

지역 난방 시스템 (X) District Heating System (X)

오 후 규
H. K. Oh
부산수산대학교 냉동공학과

6.2 지역열병합 시스템에서의 자동화 기술

6.2.1 자동화 계획

구장치의 재개발, 신설장치의 설계에서는 지역 난방에 자동화 기술의 적용과 그 범위의 확대가 필요하다. 계획의 초기에 명백한 목적기능을 부가하여야만 한다. 최소의 비용으로 양적, 질적으로도 확실하게 열공급을 할 수 있는 좋은 지역난방 시스템이 그 목적이 된다. 기능의 일부로서 장치의 관리에는 다음과 같은 것이 필요하다.

- (1) 연료소비율의 최소화
- (2) 장치 유효성의 향상
- (3) 에너지의 절약

더우기 자동화된 장치는 정확하게 그 범위를 결정하여야 하며, 순수한 기술외에 용이하게 관리조직내에서 조립되도록, 또 지역에 수용될 수 있도록 배려할 필요가 있다.

자동화의 범위가 결정되면 운전관리상 필요한 그 범위내외의 모든 조건 및 그의 필요 사항들에 대해 목록을 만든다.

이러한 것에는 지역난방 단독의 장치에 대해서 예를 들면 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 열량 및 전력의 연간 및 하루의 변화곡선
- (2) 장치의 운전계획(열발생 플랜트의 운전최적시기, 부하의 최대변화속도, 시동·정지회수 등, 즉 시스템의 정적·동적 물성값)
- (3) 외부에서 플랜트에 대한 외란(표 6.4 참

조) 동시에 현재 고려하고 있는 장치에서 일어나는 시스템에 대한 다음의 제약을 유의해 둘 필요가 있다.

- (4) 기술상의 제한(유량, 증기 발생량의 기술상 최소부하 등)
- (5) 장치와 그 작동에 대해서 예상할 수 있는 외란

그림 6.21 열병합발전소 블록(터빈발전-온수 가열)에 관해서 기능 및 시스템의 개략을 나타낸 것이며, 또한 표 6.5에 이러한 경우 예상되는 제어대상을 관련지어 단계적으로 나타내었다.

표 6.6에는 난방배관망의 변유량 온수공급과 전기에너지 공급에 대한 주요외란과 그 영향이 주요제어량에 관해서 조직적으로 나타내었다. 보조냉각기 Hiku에서는 피크부하 운전시의 피크 발전량에 대응하는 증기량과 이 때 공급해야 되는 열량에 대응하는 증기량과의 차를 복수한다. 제약이 있는 경우의 문제 해결로는 그림 6.22와 같은 특성요인 계통도를 사용하면 좋다. 해결을 요하는 문제의 부분은 요인 수준에서 분류되고, 상위의 목적에 대해서 배열할 수 있다(그림 6.22 및 6.23 참조). 요인 수준은 자유롭게 임의로 나눌 수 있다.

운전방법의 개선점(운전비의 감소 등)을 찾기 위해서는 열역학, 에너지 경제학, 안전공학의 면에서부터 과학적으로 접근하면 유리하다.

