

하나로 2차 냉각수의 취출수 최소화 관리 Minimizing Secondary Coolant Blowdown in HANARO

박 용철, 우 종섭, 류 정수, 조 영갑,

한국원자력연구소
대전광역시 덕진동 150번지

임 낙영

한수상사
대전광역시 중구 중촌동 10-3

요 약

30 MW 연구용 원자로인 하나로가 운전되는 동안 약 $80 m^3/h$ 의 2차 냉각수가 증발, 비산 및 취출 등에 의해 손실된다. 증발 및 비산은 2차 냉각탑 성능을 유지하기 위한 필요한 손실이지만 취출은 2차 냉각수의 이물질 제거를 위하여 수질을 관리하기 위한 인위적인 손실이다. 그래서 취출 손실을 최소화하는 방안을 연구하였다. 하나의 경우 농축배수와 냉각수 손실관계를 이용하여 농축배수가 취출하지 않아도 비산 손실에 의해 12에 수렴함을 확인하였다. 그러나 취출없이 농축도 12로 관리하기 위해 고경도 (농축도 > 10) 수질관리 프로그램을 적용하는 경우 탁도가 기준값을 상회하였다. 순환수의 탁도를 조절하기 위해 여과장치를 추가하므로써 탁도와 순환수 여과율의 관계에 의해 취출없이 순환수의 2 %를 여과하면 탁도가 기준값 (5 도) 이하로 관리될 수 있음을 확인하였다. 그리고 냉각수 손실을 최소화하기 위해 역세수 여과장치를 추가하면 이물질의 95 %를 제거할 수 있으므로 역세수를 재 사용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 하나로 2차 냉각수는 고경도 프로그램으로 관리하고, 여과장치를 추가하면 취출 수량을 최소화할 수 있다.

Abstract

There is about $80 m^3/h$ loss of the secondary cooling water by evaporation, windage and blowdown during the operation of HANARO, 30 MW research reactor. The evaporation and the windage is necessary loss to maintain the performance of cooling tower, but the blowdown is artificial lose to get rid of the foreign material and to maintain the quality of the secondary cooling water. Therefore, minimizing the blowdown loss was studied. It was confirmed, through the relation of the number of cycle and the loss rate of secondary coolant, that the number of cycle is saturated to 12 without blowdown because of the windage loss. When the secondary coolant is treated by high Ca-hardness treatment program (the number of cycle > 10) to maintain the number of cycle around 12 without blowdown, only the turbidity exceeds the limit. By adding filtering system it was confirmed, through the relation of turbidity and filtering rate of secondary cooling water, that the turbidity is reduced below the limit (5 deg.) by 2 % of filtering rate without blowdown. And it was verified, through the performance test of back-flow filtering unit, that this unit gets rid of foreign material up to 95 % of the back-flow and that the water can be reused as coolant. Therefore, the secondary cooling water can be treated by the high Ca-hardness program and filter system without blowdown.

1.0 개요

하나로⁽¹⁾에서 발생하는 열은 열교환기를 통하여 2차 냉각수에 전달되며 흡수된 열은 냉각탑에서 외기로 냉각된다. 열전달 매체로 사용되는 2차 냉각수는 온도변화와 함유된 이물질에 의하여 부식, 스케일, 슬라임 및 슬러지의 장애를 일으킨다. 부식은 계통의 수명을 단축시키고, 스케일은 냉각수 중에 용존해 있는 난용성 염이 농축되어 전열면에 석출되어 열전달 효율을 저하시키고, 슬라임 및 슬러지는 계통 내에서 열전달 효율을 저하시킬 뿐만 아니라 부착물 하부에서 국부 부식이 성장하여 부식을 유발한다. 이러한 장애를 억제하기 위해 수처리 약품을 주입하고 계통내의 이물질을 제거하기 위해 취출 (blowdown)하므로써 약품 처리된 냉각수가 손실된다. 취출 손실 외에도 증발 (evaporation) 손실은 대기와의 열전달에 의해 발생되고, 비산 (windage) 손실은 열전달을 향상시키기 위해 작은 물방울로 분산시켰을 때 강제 통풍에 의해 생기는 것으로 냉각탑 성능 유지를 위해 발생한다. 그러나 취출 손실은 수질관리 방법을 변경하면 줄일 수 있다. 그래서 최소화할 수 있는 방안을 연구하여 취출 없이 고농축도를 유지하는 방안을 제시하였으며 모의 실험을 통하여 하나로 2차 냉각수는 고경도 수질관리 프로그램으로 관리할 수 있음을 확인하였다.

2.0 이론적 고찰

2.1 수질관리 방안

개방 순환식 냉각계통에 있어서 탄소강의 부식속도는 50~150 *mmd* 정도이며 방식제를 사용하면 평균 부식속도를 10 *mmd* 이하로 관리할 수 있어 수명을 평균 10배정도 연장할 수 있다. 방식제 효과는 pH, 칼슘 경도, 염류 등의 수질 인자나 수온, 유속 등의 설비 조건에 따라 다르고 보급수의 수질상태, 냉각수의 수급상태, 시설물의 운전상태에 따라 다르기 때문에 순환수의 수질을 예상하여 표 1과 같이 냉각수 처리방법을 선정하여 수질을 관리한다⁽²⁾.

수중에 용존되어 있는 이온은 비 부식성 이온 및 부식성 이온으로 분류된다. 전형적인 비 부식성 이온은 칼슘, 마그네슘, 중탄산이온, 탄산이온, 실리카 이온 등이며 이들은 포화수 조건에서 금속 표면에 탄산칼슘, 마그네슘, 실리케이트로 구성된 보호피막을 형성하여 금속을 부식으로부터 보호하고, 고농도의 중탄산이온, 탄산이온, 실리카이온은 용존산소가 존재하면 양극부 만을 변화시켜 금속을 부동태화 되기 쉽게 하여 치밀한 산화피막으로 부식을 억제한다. 반면에, 염소, 황산 등의 부식성 이온은 비 부식성 이온 및 방식제에 의하여 형성된 방식피막을 파괴하고, 탄산칼슘 등이 포화되어 스케일 장애를 일으킨다. 이러한 장애를 방지하기 위해 가장 많이 사용하고 있는 인산처리 방식 (저경도 처리, Phosphate based treatment)은 순환수의 용존 이온농도를 불포화 조건에 있도록 저농축으로 운전을 하고 이물질을 강제로 취출하는 방법과 순환수에 산을 주입하여 탄산칼슘 등의 포화조건을 파괴하여 불포화 조건을 유지하는 방법이 있다. 아래 식에서와 같이 산을 주입하면 비 부식성 이온인 중탄산이온과 탄산이온을 부식성인 황산으로 변화시키기 때문에 물의 부식성이 증가하지만 스케일 방지기능을 가지게 되므로 방식제를 더 많이 투입하여 부식과 스케일 발생을 억제한다.



