한국원자력학회지
제2권 제1호, 1970, 3

《해 설》

고리 원자력 발전소 개요-III

(古里 原子力 發電所 槪要-III)

최 장 동
한국전력주식회사 원자력실

(Received March 14, 1970)

—목 차—

Ⅲ. 화학 및 체적제어 계통
1. 개요
2. 운전
가. 기동
나. 정상 운전
다. 정지
Ⅳ. 잔열 제거 계통
Ⅴ. 방사성 폐기물 처리 계통
1. 개요
2. 액체 방사성 폐기물 처리
3. 기체 방사성 폐기물 처리
4. 고체 방사성 폐기물 처리

III. 화학 및 체적제어계통(Chemical and Volume Control System)

1. 개 요

화학 및 체적제어계통(CVCS: Chemical and Volume Control System)은 그 이름이 암시하는 바와 같이 로냉각재의 화학적인 요건을 충족시키고 일차 폐회로내의 냉각재 체적을 제어하기 위한 가압수형 원자로 특유의 계통이다. 이 계통의 주요역활을 열거하면 다음과 같다.

가. 로냉각재계통에 냉각재(Coolant)를 채운다.

나. 로냉각재계통이 차거운 상태에 있을 때로 냉각재계통을 가압시키기 위하여 고압의 냉각재를 공급하는 공급원이 된다.

다. 로냉각재계통이 더운상태에 있을때 가압기(Pressurizer)의 수위를 일정하게 유지시킨다.

라, 로냉각재내에 있는 부식생성물질이나 핵분렬생성물의 농도를 감소시킨다.

마. Chemical Shim Control을 위한 붕산 농도를 조절한다.

바. 냉각재순환 펌프의 축밀봉장치(Shaft Seal)에 고압의 축밀폐용수를 공급함으로써 축을 통한 냉각재의 외부 누설을 제어한다. (전호냉각재순환펌프 참조)

이상과 같은 역활을 하는 본 계통은 그림 1에서보는 바와같이 각종 열교환기, 펌프, 탱크, 관련, 배관 및 발브 그리고 제어계통으로 구성된다.

원자로 정상운전중 본 계통은 냉각재를 아래와 같은 조건에 맞도록 유지하게 된다.

전 기 전 도 도	25°C에서 1~40μ℧/cm의 범위내에 유지하며 이는 냉각재내의 붕산과 알카리의 존재량에 따라 좌우된다.
pH	25°C에서 붕산농도에 따라 4.2~10.5(고붕산농도~저붕산농도)의 범위에 유지한다.
산소(Oxygen)	최고 0.1 ppm으로 제한한다.
염소(Chloride)	최고 0.15 ppm으로 제한한다.
불소(Fluoride)	최고 0.1 ppm으로 제한한다.
수 소	25~35cc(STP)/kg H_2O의 범위에 유지한다.
총부유고형물질	최고 1.0 ppm으로 제한

pH조절용 용질 Li^7OH	한다. 0.3×10^{-4}~3.2×10^{-4} Molar Strong Base Alkali (≒0.22~2.2 ppm Li^7)
붕 산	붕소 ppm으로 약 0~4,000 ppm.

로냉각재의 질을 상기조건에 유지하기 위하여 본 화학 및 체적제어계통에 공급되는 연수(Demineralized Water)의 수질은 아래에 열거한 조건에 부합되도록 한다.

전 기 전 도 도	25°C 에서 2.0μ℧/cm이하
pH	25°C에서 6.0~8.0
산 소	<0.1 ppm
염 소	<0.15 ppm
불 소	<0.1 ppm
총부유고형물질	<0.5 ppm
탄 산 개 스	<2.0 ppm
Particulates	2.5 Microns 이하로 여과

이하의 설명에 대해서는 그림 1을 참조하기 바라며 주요 설계 제원은 표 1을참조하기 바란다. 정상운전중에 로냉각재계통과 화학 및 체적제어계통사이에는 최소한의 유량소통이 계속유지되도록 한다. 로냉각재계통의 각 폐회로로부터 화학 및 체적제어계통에 나오는 냉각재는 재생식 열교환기(Regenerative Heat Exchanger)의 Shell측을 통하는동안 화학 및 체적제어계통으로 부터 로냉각재계통에 보급수로 공급되는 물이 상기 재생식열교환기의 튜브내를 통하여 로냉각재계통에 들어가게 되므로 열교환이 일어나 열의 일부를 회수하게 된다. 이 재생식 열교환기를 통하는 동안 냉각된 물은 몇단계의 감압장치와 Letdown Heat Exchanger를 통한 후 Mixed Bed Demineralizer에 간다. 이 Demineralizer에서 불순 Ion이 제거되고 다시 Filter를 통해서 체적제어탱크(Volume Control Tank)내부에 Spray 된다.

Charging Pump는 Volume Control Tank내의 Coolant를 Suction으로 취하여 전술한 바와 같이 재생식 열교환기의 튜브측 또는 냉각재순환펌프의 축밀폐장치를 통하여 냉각재계통에 보급수를 공급하게 된다. 이때 축밀폐용수중 일부는 축밀폐장치를 통하는 동안 냉각재계통내의 냉각재에 혼입되며 나머지는 Leakage로서 Seal Water Heat Exchanger를 통하여 Volume Control Tank에 복귀하게 된다. 이상은 어디까지나 정상적인 상태에 대한 설명이지만 만일 상기 재생식 열교환기를 통한 정상적인 Letdown Line과 Charging Line이 운전불가능한 비정상 상태로 될 경우에도 로냉각재순환펌프의 축밀폐장치를 통하여 로냉각재계통에 혼입된 량만큼의 물을 화학 및 체적제어계통에 배수하여 가압기내 수위를 유지해야 한다. 이 목적을 위하여 Excess Letdown Heat Exchanger가 별도로 구비되는데 이때 냉각재순환 펌프의 축밀폐장치를 통하여 냉각재계통에 혼입된 량만큼의 물은 냉각재계통으로부터 Excess Letdown Heat Exchanger를 통하여 Volume Control Tank에 복귀하게된다.

화학 및 체적제어계통의 보급수원은 다음과 같다.

가. 붕산농도를 줄여야 할 경우에는
Demineralized Water Supply.

나. 붕산농도를 높혀야 할 경우에는
Boric Acid Tank

다. 냉각재의 붕산농도를 정상 Makeup에 맞추기 위한 경우에는 Demineralized Water와 붕산의 Blend.

라. 붕산수의 긴급 Makeup이 필요할 경우에는 Refueling Water Storage Tank

마. 미량의 Hydrazine(탈산소용)이나 수산화 리티움(Lithium Hydroxide: pH 조절용)이 필요할 때는 Chemical Mixing Tank.

2. 운 전

화학 및 체적제어계통의 운전을 기동, 정상운전 및정지의 세가지로 구분 설명하면 다음과 같다.

