어도 그의 1/100까지 읽는다. 액주계의 지시도의 동요가 격심할 경우에는 오차기 생기지 않을 정도로 도관을 교축하여도 무관하다.

㉒ 피토우관, 정압관 및 정압측정 구멍

동압 및 정압을 동시에 측정할 경우에는 피토관을 사용하고 정압만 측정할 때는 정압관 또는 관벽에 수직으로 뚫은 정압측정 구멍을 사용한다.

- 피토관의 노우즈관은 바깥지름이 5 ~ 20 mm의 매끈한 황동관 또는 스테인

레스 강관제로 하고 원판의 바깥지름은 노우즈관의 바깥지름 1~ 3배로 한다.

- 정압관은 바깥지름이 5 ~ 10 mm 인 매끈한 황동관 또는 스테인레스 강관제로 한다.

- 정압 측정 구멍의 안지름은 1 mm로 하고 그 수는 노우즈관의 바깥지름을 밀리미터로 표시한 수와 거의 같은 수로하고 원주상에 등간격으로 분포하여야 한다.

- 노우즈관의 표면은 충분히 매끄럽게 다듬질하고 특히 전압 측정 구멍 및 정압 측정 구멍의 단면에는 사소한 뒤발림도 남아 있지 않아야 한다.

- 피토우관은 그 노우즈관을 흐름에 평행하게 하고 측정점은 측정관로 단면에 있어서 서로 직각인 지름상에서 다음 식으로 나타낸 각 10점, 합계 20점으로 한다.

$$r_1 = 0.316R, \quad r_2 = 0.584R, \quad r_3 = 0.707R,$$

$$r_4 = 0.837R, \quad r_5 = 0.949R$$

R : 측정 단면의 반지름

r_1, r_2, r_3, \dots 측정점의 반지름

측정 관로의 안지름이 400 mm 이하의 경우에는 되도록 오리피스판 또는 흡입노즐을 사용하는 것이 좋다.

- 정압관 또는 정압 측정 구멍을 사용하여 측정할 경우에는, 관벽의 좌우 2 곳에서 각각 별도로 측정하고, 이들의 평균치를 취한다. 좌우의 차가 극심한 경우에는 그 오차 또한 정방측정 방법 및 기준점을 따른다.

③ 공기량

① 피토우관에 의한 방법

② 오리피스판에 의한 법

③ 흡입 노즐에 의한 법

④ 회전수

회전수 측정은 미리 교정한 직독식 회전계, 적산회전계 및 전기 회전계를 알맞게 선택하여 사용한다. 회전계의 최대 눈금은 측정하려는 회전수의 3배 이하로 한다.

회전수의 측정은 동일 조건에서 3회 이상으로 하고, 1/200까지 읽어 내어 그 평균치를 취한다.

적산화전계를 사용할 경우 측정시간은 30초 이상으로 한다.

⑤ 축동력

축동력의 측정은 동력계를 사용하거나 또한 정확한 시험에 따라 그 성능이 명확한 원동기에 따른다. 전동장치를 사용하여 송풍기를 구동할 경우에는 실제로 부속한 것을 사용하고 전동장치의 손실 동력의 측정이 곤란할 경우에는 이들을 송풍기 축동력의 일부로 간주한다. 축동력을 산출하는데 필요한 제반 측정 수치는 모두 그 측정 수치의 1/100까지 읽는다.

⑥ 소음

소음 측정은 KSB 6361(송풍기·압축기의 소음레벨 측정 방법)에 따른다.

⑦ 운전상태

③ 규정 공기량으로 베어링 온도가 일정하게 될 때까지 연속운전하고 그 때의 베어링 온도를 베어링 상자의 위에서 온도계를 사용하여 측정한다. 냉각장치를 갖는 것은 냉각기의 냉각수온도가 사용 상황의 최고 온도에서도 충분히 냉각 목적을 이룰 수 있는가를 조사한다.

④ 베어링의 오일은 원활히 윤활하고, 외부로 누설이 없는가를 조사한다. 송풍기의 흡입구 부근에 설치된 베어링은 공기의 흐름에 따라서 기름이 누설될 경우가 있으므로 특히 주의하여 조사한다.

⑤ 풍속, 풍압, 회전에 기인한 진동을 조사한다. 또한 베어링부의 베어링 상자 위에서 진동계를 사용하여 조사한다.

⑥ 송풍기 케이싱 접합 부분에 있어서 공기의 누출, 누입을 조사한다. 특수 기체를 취급하는 송풍기에서는 축의 패킹부의 기밀도를 조사한다.

⑦ 전동 장치는 그 전동상태가 안정되고 확실한 가를 조사한다.

⑧ 규정 운전상태에 있어서 이상한 소음의 유무를 조사한다.

(3) 특성치의 산출 방법

① 기호, 의미 및 단위

특성치의 산출에 사용하는 기호와 그 뜻 및 단위는 표 3.1.4.1에 따른다.

② 송풍기 전압 및 송풍기 정압의 산출

송풍기 전압 P_T 및 정압 P_S 는 다음 식으로 산출한다. 송풍기 전압 및 송풍기 정압은 송풍기 흡입구와 토출구 면적이 같으면 그 동압도 거의 똑같이 상쇄된다. 다만 압력비 1.03을 초과할 경우에는 흡입구와 토출구의 동압차를 고려하여야 한다.

$$p_T = p_2 - p_1 = (p_2 + p_{d2}) - (p_{s1} + p_{d1}) \text{-----(14)}$$

$$p_S = p_T - p_{d2} = p_2 - (p_{s1} + p_{d2}) \text{-----(15)}$$

$$p_2 = h_2 - h_{d2} + \Delta_2 \text{-----(16)}$$

$$p_1 = h_{s1} - h_{d1} - \Delta_1 \text{-----(17)}$$

$$\Delta_1 = 0.025 \frac{L_1}{D_1} h_{d1}, \quad \Delta_2 = 0.025 \frac{L_2}{D_2} h_{d2}$$

Table 3.1.4.1 Symbol and units(continuos)

기 호	의 미	단 위
A ₁ , A ₂	흡입 및 토출측 측정 관로의 단면적	m ²
A ₁ ' , A ₂ '	송풍기 흡입구 및 토출구의 단면적	m ²
A _n	오리피스 판의 원형 구멍 면적	m ²
D ₁ , D ₂	흡입 및 토출측 측정관로의 안지름	m
d	오리피스판의 원형 구멍 안지름	m
g	자유 낙하의 가속도	m/s ²
h _d	측정 관로 동압의 평균값	mmAq(Pa)
h _{d1} , h _{d2}	흡입 및 토출측 측정관로 동압의 평균값	mmAq(Pa)
h ₁ , h ₂	피토우관에 의한 동압의 측정치	mmAq(Pa)
h _n	오리피스판 직전·직후의 압력차 또는 노즐의 마이너스 압력	mmAq(Pa)
L ₁ , L ₂	정압측정위치와 송풍기 흡입구 및 토출구 사이의 측정 관로 길이	m
L, L _T , L _S	축동력, 전압공기 동력 및 정압공기 동력	kw
P ₁ , P ₂	오리피스판 직전 및 직후의 절대 정압	mmAq(Pa)
P _T , P _S	송풍기 절대 전압 및 절대 정압	mmAq(Pa)
P _{T1} , P _{T2}	흡입구 송풍기절대전압 및 토출구 송풍기절대 전압	mmAq(Pa)
P _{s1} , P _{s2}	흡입구 송풍기절대정압 및 토출구 송풍기절대 정압	mmAq(Pa)
P _T , P _S	송풍기 전압 및 정압	mmAq(Pa)
P _{T1} , P _{T2}	흡입구 전압 및 토출구 전압	mmAq(Pa)
P _{s1} , P _{s2}	흡입구 정압 및 토출구 정압	mmAq(Pa)
p _{d1} , p _{d2}	흡입구 동압 및 토출구 동압	mmAq(Pa)
Q ₁ , Q ₂	흡입구 및 토출구 공기량	m ³ /min
R _D	레이놀즈 수	
T ₁ , T ₂	송풍기 흡입구 및 토출구 공기의 절대 온도	K
v ₁ , v ₂	흡입 및 토출측 측정관로 내의 평균 속도	m/s

Table 3.1.4.1 Symbol and units

기 호	의 미	단 위
v	측정관로 내의 평균속도	m/s
α_0	흡입노즐의 유량 계수 = 0.99	
α_n	오리피스판의 유량계수	
γ	측정관로내 공기의 단위 체적당 무게	kgf/m ³
$\gamma_1 \gamma_2$	흡입 및 토출측 측정 관로내 공기의 단위체적당 무게	kgf/m ³
γ_n	오리피스판 직전 공기의 단위체적당 무게	kgf/m ³
Δ_1, Δ_2	흡입 및 토출측 측정 관로내의 손실 압력	mmAq(Pa)
ϵ	공기의 팽창에 따른 수정계수	
$\eta_T \eta_S$	전압효율 및 정압효율	%
k	비열비(상온 공기의 경우에는 1.40으로 한다)	
ν	동점도	m ² /s
ρ	측정 관로내 공기의 밀도	kg/m ³
ρ_1, ρ_2	흡입 및 토출측 측정 관로내 공기의 밀도	kg/m ³
ρ_n	오리피스 판 직전공기의 밀도	kg/m ³
첨자 T	송풍기 전압	
t	전압	
s	송풍기 정압	
s	정압	
d	동압	
n	오리피스판에 관한것	
1	송풍기의 흡입측 및 오리피스판의 직전(단, h ₁ 은 제외)	
2	송풍기의 흡입측 및 오리피스판의 직후(단, h ₂ 은 제외)	

㉓ 피토우관을 사용하는 경우

$$h_d = \frac{1}{n} (h_1 + h_2 + \dots + h_n)$$

$$= \frac{v^2}{2g} \gamma \left(= \frac{\rho v^2}{2} \right) \text{-----(18)}$$

$$v = \frac{1}{20} \sqrt{\frac{2}{\rho}} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \dots + \sqrt{h_{20}}) \text{-----(19)}$$

㉔ 오리피스판을 사용하는 경우

$$h_{d1} = \frac{\gamma_1}{2g} \left(\frac{Q_1}{60A_1} \right)^2 \left[= \frac{\rho_1}{2} \left(\frac{Q_1}{60A_1} \right)^2 \right] \text{-----(20)}$$

$$h_{d2} = \frac{\gamma_2}{2g} \left(\frac{Q_2}{60A_2} \right)^2 \left[= \frac{\rho_2}{2} \left(\frac{Q_2}{60A_2} \right)^2 \right] \text{-----(21)}$$

사용상태에서 토출관만을 가지고 사용하는 경우와 토출관과 흡입관 양쪽을 가지는 송풍기(흡입측 측정관로의 손실 압력은 생략한다.), 즉 시험장치의 경우는 사용상태에서 토출관만을 가지는 것에 대하여 흡입구가 대기로 열려 있는 경우 송풍기의 전압은 토출구의 정압과 토출구의 동압의 합이 된다. 이 경우에 한해서만은 송풍기 정압을 토출구의 정압으로 표시한다.

$$p_n = 0$$

$$P_t = p_e = p_s + p_d \text{-----(22)}$$

$$p_s = p_e - p_d = p_e \text{-----(23)}$$

사용상태에서 흡입관만 가지는 송풍기 시험장치의 경우는 토출구가 대기로 열려 있는 경우의 송풍기의 전압은 흡입구의 정압으로 표시한다. 이 경우 송풍기의 정압은 흡입구 정압 마이너스 압력에 흡입구 동압을 가하지 않으면 구할 수 없다.

$$p_e = p_d$$

$$P_T = p_d - p_n = p_{s1} \text{-----(24)}$$

$$p_s = -p_n = -p_{s1} + p_{d1} \text{-----(25)}$$

$$p_{d1} = \frac{\gamma_1}{2g} \left(\frac{Q_1}{60A'_1} \right)^2 \left[= \frac{\rho_1}{2} \left(\frac{Q_1}{60A'_1} \right)^2 \right] \text{-----(26)}$$

$$p_{d2} = \frac{\gamma_2}{2g} \left(\frac{Q_2}{60A'_2} \right)^2 \left[= \frac{\rho_2}{2} \left(\frac{Q_2}{60A'_2} \right)^2 \right] \text{-----(27)}$$

사용상태에서 흡입관과 토출관의 양쪽을 가지는 송풍기에서 압력비가 1.03 이

하에서는 흡입구와 토출구의 동압은 같다고 보고, 토출구 정압과 흡입구 정압 차가 송풍기 전압이 된다. 이 경우 송풍기 정압은 토출구 정압과 흡입구 정압의 차에서 흡입구 동압을 빼지 않으면 구할 수 없다.