한편, 중경도 처리나 고경도 처리에서 냉각수의 비 부식성 이온을 과포화 상태까지 농축시키면

냉각수는 비 부식성이 되지만 스케일 발생이 활발해 지므로 스케일 방지제를 사용하여야 한다. 그러므로 중경도 처리나 고경도 처리는 스케일 장애를 조절할 수 있는 범위까지 냉각수의 농축도를 증가시킬 수 있기 때문에 수중의 비 부식성 이온과 방지제의 상호 작용에 의하여 안정된 부식 방지효과를 가진다. 따라서 수질관리 방식을 변경하면 취출 수량의 감소로 냉각수와 약품 사용량을 감소시켜 유지비용을 절감할 수 있다.

Table 1 Limit of Water Quality Program

Program	Low Hardness	Medium Hardness	High Hardness
Treatment	Phosphate treatment	Semi-alkaline treatment	Alkaline treatment
Out temp. of H-exchanger, °C	50 ≥	50 ≥	60 ≥
Flow velocity, m/sec	0.3 ≤		
Ca-Hardness, ppm as CaCO ₃	30 - 100	50 - 200	100 - 400
pH at 25°C	7.0 - 8.0	7.0 - 8.5	8.0 - 9.0
S _i O ₂ , ppm	130 ≥	130 ≥	200 ≥
Conductivity, μS/cm	2000 ≥	3000 ≥	4000 ≥
Turbidity, degree.	20 ≥		
Heat load, kcal/m ² h	10000 ≥	40000 ≥	50000 ≥
Retention time, h	100 ≥	150 ≥	300 - 400

2.2 Blowdown

하나로의 2차 냉각수계통의 냉각탑 입출구 온도는 각각 40 °C와 32 °C로서 냉각 범위는 8 °C이다. 원자로의 열출력 30 MW 를 냉각하기 위하여 냉각탑의 열출력은 33 MW 로 정하였고, 3600 m³/h의 냉각수가 순환된다. 냉각탑은 유인 통풍 항류방식 (induced draft counter flow type)으로 냉각수가 냉각탑 상부에서 하부로 떨어지면서 분산되어 더 작은 물방울이 되고, 상부에 설치된 냉각팬이 외기를 하부 측면에서 흡입하여 상부로 배출시키므로 냉각수에 함유한 열이 공기와 교차하면서 열전달된다. 이 과정에서 그림 1과 같이 증발 (E)과 비산 (W)이 발생하고 수질관리를 위해 취출 손실 (B)이 발생하며 손실된 냉각수를 보충 (M)하므로 식 (1)과 같이 평형 방정식을 세울 수 있다.

$$M = E + B + W \quad (1)$$

증발과 비산 손실은 온도차와 냉각탑의 성능에 따라 거의 일정하게 유지되지만 취출은 수질관리 방법에 따라 배출량이 변하므로 보충 수량은 취출 수량에 따라 정해진다. 하나로 2차 냉각수의 손실은 약 80 m³/h이며 이 중에서 증발, 비산 및 취출에 의한 손실은 각각 75, 18과 7 %이므로 취출 손실은 약 14 m³/h이다⁽³⁾.

2.3 농축도

냉각수 내에 녹아 있는 이물질의 농도 (C_R)와 증수되는 물에 녹아 있는 이물질의 농도 (C_M)의 비를 농축도 (number of concentration 혹은 number of cycles, N)라 정의⁽⁴⁾하며 식 (2)과 같이 표시한다.

$$N = \frac{C_R}{C_M} \quad (2)$$

온도변화가 없는 정상운전조건 (steady state conditions)하에서는 이물질은 증발 손실이 없어 농축되지 않으므로 식 (3)과 같이 증수로 유입된 용존 이물질의 양은 취출 및 비산에 의해 배출되는 용존 이물질의 양과 동일하다.

$$C_M \times M = C_R \times (B + W) \quad (3)$$

식 (3)에 식 (1)과 식 (2)를 대입하여 정리하면 농축도는 식 (4)와 같이 표시된다.

$$N = \frac{E + B + W}{B + W} \quad (4)$$

식 (4)에서 농축도는 증발 손실에 의한 차이만큼 증가한다. 증발할 때에는 물만 증발하고 이물질은 계 내에 남지만 취출과 비산 손실은 물과 이물질이 동시에 손실되므로 이 합을 총 취출 손실 (total blowdown loss, TB)이라 하며 식 (4)에 대입하여 정리하면 식 (5)와 같이 표시된다.

$$TB = \frac{E}{[N - 1]} \quad (5)$$

식 (5)에서 농축도를 점차적으로 증가시켰을 때 증발 손실은 농축도에 상관없이 일정하므로 총 취출 손실은 감소하게 된다. 하나로 2차 냉각수에 대하여 농축도를 점점 증가시켰을 때 총 취출량의 변화를 그림 2에 나타내었다. 농축도 5까지는 총 취출량이 급격히 감소하므로 적은 취출량으로 낮은 농축도를 유지할 수 있기 때문에 저경도 수질관리 프로그램에서 농축도를 5 이하로 관리한다. 농축도 5이산에서는 완만한 변화를 보이고 있으며 농축도 12 이하에서는 취출 손실이 없으므로 총 취출 손실은 비산 손실만으로 일정하게 표시된다.

보급수가 냉각수로 공급된 다음 배출될 때까지의 체류시간 (T_r)은 식 (6)과 같이 표시되며 보유수량 (H)을 일정하게 유지한다면 취출 수량이 많을수록 체류시간이 짧아진다.

$$T_r = \frac{H}{B + W} \quad (6)$$

냉각탑을 정상 가동하여 임의의 시간 (t) 후의 농축도를 N_t 라 하면 식 (7)과 같이 표시할 수 있다⁽⁴⁾. 여기서, N_0 는 운전시작 시점의 농축도이며 온도변화가 없으므로 증발 손실이 없어 농축도는 1이다. 취출량이 적을수록 이물질이 체류하는 시간이 길고 시간이 경과할수록 농축도가 상승함을 알 수 있다.

$$N_t = \frac{M - [M - (B + W)N_0]e^{-t/T_r}}{B + W} \quad (7)$$

이 관계식을 이용하여 하나로에서 냉각수를 취출하지 않는 경우 운전시간 경과에 따른 농축도의 변화를 그림 3에 나타내었다. 운전시간이 약 2000여 시간 경과하였을 때 냉각탑 자체의 비산 손실에 의해서 이물질이 배출되기 때문에 농축도는 12에 수렴하였다. 냉각탑의 성능은 장시간 사용하는 경우 냉각수 분산 장치의 기능이 저하하므로 비산 손실이 많아지게 되면 더 낮은 농축도로 관리할 수 있으므로 하나로에서는 농축도 12 이하에서 수질관리가 가능함을 보여주었다.