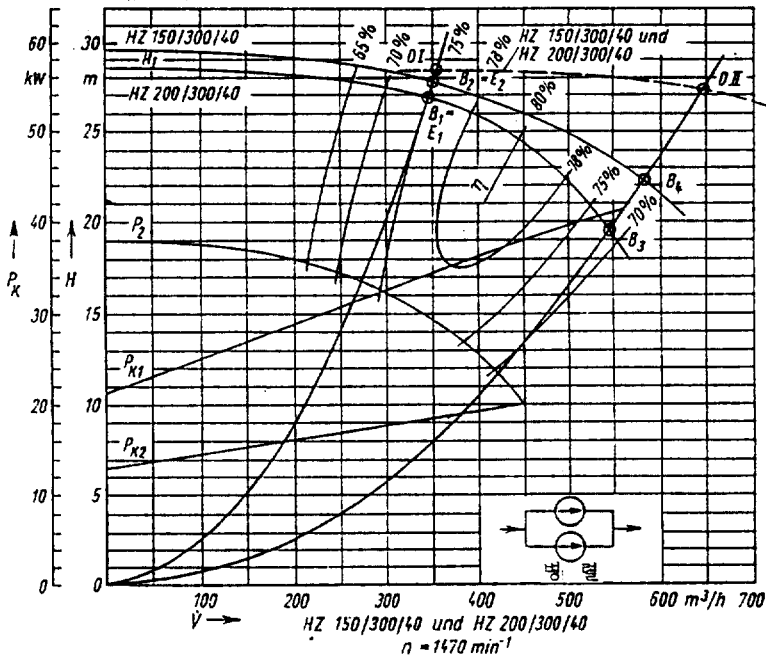


그림 6.12 동일성능인 2대의 펌프 직렬운전

- (역주) 1. 점 AII의 펌프 토출량은 점 C의 2배
 2. 점 AI, 점 AII는 2대병렬 운전시, 점 A1, 점 A2는 단독 운전시

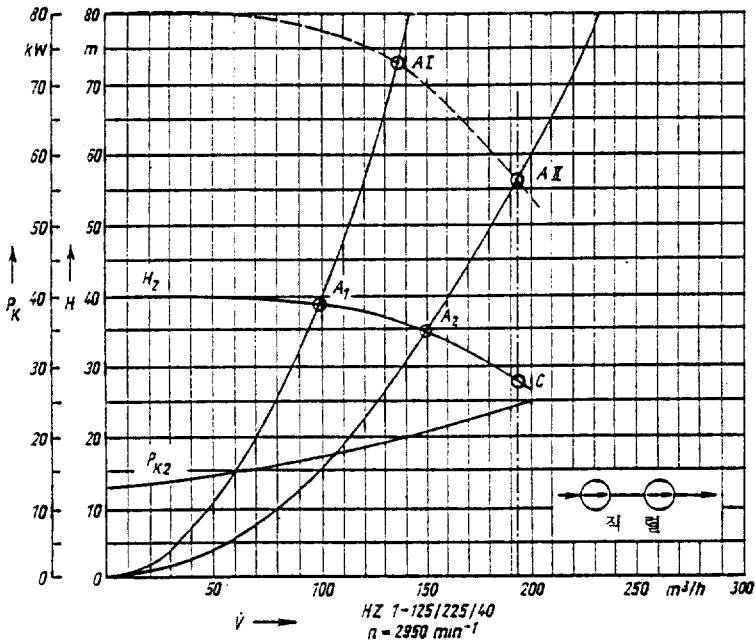


그림 6.13 동일성능인 2대의 펌프 직렬운전

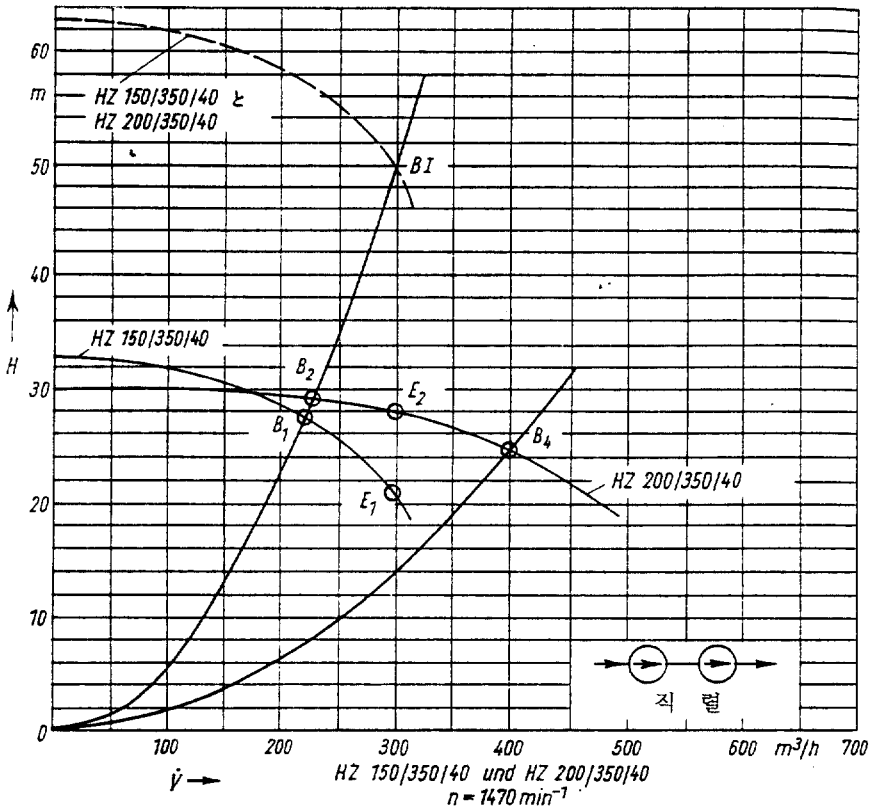


그림 6.14 성능이 다른 2대의 펌프 직렬운전

표 6.4 지역난방 시스템의 주요외란의 경험치

공학상 프로세스에서의 간섭 종류	변동속도 또는 변동의 진폭	신호의 특성
외란(外亂)		
기 후	외기온 3~5K/h	주기적 외란
열공급량변동	$\pm 0.6\%$ 까지	일정의 시간에서는 ramp함수의 특성을 가지지만, random
연료 (고단위발열량)		
연료유	$\pm 20\%$ 까지	random
아 탄	$\pm 10\%$ 까지	random
수요부하변동		
전기에너지	6~(10)%/min	주기적외란, ramp함수
고온수	공급온도 최대 3K/min	주기적외란, ramp함수
	공급량 6%/min까지	
증 기	공급량 최대 0.5%/min	random

