방적공장에서의 공기조화(Ⅲ)

3. 공기조화의 자동제어

공기조화에 의해 실내의 온습도를 일정하게 유지하기 위해서는 실내의 순환공기가 보유하는 열량과 수분량의 조절이 필요하다. 공기조화 장치가 취득하는 열량에 크게 영향을 미치는 외기조건은 계절, 기후 또한 같은 날이라도 시간에 따라 크게 변화한다. 일사량도 마찬가지이다. 기계에서 발생하는 열도 가동률에 따라 변한다. 수동으로 밸브(valve) 및 댐퍼(damper)를 조절하고 목표의 온습도를 유지하기 위해서는 숙련을 요할 뿐만 아니라, 사람의 손을 많이 요한다. 한편 제어의 질 허용폭이 큰 경우, 전에는 사람의 조작능력 범위 내이었지만, 최근과 같이 제어폭의 요구가 커지고, 사람에 의한 조절한도의 초과, 작업원의 생산적인 일로의 전환, 더욱이 생에너지화의 요구가 증가됨으로써 방직공장의 공기조화장치에도 자동제어장치를 채용하게 되었다. 자동제어를 정면으로 다루는 것은 매우 어려우므로 여기서는 자동제어의 개요와 방직공장에서 채용하고 있는 자동제어의 실례를 통해 자동제어장치의 계획과 그 사용법을 주로 해설하였다. 따라서 기기의 원리 및 구조에 대해서는 메이커마다의 특징이 있으므로 메이커 측과 자세히 상담하는 것이 바람직하다.

3.1 피드백계의 구성요소

자동제어란 한마디로 말하면 모든 기계나 장치의 운전을 사람 대신 기계가 실행하는 것이다. 사람이 하는 동작은 무엇일까, 실내온도의 조절을 예로 들어 생각해 보자. 在室者는 <그림 3.1>에서 볼 수 있듯이 온도계를 감시하고, 그 값이 사전에 정한 값보다 높거나 낮으면 즉시 증기밸브를 개폐하여 목표치를 유지토록 한다. 이 재실자의 동작을 분석하면 다음과 같다.

① 온도계를 읽는다.

② 이 값을 목표치와 비교한다.

③ 어느 정도 증기밸브를 가감할까 판단하고 밸브조작을 한다.

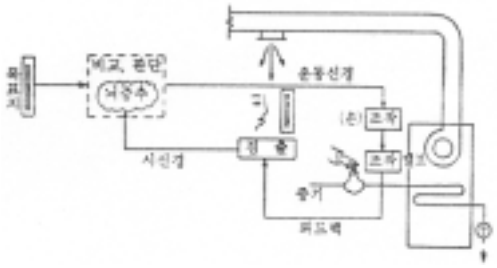
④ 그 결과를 온도계에서 재확인한다.

⑤ 목표치가 될 때까지 ② ④의 동작을 반복한다.

이와 같이 결과로부터 원인(실내온도 조절의 예에서는 증기밸브의 가감)의 수정이라는 순환을 반복하는 동작을 피드백이라고 한다. 이처럼 전체의 흐름이 하나의 폐루우프를 형성하고 있는 점이 큰 특징이다.

재실자의 동작을 도시(圖示)하면 <그림 3.2>와 같은 피드백이 이루어지며, 신호의 전달은 한바퀴 돌고 처음 지점으로 되돌아오는 전체가 하나의 닫힌 회로로 되어 있다. 이 그림을 간단히 나타내기 위해 단형 블록을 이용해 그려보면 <그림 3.3>과 같다. 이것을 블록선도라고 한다. 공기조화기를 예로 나타내면 <그림 3.4>와 같이 검출한 온도가 되도록 조절밸브를 작동하여 증기량을 결정하고, 그 결과를 다시 검출하여 조절밸브를 되돌린다. 이와 같은 방법을 피드백 제어라고 한다. <그림 3.5>에 실내온도의 자동제어 블록선도를 나타냈다.