3.0 고경도 수질관리 방안

3.1 약품처리

고농축으로 수질을 관리하기 위해 저농축으로 관리하던 처리약품을 보강하여 표 2와 같이 정리하였다. 부식 및 스케일 방지제는 고농축이므로 수질의 경도가 높기 때문에 저농축도 관리와 비교하여 저농도의 인산염을 사용하여도 침적형 방식피막을 형성하여 방식효과가 있지만 온도가 50 °C를 상회하거나 pH가 8이상이면 탄산칼슘, 인산칼슘, 황산칼슘 및 실리카 등이 석출하여 금속면에 쉽게 부착되어 방식피막이 스케일화된다.

Table 2 Comparison of Chemical Program

Description	Before modification	After modification
Corrosion & Scale inhibitor	KURIZET S-307C	PLUSCLEAN HI-311
Main Component	PO ₄ : 17.3, Polymer: 33 Copper inhibitor: a litter	PO ₄ : 7, Polymer: 50 Copper inhibitor: a litter
Characteristics	low and medium Ca-hardness	medium and high Ca-hardness
Biocide	POLYCRIN A-411	PLUSCLEAN ST-332
Main Component	R-Cl ₂ > 65	CMIT/Br mixture
Characteristics	biocide of oxidant, short effect and be suited low hardness water	biocide of non oxidant, long effect and be suited long retention time & high number of cycle
Slime inhibitor	POLYCRIN A-496	PLUSCLEAN ST-331
Main Component	N ₂ H ₄ : 45, Dispersant: 17	CMIT: 1.5, Polymer: 20
Characteristics	biocide of deoxidant	biocide of non oxidant, prevent of sludge accumulation and fouling because of including sludge dispersant

이를 억제하기 위해 폴리머 농도를 향상시키므로써 스케일 분산능력을 향상시키고 슬러지의 발생원인인 침적물의 침적시간을 길게하여 슬러지 발생을 억제할 수 있다.

그리고 하나로의 운전조건이 4일간 운전하고 3일간 정지하며, 수온이 30 °C에서 40 °C를 유지하므로 미생물의 증식이 활발하여 정지기간 중에 미생물의 점착성 물질이 토사 등과 혼합되어 고체 표면에 슬라임이 발생하기 쉬우며 이를 억제하기 위해 살균제의 지속능력을 보강하였다.

취출 없이 농축도 12를 유지하는 경우 하나로 냉각수의 예상수질을 표 2에 정리하였다. 전도도, M-알카리 및 염소이온의 농도는 농축도에 비례하여 변하므로 공급수의 농도에 농축배수를 곱하여 계산하였으며 pH 값은 식 (8)과 같이 실험식⁽⁵⁾으로 계산하고 탁도는 식 (9)의 관계식으로 구하였다.

$$pH = 5.36 + 1.4 \log(M - \text{알카리도}) \quad (8)$$

고농축으로 관리하는 경우 탁도를 제외한 모든 수질관리 인자는 기준값을 만족하였다. 탁도는 미생물이 번식하거나 외부로부터 오염물이 유입되면 증가하고 이로 인하여 스케일이 생겨 열전달을 차단하는 장애를 유발하므로 기준값 (20도) 이하로 관리되어야 한다.

Table 2 Predicted Water Quality

Parameter	Supply Water	Circulating Water	Predicted Quality N=12	Limit (N=12)
PH @25 °C	7.54	8.6	8.8	8.3-9.0
Conductivity ($\mu S/cm$)	131	1015	1572	3000>
M-Alkalinity (ppm)	25.4	226	305	100-400
Ca-Hardness (ppm)	26.3	350	316	150-400
Cl ⁻ (ppm)	18.5	110	222	400>
Turbidity (degree)	0.01	7.85	42	20>

3.2 탁도 관리

탁도는 물의 흐린 정도를 표시하며 정재 수 1 리터 중에 카오린 (kaolin) 1 mg을 함유하고 있는 경우의 흐림을 1 도 (혹은 ppm)로 정의한다. 정상적인 운전상태에서 탁도의 생산과 소멸은 일정하게 유지되므로 식 (9)⁽⁴⁾와 같이 평형방정식을 세울 수 있다. 좌변은 계 외로 소멸되는 탁도이고 우변은 외부로부터 인입되는 탁도이다.

$$P \times (B + W + F) = (R \times P_i) + (M \times P_m) + (F \times P_f) \quad (9)$$

여기서, P_i : 대기오염과 미생물 증식에 의한 오염도,

P_m : 보급수 탁도,

P_f : 여과수 탁도,

P : 순환수 탁도이다.

식 (9)를 순환수 탁도에 대하여 정리하면 식 (10)과 같다.

$$P = \frac{(R \times P_i) + (M \times P_m) + (F \times P_f)}{B + W + F} \quad (10)$$

취출하는 경우 (N=6& 8)와 하지 않는 경우 (N=12)에 대하여 여과율 (순환 수량에 대한 여과 수량 비율)에 대한 탁도변화를 그림 3에 나타내었다. 탁도를 5도 이하로 관리하면 슬라임 장애가 발생하지 않기 때문에 탁도를 5 도이하로 유지하여야 한다⁽⁵⁾. 현재 2차 냉각계통의 보급수 탁도가 0.3 도이므로 여과수 탁도를 2 도로 정하였고, 순환수가 공기와 접촉하여 냉각되므로 대기 오염과 미생물 증식에 의한 오염도를 0.06으로 정하여 탁도의 변화를 계산하였다. 그림에서와 같이 순환수를 여과를 하지 않으면 농축도 N=6, 8 및 12인 탁도는 각각 23, 31 및 42도를 나타내어 관리 기준값 20 도를 상회하였지만 보급수의 1 %를 여과하면 탁도는 급격히 감소하였고 보급수의 2 %를 여과하면 목표값 (5 도)을 만족하였다. 따라서 취출하지 않는 경우 이물질이 농축되어 탁도가 상승하지만 순환수를 여과하면 탁도를 조절하여 수질을 기준값 이하로 관리할 수 있으므로 순환수 여과장치가 필요하였다.