가. 기 동

모든 Orifice를 개방한채 Charging Pump를 기동하여 냉각재계통에의 냉각재충전을 개시하고 정상 Letdown Flow 유로를 형성한다. 냉각재계통 압력은 저압 Letdown 밸브의 Throttling에 의하여 자동적으로 조정된다.

이리하여 냉각재순환 펌프 NPSH(Net Positive Suction Head)와 펌프 Seal 요건을 충족시킬만한 압력을얻게된다. 다음에 냉각재 계통으로부터 개스를 배기시키기 위하여 냉각재순환 펌프를 단속적으로 운전한다.

이상과 같이 배기및 충수운전이 끝나면 냉각재순환 펌프를 모두 기동하고 가압기내의 전열기를 가동시킨다. 냉각재순환 펌프를 기동시키면 잔열제거계통(RHRS: Residual Heat Removal System) 운전은 중지된다. 가압기내 수온이 상승하여 가압기내

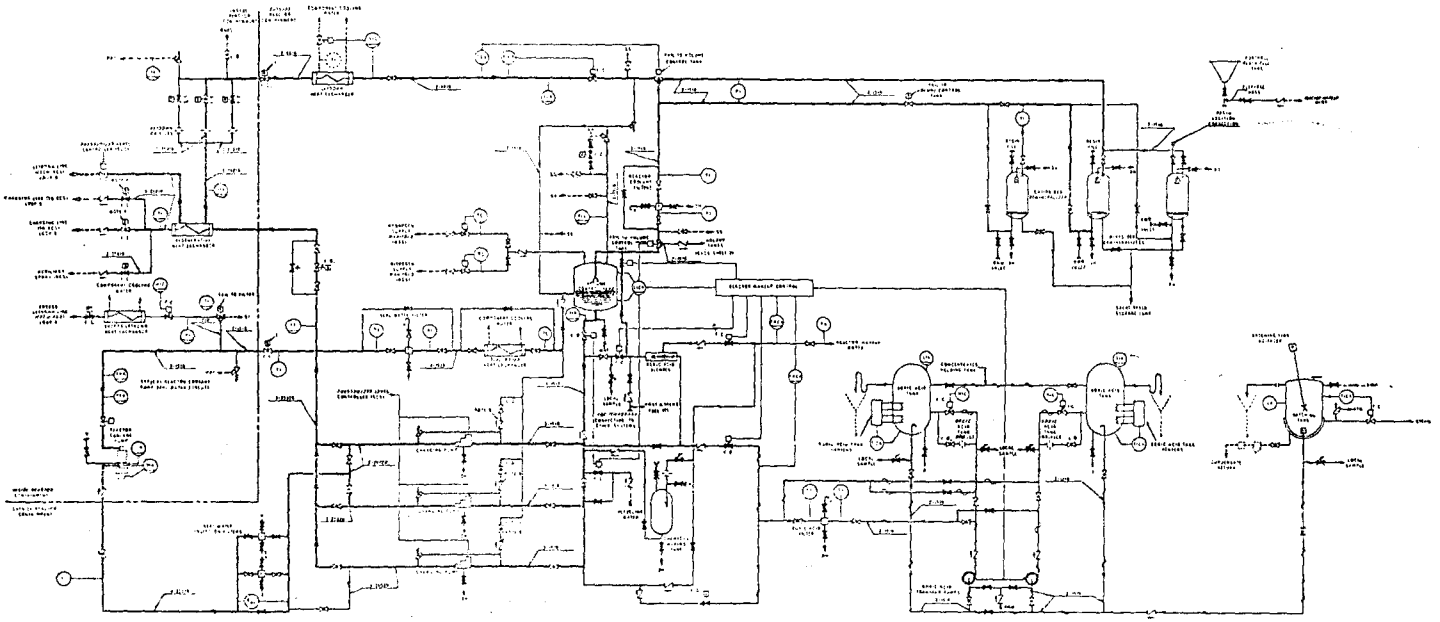

그림 1. Chemical and Volume Control System

압력이 냉각재순환 펌프의 NPSH와 Seal 목적에 충분하게 되면 Charging Pump 유량과 저압 Letdown 발브를 수동조작하여 가압기내 수위를 요구치에 유지시킨다. 다음에 Charging Flow Control에 의하여 가압기수위는 정상수위에 유지된다.

Volume Control Tank 수위를 높이고 질소개스로 퍼—지하면 탱크내에는 수소 영역이 생기며, 수위를 낮추면 탱크는 수소로 충만된다.

제어봉을 인출할 수 있고 또한 임계에 도달할 수 있는 점까지 냉각재의 붕산농도를 조절한다. 핵반응에 의한 가열이 진행되면 본 화학 및 체적제어계통은 냉각재의 수질을 조절하는데 사용된다.

냉각재 Makeup 제어계통을 운전하여 냉각재의 붕산농도를 조정하고 제어봉을 적정위치에 유지시킨다. 화학약품 혼합탱크로부터 약품을 주입하여 냉각재내의 용해 산소와 pH를 조절한다.

로압력이 충분히 상승하면 예비용 Orifice를 닫아 Letdown Flow를 정상치로 유지하고 냉각재의 붕산농도에 맞게 Makeup Control을 Set한다.

나. 정상운전

충전류량(Charging Flow)

제어기를 사용하여 냉각재 평균 온도에 부합하도록 미리 계획된 설정치에 가압기수위를 유지시킨다. 일정출력에서의 로냉각재계통에서 유출되는 Letdown Flow는 충전유량과 냉각재순환펌프 축밀폐용 유량의 합계와 같게된다. Letdown Flow는 재생식 열교환기에서 일단 충전류량에 의하여 냉각된 후 다시 Letdown Heat Exchanger에서 130°F로 냉각된다.

Letdown Flow는 한 대의 혼상식 연수장치(Mixed Bed Demineralizer)—2대중 하나만이 가동하며 나머지 하나는 예비임—를 통과한 후 Filter와 Spray Nozzle을 경유하여 체적제어탱크에 간다. 이 탱크는 다소 과압상태의 수소로 충전되어 있는데 이는 로냉각재의 수소 농도를 정해진 일정치에 유지시키기 위한 것이다. 이 탱크로부터 냉각재는 충전펌프(Charging Pump)에 의하여 전술한 재생식 열교환기에 가며 여기서 Letdown Flow에 의해서 예열된 후 로냉각재계통에 복귀하게된다.