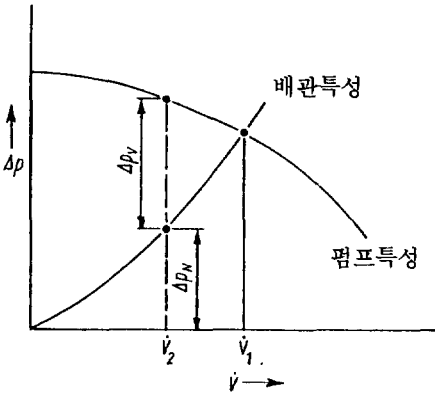


그림 6.15 교 축 제 어

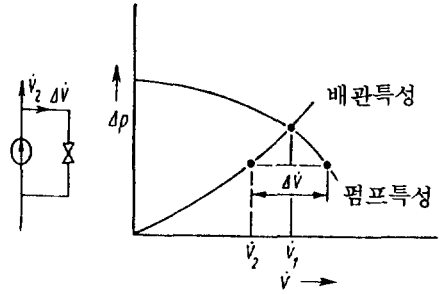


그림 6.16 바이패스제어

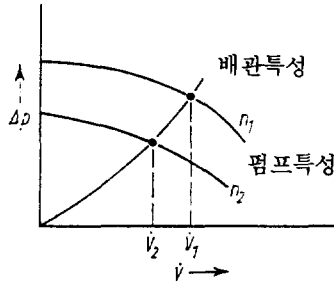


그림 6.17 회전수제어

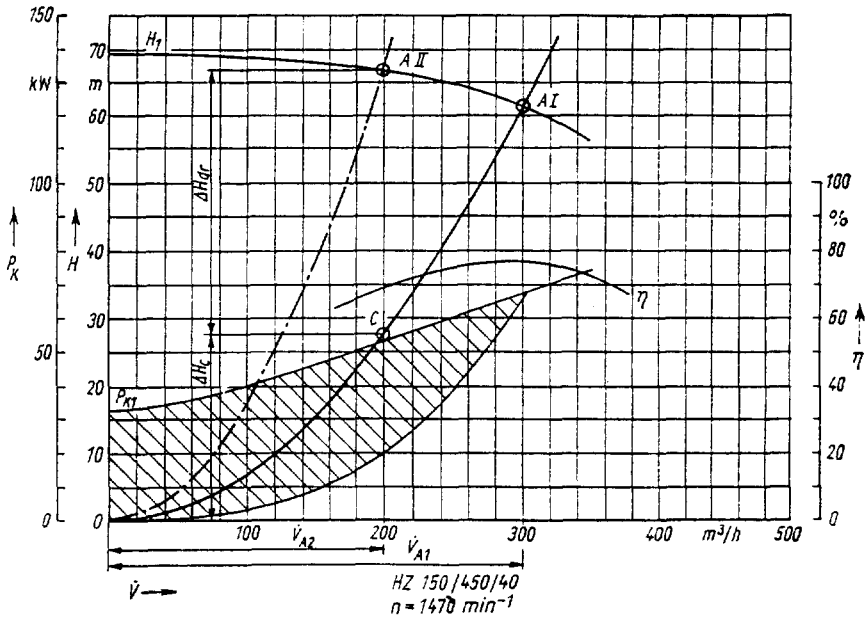


그림 6.18 교축제어(교축에 의한 배관특성의 변화) 소수량을 얻기 위해 교축에 의해 일어나는 손실

표 6.5 HKW 블록의 고온수, 전기에너지 공급의 제어가능성

1. 전기에너지 공급 P	2. 관로망에서의 고온수 열공급량 $\dot{Q}_N = f$ (\dot{m}_N, t_r, t_R)	2.1 고온수 송수온도	2.1.1 터빈 배압 p_i	2.1.1.1 p_G 의 직접압력 측정	2.1.1.2 Heiko 1 또는 2후의 송수 온도 t_{v1}, t_{v2}
			2.1.2 터빈추기 압력 p_E	2.1.2.1 p_E 의 압력직접 측정	2.1.2.2 피크부하용 가열기(Spivo) 후의 송수온도 t_{vs}
			2.1.3 바이패스 고온수량	2.1.3.1 Heiko후의 바이패스량 \dot{m}_{B2}	2.1.3.2 피크부하용 가열기(Spivo) 후의 바이패스량 \dot{m}_{BS}
	2.2 고온수 순환량 \dot{m}	2.2.1 순환수 펌프 회전수 n	2.2.2 교축 \dot{m}	2.2.3 펌프의 발정	
	3. 보조냉각기 (Hiko)로의 배열량 \dot{Q}_{HIKU}	3.1 냉각재순환 고온수 \dot{m}_R	3.1.1 Heiko 1후의 재순환 \dot{m}_{R1}	3.1.2 Heiko 2후의 재순환 \dot{m}_{R2}	3.1.3 피크부하용 가열기(Spivo) 후의 재순환 \dot{m}_{RS}
		3.2 고온수 냉각환수 $\dot{m}_{H(mB)}$			