사용상태에서 흡입관과 토출관 양쪽을 갖지 않는 경우는 압입송풍기에서는 정압(p_s)은 h_d 에 상당하고, 또한 토출송풍기의 정압(p_s)은 $-h_{s1}$ 에 상당한다.

③ 공기량 산출

① 피토우관에 의한 경우의 산출은 다음 식에 따른다.

$$Q_1 = 60Av_1 = 60A_1 \sqrt{\frac{2gh_{d1}}{\gamma_1}} \left[60A_1 \sqrt{\frac{2h_{d1}}{\rho_1}} \right] \text{-----}(28)$$

$$Q_2 = 60Av_2 = 60A_2 \sqrt{\frac{2gh_{d2}}{\gamma_2}} \left[60A_2 \sqrt{\frac{2h_{d2}}{\rho_2}} \right] \text{-----}(29)$$

토출 공기량 Q_2 를 흡입 공기량 Q_1 으로 환산하는 것은 다음 식에 따른다.

$$Q_1 = \frac{60A_2}{\gamma_1} \sqrt{2g\gamma_2 h_{d1}} \left[\frac{60A_2}{\rho_1} \sqrt{2g\rho_2 h_{d2}} \right] \text{-----}(30)$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 \frac{P_{s2}}{P_{s1}} \frac{T_1}{T_2} \left[\rho_1 = \rho_2 \frac{P_{s2}}{P_{s1}} \frac{T_1}{T_2} \right] \text{-----}(31)$$

또한 압력비가 1.03 이하일 경우에는 $\rho_1 = \rho_2$ 로 한다.

② 오리피스판에 의한 경우 산출은 다음에 따른다.

$$Q_1 = 60\alpha_n \epsilon \epsilon A v_n \sqrt{\frac{2gh_n}{\gamma_1}} \left[= 60\alpha_n \epsilon \epsilon A v_n \sqrt{\frac{2h_n}{\rho_1}} \right] \text{-----}(32)$$

$$Q_2 = 60\alpha_n \epsilon \epsilon A v_n \sqrt{\frac{2gh_n}{\gamma_2}} \left[= 60\alpha_n \epsilon \epsilon A v_n \sqrt{\frac{2h_n}{\rho_2}} \right] \text{-----}(33)$$

토출 공기량 Q_2 를 흡입 공기량 Q_1 으로 환산하는 것은 다음 식에 따른다.

$$Q_1 = \frac{60\alpha_n \epsilon \epsilon A_n}{\gamma_1} \sqrt{2g\gamma_n h_n} \left[\frac{60\alpha_n \epsilon \epsilon A_n}{\rho_1} \sqrt{2g\rho_n h_n} \right] \text{-----}(34)$$

③ 흡입 노즐에 의한 경우의 산출식은 다음에 따른다.

$$Q_1 = 60\alpha_0 A_n \sqrt{\frac{2gh_n}{\gamma_1}} \left[= 60\alpha_0 A_n \sqrt{\frac{2h_n}{\rho_1}} \right] \text{-----}(35)$$

(4) 밀도, 회전수 및 공기의 온도·압력이 다를 경우의 환산

① 밀도가 다를 경우

취급 기체의 밀도가 시험 공기 밀도의 값과 다를 경우에는 시험 결과를

다음 식에 따라 환산한다.

취급 기체의 공기량 = 시험 공기의 공기량

$$\text{취급 기체의 송풍기 전압 또는 송풍기 정압} = \left(\frac{\rho_0}{\rho_1}\right) \times (\text{시험 공기의 경우 송풍기 전압 또는 송풍기 정압}) \text{-----}(36)$$

$$\text{취급 기체의 공기 동력} = \left(\frac{\rho_0}{\rho_1}\right) \times (\text{시험 공기의 공기 동력}) \text{-----}(37)$$

$$\text{취급 기체의 축 동력} = \left(\frac{\rho_0}{\rho_1}\right) \times (\text{시험 공기의 축동력}) \text{-----}(38)$$

취급기체의 효율 = 시험 공기의 효율

ρ_0 : 취급 기체의 밀도(kg/m^3)

ρ_1 : 취급 공기의 밀도(kg/m^3)

② 회전수가 다를 경우

송풍기를 규정회전수(n) 이외의 회전수(n_t)로 시험했을 경우 그 결과 식은 다음에 따라 환산한다.

$$\text{규정 회전수의 공기량} = (\text{시험 회전수의 공기량}) \times \left(\frac{n}{n_t}\right) \text{-----}(39)$$

$$\text{규정 회전수의 송풍기 전압 또는 송풍기 정압} = (\text{시험 회전수의 송풍기 전압 또는 송풍기 정압}) \times \left(\frac{n}{n_t}\right)^2 \text{-----}(40)$$

(5) 시험 성적표

① 시험 결과는 송풍기 시험 성적표와 송풍기 성능 곡선도에 기입한다.

② 시험표는 송풍기의 제조자명, 형식 제품번호, 시험번호, 주문자명, 규정 항목 및 이들에 대한 시험 성적, 시험방법 및 장치, 동력 전동방식 측정관로의 치수, 시험 년월일, 시험자명, 시험에 사용한 동력계 또는 원동기에 관한 사항 등을 명기한다.

③ 성능곡선도에 규정상태로 환산한 제반 성적을 공기량을 가로축으로 하고, 송풍기 전압 또는 정압, 축동력, 효율, 회전수 등을 세로축에 도시한다.

④ 운전 상태가 다음과 같은 경우에는 이들을 성적표 및 성능곡선도 비교란에 기입한다.

㉠ 베어링 온도가 규정온도 보다 높을 때 또한 규정이 없을 경우에는 주위의 공기 온도보다 40 °C 이상 높을 경우

- ⑥ 진동이 격심하고 운전이 원활하지 않을 경우
- ⑦ 기타 원동기, 전동장치 등에 대해서도 정상으로 인정되지 않는 사항이 있을 경우

(6) 검사방법 및 판정 기준

① 검사항목

송풍기 전압 또는 송풍기 정압 및 공기량, 축동력, 전압효율, 소음, 운전 상태

② 송풍기 전압 또는 송풍기 정압 및 공기량

송풍기 전압 또는 송풍기 정압 및 공기량은 측정점에서 판정기준② 또는 판정기준⑥에 의해서 판정된다.

판정기준 ② : 송풍기 전압 또는 송풍기 정압 및 공기량의 허용범위가 특별히 제한되어 있지 않을 경우에는 규정 송풍기 전압 또는 송풍기 정압의 공기량은 규정공기량 이상이어야 한다.

판정기준 ⑥ : 송풍기 전압 또는 송풍기 정압 및 공기량의 허용범위가 특별히 제한되는 경우에는 성능 곡선이 다음중 어느 조건을 만족시켜야 한다.

- 규정 송풍기의 전압 또는 송풍기 정압의 공기량이 규정 공기량의 100% 이상, 110% 이하이어야 한다.

- 규정 공기량의 전압 또는 정압이 규정 송풍기 전압 및 송풍기 정압의 100% 이상, 106% 이하이어야 한다.

- 미리 협정하고 있지 않을 경우에는 서어징점의 공기량과 예측한 서어징점의 공기량의 차는 규정 공기량과 예측한 공기량의 차는 25%이하이어야 한다.

③ 축동력

소요동력은 규정 공기량에서 원동기의 규정 동력을 초과하지 않아야 한다. 또한 사용하는 장치의 저항곡선(규정 또는 예상된 저항곡선이 있는 경우에는 그 저항곡선)과 송풍기의 성능곡선의 교점에서의 공기량에서도 초과되지 않아야 한다. 다만 사용상 공기량이 규정을 초과하지 않도록 조정 운전을 함이 명백한 경우에는 규정 공기량을 초과한 공기량에서 규정동력을 초과하여도 지장 없다.^[3]

5. 송·배풍기의 제현상

송·배풍기의 고장은 베어링의 마모와 과부하 뿐만 아니라 송·배풍기에서 일

어나는 제현상에 의해서 날개파손과 회전부 파손은 물론 성능이 저하되므로 이 현상을 정확히 파악하여 대처해야만 원활한 운전을 할 수 있다.

1) 서징(surging)

송·배풍기에서 송출측의 저항이 크면 풍량이 감소하며 어느 풍량에 대하여 일정압력으로 운전되지만, 우향상승특성의 풍량까지 감소하면 관로에 공기의 맥동과 진동이 발생하여 불안정한 운전이 되는데 이러한 현상을 서징이라 하며 서징을 피하는 방법은 다음과 같다.

(1) 우향상승이 없는 특성으로 하는 방법

이 방법은 실제로는 곤란하지만 적어도 소 풍량쪽으로 우향상승특성의 경사를 될 수 있는 한 완만하게 한다.

(2) 방출밸브에 의한 법

소 풍량시 송·배풍기의 송출공기의 일부를 방출하여 송풍기의 풍량을 적당량으로 유지하면 서징을 피할 수 있다.

(3) 동압 및 정압을 조절하는 방법

축류형 송·배풍기에 적용되며 동익 또는 정익을 각도조절에 의해 특성을 소 풍량쪽으로 붙일 수 있으므로 서징점을 소풍량쪽으로 밀어붙일 수 있다.

(4) 베인 콘트롤에 의한 법

흡입구에 설치된 댐퍼를 조절하므로써 서징점을 소 풍량쪽으로 할 수 있다.

(5) 회전수를 변화시키는 방법

회전수를 감소시키면 풍량이 감소하므로 서징을 피할 수 있다.

2) 선회실속 (rotating stall)

선회실속은 주로 축류형에서 일어나며 하나의 날개에서 작은 실속을 일으켜 점차로 발달하면서 실속영역의 유로를 거의 막아 버려 유로가 협소하게 되는 현상이다. 이 현상은 서징 발생전의 풍량에서 일어나며 이 현상이 되풀이되면 날개 파손의 원인이 된다.

3) 초킹(choking)

이 현상은 축류형에서는 익렬에서의 압력상승은 어느 mach수에서 최대값에 도달하고 그 이상의 mach수가 증대되면 전향각이 감소하여 압력은 상승하지 않

고 유량도 증가하지 않는 상태로 된다. 이 때에는 유로 단면에서 충격파가 발생했기 때문이다. 원심형은 풍량이 많아지면 회전차 입구의 유속이 음속에 가까워져서 깃면상에 충격파가 발생하여 현저한 손실이 발생하므로 압력이 크게 저하된다.^[3]

제 2 절 펌프

펌프의 종류는 유체의 흐름 방향에 따라 원심펌프, 축류펌프, 사류펌프 등으로 분류되며, 주로 원자력시설에서 사용되는 원심펌프에 관한 이론, 실무, 고장, 대책 및 제현상 등에 대해서 기술했다.

1. 원심 펌프

(1) 원심펌프의 원리와 구조

그림 3.2.1.1과 같이 물을 담은 원통형의 용기를 그 축에 회전시키면 용기 내에 물은 원심력(centrifugal force)에 의하여 가장자리로 증가하는 압력이 증가하는 반면 중심부의 압력은 낮아지고 그리하여 수면은 낮아져 처음의 점선의 위치에서 실선 가장자리와 같이 변형된다. 이러한 현상으로부터 압력이 낮아진 중심부에 관을 연결하여 보다 아래쪽에 있는 물탱크와 연결하고 원통형의 용기를 밀폐된 것으로 하여 회전시키게 되면 용기 아래에 위치한 물탱크로부터 물이 차차 흡상하게 된다. 이와 같은 원리를 이용하여 밀폐된 용기 대신에 케이싱(casing), 회전하는 물체 대신에 회전차(impeller), 그리고 중심 부분에 흡입관으로 구성된 것이 원심펌프의 기본원리이다.