원자로의 출력이 상승할때는 로냉각재의 평균온도가 상승함에 따라 로냉각재의 체적이 팽창하게 되는데 출력이 상승하는동안 가압기의 수위 제어기가 수위설정치(Level Set Point)를 높여주므로 팽창된 체적의 대부분은 가압기에 흡수되며 나머지는 Letdown Flow로 유출되어 체적제어탱크에 저장된다. 이 기간중 Letdown Orifice의 류량은 일정하고 충전류량은 가압기의 수위제어신 호에의하여 감소되므로 재생식열교환기 출구온도가 상승하게된다. 그러나 Letdown Heat Exchanger 하류에 있는 온도제어기가 기기냉각수류량(Component Cooling Flow)을 증가시켜 Letdown 온도의 소망치인 130°F를 유지하게 된다. 만일 Letdown 온도가 140°F를 넘을 경우에는 자동적으로 혼상식연수장치를 Bypass 하도록 되어 있어 Resin을 보호하게 된다.

반대로 로출력이 감소되는 동안은 가압기 수위 감소계획에 감안되지 않은 냉각재의 응축을 보상하기 위하여 충전류량이 증가된다.

앞에서 언급한 바와 같이 충전펌프(Charging Pump)는 로냉각재순환 펌프의 축밀폐용수와 가압기수위 유지에 필요한 물을 공급한다. 로냉각재순환 펌프의 래비린스 씰(Labyrinth Seal)을 통과한 물은 로냉각재계통에 들어가며 나머지는 Controlled Leakage Seal에서 Throttle된 후 축밀폐용수 Filter(Seal Water Filter)와 축밀폐용수열교환기(Seal Water Heat Exchanger)를 경유하여 체적제어탱크에 복귀한다. 축밀폐용수 열교환기에서 체적제어탱크로 복귀하는 물은 체적제어탱크 운전온도까지 냉각된다. 충전펌프와 로냉각재순환 펌프 저압 축밀폐장치를 통하여 미량의 냉각재가 유실는데 이는 전부 폐기물처리 계통에 회수, 처리된다(후술의 방사성 폐기물처리 계통 참조).

원자로의 보충수제어(Makeup Control)은 정상운전중 연료의 Burnup 핵분렬생성물질에 의한 Poison Buildup 및 방사붕괴에 따른 반응도의 영향을 보상하는데 사용하며 또한 기타 누수(Leakage)를 자동적으로 보충한다.

또한 정상운전중에는 용수, 화공첨가제 및 연료가 소모되므로 로냉각재의 Water Chemistry를 조정해야 한다. 즉 연료가 소모되어 감에따라 냉각재내의 붕소농도를 감소시켜야 한다. 만일 제어봉들이 적정위치보다 더 인출된 위치에 있을때 ——이러한 상태는 로심이 End of Life에 가까워 질 경우 전출력을 얻기 위하여 제어봉을 인출할때 발생할 수 있음—— 운전원은 Makeup Control을 "희석" 위치에 두고 로냉각재에 첨가시켜야 할 연수(Demineralized Water)의 소요 주입율과 수량을 설정한 다음 Makeup 기동 Button을 누른다. 만일 체적제어탱크의 수위가 고수위 한계를 넘을 정도로 연수가 주입되면 탱크 수위 제어기로부터 오는 신호에 의하여 로냉각재계통으로부터 유출되는 Letdown Flow는 체적제어 탱크대신

Liquid Holdup Tank에 가게된다. 운전원이 미리 선정한 수량이 전부 주입되기 전에 이와 같은 붕소농도 희석에 따라 제어봉이 적정위치에 복귀하면 운전원은 Mekeup을 정지시킨다. 그렇지 않을 경우에는 미리 설정된 체적에서 자동 정지된다.

일반적으로 상기한 붕소희석을 위한 운전조작에 의해서 공급되는 보충수는 누수에 의한 냉각재 손실을 보상하고도 남을 정도의 수량이지만 만일 누수량이 희석용 주입수량보다 많을 경우에는 체적제어탱크저수위신호에 의해서 보충수를 공급받게 된다. 누수 보충용 보급수는 보급수 탱크와 붕산탱크로부터 받는데 정기적인 시료채취 분석결과 결정된 로냉각재 붕소농도에 일치하도록 운전원은 보급수의 붕소농도를 설정한다.

원자로 보급수제어는 Doppler 효과에 따른 반응도 변화나 혹은 원자로 트립장치(Trip Device)와 같은 단시간의 이상현상에 대해서는 사용하지 않는다.

로냉각재내의 Lithium Hydroxide나 수소 함량이 부족할 때는 수동으로 조절한다. 즉 소요량의 Lithium Hydroxide 수용액을 Chemimal Mixing Tank에 붓고 충전계통에 주입시킨다. 수소함량은 체적제어탱크에 설치되어 있는 수소공급 압력조절기의 Set Point를 변경하여 조절하게 된다.

다. 정지

정지라함은 보수나 연료 교환 목적으로 원자로를 영출력 운전 압력과 온도로부터 냉간정지(Cold Shutdown)까지 가져오는 운전조작을 말한다.

연료교체 또는 보수를 위한 Cold Shutdown을 하기전에 체적 제어탱크의 과압을 내려넣각재계통의 수소개스 함량을 5CC/kg 이하로 감소시킨다.

원자로의 냉각과 감압조작을 시작하기전에 우선 냉각재의 수소함량을 냉간정지시에 유지해야 할 농도까지 증가시킨다. 즉 운전원은 원자로 Makeup Control을 "붕소 주입"(Borate) 위치에 놓고, 붕산용액의 소요량을 선택한 후 Makeup Control 기동 Button을 누른다. 붕소 주입이 완료되고 냉각재 시료분석에 의해서 붕소 농도가 정확하다는 것이 확인되면 운전원은 원자로 Makeup Control을 누수보충(Leakage Makeup)위치에 조정하여 로정지 중의 냉각재중 붕소농도를 유지하도록 한다. 로냉각재계통냉각 초기단계는 증기 발생기로 부터 나오는 증기를 Dump하는 것인데 이 Steam Dump에 의해서 냉각재계통 조건이 대체로 350°F, 350 Psig로 되면 후술 하는 잔열제거계통(RHRS: Residual Heat Removal System)을 운전하여 냉각을 계속하게된다. 이리하여 로냉각재계통을 냉간정지상태까지 냉각시킨다.

로냉각재계통 냉각중에는 냉각재가 식어서 수축하게 되므로 가압기수위가 떨어지는데 이때 가압기수위 조절기가 동작하여 수위를 정상 위치에 유지시킨다. 이때에는 가압기수위를 정상 위치에 유지시키기 위해서 Charging Flow가 Letdown Flow에 비례하여 증가되는데 이에 따라 체적 제어탱크 수위는 떨어지게된다. 그러나 체적제어탱크 수위조절기가 자동적으로 동작하게 되므로 탱크내 수위를 유지하게 된다.