(역주) (그림 6.13)

이것은 특성요인도, 또는 단순히 계통구조로 호칭되고 있다. 최종목적(이 예에서는 전력의 제어)에 관련이 깊은 중요한 요인에 관해서 상호의 관계를 증별화하고 나무구조의 형태로 구조화한 것이다. 표에서 1이 최종목적, 2, 3이 여기에 관련이 있는 중요요인이다. 또 2, 3에서 각각 2.1, 2.1, 3.1과 같은 수준의 것이 나누어져 있다. 마지막 숫자에서 2번째까지 숫자가 동일하고 최후의 숫자만이 다른 번호, 예를 들면 2.1.1.1과 2.1.1.2는 동일 수준의 것이지만 표 6.5에서는 표가 너무 크게 되는 것을 피하기 위해 병렬이 아니라 직렬로 나열하였다.

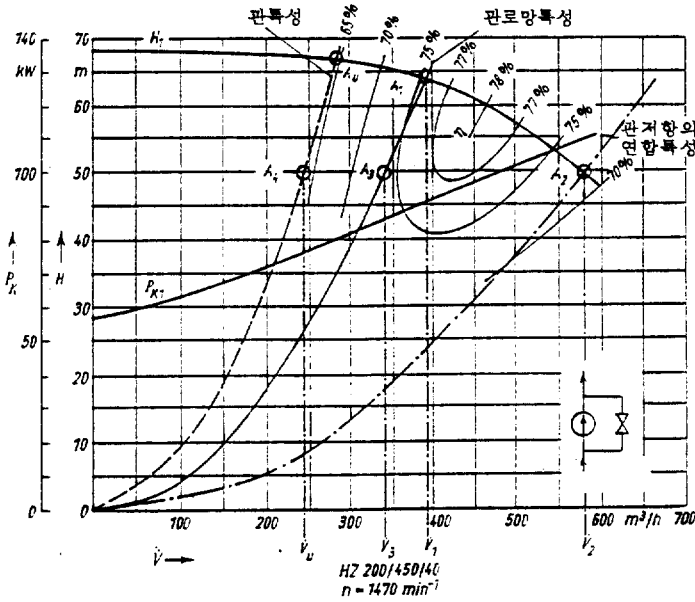


그림 6.19 바이패스제어에서의 펌프의 작동

(역주) $\dot{V}_{21} + \dot{V}_3 = \dot{V}_2$

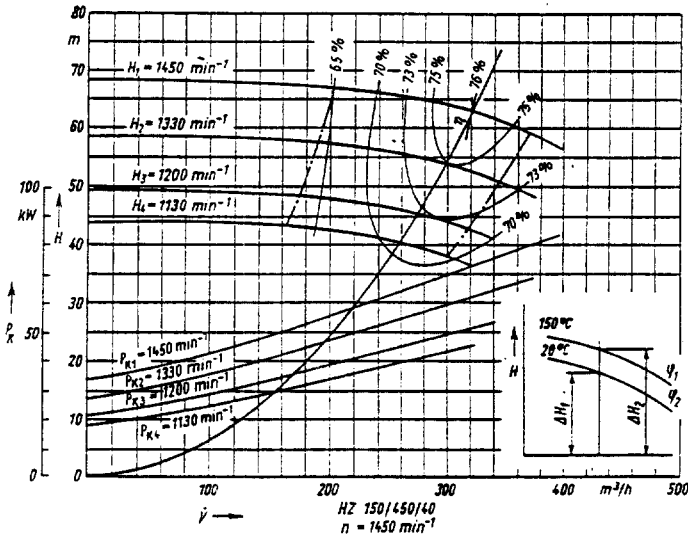


그림 6.20 회전수 제어특성

(역주) (그림 6.20)

1. H=1 450min⁻¹은 1,450/min시의 펌프의 특성곡선
2. 우측 하단의 그림은 온도가 변화하면 밀도가 변화하고, 동일압력차에 대해서 헤드가 다른 것을 나타낸다.

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = \frac{28^\circ\text{C에서의 밀도}}{150^\circ\text{C에서의 밀도}}$$