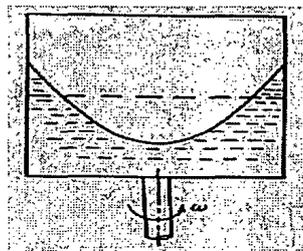


Fig. 3.2.1.1 Principles of centrifugal pump.

원심펌프의 기본 구성요소는 회전차, 주축, 펌프 본체, 안내깃 및 와류실, 축수장치(bearing), 축봉장치(packing and sealing)로 구성되며, 계통도는 흡입관, 원심펌프, 송출관으로 구성된다.

① 회전차

회전차(impeller)는 앞뒤의 원형 측판(shroud) 사이에 몇 장의 만곡된 깃을 가진 회전물체로 밀폐된 용기 내에서 만수된 유체속에서 회전차가 회전하므로써 깃으로부터 유체에 에너지를 부여해주는 가장 중요한 핵심 구성요소이다.

일반적으로 회전차는 3가지의 기본형태로 나누어지는데, 전후면의 원형 측판이 있는 것을 밀폐형, 전면 측판이 없는 것을 반 개방형, 전후면의 측판이 없는 것을 개방형이라고 하는데 원심펌프에서는 밀폐형에 속하는 반경류형의 회전차가 채택된다.

회전차의 재료는 구조와 기계가공이 용이하며 주물 표면이 매끄럽고 녹이 슬지 않는다는 잇점으로 청동을 사용하게 되나 고속회전을 요하거나 고온의 액체를 양수하는 경우에는 내열합금의 재질을 쓴다. 또한 해수와 같은 전해질인 액체를 양수하고자 하는 경우에는 전해작용이 일어나므로 주철을 사용하고 내식성이 필요한 경우에는 플라스틱재를 사용하기도 한다.

② 주축

회전차와 체결되어 일체화되어 있으며 펌프 외부에 있는 전동기와 연결되어 동력을 전달하게 된다. 일반적인 주축의 재료는 기계구조용탄소강(SM25C, SM30C, SM35C)을 사용하며 회전차의 재료와 동일한 것을 사용하기도 한다.

③ 와류실

회전차나 안내깃으로부터 에너지를 부여받고 최종적으로 유출되는 물을 모아서 송출관 쪽으로 보내는 스파이럴형의 동체인데 그 단면이 출구 쪽으로 갈수록 커져 가는 확대관이므로 이 공간을 통과하는 동안에 물이 가지고 있는 여분의 에너지가 송출에 적합한 에너지의 형태로 변한다.

④ 안내깃 및 와실

안내깃(guide vane)은 회전차로부터 에너지를 부여받고 유출되는 유체를 와류실로 유도하는 가운데 유체가 회전차로부터 부여받는 속도에너지를 보다 더 송출에 적합한 압력에너지 형태로 변환하거나 여분의 에너지를 회수하는 역할을 한다. 일반적으로 고정되어 있으나 특수한 설계에서는 깃을 가동식으로 하여 유량의 대소에 따라 안내깃의 각도를 변화시키도록 하는 경우도 있다. 안내깃에서

깃의 수는 보통 회전차의 깃수보다 몇 개 적게하여 서로 소(素)가 되도록 한다. 반면에 와실(vortex chamber)은 회전차의 출구 바깥 둘레에 배치된 환상의 공간으로 케이싱에 고정된다

⑤ 축수장치(bearing)

펌프의 본체(casing)를 통과한 주축이 원활한 회전을 위해 지지되어질 수 있는 기계적 요소로서 축봉장치와 더불어 펌프의 내부와 외부의 경계면을 중심으로 적당한 곳에 베어링을 설치함으로써 축의 역할을 다하도록 한다.

⑥ 축봉장치

주축이 케이싱을 관통하는 부분에서 펌프 내부의 액체가 외부로 누설되는 것을 방지하기 위한 기계요소로서 일반적으로 그랜드패킹을 사용하고 있으며, 완전한 밀폐를 하고자 할 때는 메카니칼씨일(mechanical seal)을 사용하기도 한다

⑦ 흡입관

흡입관은 펌프 본체의 중심, 즉 회전차의 중심부와 연결 접속되어 다른 끝 부분은 흡입 액면 속에 개구되어져 흡상되는 액체가 흡입되어지는 관로가 된다.

흡입관 말단에는 푸트밸브(foot valve)가 부착되어져 있으며, 이 내부에는 체크밸브(check valve)가 장치되어 있어서 펌프의 운전이 정지되었을 경우에 흡입관로 내의 물이 역류하는 것을 방지하여 흡입관로내에 물이 누수되는 것을 방지한다. 푸트밸브의 밑에는 스트레이너(strainer)를 부착하여 고형물질의 유입을 방지한다. 그러나 이러한 부수적인 장치들은 흡입관로에 대한 흡상에 저항을 주게되어 공동현상(cavitation)을 초래하는 원인이 되기도 한다.

⑧ 송출관

와류실 출구에 연결되어 양수하고자 하는 곳으로 액체를 송출하는 관로이다. 와류실과 송출관 사이에는 게이트밸브(gate valve)를 달아 펌프 시동할 때는 폐쇄해 두었다가(체절운전) 점차 밸브를 열어 소요되는 유량을 송출한다.

(2) 원심펌프 크기

① 흡입구경과 송출 구경

일반적으로 펌프의 크기는 흡입구경과 송출구경으로 표시하는데 예를 들어 흡입구경이 100 mm, 송출구경이 90 mm 인 원심펌프의 크기는 "100 x 90 원심 펌프"로 표시한다.

② 양정

㉠ 실양정

양수장치에서 펌프를 중심으로 하여 흡입액면으로부터 송출액면까지의 수직 높이를 실 양정이라고 한다.

㉡ 계기양정

실양정은 단순히 펌프가 유체를 이동시킨 결과만 논한 것이며 실제로 유체가 흡입관과 송출관을 흐르기 때문에 마찰저항을 이겨낼 만한 동력을 펌프가 부담한다. 또한 송출관으로부터 수조에 방출하여 손실에 상당하는 잔류속도수두도 펌프가 감당해야할 동력이 된다. 이와 같은 논리를 적용할 수 있는 방안으로 펌프를 중심으로 가능한 가까운 위치에 흡입관측에 진공계기, 송출관측에 압력계를 부착하여 각 계기의 읽음치로부터 양정을 결정하는 방법이다.

㉢ 전양정(total head)

펌프를 포함한 양수장치 전체의 계에 대해서 양정을 생각해보면, 흡입액면과 송출액면에 작용하는 압력을 각각 P_1, P_2 , 흡입관과 송출관에서의 평균유속을 각각 v_1, v_2 , 흡입관 및 송출관로 내의 전체의 손실수두를 h_l , 실양정을 H_a 라 하면, 이러한 양수장치계에 유동이 이루어지게 하는데 필요한 전양정은

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2 - v_1}{2g} + H_l + h_l \text{로 주어진다.}$$

③ 유량

펌프의 송출량은 단위시간에 펌프로부터 송출되는 양액의 체적이다. 송출유량을 Q_0 , 회전차를 통과하는 유량을 Q_i , 누설 및 순환 잔류 유량을 q 라하면 $Q_0 = Q_i - q$ 이다.

순환잔류 유량은 회전차를 나온 후 송출관을 나오지 못하므로 일부는 외부로 누설되고 또 다른 일부는 회전차의 바깥으로 가서 또 다시 흡입되어지는 순환 잔류 유량이 된다. 순환잔류 유량과 송출유량 비는 소형펌프와 고압형펌프 또는 송출량이 작은 운전상태에서는 크게된다. 일반적으로 회전차를 통과하는 유량과 송출유량의 비는 약 1.02 ~ 1.10 정도가 된다.

송출량 및 펌프의 대수를 결정할 때는 사용 용도별로 검토하여야 한다. 펌프의

용량 및 대수 결정상의 주의 사항은 다음과 같다.

- ㉔ 각 펌프는 가능한 전부하 운전이 되도록 한다.
- ㉕ 유지관리상 대수가 적고 동일한 용량인 경우가 좋다.
- ㉖ 펌프의 효율의 관점에서 보면 대용량의 것이 좋다.
- ㉗ 경비절약을 위하여 예비 펌프는 소용량으로 한다.
- ㉘ 유량 변화가 심한 경우 대소 2개의 용량의 것을 설치하는 것이 경제적이다.

④ 펌프의 회전수

펌프의 회전수, 즉 회전차의 회전수를 결정하는 방법에는 2가지가 있다.

㉔ 전동기와 직결하여 사용할 때에는 전동기의 동기속도 n 을 계산하여 펌프의 회전수를 계산한다.

$$n = \frac{120f}{p} \text{-----(41)}$$

p : 전동기의 극수

f : 전원의 주파수(Hz)

n : 동기속도(rpm)

전동기의 동기속도는 전동기의 회전수를 나타내는 것이며 무부하 상태의 이론상의 회전수이다.

실제로 펌프를 운전할 때에는 부하가 걸리기 때문에 미끄럼(slip)이 생기므로 전부하시에는 약 2~5%의 미끄럼을 고려해야 하며 회전수는 다음과 같다.

$$N = n(1 - \frac{s}{100}) = \frac{120f}{p} (1 - \frac{s}{100}) \text{로 된다.}$$

㉕ 회전차의 형상을 처음 정하고 그 회전차의 특성인 비교회전도를 자료에서 선정하여 가장 효율이 높은 회전수를 정하는 방법이다. 이 경우에는 펌프의 정해진 양정과 유량에서 회전차의 형상과 펌프 형식이 정하여 졌을 때 이들을 바탕으로 회전수를 정하게 된다.

2. 펌프의 제현상

1) 공동현상

일반적으로 유체가 관속을 유동하고 있을 때 흐르는 유체속의 어느 부분의 정압이 그 때의 유체 온도에 해당하는 포화증기압 이하로 되면 부분적으로 증기가 발생하는데 이러한 현상을 공동현상(cavitation)이라 하며 다음과 같은 결과를 초래한다.

(1) 소음과 진동

기포의 생성과 파괴가 순식간에 반복되므로 그것에 의한 충격파에 의하여 소음과 진동이 수반되고 때로는 운전불능으로 될 수도 있다.

(2) 성능저하

공동현상은 펌프의 회전차 깃 입구 뒷면에서 발생하게 되므로 회전차내의 유동이 산만해지고 양정, 효율, 축동력이 함께 급격히 저하된다. 이러한 경향은 깃의 통로가 넓거나 비고회전도가 큰 펌프일수록 큰 영향을 받는다.

(3) 깃의 손상

깃의 침식은 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 특히 깃의 벽면부분의 결손은 증대한 사고 발생으로 이어질 염려가 있기 때문에 공동현상이 발생된 그대로 장시간 운전하는 것은 극히 위험을 초래하게 된다.

2) 수격현상

유체가 유동하고 있는 관로의 끝에서의 밸브를 갑자기 닫을 경우 유체의 감소된 분량의 운동에너지가 압력에너지로 변하기 때문에 밸브의 직전인 저점에서 고압이 발생하고 이 고압의 영역은 관로속 압축파의 전파속도로 상류쪽의 관로로 향하여 진행하며 다시 되돌아오는 것을 반복하여 압력의 변화를 가져와 관로의 벽면을 타격하는 현상을 수격현상(water hammer)이라고 한다. 이 현상은 관로속의 유속이 빠를수록 또 밸브를 닫는 시간이 짧을수록 격심하고 때로는 관이나 밸브를 파괴하는 수도 있다.

수격현상의 방지대책으로는 압력강하의 경우 플라이휠을 설치하여 적정압력상태를 유지하도록 하고 압력이 상승한 경우에는 송출밸브를 송출구 가까이 설치하여 이 밸브로서 압력을 제어하는 방법이 채택되고 있다.

3) 맥동현상

배관장치에서 송출관의 도중에 수조가 있어서 유량조절을 수조의 후방에 있는 밸브로 하는 경우 유량을 줄이면 수조내에 수두는 일시적으로 상승하여 펌프의 저항은 증가하게 된다. 이와는 반대로 수두가 내려가게 되면 유량은 감소하여 저항을 크게 한다. 이와 같은 현상을 반복하며 유량과 양정의 관계가 주기적으로 변동을 가져오는 현상을 맥동현상(surging)이라 하며 방지대책은 다음과 같다.