표 1. Chemical and Volume Control System 설계제원

Charging Pumps

Number 3
Type .....Positive displacement, variable speed drive
Design pressure .....3125 psig
Design temperature .....250°F
Normal operating temperature .....130°F
Design flow rate .....60 gpm
Normal head at 130°F .....2,500 psig
Speed reducer range 4:1
Material .....Stainless steel

Boric Acid Transfer Pumps

Number 2
Type .....Canned centrifugal
Design flow rate .....40 gpm

Design head .....235 ft.
Design prssure.....150 psig
Design temperature .....250°F
Material.....Stainless steel

Regenerative Heat Exchanger

Number 1
Type .....Multiple shell and U-tube
Heat transfer rate at normal conditions....6.05×10^6 Btu/hr

	Shell Side	Tube Side
Design pressure	2,485 psig	2,735 psig
Design temperature	650°F	650°F
Pressure loss at normal conditions (approx.)	25 psi	30 psi
Material	Stainless steel	Stainless steel

Letdown Heat Exchangers

Number 1
Type .....Shell and U-tube
Heat transfer rate during plant heatup...8.2×10^6 Btu/hr

	Shell Side	Tube Side
Design pressure	150 psig	500 psig
Design temperature	250°F	400°F
Heatup flow rate	2.73×10^5 lb/hr	3.41×10^4 lb/hr
Inlet temperature	95°F	375°F
Outlet temperature	125°F	127°F
Materials	Carbon steel	Stainless steel

Excess Letdown Heat Exchanger

Number 1
Type .....Shell and U-tube
Design heat transfer rate.....1.92×10^6 Btu/hr

	Shell Side	Tube Side
Design pressure	150 psig	2,485 psig
Design temperature	250°F	650°F
Design flow rate	41,600 lb/hr	5,050 lb/hr
Pressure loss at design flow	15 psig	50 psig
Inlet temperature	95°F	539°F
Outlet temperature	141°F	159°F
Material	Carbon steel	Stainless steel

Seal Water Heat Exchanger

Number 1
Type .....Shell and U-tube
Design heat transfer rate.....1.44×10^6 Btu/hr

	Shell Side	Tube Side
Design pressure	150 psig	150 psig
Design temperature	250°F	250°F
	Shell Side	Tube Side

Design flow rate	72,000 lb/hr	84,600 lb/hr
Pressure loss at design flow	15 psi	15 psi
Diesgn inlet temperature	95°F	144°F
Design outlet temperature	115°F	127°F
Material	Carbon steel	Stainless steel

Volume Control Tank

Number 1
Internal volume ..... 220 ft^3
Design pressure, internal ..... 75 psig
Design pressure, external ..... 15 psig
Design temperature ..... 250°F
Operating pressure range 0——60 psig
Nominal operating pressure ..... 15 psig
Normal operating temperature ..... 130°F
Coolant spray nozzle flow ..... 120 gpm
Coolant spray nozzle pressure drop at 120 gpm ..... 3 psi
Material ..... Stainless steel

Chemical Mixing Tank

Number 1
Capacity ..... 5 gal.
Design pressure ..... 150 psig
Design temperature ..... 250°F
Normal operating temperature ..... Ambient
Material ..... Stainless steel

Boric Acid Tanks

Number 2
Capacity ..... 4,000 gal.
Design pressure ..... Atmospheric
Design temperature ..... 250°F
Normal operating temperature ..... 155°F
Material ..... Stainless steel
Heaters (2 per tank) ..... 4 kw electric *immersion*

Boric Acid Batching Tank

Number 1
Capacity ..... 400 gal.
Design Temperature ..... 250°F
Normal operating temperature ..... 170°F
Heating ..... 151,000 Btu/hr steam
Material ..... Stainless steel
Steam jacket design pressure ..... 15 psig
Steam jacket design temperature ..... 250°F

Reactor Coolant Filter

Number 1

Type .....Disposable cartridge
Design pressure .....200 psig
Design temperature .....250°F
Design flow rate .....80 gpm
Pressure drop at design flow, clean .....7.5 psi
Retention for 25 micron particles, % 98
Maximum differential pressure
prior to cartridge replacement .....20 psi
Vessel material .....Stainless steel

Seal Water Filter

Number 2
Type .....Disposable cartridge
Design pressure .....150 psig
Design temperature .....250°F
Design flow rate .....160 gpm
Retention of 25 micron particles 98%
Maximum differential pressure
prior to cartridge replancement .....20 psi
Vessel material .....Stainless steel

Boric Acid Filter

Number 1
Type .....Disposable cartridge
Design pressure .....150 psig
Desgni temperature .....250°F
Design flow rate .....80 gpm
Pressure drop at desin flow, clean .....Approx. 5 psi
Retention for 25 micron particles 98%
Maximum differential prior to cartridge replacement. .....20 psi
Vessel material .....Stainless steel

Mixed Bed Demineralizers

Number 2
Type .....Flushable
Vessel design pressure .....200 psig
Vessel design temperature .....250°F
Resin volume .....20 ft^3
Vessel resin capacity .....27 ft^3
Bed depth .....3.5 ft.
Bed diameter .....2.2 ft.
Design flow .....80 gpm
Resin bed and vessel pressure drop for
design flow (fouled condition) .....16.5 psi
Minimum decontamination factor for ions removal 10
Lower retention screen, U.S. mesh .....140 (105 micron)
Normal operating temperature .....130°F

Normal operating pressure ..... 175 psig
Resin type ..... Rohm & Haas Amberlite IRN-217 or equivalent
Vessel material ..... Stainless steel

Cation Bed Demineralizer

Number 1
Design temperature ..... 250°F
Design pressure ..... 200 psig
Design flow rate ..... 20 gpm
Vessel resin Capcity ..... 16 ft^3
Resin volume ..... 12 ft^3
Resin ..... Rohm & Haas IRN-77 or equivalent
Upper and lower retention screens U.S. mesh ..... 140 (105 micron)
Operating temperature ..... 130°F
Material ..... Stainless steel

Letdown Orifices

Design pressure ..... 2, 485 psig
Design temperature ..... 650°F
Normal operating inlet pressure ..... 2, 210 psig
Normal operating temperature ..... 286°F
Number ..... 2-40 gpm, 1-80 gpm
Design flow rate at 286°F ..... 39, 900 lb/hr
Differential pressure at design flow rate ..... 1, 900 psi
Material ..... Stainless steel

Batching Tank Agitator

Number 1
Fluid ..... 12% H_3BO_3
Temperature ..... 250°F
Material ..... Stainless Steel

IV. 잔열제거계통 (Residual Heat Removal System)

잔열제거계통의 주기능은 원자로정지 및 연료교환 조작중 노심과 냉각재계통으로부터 열에너지를 제거하는 것이지만 이 계통은 또한 냉각재계통 파이프에 파열 사고가 발생하였을 경우 노심을 긴급히 냉각시키기 위해서 안전주입계통(Safety Injection System)의 일부로도 사용된다. 이와 같은 잔열제거계통의 사고시운전 Mode에 대해서는 후술할 안전주입계통(SIS; Safety Injection System)에서 좀더 상세히 설명하기로 한다.