4.0 실험 및 고찰

4.1 여과 장치

탁도 조절을 위해 추가하는 여과장치의 성능을 입증하기 위해 모의실험장치를 그림 4와 같이 구성하였다. 계절에 따른 외기의 변화, 2차 냉각 펌프 가동에 의한 수조수의 유동에 의한 영향 및 잔열에 의한 증발과 냉각수의 비산 손실을 무시하였다. 실험에 사용한 보유수량과 여과수량은 하나로 냉각탑 수조의 총 보유수량 (1000 m^3)과 순환 수량의 2 %인 72 m^3/hr 에 대하여 1/100로 축소하여 10 m^3 과 0.72 m^3/hr 로 각각 정하였다. 여과제는 직경이 0.45-0.55 mm인 실리카를 사용하였으며 4시간 간격으로 시료를 채취하여 탁도 및 전도도를 측정하였다. 탁도는 Shimazu 사의 탁도 분석기 (Model: UV-120)로 측정⁽⁶⁾⁽⁷⁾하고, 전도도는 TOA 사의 전도도 분석기 (Model: CM-20S)로 측정⁽⁷⁾⁽⁸⁾하여 운전시간에 따른 전도도와 탁도의 변화를 그림 6에 나타내었다. 순환수의 초기 탁도는 7.85 도를 지시하였으며 32시간 경과 후에는 목표값 5 도 이하로 낮아 졌고, 68시간 후에는 1 도에 가깝게 나타내었다. 이를 통해 취출하지 않고 고농축으로 수질을 관리하는 경우 여과기를 사용하면 순환수의 탁도를 조절 할 수 있음을 의미한다.

그리고, 여과하였을 때 전도도는 평균 1450 $\mu S/cm$ 를 나타내었으며 이물질 여과에 의한 영향이 없었다. 이는 전도도는 수중에 존재하는 이온농도를 나타내므로 여과되지 않고 pH 등 다른 수질 관리 인자도 수중 이온농도에 의해 표시되므로 큰 변화를 주지 못할 것으로 판단된다.

4.2 역세수의 여과

여과장치를 사용하였을 때 여과된 이물질이 남아 누적되면 차압 손실을 유발하고 통과 유량을 감소시켜 여과기의 효율을 저하시킨다. 여과된 이물질을 제거하기 위해 여과기를 청소하는 공정을 역세라 하며 냉각수가 혼탁할수록 역세 수량이 증가한다. 여과기를 역세한 물을 다시 여과하여 냉

각수로 사용하면 용수의 손실을 막을 수 있고 화공약품 처리된 냉각수를 배출시키지 않아 유지비용도 절감할 수 있을 것이다. 그래서 여과기의 이물질 제거 능력을 검증하기 위해 200, 250, 350 메쉬의 여과기 스크린과 10 μm 의 여과포에 대하여 역세수의 이물질 함유율과 탁도변화를 실험하였다. 실험장치는 그림 7과 같이 역세수 유로 상에 여과기 하우징을 설치하여 그 속에 200, 250, 350메쉬의 스크린과 10 μm 의 여과포를 교대로 장착하였다. 역세 여과에 대한 실험은 2차 냉각탑 저수조에 설치하여 10 m^3/hr 용량의 여과기에 각 역세 여과기 별로 1시간 씩 운전한 후 역세 배출구에서 시료를 채취하였다. 여과 상태를 확인하기 위하여 각 시료의 이물질 함유율 (solidity)과 탁도를 측정하여 그림 8과 같이 x축의 좌측에 역세 여과기를 지나기 전의 역세 초기의 수질을 표시하고 여과기 별로 수질을 표시하였다. 여과 후 이물질 함유율을 초기 상태를 100이라 하였을 때 200, 250, 350 메쉬 및 10 μm 여과포는 각각 25, 10, 7 및 5 %의 순서로 나타내어 각각 75, 90, 97 및 95 %의 이물질 제거능력을 나타내었다. 그리고 탁도의 경우도 초기 역세수의 탁도 (24 도)와 비교하여 11 도 내지 8 도 범위로 낮출 수 있어 초기 탁도의 46 %에서 33 % 수준으로 낮출 수 있다. 계속 순환시키면 더 낮아 질 수 있으므로 역세수를 다시 여과하여 냉각수로 사용할 수 있음을 확인하였다.

5.0 여과장치의 구성

여과장치는 하나로 2차 냉각수를 취출 없이 고농축도로 관리하는 경우 탁도를 조절할 수 있고, 냉각탑 수조 바닥에 이물질이 침적되어 있는 경우 외부로 배출시킬 수 있고, 고농축도로 수질을 관리하는 경우 주변환경의 영향으로 필요한 경우 취출도 가능하여야 하므로 그림 9와 같이 여과장치를 구성하였다⁽⁹⁾. 여과수량은 순환수의 탁도를 5 도 이하로 유지하기 위해 순환수의 2 %인 72 m^3/hr 로 정하였으며 3등분하여 저 수량에서도 여과할 수 있게 하였다. 여과제와 제거할 이물질의 크기는 탁도 변화율을 감안하여 직경이 0.45-0.55 mm인 실리카를 사용하고, 10 μm 이상의 이물질을 제거하도록 하였으며 역세수의 여과에서도 이물질의 크기를 동일하게 정하여 10 μm 여과포로 정하였다. 냉각탑 수조 내에 침적된 이물질을 제거하는 경우 수조바닥에 순환펌프의 흡입관과 토출관을 여러 개의 구멍이 뚫린 다공관을 설치하여 냉각수를 순환시키면 바닥에 침적된 이물질이 분산되어 흡입되면 여과되고 역세 시 이물질이 많으므로 여과하지 않고 냉각수와 함께 배출시킨다. 여과기는 이물질 누적에 의해 발생하는 차압이나 타이머에 의해 3-way 밸브의 흐름 방향을 조정하여 자동으로 여과와 역세를 반복하도록 구성하였다. 여과는 순환펌프에 의해 냉각수를 흡입하여 3-way 밸브를 지나 여과기의 하부에서 상부로 흐른다. 냉각수가 여과제를 지나므로 이물질이 제거되며 스트레이너를 거쳐 여과기 중간에 있는 출구와 3-way 밸브를 통해 냉각탑 수조로 순환된다. 역세는 여과된 이물질을 제거하는 공정으로서 3-way 밸브로 흐름 방향을 조정하면 순환펌프에 의해 흡입된 냉각수는 여과기 하부 스크린을 지나 여과제의 역방향으로 흐르게 하여 여과제의 이물질을 이탈시킨다. 이탈된 이물질은 냉각수를 따라 상부 토출구로 역류되어 하부 흡입구로 배출되며 역세 여과기를 지나면서 이물질만 분리되고 냉각탑 수조로 회수시킨다. 그리고 꽃가루 및 황사 현상으로 주변 환경과 냉각탑의 성능 변화에 따라 필요한 경우에는 역세 여과기를 우회하여 취출 가능하게 구성하였다.