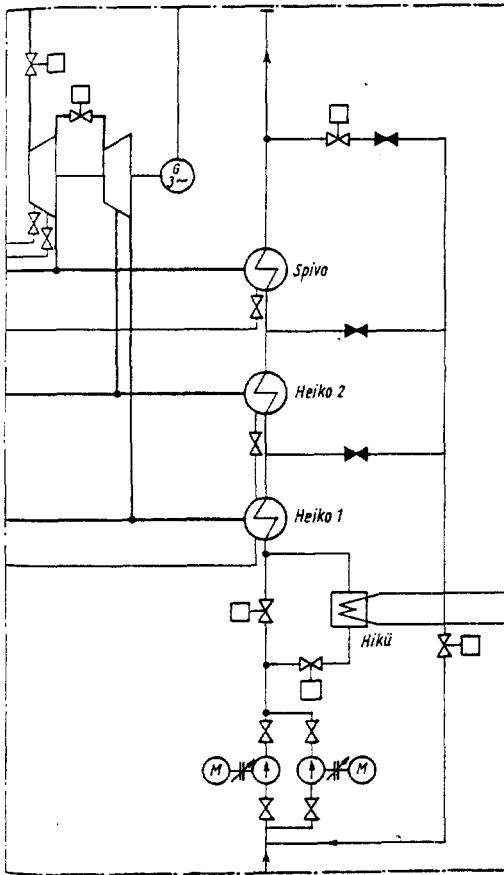


그림 6.21 열병합발전소 블록의 고온수 가열과 증기터빈

설계중에 발견된 문제의 평가와 중복의 단계가 있다. 평가 매트릭스에 따라 각종 중복의 표준, 예를 들면 다음에 나타낸 항목을 무차원한 특성 값에 따라 문제를 풀면 그 비교가 가능하게 된다 (6.7.8).

- (1) 자동화장치의 예상비용(설비와 운전비)
- (2) 계획목적이 달성될 때의 예상이득
- (3) 문제 해결의 성공확률
- (4) 프로세스에 대한 위험도

6.2.2 측정치의 수, 종류와 측정 허용 오차

먼저 말로만 언급되어 있던 문제도 자동화할 프로세스를 도식화해서 수학적인 모델화 함으로써 완전하면서도 명확하게 선택하여야 한다. 문제의 종류에 따라서 이러한 정적·동적 모델은 운전특성 외에 시동계획, 정적동작점, 한계치, 계산지령 등으로부터 구성되어야 한다.

계획중의 문제에 대해서는 기능목적에서 출발하여 계측시스템에 관한 요구로서 부분목적을 확정한다. 반복 프로세스에서는 어느 정도 측정하는 가는 요구와 목적과를 대비해서 결정한다. 프로세스의 크기에 따라 측정의 과민성과 불확실성은 다르며, 전자동화가 제약을 받는 경우가 있다.

수학모델과 시스템 경계를 명백하게 확정함에 따라 중요한 측정치의 수와 종류(물리학적 크기, 즉 물성값과 그 외 가치가 있는 것)의 제 1 근사치가 결정된다.

요인수준	기능 목적 또는 문제		
FWV시스템	연료소비율위 최소화		
블록	시스템단위의 최적화	제어범위내에서의 블록의 최적운전	시동 및 정지시 블록의 최적운전
장치	열역학적 특성 지수의 조사	증기발생기의 배가스손실의 최소화	증기터빈의 최적배압 전압에 관계없는 증기발생장치 및 터빈장치시동 및 정지 보조냉각기 없는 시동 및 정지, 고온수 재가열시의 열낙차이용

그림 6.22 특성요인 계통도 「연료 소비율의 최소화」로부터 발생하는 자동화의 문제

요인수준	기능 목적 또는 문제	
지역별공급 시스템	공급확실성의 향상	
블록	계획적 예비보선을 최적화하기 위한 통계적인 값의 조사	고장에 의한 휴지시간, 휴전의 감소
정지	운전시간 측정	운전기교체, 고장수리, 축열과 여기에서의 공급
구조요소	운전범위한계내의 운전시간측정	한계치 및 고장의 신호화

그림 6.23 특성요인 계통도 「공급확실성의 향상」으로부터 발생되는 자동화 문제

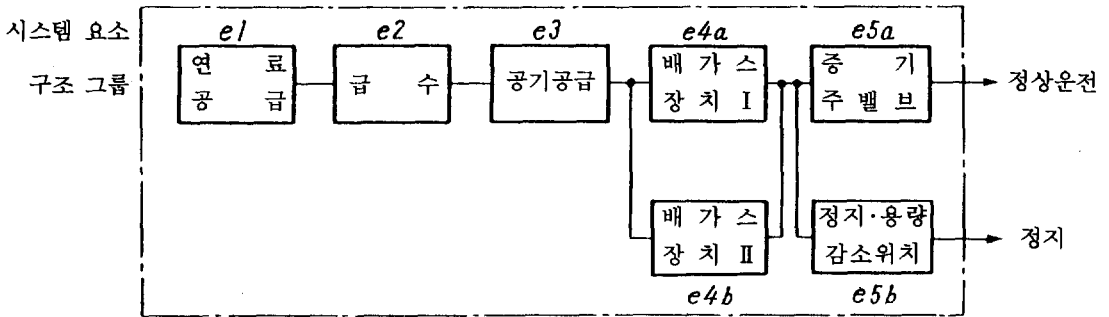


그림 6.24 접속상황을 특성화하기 위한 증기발생장치(매우 간단화된)의 신뢰성 다이어그램

문제와 시스템의 분할에 의해 최대측정개소 (각 문제마다) a 가 결정된다. 예를 들면 수치결산 문제에 관해서는 a_{max} 로 하여 다음 값을 구할 수 있다.