또한 잔열제거계통은 연료교환작업을 시작하기 전과 작업완료후 Refueling Cavity를 충방수 하는데도 사용된다.

잔열제거계통은 그림2 및 3에서 보는바와같이 2개의 열교환기, 2개의순환펌프(Circulating Pump)와 관련 배관, 발브 및 제어계통으로 구성된다.

제어봉이 삽입되고 냉각재계통이 일부냉각, 감압되면 잔열제거계통의 정상운전이 시작된다. 처음에 원자로의 발생열을 증기발생기를 통하여 방출하고, 이로 인한 증기 발생기로 부터의 발생증기를 터—빈 Steam By-Pass System을 이용하여 복수기에 직접 방출함으로써 원자로는 냉각된다. 이리하여 냉각재의 온도와 압력이 각각 350°F 및 350 psig 또는 그 이하로 하강하면 잔열제거계통의 기기들이 운전에 들어가게 된다. 잔열제거계통은 잔열제거열교환기(Residual Heat Exchanger)의 Shell 측 냉각수 입구

온도가 95°F에 유지될때 2대의 열교환기와 2대의 잔열제거펌프를 모두 운전하여 원자로정지후 20시간이내에 냉각재온도를 140°F까지 내리도록 설계된다.

잔열제거계통을 운전할려면 우선 Component Cooling Water를 잔열제거 열교환기의 Shell측에 순환시킨다. 본 계통으로부터 냉각재계통에 가는 파이프상에 있는 발브(Block Valve로서 원자로 평상운전시에는 폐쇄되있음)가 개방되면 잔열제거펌프가 기동하게되며 원자로 냉각은 잔열제거계통에 의존하게 되고 터—빈 By-Pass System은 정지된다. 냉각재온도가 160°F이하로 하강할때 까지는 원자로 각 Loop를 균일하게 냉각키기 위해서 냉각재순환펌프 1대를 계속 운전시킨다.

잔열제거계통을 처음 운전할 때는 잔열제거 열교환기의 열충격(Thermal Shock)을 최소로 하기 위하여 우선 약 200 gpm의 냉각재가 약 5분간 흘르도록 수동조작 Throttle Valve를 약간 개방한다. 다음에 잔열을 제거하고 소기의 율로 냉각재계통을 냉각시키기 위하여 Valve를 조정하여 필요한 류량을 유지한다.

잔열제거열교환기 By-Pass파이프에는 류량조절 발브(Modulating Valve)가 있는데 이것은 냉각재계통으로 가는 주회로의 유량을 측정하는 유량조절기(Flow Controller)의 신호에 의해서 자동조절된다. 이 유량조절기와 By-Pass Valve(또는 Modulating Valve)의 역할은 잔열제거계통으로 부터 냉각재계통으로 복귀하는 유량을 일정하게 유지하는 것이다. 즉 냉각재온도가 하강함에 따라 잔열제거열교환기 튜부 양단간의 온도차가 감소하는데 이 온도차 감소를 보상하기 위하여 잔열제거열교환기내의 유량은 증가하게 되며 냉각재계통에로의 복귀 유량은 일정하게 유지되므로 By-Pass 유량은 자동적으로 감소된다. 이와 같이 하여 냉각재 온도가 대체로 160°F로 하강하면 냉각재순환 펌프는 정지한다.

시간이 감에 따라 노심에서 발생되는 잔열은 각각 1대의 열교환기와 잔열제거 펌프만을 운전해도 좋을 정도로 감소한다. 이때는 나머지 1대의 열교환기와 잔열제거펌프는 정지해도 좋다. 잔열제거계통은 원자로 용기 상부 뚜껑(Upper Head)을 개방한 후에도 계속 운전하여 연료교환 작업을 시행한다.

보수 또는 연료교환을 위한 원자로 정지후 재기동할려면 냉각재계통에 대한 충분한 점검을 완료할 때까지 잔열제거계통은 계속 운전하여 잔열을 제거하거나 또는 잔열을 제거할 수 있는 상태에 있어야 한다. 냉각재순환펌프가 기동하면 잔열제거계통은 정지된다.

잔열제거계통의 주요 설계 제원은 표 2와 같다.

표 2. 잔열제거계통((Residual Heat Removal System))주요 설계제원

Residual Heat Removal pumps

Number 2
Type .....Vertical centrifugal
Design pressure .....600 psig
Design temperature .....400°F
Design flow rate (each) .....2000 gpm
Total dynamic head at design flow rate...280 ft.
Material.....Austenitic Stainless steel and equivalent *corrosion resistant materials*

Residual Heat Exchangers

Number 2
Type .....Shell and U-tube
Design heat transfer rate (each) .....26×10^6 But/hr

	Tube Side	Shell Side
Design pressure	600 psing	150 psing
Design temperature	400°F	200°F
Design flow rate	1.00×10^6 lb/hr	1.25×10^6 lb/hr
Inlet temperature	140°F	95°F
Outlet Temperaure	114°E	116°F