(1) 종래에는 깃출구각을 작게 하여 우향상승구배의 양정곡선을 만드는 방법을 취해 왔으나 이 방법은 효율을 저하시키는 결점이 있고 출구각의 감소만으로

는 서어징현상의 방지가 완전히 이루어 질 수 없다.

(2) 송출밸브를 사용하여 펌프내의 양수량을 맥동현상때의 양수량 이상으로 증가시키거나 회전차의 회전수를 변화시킨다.

(3) 관로에 있어서 불필요한 공기조나 잔류공기는 제거하고 관로의 단면적, 액체의 유속, 저항 등을 조정한다.

4) 축추력현상

편흡입회전차에 있어서 전면슈라우드(front shroud)와 후면슈라우드(back shroud)에 작용하는 정압의 차이, 그리고 단면적의 차이로 인한 결과력의 차이로 인하여 회전차가 축방향으로 펌프의 입구 쪽으로 추력이 작용하여 밀리게 되는 현상을 축추력현상(axial thrust force)이라고 하며 방지대책은 다음과 같다.

(1) 트러스트 베어링의 설치

(2) 회전차 후면슈라우드의 보스 부분에 흡입측과 통하는 구멍을 내어 회전차 앞뒤의 압력이 평형이 되도록 유도하는 방법

(3) 다단펌프에 있어서는 전회전차의 반수씩을 대향되게 배열하여 축추력이 상쇄되도록 하는 방법 : 자기평형(self balance)

(4) 회전차의 전후면 슈라우드에 각각 웨어링 링을 붙이고 후면 슈라우드와 케이싱과의 틈에 흡입압력을 유도하여 양측 벽사이의 압력차를 경감시키는 방법

(5) 후면 슈라우드의 뒷면에 방사상의 턱(rib)을 붙여 후면 슈라우드에 작용하는 압력을 감쇄시키는 방법

(6) 다단펌프인 경우 회전차 모두를 동일방향으로 배열한 상태에서 최종단에 밸런스디스크나 밸런스피스톤을 부착하여 제어하는 방법^[3]

3. 조사후시험시설의 펌프

1) 조사후시험시설의 펌프 현황

조사후시험시설에서 사용하는 펌프는 가습펌프(air washer pump), 냉각수 순환펌프 및 응축수펌프가 있다. 가습펌프는 동절기에 외부로부터 흡입된 공기가 가열코일을 거쳐 온도가 상승함에 따라 습도가 낮게 되므로 실내에 적절한 습도를 공급하고 공기의 오염물질을 청정해주는 역할을 한다. 냉각수 순환펌프는 하절기에 냉방시에 사용되는 펌프로서 조사후시험시설이 고지대와 끝단에 위

치해 있으므로 냉각코일의 냉각수 순환이 원활히 이루어지지 않아 이를 보완하고자 사용하고 있다. 그리고 응축수펌프는 가열코일에서 응축된 물을 이 시설에서 1차로 온수저장탱크에 보관하였다가 중앙기계실의 보일러실에 급수하는 역할을 한다.

조사후시험시설에서는 방사성공기정화시스템의 운영에 필요한 공기정화시스템 중 어느 한 장치라도 이상이 있을 경우 시설의 안전성에 미치는 영향이 크므로 항상 장치의 운전성 및 신속한 유지보수를 위하여 상세한 장치의 사양을 기록 관리하고 있으며 표 3.2.3.1은 조사후시험시설의 펌프사양을 기록하였다.

2) 펌프의 점검 및 보수 대책

조사후시험시설에서는 각종 펌프의 점검과 유지보수를 신속하고 원활히 하기 위하여 점검 리스트를 작성하여 절차에 의해 수행하고 있다. 그리고 각 펌프의 유지보수시 더 진보적이고 과학적으로 관리될 수 있도록 각 점검 항목 또는 고장항목 마다 사후 대책을 표 3.2.3.2에 기술하여 운영자와 관련자들에게 참고가 되도록 하였다.

Table 3.2.3.1 Specification of pump in PIEF

구분	사 양	규 격	비 고
응 축 수 펌 프	번 호	PS0201, 202	
	유 량 (m ³ /h)	20	
	양 정 (m)	15.5	
	동 력 (KW)	3.7	
	베 아 링	모터축 6205, 6206 펌프축 6306, 6207	축봉씨일 :메카니칼
가 습 펌 프	번 호	PS03, 04	
	유 량 (m ³ /h)	100	
	양 정 (m)	30	
	동 력 (KW)	15	
	베 아 링	모터축 6207, 6309 펌프축 6307	축봉씨일 :그랜드패킹
냉 각 수 펌 프	번 호	-	
	유 량 (m ³ /h)	430	
	양 정 (m)	10	
	동 력 (KW)	22	
	베 아 링	모터축 6209, 6311 펌프축 6307	축봉씨일 :그랜드패킹 메카니칼

Table 3.2.3.2 Check and maintenance method of pump

구 분	점 검 사 항	대 책
펌 프	임펠러의 마모	교 체
	케이싱의 마모	교 체
	임펠러 축의 변형	수정 또는 교체
	케이싱 내에 이물질 혼입	청 소
	펌프의 누수	패킹 교체 또는 볼트/너트 이완상태 조정
	펌프의 공회전	공기 빼기
	과다한 축추력 발생	수 리
	소음 및 진동	너트 및 볼트 이완상태 캐비테이션 발생여부 파악
모 터	전 류	-
	전 압	-
	과부하 상태	수 리
	모터와 펌프의 편심	수 정
	소음 및 진동	베어링 및 볼트/너트 교체
	코일의 소손	교 체
기 타	노즐 및 배관 막힘	청소 및 교체

제 3 절 방사성공기정화시스템 및 필터

1. 방사성공기정화시스템

원자력시설에서 환기용으로 사용되는 장치를 일반적으로 공기조화시스템(HVAC)라고 한다. 그러나 원자력시설의 환기시스템은 작업자의 쾌적한 환경 조성 및 정밀기기를 보호하기 위한 공기조화시스템이기 보다는 방사선에 대한 작업종사자들의 안전과 오염확산 방지에 큰 비중을 두고 있다.

원자력시설에서는 시설 내의 오염된 공기가 서로 잘못 유동하여 오염물질이 다른 지역으로 확산되는 일이 없도록 하고, 오염된 공기가 외부로 유출되어 주변 건물과 인근 주민에게 피폭이 되는 일이 없도록 하는 것을 최우선 목표로 운영하고 있다.

HVAC(heating and ventilation air conditioning)시스템은 보건용 공기조화시스템과 산업용 공기조화시스템으로 분류되며, 보건용의 경우 사무실의 냉·난방과 쾌적성을 위해 사용하며, 산업용의 경우는 필요한 유해물질 또는 가스류를 여과하여 배출시키기 위한 장치이다. 그러나 NATS(nuclear air treatment system)은 앞서서도 언급했듯이 작업종사자와 시설의 방사선에 대한 안전성을 확보하기 위한 장치이므로 각 구역의 방사선준위 정도에 따라 환기횟수, 차압을 설정하여 오염도가 높은 작업구역은 많은 풍량을 공급하고 배출시키므로써 공기중 오염도를 희석시키는 역할을 한다.

차압의 경우는 방사선준위가 높은 구역을 낮은구역보다 부압을 높게 설정하여 오염도가 높은 공기가 낮은 구역으로 역류되지 않도록 하여 시설내의 안전성을 확보하고 있다. 또한 시설내의 공기의 오염정도에 따라 필터의 여과장치를 구분하여 각각의 여과기로 공기를 청정한다. 특히 오염도가 높은 핫셀, 풀, 폐기물 저장탱크의 경우는 배출 안전도를 한층 더 높이기 위해 2단 여과방식을 채택하여 초청정여과장치에 거의 근접하도록 운영되고 있다. 여과기를 각 구역마다 분리하여 운영하므로써 각 구역의 풍량, 환기횟수, 차압 등에 대한 요소가 필터의 수명에 큰 영향을 끼치므로 교체 및 관리시에 일괄적으로 운영하기보다는 각각의 특성에 따라 관리하므로 효율을 한층 더 높일 수 있다.

원자력시설의 환기시스템은 NAT system과 HVAC system의 복합시스템이라고 말할 수 있다. 두 시스템의 운전은 한 구역에 대하여 환기횟수, 차압, 온·습도의 3가지 조건을 동시에 만족하여야 하기 때문에 매우 복잡하고 까다롭다. 예를 들어 환기횟수가 부족하여 풍량과 배출량을 증가시킬 경우 동절기에는 온도가 상

승하며, 반대로 하절기에는 온도가 하강한다. 또한 그 구역의 차압을 조절할 경우도 이웃지역에 영향을 끼치므로 한 구역의 차압을 조절할 경우라도 그 주변 구역의 차압도 다시 조절해야 한다. 즉 환기시스템에서 한 구역의 정상조건을 만족하기 위해서는 온·습도뿐만 아니라 환기횟수, 차압이 삼위일체가 되어야 한다.

1) 환기횟수 및 각 구역의 차압

일반 공기조화시스템에서는 시설 또는 건물에 종사하는 사람들의 근무환경을 개선시키기 위하여 적절한 온도와 습도를 유지시키는 한편 작업자가 작업에 최대한 작업효율을 발휘할 수 있도록 실내의 쾌감도를 고려하여 설계한다. 또한 건물을 운영하기 위하여 소요되는 간접경비와 경제성을 고려하여 설계하기도 한다. 그러나 원자력시설의 환기시스템을 설계시에는 실내의 근무 인원수, 조명기구, 그 밖의 발열기구 또는 열손실을 고려한 냉·난방부하 뿐만 아니라 각 구역의 방사선준위 따라서 풍량을 다르게 설계한다. 즉 일반 공기조화시스템을 설계할 때는 공급 풍량을 냉·난방부하에 기준을 두고 설계하는 반면 원자력시설에서는 열부하와 방사능 취급준위를 고려한다. 그러나 원자력시설은 핵물질 또는 방사능물질을 취급하는 시설이므로 안전성이 우선된다. 그러므로 방사능물질의 취급에 더 큰 비중을 두어 작업구역의 오염된 공기를 희석시킬 풍량을 공급해야 하므로 많은 풍량이 요구된다. 이 요구되는 풍량이 환기량이며 시간당 시설 내부에 공급되는 풍량을 환기횟수라 한다. 또한 시설 내부에는 취급되는 방사성 물질의 준위에 따라 구역을 나누는데 이것을 조우닝(zoning)이라고 하며, 일반 시스템의 냉·난방시 방위나 시각에 따라서 나누는 개념하고는 전혀 다르다. 원자력시설에서는 각 구역마다 유동되는 공기가 서로 혼합하여 흐르지 않도록 하여 오염이 확산되지 않을 뿐만 아니라 각 구역간에 차압을 유지하여 오염도가 높은 지역의 공기가 오염도가 낮은 지역으로는 절대 유동하지 못하게 한다. 특히 원자로에서 타고난 사용후핵연료를 취급하는 조사후시험시설은 환기횟수 및 각 구역 차압에 대한 관리가 더욱 더 철저히 요구되어 지며 이 시설의 환기횟수와 차압의 기준은 표 3.3.1.1과 같다.^[5]

2) 트랜스퍼 스크류(transfer screw)

트랜스퍼 스크류는 방사선 준위가 매우 높은 곳 또는 방사성물질을 시험하거나 저장하는 곳의 공기통로의 역할을 하는 장치이다. 즉 핫셀이나 폐기물저장

탱크처럼 방사선준위가 높은 곳은 콘크리트 또는 납으로 차폐가 되어 있는데 이 곳의 환기를 위한 공기 유동 통로가 직접 관통되어 있을 경우 방사선이 나오므로 공기의 유동통로를 나선식으로 하여 차폐를 하고 있다. 공기의 흐름에 따라 흡입구쪽을 트랜스퍼 스크류(transfer screw), 배기쪽을 이그저스트 스크류라고(exhaust screw)한다. 조사후시험시설에 설치되어 있는 트랜스퍼 스크류와 배기 스크류의 사양은 표 3.3.1.2, 표 3.3.1.3과 같다.