$$a_{max} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m N_{ij}$$

여기서 N_{ij} 는 선정된 시스템역내에서의 에너지와 물질 흐름의 i 번째의 단면위치에 대한 j 번째의 직접 또는 간접 측정치

측정하기 위한 설비비와 측정비를 감소하기 위해서 측정개소를 중요점으로 한정하고, 실제로 필요로 하는 측정개소를 적게 설정하여야만 한다. 동시에 허용오차는 가능한한 크게 주어야 한다.

다음의 모델 함수의 감도는 문제시 되고 있는 운전점에 대한 전미분에 의해 얻을 수 있다.

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_p)$$

$$\Delta y = \sum_{k=1}^p \left(\frac{\partial F}{\partial x_k} \Delta x_k \right)$$

Δx_k 에 대한 외란에 의해 발생할 수 있는 편차, 과도한 감도, 즉 측정의 불확실성에 관해서 고려가 필요하다. 각각 크기의 부분적 영향($\partial F / \partial x_k$) Δx_k 가 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

Δx_k 에 대한 외란에 의해 발생할 수 있는 편차, 과도한 감도, 즉 측정의 불확실성에 관해서 고려가 필요하다. 각각 크기의 부분적 영향($\partial F / \partial x_k$) Δx_k 가 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial F}{\partial x_k} \Delta x_k \ll \Delta y$$

Δy 에 대해 그 값이 매우 작으면 여기에서의 측정은 필요하지 않다. 모델함수에서는 일정하다고

둘 수 있다.

이러한 관계를 바탕으로 특성요인계통도에서의 최저수준의 문제로부터 시작하면 각각의 문제에 대한 영향은 바로 위의 수준에 대해서 개략적으로 계산할 수 있다. 동시에 상위에서 하위로 수준의 순번으로 계획한 부분목적을 달성할 수 있는가 검토를 할 수 있다.

위에서 설명한 방법으로 실제로 필요한 측정수, 기록해야만 하는 중요치를 결정할 수 있다. 계산에 의한 방법이 가능하지 않는 경우는 감도, 즉 허용치에 관해서 정보를 얻기 위해 대비할 수 있는(상당히 비슷한) 프로세스에 관해서 예비시험에 의존해야만 한다.

측정점을 더욱 감소하기 위해서는 하나의 측정치에 다목적적으로 사용(예를 들면 압력과 온도간에 명확한 관계가 있는 경우, 압력만의 측정으로 끝낼 수 있다)하는 것이 가능하다. 신호의 다목적 사용에는 그 목적에 대해 필요로 하는 최소허용치를 판정해야만 한다. 각종의 표시, 측정범위의 허용치에 관해서 특별한 값을 취할 수 있는 경우, 예를 들면 허용치가 큰 경우, 어떤 프로세스의 상태는 2가지의 신호(운전, 정지)로 충분하다.

이러한 경우 시스템의 분할수에 따라 중요한 측정점(O/L) 신호가 결정된다.

$$a_{max} = \sum_{i=1}^q e_i$$

여기서, e : 시스템 구성요소수

요소 조합의 운전상태를 특성화하기 위해서는 필요한 신호의 최소수는 그림 6.24의 신뢰성 다이아그램에 의해 알 수 있게 된다.

그림 6.24에서 알 수 있는 바와 같이, 예를 들면 증기발생기 정상운전의 명백한 신호는 보일러의 증기주밸브가 열려있는 것이지만 다른 구성 그룹은 모두 운전상태가 되어야 한다. 그러나 시동 또는 정지상태가 또 문제가 된다.

6.2.3 주파수 범위

측정장치는 동적 프로세스 변화(시간과 진폭)이 허용할 수 있는 오차범위내에 재생할 수 있는 것을 선정해야만 한다. 이를 위해 프로세스의 주

파수 범위를 아는 것이 필요한 측정장치를 선정하는 데 중요하다. 지역난방 시스템중에 일어날 수 있는 모든 사고(프로세스중의 간섭, 외란 등)은 근사적으로 다음과 같이 나타난다.

- (1) ramp 함수
- (2) 인펄스 및 펄스 또는
- (3) 랜덤한 외란

로서 나타낸다(표 6.6 참조).