Material.....Austenitic Stainless steel Carbon Steel

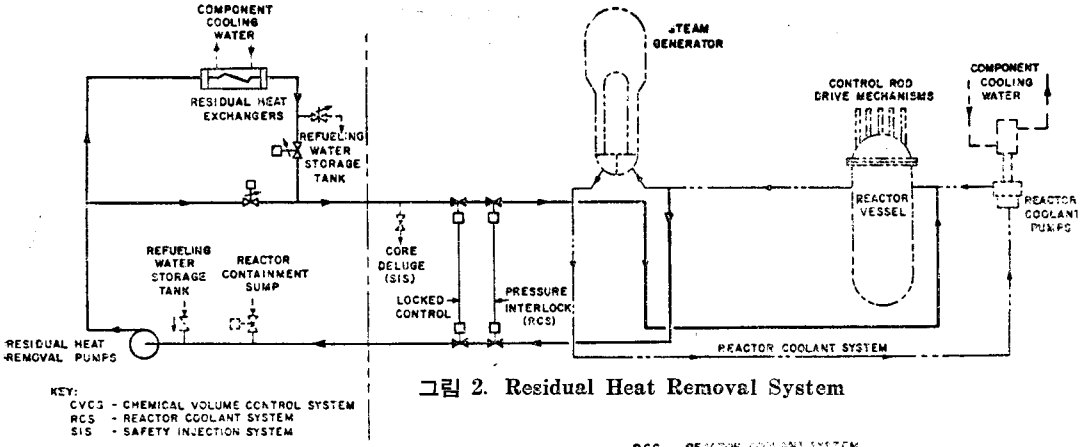

그림 2. Residual Heat Removal System

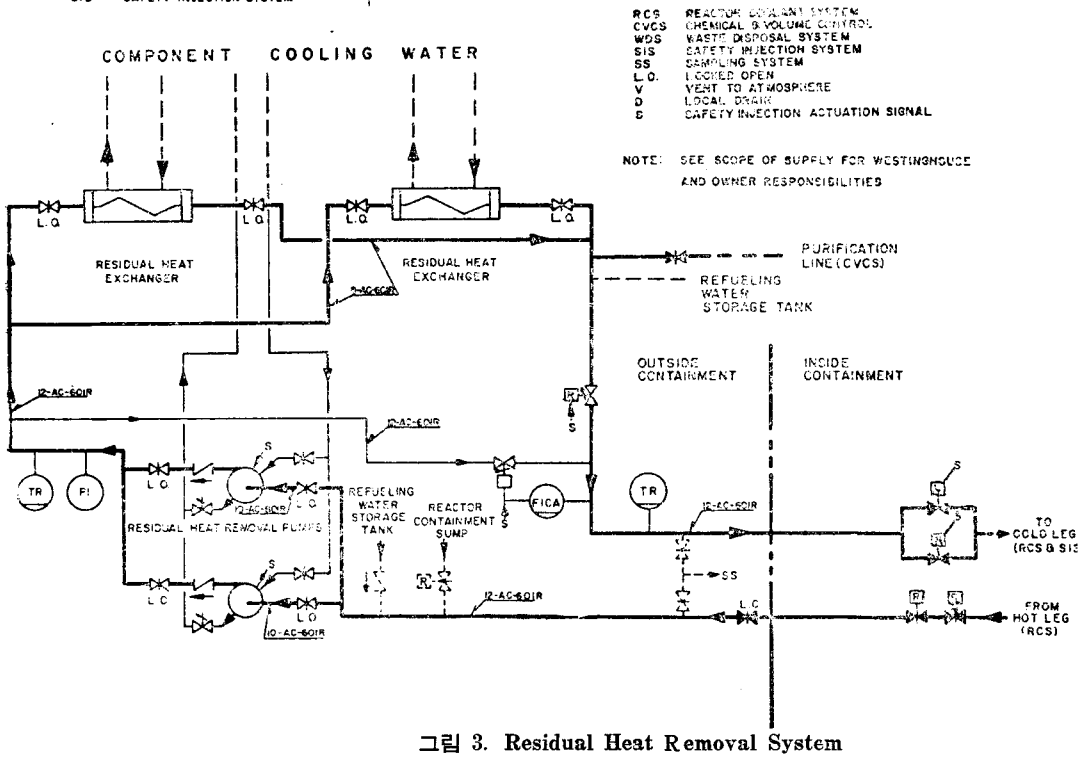

그림 3. Residual Heat Removal System

V. 방사성 폐기물 처리계통 (Radioactive Waste Disposal System)

1. 개 요

방사성 폐기물 처리계통은 방사성을 띤 모든 폐기물 즉 액체, 기체 및 고체방사성 폐기물을 안전하게 폐기할 수 있도록 이들을 수집, 처리 저장하는 설비를 말한다. 본계통의 처리능력은 장진된 연료의 1% 가 손상된 경우를 기초로하여 결정하며 방사성에 관한 규제기관에 의하여 부과되는 한계내에서 운전할 수 있도록 설계된다. 결과적으로 본 계통은 방출되는 방사성폐기물질의 양을 최소로 하는 방향으로 설계한다.

액체 폐기물은 방출하기 전에 방사능준위를 확인하기 위하여 시료를 채취하여 분석한 다음 적절히 통제하여 방출하게 된다. 고체 폐기물은 드럼에 포장하여 해수 중에 폐기한다. 방사성 기체 폐기물은 반감기가 짧은 동위 원소의 방사능이 충분히 붕괴할

수 있도록 Holdup Tank에 저장 했다가 운전원의 완전한 통제하에 방출하게 된다. 이와 같이 방사성폐기물 처리계통은 방사성을 띨수 있는 모든 액체, 고체 및 기체폐기물을 처리하는 이외에도 발전소 일차계통에 수소와 질소를 공급한다.

2. 액체 방사성폐기물 처리

액체 방사성 폐기물은 시료를 채취, 분석하여 방사능 준위를 확인한 후에 발전소 냉각수 방수로에 희석폐기한다. 이하의 설명에 대해서는 그림 4를 참조하기 바란다.

우선 다음과 같은 Source로 부터 나오는 액체 방사성폐기물은 Containment내에 설치돼 있는 Reactor Coolant Drain Tank 내에 수집된다.

가. Reactor Coolant Loop

나. Reactor Coolant Pump #2 Seals

다. Startup 중의 Excess Letdown(화학 및 체적제어계통의 Startup 항 참조)

라. accumulator

다. 밸브 및 원자로 용기 Flange로 부터의 Coolant 누설

바. Equipment Drain.

다음에 Reactor Coolant Drain Tank에 모인 방사성 액체는 Equipment 및 Floor Drain, Radioactive Chemical Laboratory Drain, Laundry 및 Shower Drain 및 Demineralizer Regeneration Fluid와 함께 Containment 외부에 있는 Waste Holdup Tank에 모이게된다. 이때 Drain은 가능한 한 자중에 의하여 Holdup Tank에 모이도록 설계한다. 기타의 방사성 액체는 Containment 내의 Sump Tank에 모인 다음 Sump Tank Pump로 Waste Holdup Tank에 방출시킨다. 통상 Waste Holdup Tank 내의 액체는 Batch 별로 Evaporator를 사용하여 방사성 고체를 응축시키며 응축된 방사성 고체는 드럼에 포장하여 고체방사성 폐기물로서 처리하게 된다. Concentrator에서 증발된 방사성 증기는 Concentrator 출구에서 Component Cooling Water에 의하여 응결된 후 Waste Condensate Tank에 집결된다. 다음에 방사능 준위를 측정하기 위하여 분석한 다음 냉각수 방수구에 희석폐기한다.

3. 기체 방사성 폐기물 처리

수소, 질소 및 기체 방사성물질은 기기 방사성 폐기물 처리계통에 의하여 처리 방출된다. 모든 방사성기체는 반감기가 짧은 방사성 기체의 방사능이 충분히 붕괴되도록 저장하였다가 적정높이의 대기중에 방출하게 된다.

이하의 설명에 대해서는 그림 5를 참조하기 바란다.

질소는 화학 및 체적제어계통의 Holdup Tank 불활성 Cover Gas로서, 화학 및 체적제어계통 Holdup Tank에 냉각재를 채울때 방사성 기체폐기물 처리계통의 Decay Tank에 방출된다. 반대로 원자로계통 운전에 따라 화학 및 체적제어계통 Holdup Tank가 비기 시작함에 따라 질소개스는 Decay Tank로부터 화학 및 체적제어 계통의 Holdup Tank에 복귀한다. 만일 Decay Tank로부터의 질소 공급이 불가능할 경우에는 질소공급 Header로부터 Backup Supply에 의하여 공급받게 된다.