Table 3.3.1.1 Differential pressure and renewals at each area in PIEF

Room No.	차압(mm Aq)	환기횟수
6,000 zone	over pressure	3
7,000 zone	3 ~ 5	4
8,000 zone	6 ~ 8	5
9,000 zone	15 ~ 25	12

Table 3.3.1.2 Transfer screw in NAT system

cell No.	transfer zone	diameter(mm)	length(mm)	quantity(EA)
level -15.5				
9102	9102~8102	300	450	4 EA
level -10.8				
9201	9201~8204HT	300	700	1 EA
9202	9202~8204HT	300	450	1 EA
9203	9203~8204HT	300	450	1 EA
9204	9204~8201HT	300	700	1 EA
9205	9205~8201HT	300	500	1 EA
9206	9206~8201HT	300	450	1 EA
level 0.00				
9404	9404~8401VT	300	1,050	2 EA
9405	9405~8401VT	300	1,050	1 EA
9406	9406~8401HT	300	1,050	1 EA
9407	9407~8401HT	300	1,050	2 EA
level -4.50				
9301	9301~7302HT	300	600	1 EA
9302	9302~7302HT	300	600	1 EA
total				18 EA

Table 3.3.1.3 Exhaust screw in NAT system

cell No.	transfer zone	diameter(mm)	length (mm)	quantity(mm)
level -15.5				
9102	9102~8102HE	300	450	3 EA
level -10.8				
9201	9201~8204HE	300	700	1 EA
9202	9202~8204HE	300	450	1 EA
9203	9203~8204HE	300	450	1 EA
9204	9204~8201HE	300	700	1 EA
9205	9205~8201HE	300	500	1 EA
9206	9206~8201HE	300	450	1 EA
level 0.00				
9404	9404~8401VE	300	1,050	2 EA
9405	9405~8401VE	300	1,050	1 EA
9406	9406~8401HE	300	1,050	1 EA
9407	9407~8401HE	300	1,050	2 EA
level -4.50				
9301	9301~7302HT	300	600	1 EA
9302	9302~7302HT	300	600	1 EA
total	17 EA			

2. 필터

필터의 성능은 일반적으로 포집 효율로 표시되나 그 밖의 공기저항이나 필터가 어느 정도까지의 먼지 또는 부유물질의 양을 포집할 수 있는가를 나타내는 보지능력도 중요한 요소가 된다. 필터의 효율에 있어서는 먼지의 크기에 따라 포집효율이 달라지게 되는데 효율을 측정하기 위해서는 일정한 입자크기 또는 일정한 입도 분포의 시료에 대하여 시험해야한다. 시험용 시료에는 미세한 입자까지 함유하는 대기진이나 카본블랙(carbon black), 또는 비교적 입자가 큰 것을 대상으로 하는 것은 활석(talcum)이나 플라이애시(fly ash)가 쓰이고 있다. 고성능필터의 경우 염화나트륨(NaCl)이나 DOP(dioctyl phthalate)가 쓰이고 있다. 원자력시설에서 사용되는 고성능필터의 성능 및 누설시험에서는 DOP가 쓰이고 있으며, 다른 일반 분야에서는 주로 염화나트륨이 쓰이고 있다. 그러나

원자력시설에서 사용되는 DOP은 발암 물질이므로 사용이 추후 제한될 것으로 예상된다. 현재 외국에서는 80년대 초에 "EMERY 3004"라는 신물질을 개발하여 사용하고 있다.^[6]

필터 효율 시험방법에는 중량법, 비색법(변색도법) 및 계수법의 세 가지 종류가 있다. 같은 필터에서도 시험방법에 따라 또는 시험시료에 따라 효율이 서로 다른 값을 나타내게 된다. 중량법에서는 큰 입자가 필터의 성능을 좌우하므로 작은 입자가 포함되지 않아도 높은 효율을 나타낼 수 있으므로 이 경우에는 비교적 큰 입자를 사용하는 필터의 경우에 적용된다.^[7]

비색법은 필터의 상류와 하류에서 흡입한 공기를 각각의 여과지에 통과시키고 오염도를 광전관으로 측정하는 것이며 비교적 작은 입자를 대상으로 한다. 계수법은 고성능필터를 성능을 측정하는 시험방법으로 이 시험 방법은 KS 규격이나 ANSI 510 규정에도 명시되어 있으며, 원자력분야에서 가장 많이 사용하는 시험방법이다.

1) 고성능필터의 여과 효율 이론

고성능필터의 제조에 사용되는 여재는 유리섬유지(glass fiber paper)로써 먼지가 어떤 과정 또는 어떤 효과에 의해서 여과되는가를 간단히 요약하였다.

(1) 인터셉션효과(interception effect)

작고 가벼운 입자가 유리섬유 주위의 공기 유선을 따라 흐르다가 유리섬유에 달라붙는 현상이다.

(2) 관성충돌 효과(inertial impaction effect)

공기속의 무거운 입자가 공기유선에 따라 이동하다가 유리섬유 주위에서 관성에 의하여 방향을 바꾸기 못하고 유리섬유에 충돌 포집된다.

(3) 확산효과

작고 가벼운 입자가 브라운운동(Brownian motion)에 의하여 유리섬유에 포집된다.

(4) 확산·인터셉션 효과

브라운 운동에 의하여 확산된 입자가 인터셉션(interception)에 의하여 유리섬유에 포집된다.

(5) 중력침강 효과(gravitational settling effect)

입자의 자중에 의한 침적 효과로서 입자가 크고 속도가 낮은 경우 영향이 크다.

(6) 정전기 포집 (electrostatic collection)

전하를 띤 정전기력에 의하여 유리섬유에 포집되는 효과로 실질적으로 입자의 전하량 측정이 어렵기 때문에 임의로 입자를 정전기적으로 대전시키는 경우를 제외하고는 일반적으로 이 효과는 무시한다.

2) 필터의 성능 시험 방법

(1) 고성능필터 성능시험

고성능필터의 성능시험은 제작자가 필터의 성능 및 품질을 보증하기 위한 시험이다. 우리가 일반적으로 생각할 때 시험에 사용되는 DOP 입자의 크기가 작을수록 효율은 저하된다고 생각되나 실제 실험에 의하면 입자 크기가 $0.3 \mu\text{m}$ 일 때가 가장 낮은 효율을 나타내는 것이 증명되었기 때문에 필터 성능시험에서는 $0.3 \mu\text{m}$ 의 DOP 단분산(monodisperse)입자를 사용하며 이것을 MPPS(most penetrating particle size)법칙이라고도 한다.

(2) 고성능필터의 누설시험

고성능필터의 누설시험은 성능시험에 합격한 필터에 한해서 수행되며 필터팩크의 파손 및 결함뿐만 아니라 제작장소에서의 사용장소까지의 운반도중에 생기는 결함 또는 필터 교체시 작업자의 취급 잘못으로 인한 파손 그리고 제작 직후 성능시험시 나타나지 않았던 결함 등을 검사한다. 그러므로 누설시험은 실제 현장에서 사용하기 위한 종합적인 시험이라고 할 수 있으며 반드시 누설시험에 합격해야만 사용할 수 있다. 또한 이 시험은 필터 교체 후에만 시행하는 것이 아니라 사용 중에도 안전성을 입증시킬 수 있도록 정기적으로 시험한다.

시험 주기는 “Regulatory Guide 1.14”에 18 개월마다 시행하도록 명시되어 있다. 그리고 사용 중에도 필터에 영향을 끼치는 작업을 수행했을 경우에도 반드시 시험하도록 규정하도록 하고 있다.^[8~9] 이러한 규정은 필터를 사용함에 따라 노후화 효과(aging effect)가 얼마나 진행되었는가를 판단해준다. 필터의 성능은 제작한 후 성능검사에 합격하거나 또는 누설시험에 합격한 필터라도 제작자가 필터의 여재, 접착재, 가스켓등 필터의 구성품을 기준이하의 재료를 사용하거나 제작기술 부족으로 인하여 시험 당시에는 일시적 합격하여 사용할지라도 사용경과 기간이 지남에 따라 필터여재의 처짐현상 또는 접착부분의 크랙(crack)등이 발생하여 효율을 저하시킬 수 있다.

고성능필터의 누설시험을 실시하기 전에 반드시 풍량측정, DOP 시료 분포시험 등 여러 가지 선행조건을 만족시켜야만 누설시험을 실시할 수 있다.

풍량시험에는 필터뱅크에 흐르는 풍량이 기준풍량의 $\pm 10\%$ 이내에 들어야만 하고, DOP 시료분포시험은 누설시험을 수행하기 전에 필터뱅크에 시료를 분사시켰을 때 얼마나 잘 분포되는가를 시험하며 누설시험의 효율에 큰 영향을 끼친다.

누설시험에서 시료 주입구위치는 시험전 선행조건인 풍량시험과 DOP 시료 분포시험을 수행한 후에 DOP 시료가 잘 분포되도록 하기 위하여 시료 분사위치를 덕트 직경의 10배 거리로 한다. DOP시료 채취점은 상류측은 필터뱅크에서 상류 쪽으로 30 cm 떨어진 거리에 설치하며 하류측의 시료채취점은 하류측 덕트 직경의 3~5 배 거리에 시료 채취구를 둔다.^[10]

시험에 대한 방법 및 절차는 ANSI 510에 잘 기술되어 있으며 시험 수행자들은 제작자가 실시하는 성능시험의 DOP 시료와 혼동하여서는 안 된다. 필터 성능시험에서는 MPPS법칙에 의하여 $0.3 \mu\text{m}$ 의 단분산 입자를 사용하나 누설시험의 경우는 대기중 또는 사고시 발생할 수 있는 입자크기와 비슷한 다분산입자 (polydisperse particle)를 사용하며 크기는 MMD(mass median diameter of particle) $0.7 \mu\text{m}$ 의 입자를 사용한다.^[11]

(3) 시설의 필터 현황

조사후시험시설에는 시설 내부로 공급되는 공기를 여과시키는 전치필터 (pre-filter)와 중성능필터가 있으며 이 경우에는 배기측 고성능필터의 수명을 연장하기 위하여 별도의 전치필터를 설치하지 않아도 무방하다. 필터의 교체 및 비상시 예비필터를 확보하기 위한 이 시설에서 필터의 현황과 사양은 표 3.3.2.1에 전치필터와 중성능필터의 사양, 표 3.3.2.2에는 고성능필터의 현황, 그리고 표 3.3.2.3에는 고성능필터의 사양을 나타냈다.

(4) 필터의 차압

필터의 차압은 공기가 필터를 통과할 때 여재의 압력손실에 의해서 발생하며 성능시험할 때도 역시 중요한 요소로서 취급된다. 원자력시설에서 사용되는 필터의 차압은 기준풍량(3000 ~ 3400 CMH)에서 25 mmWg 이하가 되어야 하며, 이 조건이 선행되어야만 성능시험을 실시할 수 있다. 만약 기준풍량에서 필터 차압이 기준에 초과할 경우에는 압력손실에 의한 동력손실이 발생하여 비경제적일 뿐만 아니라 필터 여재에 무리한 압력을 받아 파손의 원인이 되기도 한다. 필터 차압은 설계 및 제작에서도 중요한 요소가 되지만 필터를 사용할 때도 안정성과 경제성 측면에서 중요한 인자이므로 운영자들은 정기적으로 차압을 측정

및 관리하여야 한다. 환기시스템 운영 중에 필터 차압을 측정 및 관리하는 목적은 필터의 수명을 판단하는데 중요한 인자로서 안전성에도 관련된다.