6.0 결론

하나로 2차 냉각수의 수질관리에 있어 용수손실과 화학약품사용을 최소화하기 위해 냉각수를 취출하지 않고 여과장치를 사용하여 고경도 수질관리 프로그램으로 수질을 관리할 수 있음을 연

구하였으며 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 하나로 2차 냉각수의 손실 원인은 증발, 비산 및 취출에 의한 것이며 취출하지 않는 경우 농축도 12에 수렴하였으며 그 이상 증가하지 않는 이유는 비산에 의하여 이물질이 배출되기 때문이다.

2) 하나로 2차 냉각수의 수질을 농축도 12로 관리하기 위해 스케일과 슬러임 방지를 위해 화공약품의 분산능력을 강화하고 운전조건을 고려하여 슬러임 방지를 위해 화공약품의 살균력이 지속되어야 한다.

3) 취출 손실없이 하나로 2차 냉각수를 농축도 12로 관리하는 경우 여과장치를 추가하면 탁도를 조절할 수 있어 수질관리가 용이하다.

4) 여과장치의 역세수를 여과하기 위해 10 미크론의 역세 여과기를 추가하면 역세수에 함유된 이물질을 95% 제거하여 재 사용할 수 있어 냉각수의 손실을 최소화할 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 국가 원자력 연구개발 계획의 일환으로 수행되었으며 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] T. S. Byun, et. al., "A deformation Model of Uranium-Silicide Dispersion Fuel for Research Reactor", J. of KNS, Vol. 28 p150-161, 1996. 4.
- [2] HANSU Co. Ltd., "Chemical Treatment for Secondary Cooling System", 1987. 10.
- [3] KOPEC, "Design Manual of Secondary Cooling System", KM-711-DM-P01, KAERI, 1992. 7.
- [4] Iwata, Osamu, et. al., "Kurita Handbook of Water Treatment", Kurita Water Industrials Ltd. 1985.
- [5] KURITA Ind. Co., "冷却水에 發生하는 障害의 原因", 1996. 3.
- [6] Shimazu Ind. Co., "User's Manual of UV-VIS Spectrophotometer", 1985.
- [7] 한국공업표준협회, "공업 용수의 시험 방법", KS M 0100, 1988. 8.
- [8] TOA Ind. Co., "User's Manual of Conductivity meter", 1985.
- [9] Y. C. Park, "Manufacturing Specification for Filtering Unit of Secondary Cooling System in HANARO", HAN-RS-DS-711-K001, KAERI. 2000. 6.