모든 개스는 Vent Header를 통하여 방사성 기체압축기 Suction Header에 공급된다. 기체압축기 한대는 예비이며 보통한대만이 가동하면 된다. 가동중에 있는 Decay tank 압력이 110 Psig로 상승하면 압력제어용 Valve는 닫히고 예비로 있는 Decay Tank의 Inlet Header Valve가 자동적으로 개방되도록 되어 있다.

Decay Tank내에 수용돼 있는 개스는 충분히 붕괴된 다음 화학 및 체적 제어계통의 Holdup Tank에 복귀하던가 적정 높이의 대기중에 방출하게 된다. 대기중에 방출할 경우에는 방출전에 Decay Tank내의 기체를 Monitor하여 방출율을 통제하면서 Vent를 통하여 방출한다. 만일 대기 방출도중 Vent에서 높은 방사능이 검출되면 방출관의 Trip Valve가 자동적으로 폐쇄된다.

운전중 산소와 수소의 함유량을 측정하기 위하여 Holdup Tank와 Gas Decay Tank로부터 주기적으로 시료를 취하여 자동개스분석기로서 분석한다. 산소 함유량이 부피로서 2%에 달하면 연소가 능 한계에 도달하기 전에 예방조처를 취할 수 있도록 경보가 울린다.

4. 방사성 고체 폐기물 처리

모든 방사성 고체 폐기물은 55 *gallon* 드럼에 포장하여 발전소로부터 멀리 떨어진 해수층에 폐기한다. 폐기물 증발기에서 응결된 폐기물은 Vermiculite와 시멘트의 혼합물이 들어 있는 컴프로 주기적으로 봉입시킨다. 다음에 드럼은 차폐된 저장실에 옮겨진다 차폐되지 않은 드럼의 최대 피폭선량은 1m의 거리에서 1R/hr이며 작업구역내에서는 이 피폭선량을 1m의 거리에서 1mR/hr로 감소시키기 위하여 납으

로 차폐한다.

사용제 Resin도 이와 유사한 방법으로 포장한다. 저장 Tank 내의 Resin을 질소로 교환한 다음 Slurry를 Drumming Room에 펌프로 이송한다. 여기서 Resin Slurry도 납으로 Lining 한 55 gallon의 드럼(실제로 내부 용적은 30 gallon임)에 봉입한다. Drum 하부에 있는 Screen에 의하여 물기가 제거된 다음 Drum은 저장실로 옮겨진다.

차폐하지 않았을 때의 최고피폭선량은 1m의 거리에서 1R/Hr. 이다. 작업구역내에서는 이 최대 피폭선량을 1m의 거리에서 1mR/Hr. 로줄이기 위하여 납으로 차폐하게 된다.

이 방사성 고체폐기물 처리계통은 드럼에 들어 있는 방사성 폐기물을 수송차량에 옮기는데 필요한 모든 Conveyor와 기타 적당한 취급 설비를 갖게 된다. 수송 차량의 적재작업은 원자로 보조 건물 안에서 혹은 동 건물에 인접한 곳에서 행하도록 되어 있다.

방사성 폐기물 처리계통의 주요 설계제원은 표 3에 보인 바와 같다.

표 3. WASTE DISPOSAL SYSTEM 주요설계 PARANETER

A. Laundry Pump
Number 1
Design temperature ...180 °F
Design pressure .....150 psig
Design head.....100 ft.
Design flow .....20 gpm
Material .....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Horizontal centrifugal

B. Chemical Drain Pump
Number 1
Desingn temperature...180°F
Design pressure .....150 psig
Design head .....100 ft.
Design flow .....20 gpm
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Horizontal centrifugal

C. Reactor Coolant Drain Pumps
Number 2
Desig temperature .....267°F
Design pressure .....150 psig
Design head .....175 ft.
Design flows(one pump each) .....50gpm, 150 gpm
Material .....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Horizontal

D. Sump Tank Pumps
Number 2
Design temperature ...180°F
Design pressure .....150 psig
Design head .....100 ft.
Design flow .....20 gpm.
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Horizontal centrifugal

E. Waste Feed Pump
Number 1
Design temperature ...180°F
Design pressure .....150 psig
Design head .....100 ft.
Design flow .....20 gpm
Material .....Type 304 Austenitic Stainless steel
Type .....Horizontal centrifugal

F. Waste Condensate Pumps
Numbeer 2
Design temperature ...180°F
Deigsn pressure .....150 psig
Design head .....100 ft.
Design flow .....20 gpm
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Horizontal centrifugal

G. Waste Evaporator Package
Number 1
Capacity(normal) .....2 gpm

H. Laundry and Hot Shower Tanks
Number 2
Design temperature ...180°F
Design pressure .....Atmospheric
Volume each.....600 gal.
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Vertical cylinder

1. Chemical Drain Tank
Number 1
Design Temperature ... 180°F

Design pressure .....Atmospheric
Volume each.....600 gal.
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Vertical cylinder

J. Reactor Coolant Drain Tank

Number 1
Design temperature ...267°F
Design pressure .....25 psig
Volume .....350 gal.
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Vertical cylinder

K. Spent Resin Storage Tank

Number 1
Design temperature ...150°F
Design pressure .....100 psig
Volume .....300 ft^3
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type .....Vertical cylinder

L. Waste Holdup Tank

Number 1
Design temperature ...180°F
Design pressure .....Atmospheric
Volume .....3,300 ft^3
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel or Clad carbon steel
Type .....Hroizontal cylinder

M. Waste Condensate Tanks

Number 2
Design temperature ...180°F
Design pressure .....Atmcspheric
Vclume each .....1000 gal.
Material.....Type 304 Austenitic stainless Steel
Type .....Vertical cylinder

N. Compressor and Auxiliaries

Number 2
Design temperature ...250°F
Inlet pressure .....0.5 to 2 psig
Design discharge pressure.....110 psig
Design flow (N_2 at 2 psig, 140°F) .....20 cfm

O. Gas Decay Tank

Number 4
Design temperature ...150°F
Design pressure .....150 psig
Volume each.....400 ft^3
Meterial.....Carbon Steel

P. Automatic Gas Analyzer

Oxygen .....By paramagnetic 0–4 % O_2 in N_2
Hydrogen .....By thermal cond. 0–30 % H_2 in N_2
Automatic stepping switch .....12 steps
Recorded readout .....12 points
Temperature.....120°F

Q. Hydraulic Baler and Dust Shround

Number 1
Container size .....55 gal. drums

R. Sump Tank

Number 1
Design Temperature ...180°F
Design Pressure .....Atmospheric
Volume .....600 gal.
Material.....Type 304 Austenitic Stainless Steel
Type.....Vertical Cylinder