필터의 수명은 일반적으로 초기 압력의 2배 이상의 값에 도달하면 교체시기라고 판단할 수 있으며 정기적으로 차압을 측정해야만 필터의 수명을 알 수 있다. 그 이유는 필터 차압 변화의 추세를 살펴보면 초기에는 거의 변화가 없다가 어느 시점에 도달하면 차압이 증가하고 교체시기에서는 차압이 급격한 변화를 가져온다. 그러므로 차압의 급격한 변화점을 파악하기 위해서는 정기적으로 측정/관리해야 하며 차압이 초기압력보다 약 2/3배정도 증가한 시점에서는 측정주기를 더 단축하여 관리하여야 한다. 필터의 수명을 초기차압의 2배로 판단하는 근거는 경제성과 안전성에 관련된다. 고가인 고성능필터를 초기차압의 2배 이상에서도 계속 사용하면 더 경제적인 수도 있겠지만 차압이 증가함에 따라 필터에 공기의 유동저항이 커져서 공기동력이 많이 증가하므로 이것은 동력손실을 초래한다. 또한 차압이 증가함에 따라 필터여재에 저항이 증가하여 핀홀(pin hole)이 발생할 하거나 또는 파손의 위험성이 있다. 그러므로 운영자는 필터의 차압을 측정/관리하는데 있어서 안전성과 경제적인 측면에서 고려를 할 필요가 있으며, 원자력시설은 안전성 더 큰 비중을 두는 것도 바람직하다. 표 3.3.2.4는 조사후시험시설에 설치된 필터뱅크의 차압을 나타내었다.

Table 3.3.2.1 Specification of pre-filter and medium filter

구 분	전치 필터	중성능 필터
filter No.	1059 - 54	1015 - 12
dimension	610 x 610 x 50	610 x 610 x 400
weight		14 kg
material	glass fiber	glass fiber
frame	galvanized steel	galvanized steel
fire proof Temp.	200 °C	70 °C
Temp. (at inlet)	-10 ~ 32 °C	-10 ~ 32 °C
quantity	90 EA	50 EA

Table 3.3.2.2 List of high efficiency particulate air filter

번호	구 분	수 량	비 고
1	MUP	66	HEPA filter
2	DUP	12	"
3	hot-cell	14	"
4	FH	8	"
5	charcoal	9	charcoal filter
6	transfer	4	HEPA filter

Table 3.3.2.3 Specification of high efficiency particulate air filter

구 분		MUP	DUP	FH	DUP
type		HEPA filter (absolute)	HEPA filter (absolute)	HEPA filter (absolute)	charcoal (iodine)
filter No.		1506 - 26	1506 - 26	1506 - 26	3404 - 13
demension		610x610x292	610x610x292	610x610x292	610x200x130
stage		1	2	1	1
weight		25 kg	25 kg	25 kg	14 kg
material		glass fiber	glass fiber	glass fiber	active carbon
frame Mat..		STS	STS	STS	STS
fire proof temperature		110 °C	110 °C	110 °C	
flowrate		3,000 m ³ /h	3,000 m ³ /h	3,000 m ³ /h	150 m ³ /h
수량	normal	60개	6개	6개	9개
	stand-by	6개	6개	2개	
Temp. (at inlet)		16~31.5 °C	16~50 °C	18.5~26.5 °C	16~50 °C
efficiency		99.97% DOP	99.97% DOP	99.97% DOP	99.97% I ₁₃₁
케이싱 번호	normal	AF03~AF20 AF45~AF46	AF25	AF21~AF23	IF47(3개) IF48(6개)
	stand-by	AF01~AF02	AF26	AF24	
케이싱관련번호		5406 - 10	5406 - 35	5406 - 05	6331 - 06 6331 - 12

Table 3.3.2.3 Specification of high efficiency particulate air filter

구 분		9404~9407 transfer	9404~9407 exhaust	room 9301 ~9302	lead cell 9408~9409
type		HEPA filter (absolute)	HEPA filter (absolute)	HEPA filter (absolute)	HEPA filter (absolute)
filter No.		1505 - 12	3721 - 01	1505 - 43 (1855 - 44)	6900 - 02
demension		610x305x292	φ 245x380	610x305x292	624x88x63
stage		1	1	1	1
weight		15 kg	2 kg	12 kg	-
material		glass fiber	glass fiber	glass fiber	active carbon
frame Mat..		STS or Galva. steel	STS or Galva. steel	STS or Galva. steel	wood
fire proof temperature		110 °C	110 °C	80 °C	110 °C
flowrate		1,500 m ³ /h	300 m ³ /h	1,500 m ³ /h	280 m ³ /h
수량	normal	4개	14개	2개	4개
	stand-by	-	-	-	-
Temp. (at inlet)		16~23 °C	1550 °C	17.5~50 °C	-
efficiency		99.97% DOP	99.97% DOP	99.97% DOP	99.97% DOP
케이싱 번호	normal	AF27-9404 AF28-9407 AF29-9406 AF30-9405	AF33~34 9404 AF35~36 9407 AF37~38 9406 AF39~40 9405	-	-
	stand-by	-	-	-	-
케이싱관련번호		5410 - 01	6271 - 11 6271 - 12 6271 - 13	-	-

Table 3.3.2.4 Differential pressure of each filter bank in PIEF

location	type	casing No.	quantity (EA)	manometer(mmAq)			사용기간
				new	normal	replacement	
blowing room	primary	01~90	90	5	5		
	medium	01~50	50	12	12.5	25(35)	
MUP	HEPA filter	AF01	3	23	25	50(70)	
		AF02	3	23	25	50(70)	
		AF03	3	23	25	50(70)	
		AF04	3	23	25	50(70)	
		AF05	3	23	25	50(70)	
		AF06	3	23	25	50(70)	
		AF07	3	23	25	50(70)	
		AF08	3	23	25	50(70)	
		AF09	3	23	25	50(70)	
		AF10	3	23	25	50(70)	
		AF11	3	23	25	50(70)	
		AF12	3	23	25	50(70)	
		AF13	3	23	25	50(70)	
		AF14	3	23	25	50(70)	
		AF15	3	23	25	50(70)	
		AF16	3	23	25	50(70)	
		AF17	3	23	25	50(70)	
		AF18	3	23	25	50(70)	
		AF19	3	23	25	50(70)	
		AF20	3	23	25	50(70)	
F H	HEPA filter	AF45	3	23	25	50(70)	
		AF46	3	23	25	50(70)	
		HF43	1		16		
		HF44	1		16		
DUP	HEPA filter	AF21	3	23	25	50(70)	
		AF22	3	23	25	50(70)	
		AF23	3	23	25	50(70)	
		AF24	3	23	25	50(70)	
DUP	HEPA filter	AF25	U 3	23	25	50(70)	
			D 3	23	25	50(70)	
		AF26	U 3	23	25	50(70)	
			D 3	23	25	50(70)	

U : up, D : down

제 4 절 냉·난방 관련 장치

1. 냉·난방코일

냉·난방 코일은 공기의 냉각, 탈습 또는 가열용으로서 일반적으로 공기조화 계통에 널리 사용된다. 코일은 대형 공기조화기, 에어핸들링유닛(air handling unit; AHU), 팬코일 유니트(fan coil unit)에 사용되고 그 치수와 형상은 각각 조건에 따라 여러 가지 형식의 것이 쓰이고 있다 이것을 코일이라 약칭하기로 한다.

코일에는 일반적으로 외경 16 mm 정도의 동관 또는 강관의 외측에 동, 강, 또는 알루미늄제의 판을 붙인 구조로 되어 있으며 이것을 힌(fin)이라고 부르고 있다. 소형의 코일에서는 외경 9 ~ 13 mm 정도의 동관이 쓰인다.

코일의 관내에서는 물 또는 증기, 냉매 등의 열매를 통과시키고 외측에는 공기를 흐르게 하여 열교환을 시키고 있는데 열매측에 비해서 공기측의 열전달율이 매우 적으므로 관의 표면에 힌을 붙여 공기측의 전열면적을 증가시킴으로서 전열효과를 향상시키고 있다. 힌의 형상은 관의 외부에 얇은 리본 모양의 금속판을 일정한 간격으로 감아 붙인 것을 에로핀형(aero-finned type)이라 하며, 그 중 감아 붙인 힌이 주름진 것을 링클핀(wrinkle fin), 주름이 없는 평면상의 것을 스무드 힌(smooth fin)이라 한다. 또한 관에 장방형의 금속판을 일정한 간격으로 끼워 붙인 것을 플레이트 힌(plate fin)이라 한다.

2. 코일의 설계

냉·난방장치에 사용되는 코일을 교체하는 경우 전문가에게 의뢰하기 전에 운영자가 코일 설계에 대한 기본적인 지식을 습득하여 유지보수시 참고가 되도록 하기 위하여 설계에 대한 기초사항을 기술하였다.

(1) 냉수코일

냉수코일 설계시 코일내에 흐르는 순환수는 코일출입구에서 온도차가 5 ~ 10 °C가 되도록 선정하고, 입구의 온도는 출구 공기온도보다 2 ~ 3 °C 낮게 취한다. 관내의 수속은 1 m/s 내외가 되도록 하며 너무 수속이 늦으면 전열이 나빠지므로 이점을 잘 고려해야한다. 관내 수속을 구하는 식은 다음과 같다.

$$V_w = 0.1 \frac{L}{n} \text{-----}(42)$$

V_w : 관내 수속 [m/s]

L : 총 수량 [l/min]

n : 패스수

관은 공기의 흐름 방향에 38 ~ 42 mm 정도의 간격으로 배치되며, 이와 같이 배열된 관의 수를 열수라 하며 구하는 식은 다음과 같다.

$$N = \frac{q_s}{M \times K \times MTD \times FA} \text{-----(43)}$$

N : 코일의 열수

q_s : 코일의 감열부하 = 풍량 G [m^3/h] \times 0.29 \times ($t_1 - t_2$) [$kcal/h$]

K : 열통과율 [$kcal/m^2 h deg$]

M : 습윤면계수(열통과율 보정계수)

MTD : 대수평균온도차[deg]

FA : 코일의 전면면적 [m^2]

t_1, t_2 : 코일 입구 및 출구의 공기 건구온도

코일의 표면 온도보다 통과 공기의 노점온도가 높으면 공기중의 수분이 코일 표면에 결로한다. 이것을 습코일이라 하고 표면에 결로가 없는 것을 건조코일이라 한다.

코일의 정면풍속은 2 ~ 3 m/s로 선정하고 코일을 조립할 때는 될 수 있는 대로 그 정면에 정방형이 되도록 한다. 실제적으로는 코일면상의 공기류 및 관내의 수속이 균등하지 않게 되며 코일의 공작상의 불균형, 시간 경과에 따른 코일 표면의 더러움 등으로 열통과율값이 저하되는 것을 고려하여 코일열수를 계산치의 15~20% 가증한다.

2) 가열코일

일반적으로 가열코일의 열매로는 온수, 증기가 사용되며 열펌프방식에서는 냉매가 쓰이는 경우도 있다.

증기코일 설계시 관내 증기온도가 변화하지 않는 것으로 보고 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$N = \frac{q_s}{K \times a \times FA \times (t_s - \frac{t_1 + t_2}{2})} \text{-----(44)}$$

N : 코일의 열수

q_s : 코일의 감열부하 = 풍량 $G [m^3/h] \times 0.29 \times (t_1 - t_2) [kcal/h]$

K : 열통과율 [$kcal/m^2 h deg$]

FA : 코일의 전면면적 [m^2]

t_s : 관내의 증기 온도[$^{\circ}C$]

t_1, t_2 : 코일 입구 및 출구의 공기 건구온도

a : 표면적/전면적

코일 설계할 때 열매가 코일내부에서 잘 순환되도록 온수코일의 경우는 공기 배출밸브를 헤더 상부에 설치해야 하며 증기코일은 응축수를 잘 배출시키기 위하여 관에 1/50 ~ 1/100 정도의 구배를 주어야 한다.^[7]

3. 조사후시험시설의 코일 현황

조사후시험시설의 난방용 코일은 예열코일(pre-heating coil)과 재가열코일(re-heating coil)이 설치되어 있다. 예열코일은 외부에서 흡입되는 공기를 1차적으로 가열하며 이 가열된 공기는 재가열코일에서 각 지역의 환기횟수, 부압, 온도 등 특성에 따라 그 구역의 기준에 적합하도록 가열된다. 각 구역의 온도 조절은 구역에 설치된 실험기기 및 장비의 작업 특성에 따라 제한되며 재가열 코일의 콘트를 밸브에 의해서 조절된다. 원자력시설은 공기의 오염도를 희석시키기 위하여 각 구역마다 공기량이 다르다. 각구역에 공급되는 공기량은 6,000 구역의 경우 3회, 7,000 구역은 4회, 8,000구역은 5회, 9,000 구역은 12회 이상의 환기횟수를 갖는다. 이와 같이 각 구역마다 환기횟수가 다를 경우 공기공급량이 많은 구역은 실내의 온도가 매우 높게 된다. 이런 경우 실내의 적정 온도조절이 어려우므로 기본적인 공급열은 예열코일에서 공급하고 각 구역마다 요구되는 열량은 재가열코일에서 공급하게 된다.