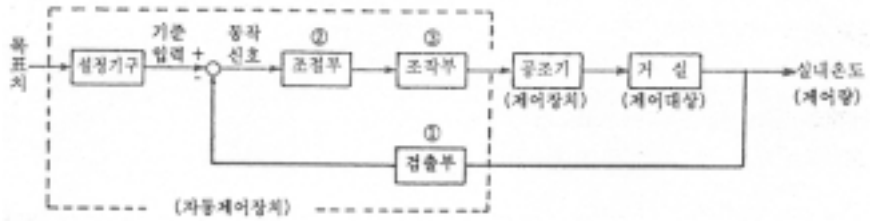
<그림 3.1> 실내온도의 수동조절



<그림 3.2> 수동에 의한 실내온도의 제어 흐름도

<그림 3.3> 수동 온도제어의 블록선도

<그림 3.4> 실내온도의 자동제어



<그림 3.5> 실내온도 자동제어의 블록선도

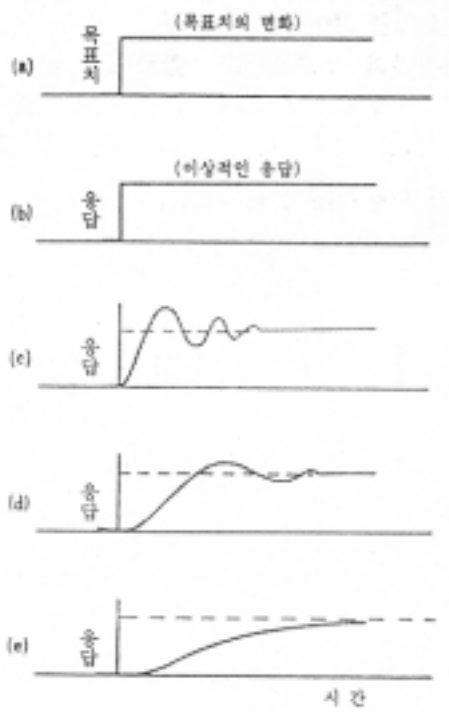
3.2 제어의 질

<그림 3.6> (a)에 나타냈듯이 자동제어계의 목표치를 급변(스텝형태로)시킬 때, 이에 대해 자동제어계가 어느 정도의 응답을 하느냐로 제어의 질이 분명해진다. 이상적으로는 목표치의 급변에 제어량이 완전히 추종하고,

언제라도 목표치와 제어량이 일치하여 편차가 항상 제로인 (b)와 같은 응답을 할 수 있는 자동제어계가 바람직하다.

그러나 실제는 여러가지 지연 요인이 있기 때문에 이러한 응답은 불가능하다. 예를 들어 조작부만을 생각해 보더라도 조작부가 전동기라면 회전자의 관성에 의한 지연 또는 공기식이라면 다이어프램 케이스에 공기압이 찰 때까지의 지연이 있으며 더욱이 제어대상 자체의 열용량에 의한 지연도 있으므로 목표치의 급변에 대해 실제로 완전한 추종을 바라는 것은 무리이다.

따라서 자동제어계의 응답은 <그림 3.6>의 (c), (d), (e)와 같이 된다. 이중에 (c)는 목표치에 대한 추종면에서는 우수하지만, 안정도가 나쁘고 오버슈트(over shoot)가 크다. 이에 비해 (d)는 목표치에 달하기까지의 시간은 약간 걸리지만, 오버슈트도 크지 않고 적당한 속도로 목표치에 이른다. (e)는 오버슈트를 극단적으로 경계하여 안정도는 높지만 새로운 목표치에 달하는데 매우 시간이 걸린다. 이러한 상태는 계기 비례대(比例帶)의 크기, 적분시간, 미분시간 등을 조정하여 안정성과 추종성(속도 대응성)을 소요 목적에 맞도록 하는 것이 필요하다. 가장 양호한 제어결과를 얻도록 하는 방법을 최적 조정법이라고 하는데, 여기에는 여러가지 방법이 있다.