해결해야 될 문제에 대해서 동적모델이 존재하지 않는 경우, 프로세스 주파수 밴드를 얻는데 계측공학상 필요한 것은 다음 설명에 따라 그 자체 또는 대비(상당히 비슷한) 프로세스의 도움을 받아 계측공학적으로 풀 수 있다.

- (1) Fourier 해석(요소정현함수의 주파수와 진폭)
- (2) 상관법
- (3) 시험신호법

6.2.4 아나로그 측정법의 양부(良否)의 정도

- (1) 정적 오차

지역난방에서 사용되는 아나로그 측정치의 대부분은 직선 특성을 나타낸다.

$$x_o = kx_i$$

여기서, x_o : 출력, x_i : 입력, k : 변환비 각각의 크기(예를 들면 발신기, 변환기, 지시기)가 직렬로 접속되어 있으면

$$\frac{x_o}{x_i} = \prod_{i=1}^n k_i$$

계측기의 직렬접속시의 상대오차는

$$\frac{\Delta x_o}{x_o} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta k_i}{k_i}\right)^2}$$

여기서, $\Delta k_i/k_i$: 각각의 계측기 상대오차(확실성의 등급 구분)

비 v 가 다음과 같은 관계가 있으면

$$v = \frac{\text{측정치}}{\text{측정범위}} < 1$$

표 6.6 고온수공급망의 변유량 방식에서의 고온수 및 전기에너지 공급의 주요외란

제 어 량	중요한 외란(外亂)		외란의 영향	
	외 부	내 부	직 접	간 접
열공급망에 대한 고온수의 열공급량 \dot{Q}_N		<ul style="list-style-type: none"> • 순환량 \dot{m} • 추기증기부하변동 • 바이패스양 \dot{m}_B 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온수 • 송수온도 t_v 	<ul style="list-style-type: none"> • 전력 P • 증기량 \dot{m}_F
	<ul style="list-style-type: none"> • 수요가 열수요 • 송수헤드변화 $H=f(p_v, p_R)$ 		<ul style="list-style-type: none"> • 순환량 \dot{m} 	
보조냉각기에서의 배출영량	<ul style="list-style-type: none"> • 고온수 환수온도 t_R • 냉각수량 \dot{m}_k • 냉각수온도 t_k 		<ul style="list-style-type: none"> • 재순환량 \dot{m}_R 	

계측기의 직렬접속시에 관한 상대오차는 다음과 같다.

$$\frac{\Delta x_a}{x_a} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta ki}{vki} \right)^2}$$

(2) 동적 오차

이상적인 계측기에서 시간적으로 변화하는 입력함수 $x_e(t)$ 에 비례해서 $x_a(t)$ 를 나타낼려고 하면, 즉

$$x_a(t) = \text{정수} \times x_e(t)$$

로 하면 실제 계측시스템에서 재현을 하면 오차가 생긴다. 직선형 계측시스템에 대해서 다음과 같은 ramp 함수의 계측시에는

$$x_e(t) = ct$$

여기서, c: 정수, t: 시간

근사적으로는 다음에 나타내는 동적오차가 결과로서 생긴다.

$$\Delta x_{dyn} = x_e - x_a \approx \frac{c}{6f_g}$$

여기서, f_g : 계측시스템에서 허용할 수 있는 한계의 주파수(계측기의 카타로그에는 f_g 는 자주 95% 진폭치까지의 진동시간 t_E 만으로 표시하고 있지만, $t_E: 1/2f_g$ 로 환산할 수 있다.)

그림 6.25와 같이 단형상의 프로세스 변화가

있는 경우, 한계 주파수 f_g 는 f_b 를 프로세스 주파수로 하면 다음과 같이 되어야 한다^(6.17).

Surge 높이의 식별 $f_g = f_b$

형태의 식별 $f_g = 5f_b$

측정치의 원격반송, 그 처리를 위해서는 아나로그값은 디지털값으로 변화시켜야 한다. 이것에 대해 필요한 비트수는 각각의 출현빈도가 같은 상태(등분포)에 대해서 정보 엔트로피 H_0 로부터 계산할 수 있다^(6.11).

$$H_0 = lb \left(\frac{x_a}{a\Delta x_a} + 1 \right)$$

여기서 $\Delta x_a/x_a$: 계측시스템의 상대오차는 α 는 $\Delta x_a/x_a$ 가 + 또는 -일때 1, $\Delta x_a/x_a$ 가 \pm 일때 2.

이러한 관계에 따라 선택되어진 계측법과 등가의 아나로그-디지털 변환기를 설치할 수 있고, 또 계측값의 디지털 처리시의 정보 엔트로피 H_0 를 적정한 값으로 한정할 수 있다.