냉각코일은 재가열코일 뒤에 설치되어 있으며 하절기에 시설내의 온도조절과 실내 감습 역할을 하게된다. 냉각코일은 가열코일처럼 1차적으로 가열하는 코일이 없고 재가열코일과 같이 기능을 하는 냉각코일이 설치되었 있으며 실내의 온도조절은 재가열 코일과 마찬가지로 콘트를 밸브에 의해서 조절된다.

조사후시험시설의 코일의 현황은 예열코일(preheating coil) 1 set, 재가열코일(reheating coil) 7 set 및 냉각 코일 6 set 등이 있으며 표 3.4.3.1에 나타냈다. 그리고 코일의 가열 및 냉각용량, 통과 공기량 등을 파악하거나 교체에 필요한 사양 또는 설계기준을 알 수 있도록 표 3.4.3.2에 나타냈다.

Table 3.4.3.1 List of cooling and heating coil in PIEF

순서	구분(번호)	용량(kcal/h)	규격(LxWxH, m)	비고
1	PH 01	2,588,060	2.2 x 0.16 x 1.364 1.5 x 0.16 x 1.364	6 set 3 set (heating coil)
2	RH03(#04)	233,848	2.4 x 0.12 x 1.139	2 set (heating coil)
3	RH05(#01)	270,633	2.4 x 0.12 x 0.989	2 set (heating coil)
4	RH07(#02)	331,267	1.4 x 0.12 x 1.364	3 set (heating coil)
5	RH09(#05)	56,192	1.0 x 0.12 x 0.989	1 set (heating coil)
6	RH11(#03)	43,204	1.0 x 0.12 x 0.989	1 set (heating coil)
7	RH13(#06)	50,355	1.0 x 0.12 x 0.989	1 set (heating coil)
8	RH15(#07)	12,562	0.914 x 0.12 x 0.9	1 set (heating coil)
9	C 02(#4)	654,500	2.4 x 0.28 x 1.139	2 set (cooling coil)
10	C 04(#1)	568,091	2.4 x 0.28 x 0.989	2 set (cooling coil)
11	C 06(#2)	695,369	1.4 x 0.28 x 1.364	3 set (cooling coil)
12	C 08(#5)	54,165	1.0 x 0.23 x 0.989	1 set (cooling coil)
13	C 10(#3)	120,920	1.0 x 0.23 x 0.989	1 set (cooling coil)
14	C 12(#6)	55,820	1.0 x 0.23 x 0.989	1 set (cooling coil)

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Pre-heating coil : 015 PH 01	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	5,108
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	194,799
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.25
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	-10
air humidity inlet %	50
air humidity outlet %	27.2

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	4
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	2,588,060
shell size	
theoretical surface area required m ²	24.3
dimension L x W x H (m)	
2.2 x 0.16 x 1.364(6 set), 1.5 x 0.16 x 1.364(3 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x2,200x1,500
number of tube per bank	36 pass
number of banks	2 row
flange size and type	3" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 RH05(1)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	534
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid mane	air
operating floerate m ³ /h	49,499
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	3.00
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	10
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	27

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	33
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	270,633
shell size	
theoretical surface area required m ²	4.6
dimension L x W x H (m)	
1.4 x 0.12 x 0.989(2 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x2,400 (mm)
number of tube per bank	26 pass
number of banks	1 row
flange size and type	2" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 PH07 (2)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	643
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating flowrate m ³ /h	60,589
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.99
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	11
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	27

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	33
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	331,267
shell size	
theoretical surface area required m ²	5.63
dimension L x W x H (m)	
1.4 x 0.12 x 1.364(3 set)	
material	carbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x1,400
number of tube per bank	36 pass
number of banks	1 row
flange size and type	1 1/2" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminum
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thickness (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 PH 11 (3)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	85
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	10,536
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.93
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	11
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	23

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	42
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	43,204
shell size	
theoretical surface area required m ²	1
dimension L x W x H (m)	
1.0 x 0.12 x 0.989(1 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x1,000
number of tube per bank	26 pass
number of banks	1 row
flange size and type	1½" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 RH03 (4)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	462
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	57,028
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.98
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	11
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	23

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	42
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	233,848
shell size	
theoretical surface area required m ²	5.29
dimension L x W x H (m)	
2.4 x 0.12 x 1.139 (2 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x2,400
number of tube per bank	30 pass
number of banks	1 row
flange size and type	2" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 RH 03 (5)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	111
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	8,937
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.48
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	11
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	30

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	27
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	56,129
shell size	
theoretical surface area required m ²	1
dimension L x W x H (m)	
1.0 x 0.12 x 0.989(1 set)	
material	carbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x1,000
number of tube per bank	26 pass
number of banks	1 row
flange size and type	1 1/2" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminum
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thickness (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 RH 13 (6)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	99
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	9,210
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.56
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	11
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	27

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	33
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	50,355
shell size	
theoretical surface area required m ²	1
dimension L x W x H (m)	
1.0 x 0.12 x 0.989(1 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x1,000
number of tube per bank	26 pass
number of banks	1 row
flange size and type	1½" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Re-heating coil : 015 RH 15 (7)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	steam
flowrate	25
mass density kg/m ³	1.62
press maximum operating bar EFF>	3.5
press maximum design bar. EFF.	3.5
temperature maximum operating °C	147.2
temperature maximum design °C	147.2
temperature inlet °C	-
temperature outlet °C	-
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	5.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating flowrate m ³ /h	7,956
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.73
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	11
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	27.5

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	47
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	12,562
shell size	
theoretical surface area required m ²	0.81
dimension L x W x H (m)	
0.914 x 0.12 x 0.900(1 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 914
number of tube per bank	24 pass
number of banks	1 row
flange size and type	1" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Cooling coil : 015 C 04 (1)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	chilled water
flowrate	114
mass density kg/m ³	1,000
press maximum operating bar EFF>	1.5
press maximum design bar. EFF.	1.5
temperature maximum operating °C	-
temperature maximum design °C	-
temperature inlet °C	5
temperature outlet °C	10
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	2.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid mane	air
operating floerate m ³ /h	49,499
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	3.0
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	28
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	17.5

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	90
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	568,091
shell size	
theoretical surface area required m ²	4.6
dimension L x W x H (m)	
2.4 x 0.28 x 0.989(2 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 2,400
number of tube per bank	26 pass
number of banks	6 row
flange size and type	4" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Cooling coil : 015 C 06 (2)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	chilled water
flowrate	139
mass density kg/m ³	1,000
press maximum operating bar EFF>	1.5
press maximum design bar. EFF.	1.5
temperature maximum operating °C	-
temperature maximum design °C	-
temperature inlet °C	5
temperature outlet °C	10
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	2.5
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	60,589
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.99
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	28
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	17.5

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	90
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	495,369
shell size	
theoretical surface area required m ²	5.63
dimension L x W x H (m)	
1.4 x 0.28 x 1.364(2 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 1,400
number of tube per bank	36 pass
number of banks	6 row
flange size and type	4" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Cooling coil : 015 C 10 (3)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	chilled water
flowrate	24
mass density kg/m ³	1,000
press maximum operating bar EFF>	1.5
press maximum design bar. EFF.	1.5
temperature maximum operating °C	-
temperature maximum design °C	-
temperature inlet °C	5
temperature outlet °C	10
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	2.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating flowrate m ³ /h	10,536
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.93
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	28
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	17.5

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	90
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	120,920
shell size	
theoretical surface area required m ²	1
dimension L x W x H (m)	
1.0 x 0.28 x 0.989(1 set)	
material	carbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 1,400
number of tube per bank	26 pass
number of banks	6 row
flange size and type	3" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminum
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thickness (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Cooling coil : 015 C 02 (4)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	chilled water
flowrate	131
mass density kg/m ³	1,000
press maximum operating bar EFF>	1.5
press maximum design bar. EFF.	1.5
temperature maximum operating °C	-
temperature maximum design °C	-
temperature inlet °C	5
temperature outlet °C	10
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	2.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	57,028
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.98
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	28
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	17.5

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	90
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	654,500
shell size	
theoretical surface area required m ²	5.29
dimension L x W x H (m)	
2.4 x 0.28 x 1.139(2 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 2,400
number of tube per bank	30 pass
number of banks	6 row
flange size and type	4" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Cooling coil : 015 C 08 (5)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	chilled water
flowrate	11
mass density kg/m ³	1,000
press maximum operating bar EFF>	1.5
press maximum design bar. EFF.	1.5
temperature maximum operating °C	-
temperature maximum design °C	-
temperature inlet °C	5
temperature outlet °C	10
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	2.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating floerate m ³ /h	8,937
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.48
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	28
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	23

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	90
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	541,165
shell size	
theoretical surface area required m ²	1
dimension L x W x H (m)	
2.4 x 0.28 x 0.989(2 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 1,000
number of tube per bank	26 pass
number of banks	6 row
flange size and type	2" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

Cooling coil : 015 C 12 (6)	
primary fluid for fluid operation conditions	
fluid name	chilled water
flowrate	11
mass density kg/m ³	1,000
press maximum operating bar EFF>	1.5
press maximum design bar. EFF.	1.5
temperature maximum operating °C	-
temperature maximum design °C	-
temperature inlet °C	5
temperature outlet °C	10
press drop maximum admissible bar, EFF	1
test pressure bar, EFF	2.25
secondary fluid for fluid operating conditions	
fluid name	air
operating flowrate m ³ /h	9,210
superficial VE. for the operating flowrate m ³ /h	2.56
mass density kg/m ³	1.2
air temperature inlet °C	28
air humidity inlet %	90
air humidity outlet %	23

Table 3.4.3.2 Specification of cooling and heating coil in PIEF

air humidity outlet %	90
press drop maximum admissible mm Wg	8
theoretical heat exchanged kcal/h	55,820
shell size	
theoretical surface area required m ²	1
dimension L x W x H (m)	
1.0 x 0.28 x 0.989(1 set)	
material	carrbon steel
tubes	
material	copper
diameter x length (mm)	5/8"x 1,000
number of tube per bank	26 pass
number of banks	6 row
flange size and type	2" side inlet
pitch	
fins	
material	aluminuim
spacing of fins (mm)	3.5
fin size x thicknesss (mm)	0.2 t
connection fin to tubes	
remarks	
The indicated values of temperature and hygrometry are those necessary for the blowing in the and not at the outlet of the coil	

제 5 절 결 과

1. 송·배풍기의 풍량측정

원자력시설의 환기장치는 시설 내부에 가열 및 냉각공기의 공급을 위한 송풍기가 설치되어 있으며, 시설 외부로의 배기를 위한 배풍기가 설치되어있다.

조사후시험시설에서는 송·배풍기의 성능을 확인하기 위해 매년 정기적으로 풍량을 측정하고 있다. 그 밖에도 송풍기의 고장으로 인하여 장치의 성능에 영향을 미치는 유지보수를 실시하였을 때 풍량을 측정하고 있다.

풍량측정절차는 조사후시험시설의 풍량측정절차서, KSB0062 코드, ANSI 510 및 공기조화설비 T.A.B. 기술기준에 준하여 수행되고 있다.^[12] 풍량 측정결과가 설계 기준치를 초과 또는 미달되는 경우 풍량을 조절하거나 수리하여 사용하고 있으며 풍량측정 결과는 표 3.5.1.1과 같다.