<그림 3.6> 자동제어계의 응답

3.3 자동제어계 요소의 성질

자동제어계를 구성하고 있는 요소가 어떤 성질을 갖고 있는가를 아는 것은 자동제어계를 다루는데 매우 중요한 점이다. 이 요소의 성질을 알기 위해서는 자동제어계에 무언가 원인을 부여하고 그 결과가 어떻게 되는가를 조사한다.

요소의 성질을 알기 위한 방법으로, ①인디셜(indicial) 응답 ②주파수 응답이라는 것이 있는데, 여기서는 인디셜 응답에 대해서 설명한다. 요소의 입력과 출력관계를 다루기 쉬운 형태로 하기 위해서는, 요소에 부여하는 입력을 <그림 3.7>에 나타냈듯이 어느 값에 급변하는 입력(스텝형 입력)을 부여하고 이에 대한 응답(출력)을 조사함으로써 요소에 대한 성질을 알 수 있도록 하는 방법을 인디셜 응답이라고 한다. 예를 들어 평형상태에 달해있는 실내에 일정온도, 일정풍량의 공기를 부여하는 경우 급기온도를 일정치만 변화시켰을 때, 즉 단계상으로 입력변화를 주어 실내온도의 변화를

조사하는 것이다. 이 상태의 일례를 나타낸다. 이것은 일정의 열용량을 가진 실내이며, 실내에서 벽으로 열의 출입은 없는 것으로 간주한다. 이 경우 실내온도의 변화는 式 3.1로 표시할 수 있다.

$$\Delta t = K(1-e^{-\alpha t}) \cdots\cdots 式(3.1)$$

단, Δt: 실내온도의 변화

K: 충분한 시간경과 후 실내온도가 평형상태로 되었을 때의 값(靜特性値)

t: 시간

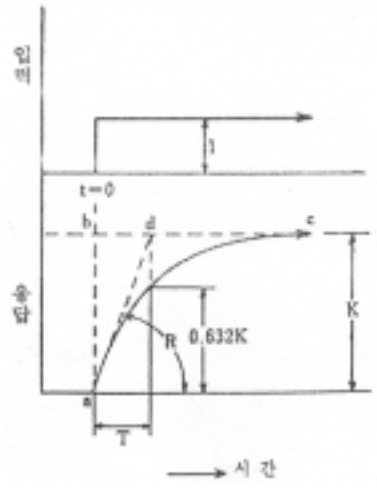
α: 실내의 열용량으로 정해지는 계수

지수관수 $e^{-\alpha t}$의 성질은 t=0일 때 1이고, t가 커짐에 따라 감소하며, t가 무한대로 되면 0가 된다. 그래서 Δt는 t=0일 때 0이지만 t가 커짐에 따라 점차 K에 가까워진다. 이 접근방법은 실내의 열용량에 따라 변하고, 만일 열용량이 없으면 입력의 변화는 바로 출력의 변화로 되어 나타나기 때문에 출력곡선은 <그림 3.7> a b c의 계단 상태로 된다. 실제는 열용량이 있기 때문에 곡선 a c와 같이 출력변화에 지연이 생긴다. 이 응답의 빠르기를 나타내기 위해 t=0인 점에서 곡선 a c에 접선을 긋고 이 접선이 평형상태(K)에 달하는 시간을 T로 하고, 이것을 시정수(時定數)로 한다. 이것은 응답곡선이 0.632K가 될 때까지의 시간과 같다. 또한 기울기 (R)을 응답속도로 한다. 따라서 시정수가 작을수록, 바꾸어 말해 응답속도가 클수록 응답이 빠르게 된다.