6.2.5 디지털 측정법의 양부

회전수, 시간차, 양, 유량의 계측은 특히 디지털화 되고 있다. 이 계측방법은 정해진 시간내의 펄스를 알려주는 것에 따른다. 계측결과는 디지털로 나타낼 수 있다.

주파수, 회전수의 측정에는 다음과 같은 관계가 있다.

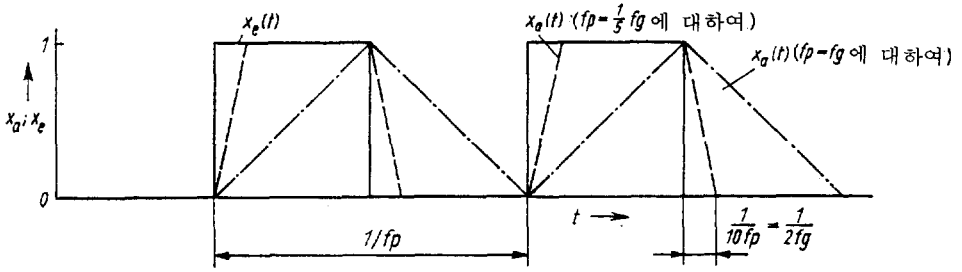


그림 6.25 펄스에에서의 측정시스템의 한계주파수 평가^(6.11)

(역주)

실선으로 나타난 짧은 형 펄스열의 형태특성을 거의 손상시키는 일 없이 나타내기 위해서는, 높이는 일정해신, 또 형태의 식별에는 파선의 펄스열을 사용할 수 있다.

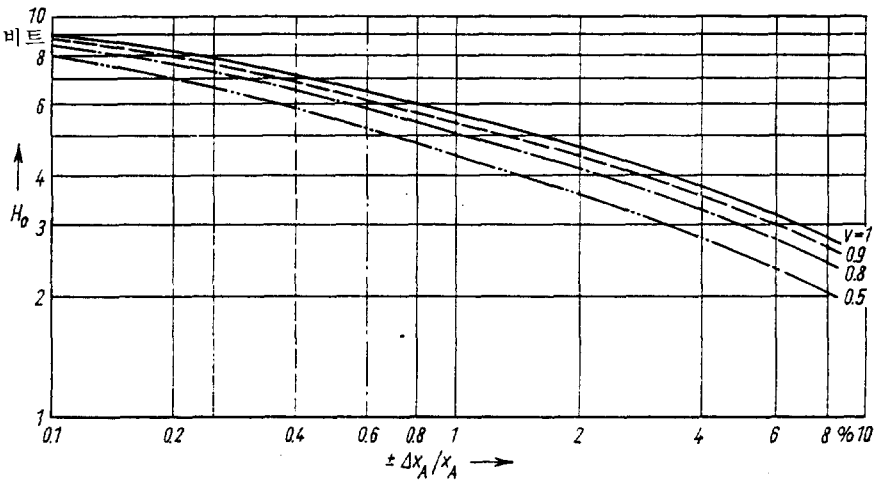


그림 6.26 아나로그 신호의 상대오차의 디지털 변환에서의 정보 엔트로피 파라미터
: v = 측정치/측정범위

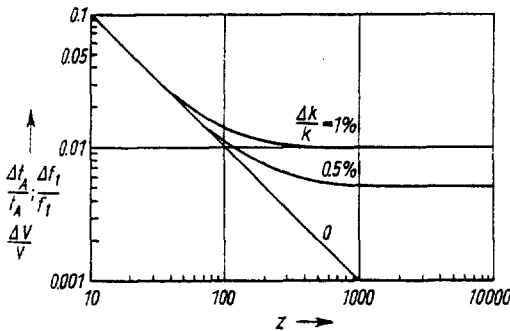


그림 6.27 디지털 계측시스템의 오차

$$f_I = \frac{z}{t_A}$$

시간에 관해서는

$$t_A = \frac{z}{f_I}$$

따라서 용적, 양, 일은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = f \cdot t \cdot k = z k$$

여기서, f_I : 펄스 주파수, z : 펄스수, k : 계측기 정수, t_A : 펄스수를 알려주는 정해진 시간

이 계측시스템의 상대오차는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\Delta f_I}{f_I} = \sqrt{\left(\frac{I}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_A}{t_A}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{I}{t_{AII}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_A}{t_A}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta t_A}{t_A} = \sqrt{\left(\frac{1}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f_I}{f_I}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{1}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2}$$

일반적으로 펄스 주파수 또는 펄스수를 계산하는 정해진 시간을 증대시키면 오차는 감소한다. 용적, 양 등의 측정에서는 측정기의 오차 $\Delta k/k$ 로 디지털 계측 시스템 오차의 하한이 결정된다. 펄스수를 계산하기 위해 정해진 시간의 오차 $\Delta t_A/t_A$ 를 무시한 경우의 z 와 이들의 관계는 그림 6.27과 같다.