Table 3.5.1.1 Results of flow-rate measurement for blower and exhaust fan

구분	번호	설계값 (CMH)	측정값 (CMH)	오차(%)	비고
송풍기	BF01	97,900	99,348	+1.5	
	BF02	97,900	97,796	-0.1	
배풍기	EF09	31,000	31,220	+0.7	
	EF10	31,000	32,902	+6.0	
	EF11	31,000	29,139	-6.0	
	EF12	31,000	32,986	+6.4	
	EF13	31,000	28,130	-9.2	
	EF14	31,000	33,428	+7.8	
	EF15	9,500	9,108	-4.1	
	EF16	9,500	9,161	-3.5	
	EF17	18,000	18,476	+2.6	
	EF18	18,000	18,804	+4.5	
판정 기준		설계값의 ±10% 이내			

2. 각 구역의 차압

원자력시설은 방사선작업 정도에 따라 오염확산을 방지하기 위하여 구역을 나누어 관리하고 있다.

조사후시험시설에서는 6,000 구역, 7,000 구역, 8,000 구역 및 9,000 구역으로 나누어 오염도가 높은 구역의 공기가 낮은 구역으로 역류되지 않도록 측정 및 관리하고 있다. 측정방법은 마노미터에 의한 방법, 차압계에 의한 측정법과 절대대기압계에 의한 측정 방법이 있다. 조사후시험시설에서의 측정방법은 경사 마노미터와 절대압계를 사용하며, 측정결과는 표 3.5.2.1과 같다.

Table 3.5.1.2 Results of differential pressure measurement at each room

구분	명 칭	기준값 (mm Aq)	측정값 (mm Aq)	합부판정(비고)
7201	Working area	-3 ~ -5	- 4.3	적 합
7202	Utilities	"	- 3.4	"
7206	Air-lock	"	- 4.6	"
7402A	Working Area(Hot-Cell)	"	- 4	"
7402B	Working Area(Hot-Cell)	"	- 4.5	"
7428	Check Room	"	- 4.5	"
7429	Hot Laboratory	"	- 3.1	"
7433	Corridor	"	- 5.0	"
8201	Intervention Area	-6~-8	- 6.5	"
8202	Air-lock	"	- 6.5	"
8204	Intervention Area	"	- 6.0	"
8208	Air-lock	"	- 6.0	"
8301	Intervention Area	"	- 6.2	"
8302	Ventilation Area	"	- 6.6	"
8303	Working Area	"	- 7.0	"
8401	Intervention Area	"	- 7.0	"
8402	pool	"	- 6.5	"
9201	Filter Cell	-15 이상	- 18	"
9202	2m ³ Receiving Vessle Cell	"	- 21	"
9203	Hot Exchange Cell	"	- 18	"
9204	Filter Cell	"	- 18	"
9205	Cation Ion Exchange Cell	"	- 26	"
9206	Anionic Ion Exchange Cell	"	- 24	"
9404	Hot Cell No.1	"	- 26	"
9405	Hot Cell No.2	"	- 29	"
9406	Hot Cell No.3	"	- 26	"
9407	Hot Cell No.4	"	- 34	"
9408	Hot Cell No.5	"	- 19	"
9409	Hot Cell No.6	"	- 19	"

3. 고성능필터의 누설시험

조사후시험시설에서 고성능필터의 누설시험 목적은 방사성공기정화장치의 안전성을 확인하고 필터의 누설율이 기준값에 만족하는가를 판정하는데 있다.

고성능필터의 누설시험은 필터를 교체하거나 시험 후 18개월 이내(regulatory guide 1.14)에 수행하며, 관련계통의 필터의 성능에 영향을 끼치는 도색작업을 수행하였을 때 실시한다. 이 시험 근거에 의해서 조사후시험시설에서는 누설시험을 수행하였다. 시험결과는 약 18개월 전에 수행하였던 시험결과와 같이 기준치에 모두 만족하였으나, 필터뱅크 AF23은 기준치에 약간 상위하는 결과로 나타났다. 그러나 시설의 안전성을 강화시키기 위하여 새로운 필터로 교체를 수행하여 만족한 시험값을 얻었으며, 실험결과는 표 3.5.3.1과 같다.

Table 3.5.1.3 Results of in-place leak testing for HEPA filter in PIEF

구분	필터뱅크번호	필터 차압 (mmWg)	상류측 농도 (100 range)	하류측 농도 (0.01 range)	효율(%)	비고
MUP	AF01	18	50	5	99.9990	stand-by
	AF02	15	53	4	99.9993	stand-by
	AF03	18	60	5	99.9992	
	AF04	15	53	13	99.9976	
	AF05	18	53	16	99.9970	
	AF06	19	55	28	99.9950	
	AF07	20	56	13	99.9977	
	AF08	20	57	6	99.9990	
	AF09	22	48	43	99.9911	
	AF10	23	67	48	99.9860	
	AF11	15	80	17	99.9979	
	AF12	15	59	40	99.9852	
	AF13	17	56	4	99.9993	
	AF14	15	52	10	99.9981	
	AF15	21	54	4	99.9993	
	AF16	23	64	15	99.9977	
	AF17	17	48	13	99.9973	
	AF18	17	55	6	99.9990	
	AF19	17	58	3	99.9950	
	AF20	15	62	13	99.9980	
FH	AF21	20	48	3	99.9994	
	AF22	18	58	14	99.9976	
	AF23	14	54	2	99.9996	
	AF24	23	63	45	99.9860	stand-by
DUP	AF25	23/15	52	3	99.9995	
	AF26	23/15	62	4	99.9994	stand-by

제 4 장 연구결과의 활용계획

원자력시설에서 공기정화시스템의 운영은 각 시설별로 작성된 운전지침서, 정기점검 절차서 유지보수절차 등 각 시스템에 알맞은 여러 가지의 절차서에 의해서 운영 및 관리되고 있다. 그러나 담당자들의 절차서만 의존하여 운영하기에는 장치의 이론, 구조, 사양 등 관련 지식이 부족하다. 그러므로 조사후시험시설에서는 공기정화시스템의 유지보수에 관련 사항들을 기술보고서에 작성하여 운영자들에게 도움이 되게 하였다.

이 기술보고서에서는 각 시스템에 대한 기본적인 이론, 고장 원인 및 대책 각 시스템에 일어나는 현상을 기술하여 이 분야에 전공한 사람이 아니더라도 기본적인 이론을 습득하여 시스템이 고장났을 때 전문가 또는 수리업자에게 의뢰하기 전에 담당자가 그 즉시 고장원인을 파악할 수 있게 하여 사전에 대책을 세울 수 있도록 작성하였다. 특히 공기조화시스템(HVAC)에 관련된 송풍기, 펌프, 냉·난방코일뿐만 아니라 방사성공기정화시스템(NATS)의 중요한 운영사항인 각 구역의 부압 및 환기횟수, 고성능필터의 시험 등을 기술하여 원자력시설의 최우선 목적인 시설의 안전성에 큰 비중을 두었다.

이 보고서는 조사후시험시설의 시스템에 중점을 두어 작성을 했지만 이 시설과 유사시설인 하나로, 조사재시험시설, 방사성폐기물처리시설 등 원자력관련 시설을 운영 관리하는데 있어서 시스템의 이론, 고장원인과 대책, 시험방법등은 공통사항이므로 각 시설의 방사성공기정화시스템을 효율적으로 운영 관리하는데 기본자료로서 도움이 될 것이다.

제 5 장 참고문헌

- [1] 김은가 외, “조사후시험시설운영”, KAERI/MR-198-91, 한국원자력연구소, 1991.
- [2] Firt, M.W.(ed), “Efficiency test for ultra high efficiency metal air filters”, Proceeding of the 22nd DOE/NRC nuclear air cleaning conference, 1993.
- [3] 김영득, 김성구, 최상호 편저, “유체기계” 청문각 1995년
- [5] 조사후시험시설운영 절차서, “공기조화계통 유지보수절차서” 1991.
- [6] 조사후시험시설 운전지침서, 1999.
- [7] Baber, J.D., Gilles, D.A., “Emery 3004 as a challenge aerosol for HEPA filter testing”, WHC-SA-2344 Westinghouse hanford co., 1994
- [8] 김교두, “표준공기조화”, 금람출판사, 1982.
- [9] Burchsted, C.A., Kahn, J.E., Fuller, A.B., “Nuclear air cleaning hand book(Design, construction, and testing of high efficiency air cleaning systems for nuclear application)”, Energy research and development administration, 1969.
- [10] Regulatory guide 1.140, “Design, testing and maintenance criteria for normal ventilation exhaust system air filtration and adsorption units of light-water-cooled nuclear power plant”, US nuclear regulatory commission, 1979
- [10] NUCON F-1000 system operation manuals, Nuclear consulting servies, inc., 1982.
- [11] ANSI/ASME N510, “Testing of nuclear air cleaning systems” The american society of mechanical engineers, 1980.
- [12] 김효경 외, “공기조화설비의 T.A.B. 기술기준” 공기조화냉동학회, 1988.

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-000/2001					
제목 / 부제	원자력시설 공기정화시스템의 운영기술				
연구책임자 및 부서명	전 용 범(조사후시험시설운영분야)				
연구자 및 부서명	이형권 (조사후시험시설운영) 전용범 (조사후시험시설운영) 민덕기 (조사후시험시설운영) 박광준 (SF특성계량화기술개발분야) 양송열 (조사후시험시설운영) 황용화 (조사후시험시설운영) 업성호 (조사후시험시설운영)				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2001. 9
페이지		도 표	유(○), 무()	크기	29.7 cm
참고사항					
비밀여부	공개(○), 대외비(), ___급비밀		보고서종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약번호		
초록(15-20줄)	<p>원자력시설내에서 근무하는 작업종사자를 방사능 오염으로부터 보호하고, 주변환경을 깨끗하게 유지하기 위하여 공기정화시스템에 대한 효율적인 운영기술이 검토되었다. 공기정화시스템을 구성하고 있는 환기장치, 여과장치 및 냉난방장치에 대한 각각의 특성을 파악하였다. 환기장치에서는 송·배풍기의 풍량측정, 여과장치에서는 고성능필터의 누설시험 그리고 각 구역간의 압력차를 측정하였으며, 이러한 측정결과는 공기정화시스템운영에 반영되었다. 또한 각 장치의 비정상 작동상태시, 유지보수방법, 장치의 성능시험방법 등을 공기정화시스템의 운영에 효율적으로 활용되었다. 이러한 측정결과와 경험으로 축적된 기술은 조사후시험시설 뿐만 아니라 다른 원자력시설의 공기정화시스템 운영에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다.</p>				
주제명(10단어 내외)					
	송·배풍기, 고성능필터, 누설시험, 공기정화시스템, 냉난방코일.				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code		
KAERI/TR-000/2001					
Title/Subtitle	Operation technology of air treatment system in nuclear facilities.				
Project Manager and Department	Y.B. Chun(Department of post-irradiation examination facility)				
Researcher and Dep.	H.K. Lee (Department of post-irradiation examination facility) Y.B. Chun (Department of post-irradiation examination facility) D.K. Min (Department of post-irradiation examination facility) K.J. Park (Department of advanced spent fuel examination technology) S.Y. Yang (Department of post-irradiation examination facility) Y.H. Hwong (Department of post-irradiation examination facility) S.H. Uom (Department of post-irradiation examination facility)				
Pub. Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Pub. Date	2001. 9
Page		Fig. and Tab	Yes(o), No()	Size	29.7 cm
Note					
Classified	Open(o), Restricted(),	___ Class	Report Type	Technical Report	
Sponsoring Org.		Contract No.			
Abstract(15-20 lines)	<p>Effective operation techniques were reviewed on the air treatment system to protect the personnel in nuclear facilities from the contamination of radioactive particles and to keep the environment clear. Nuclear air treatment system consisted of the ventilation and filtering system was characterized by some test. Measurement of air velocity of blowing/exhaust fan in the ventilation system, leak tests of HEPA filters in the filtering, and measurement of pressure difference between the areas defined by radiation level were conducted. The results acquired from the measurements were reflected directly for the operation of air treatment. In the abnormal state of virus parts of devices composed of the system, the repairing method, maintenance and performance test were also employed in operating effectively the air treatment system. These measuring results and techniques can be available to the operation of air treatment system of PIEF as well as the other nuclear facilities in KAERI.</p>				
Subject Key Words(About 10 Words)	Blower, Exhaust fan, HEPA filter, Leak test, Nuclear air treatment system, heating and cooling coil.				