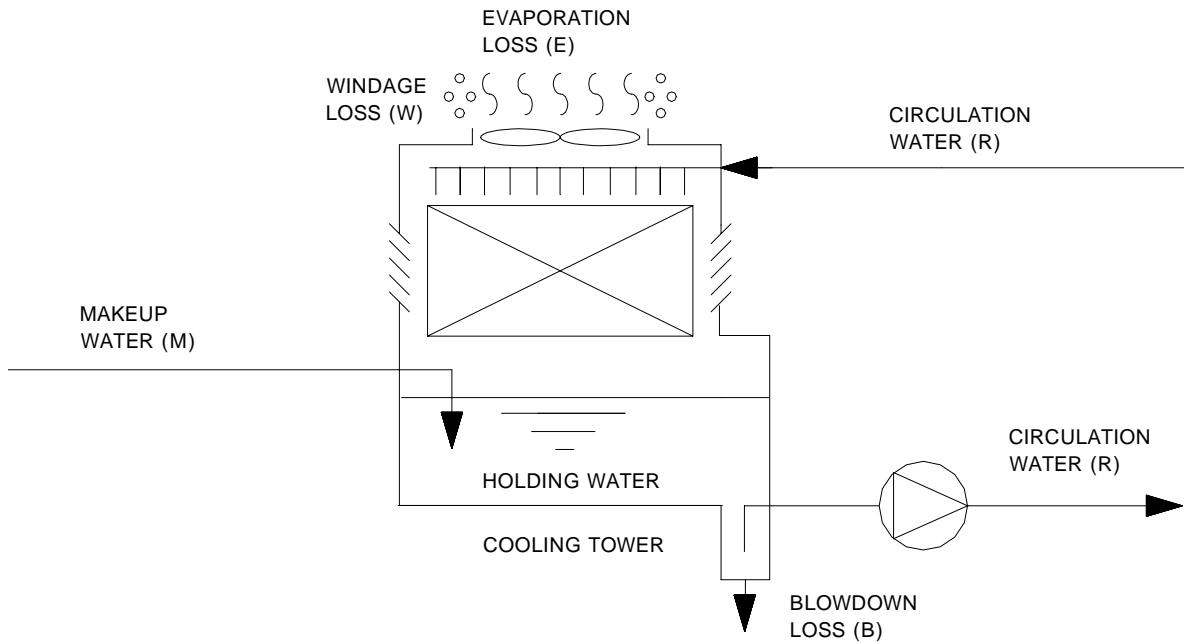


Fig. 1 The View of Water Supply and Loss in Cooling Tower

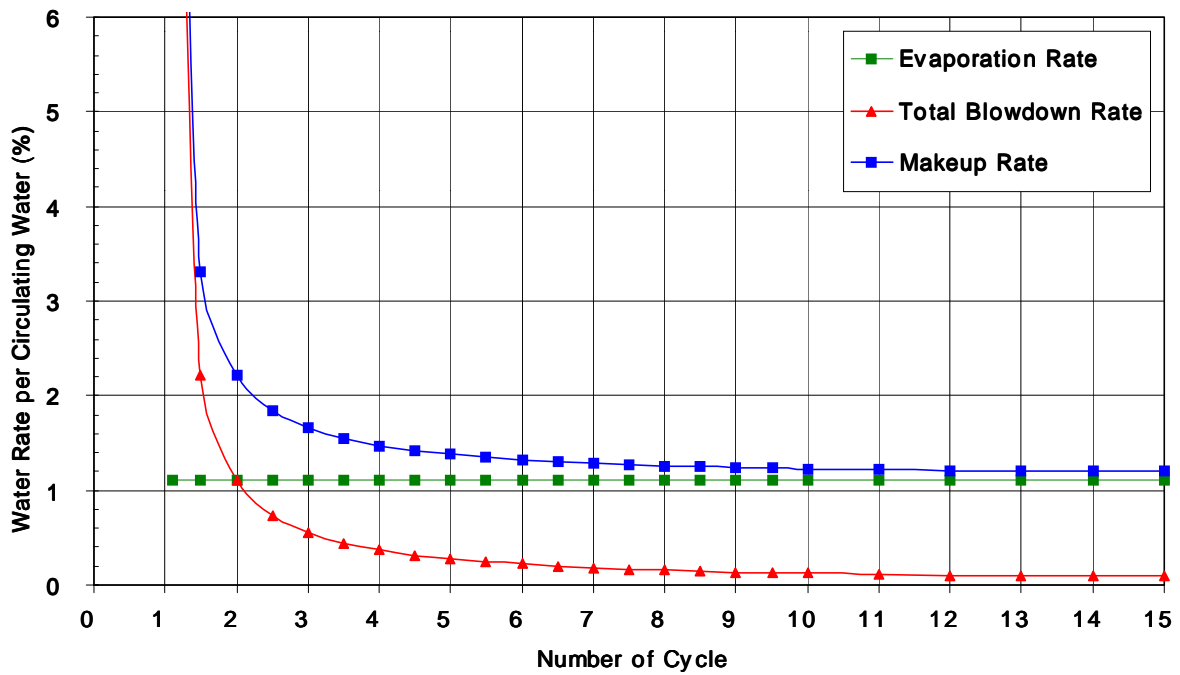


Fig. 2 Relation of Cycle of Number and Makeup, Evaporation, and Total Blowdown Rate of Secondary Cooling System in HANARO