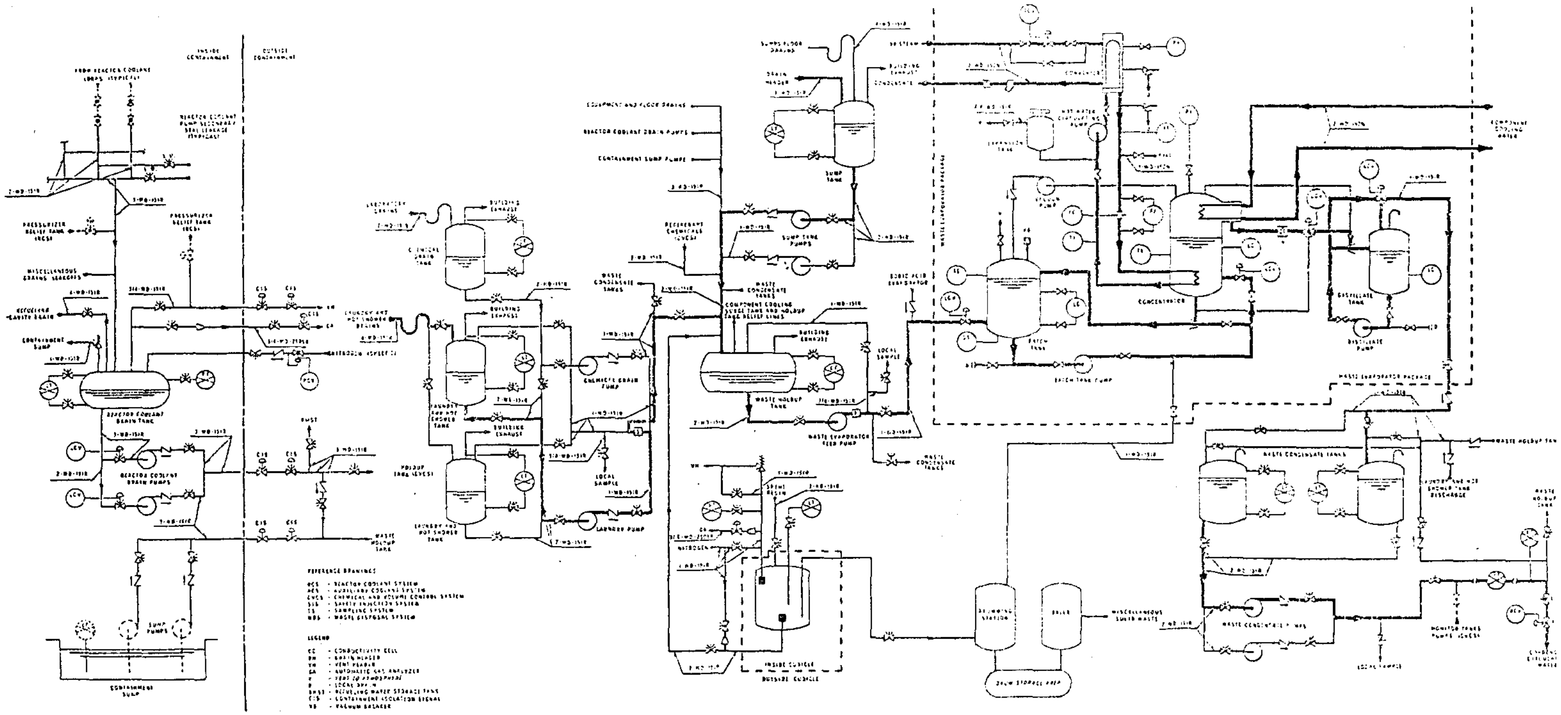

그림 4. Liquid Waste Disposal System

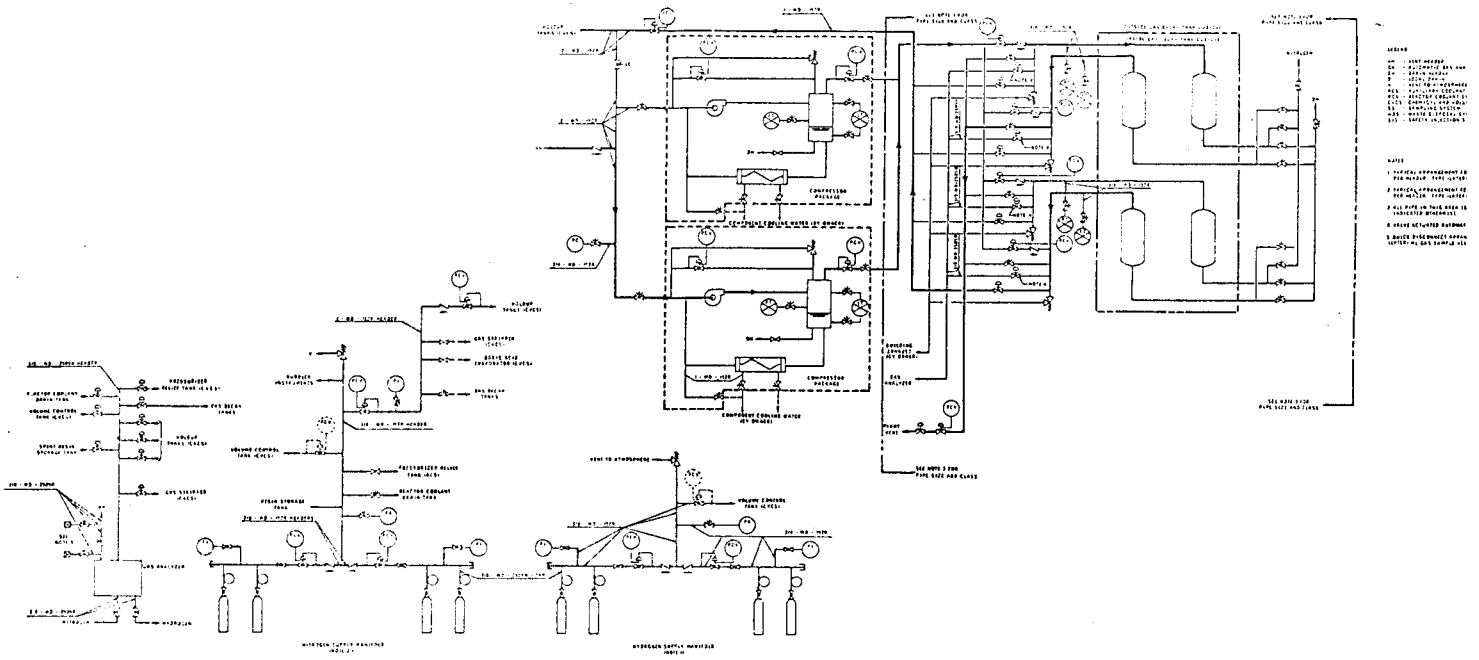

그림 5. Gaseous Waste Disposal System