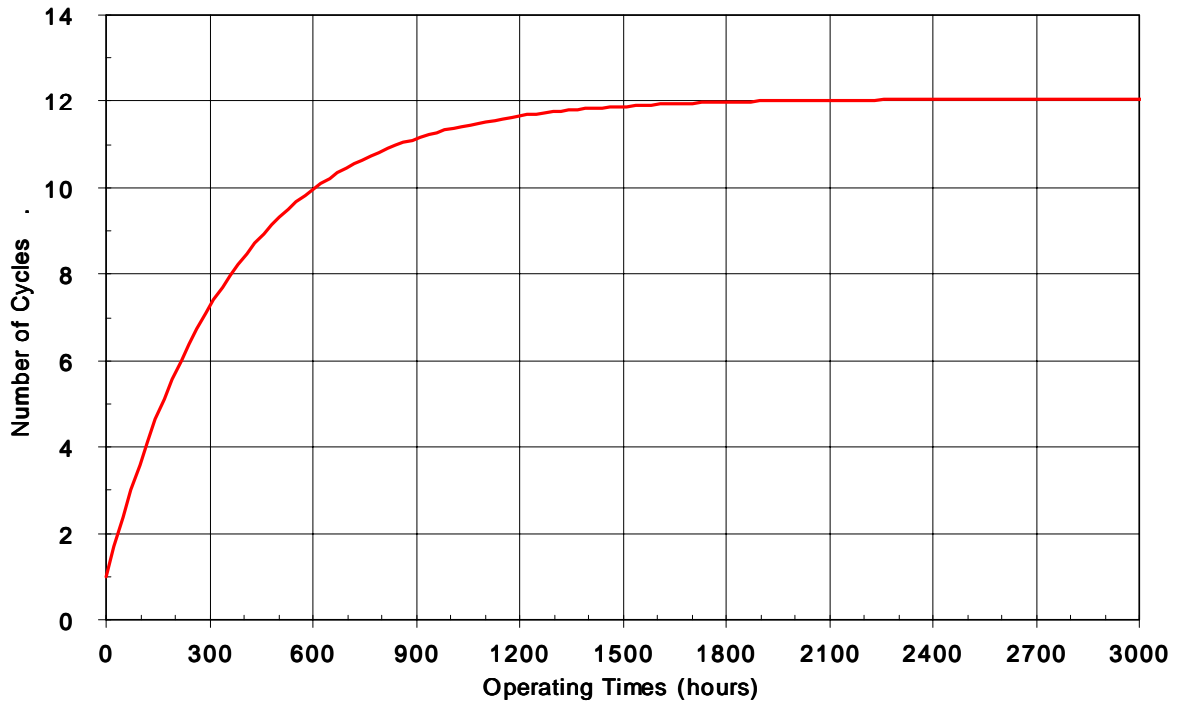


Fig. 3 Variation of Number of Cycles under No Blowdown Conditions

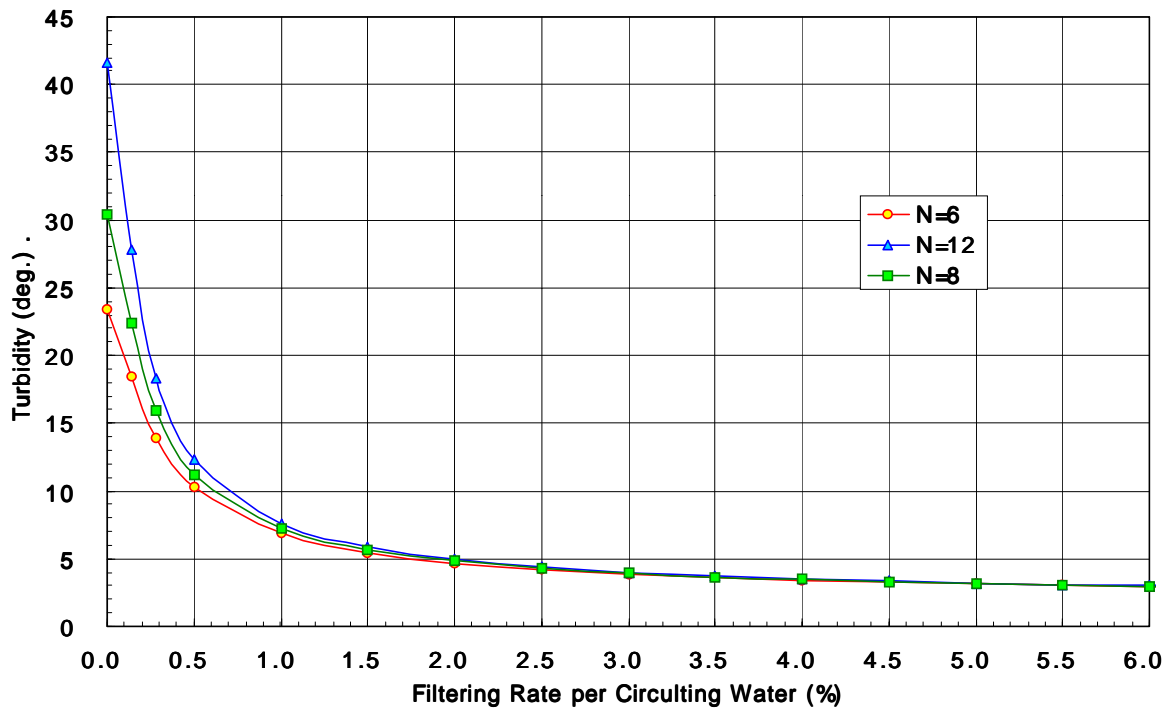


Fig. 4 Relation of Turbidity and Filtering Rate per Circulating Water

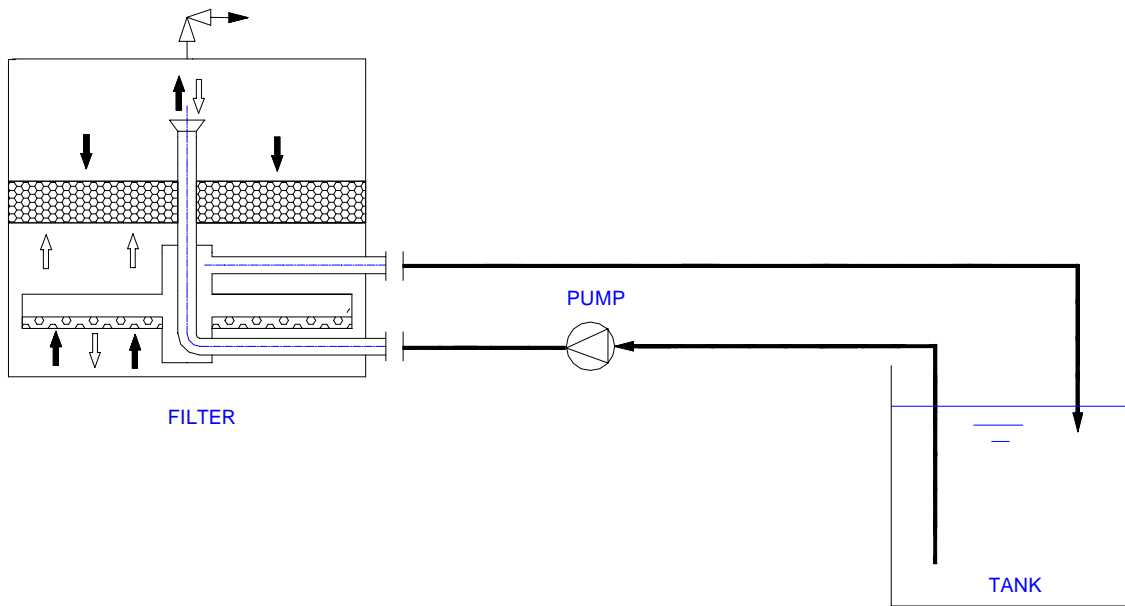


Fig. 5 Test Loop of Filtering Unit

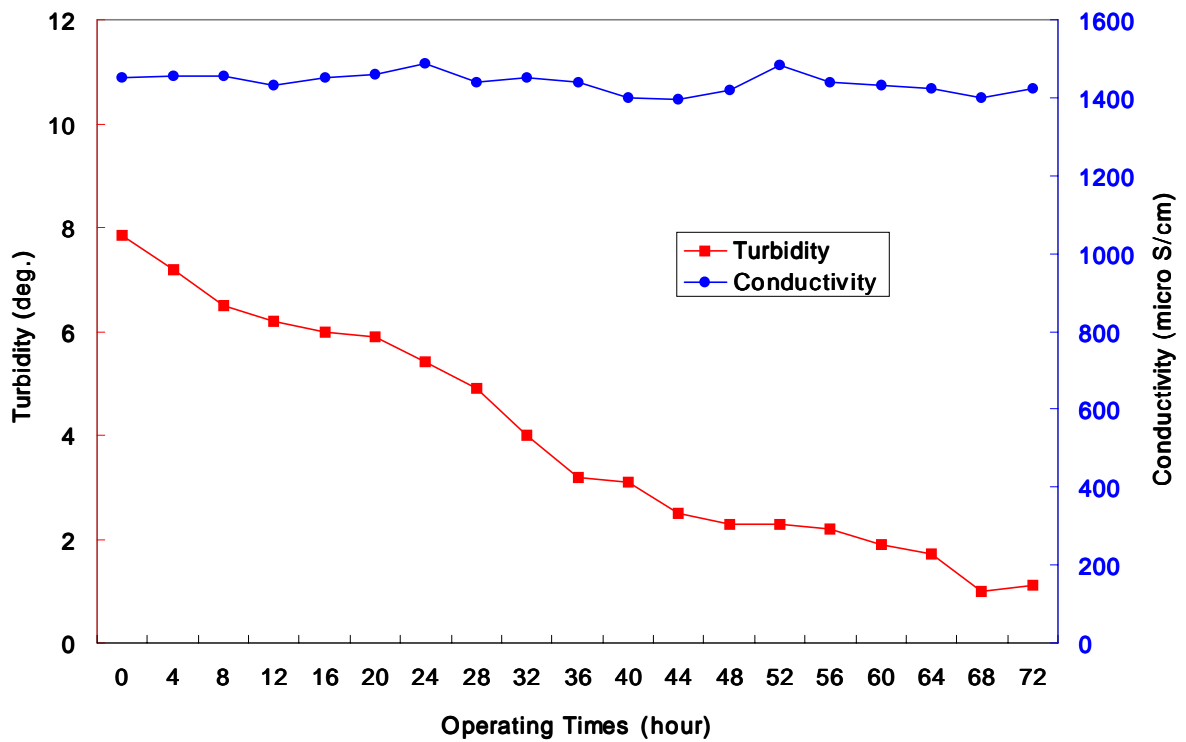


Fig. 6 Variation of Turbidity and Conductivity

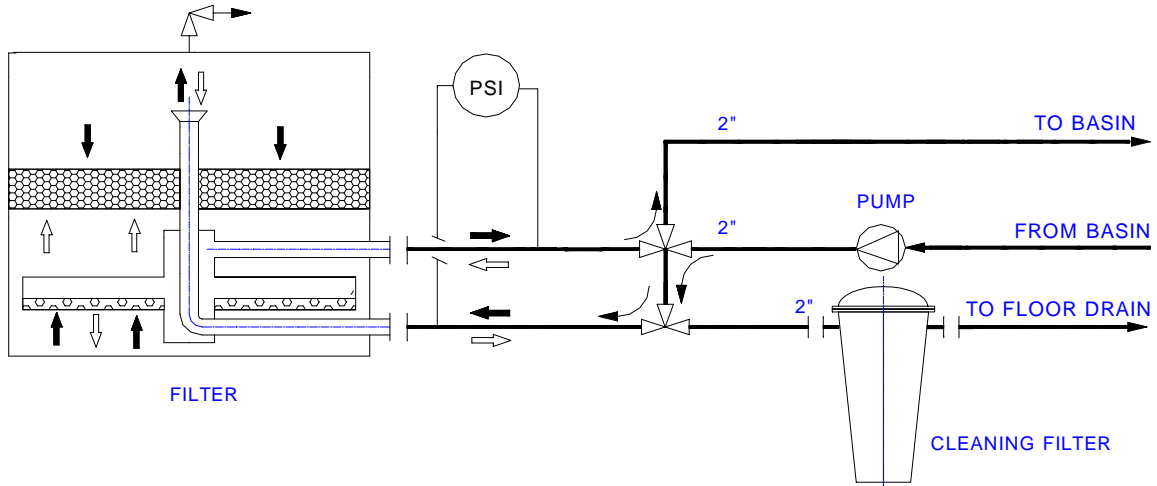


Fig. 7 Test Loop of Back-Flow Filter Unit

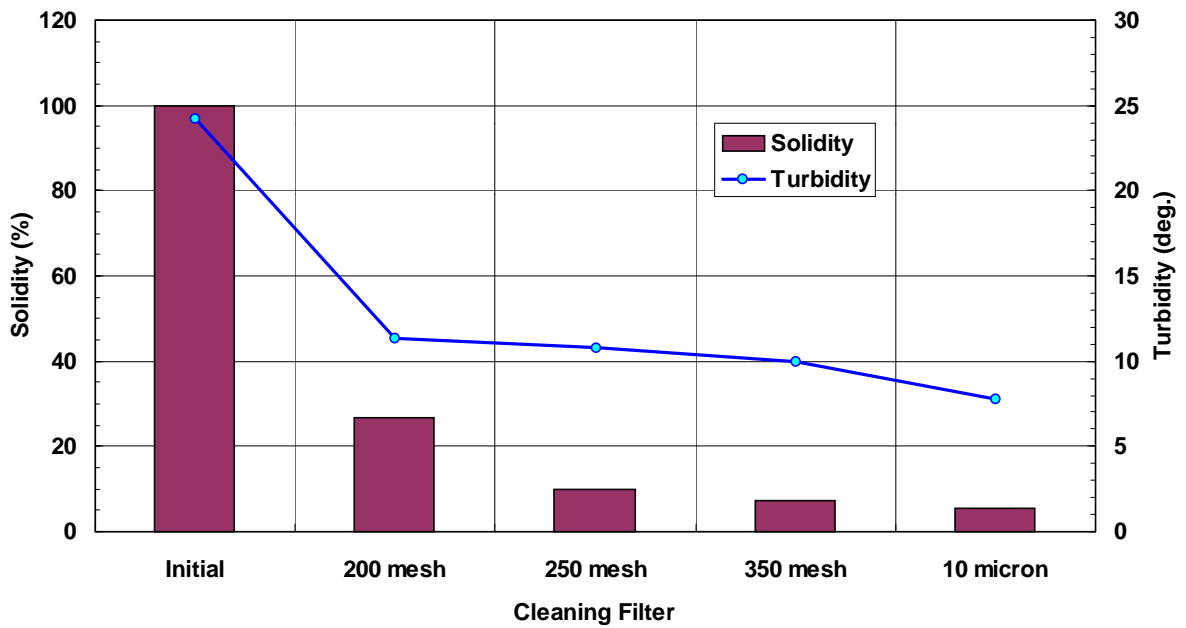


Fig. 8 Variation of Solidity and Turbidity after Back-Flow Filter Unit

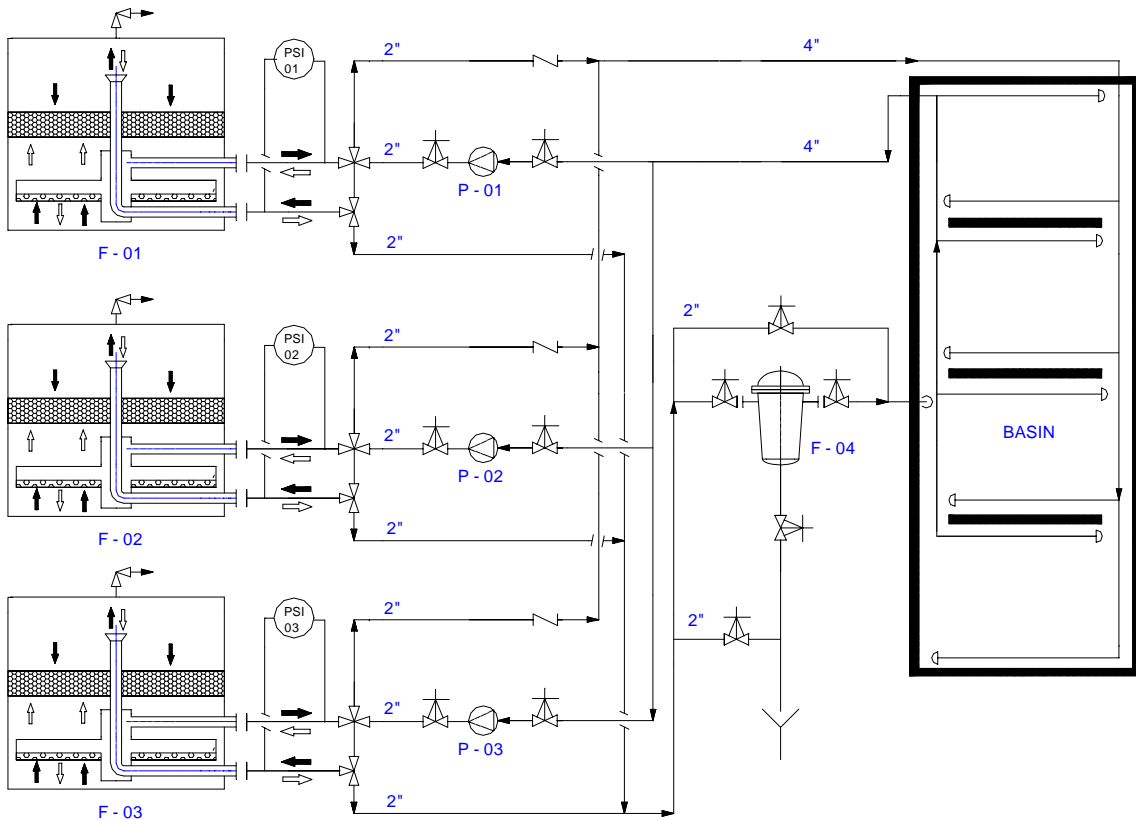


Fig. 9 Flow Diagram of Filtering System