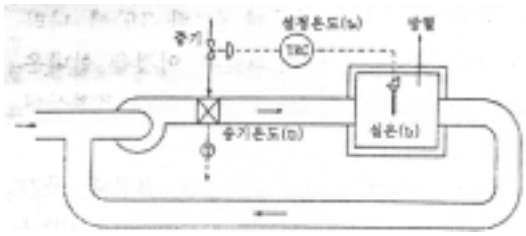
<그림 3.8>에 나타낸 공기조화장치를 예로 들어 생각해 본다. 우선 일정압력의 증기를 보내며, 히터의 출구온도는 t_1이고, 일정한 풍량을 보내며, 실내온도는 t_r로 평형상태에 있다. 이러한 상태에서 히터의 출구온도 조절계의 설정온도를 Δt만큼 변화시켰다고 하자. 히터의 출구온도(t_1)는 점차

상승하여 일정한 값에 달한다. 이 경우 t_1의 시간적 변화상태는 히터의 열용량 때문에 <그림 3.9>에 나타낸 응답곡선과 같이 변화한다. 이것을 실내온도에 대해 보면 給氣온도는 히터가 평형상태에 이를 때까지 변동하고, 더구나 히터의 출구에서 실내에 들어오기까지의 덕트내 공기 통과시간(덕트길이: ℓ (m), 유속:v(m/s))만큼 늦어지며, 그 동안은 전혀 응답이 나타나지 않는다. 이러한 시간의 지체를 전달지연이라고 한다. 전달지연은 조작을 가하는 지점과 검출지점이 어느 정도 떨어져 있을 때, 즉 온도변화를 나타내는데 시간이 걸릴 때 발생한다. 이것은 히터나 실내의 열용량에 의한 지연과는 성질이 다른 것으로 어느 온도의 공기를 다른 곳으로 보내기 위한 지연이며, 덕트의 길이와 풍속만으로 정해지는 것이다.

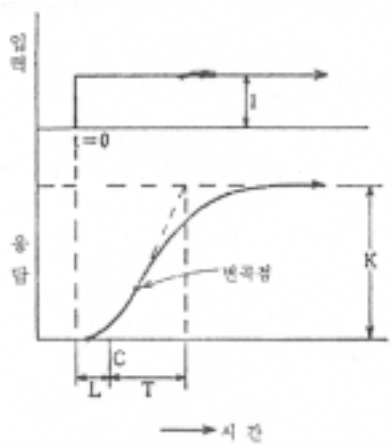
실제의 장치에서는 상술한대로 열용량에 의한 지연, 유체 수송에 필요한 시간, 검출의 지연 등에 의해 입력으로서 계단상태의 변화를 주어도 응답이 늦고, S자형의 응답곡선을 그리게 된다. S자형 곡선의 변곡점에서 접선을 긋고 이것이 시간 축을 교차하는 지점까지의 시간 (L)을 낭비시간이라고 한다.



<그림 3.7> 인디셜 응답



<그림 3.8> 실내온도 제어의 예



<그림 3.9> 지연이 있는 경우의 인디셜 응답

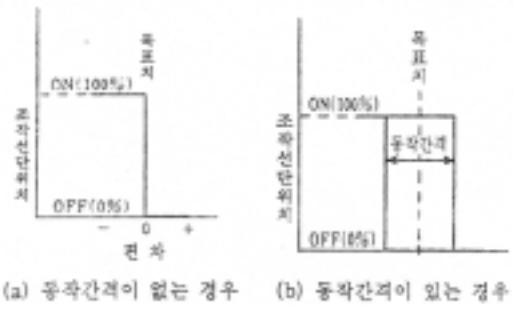
3.4 제어동작의 분류와 특성

3.4.1 2위치 동작(ON-OFF 동작)

ON-OFF 제어라고도 부르며, 편차의 正, 負에 따라 조작부를 전폐(全閉) 또는 전개(全開)하는 것으로 중간위치는 취하지 않는다. 전기히터로 난방하는 경우가 그것이다. 실내온도의 목표치를 20℃로 하자. 실내온도가 20℃ 이하로 되면, 편차가 正(플러스)가 되어 히터 스위치가 들어온다. 부하가 작을 때는 즉시 실내온도는 20℃를 초과하여 편차는 負(마이너스)가 되고, 히터 스위치는 단절된다. 그러면 실내온도는 다시 떨어지기 시작하여 다시 히터의 스위치가 들어온다. 동작의 간격이 없는 경우는 <그림 3.10> (a)에 나타냈듯이 편차 0부근에서 접점의 교체가 빈번히 발생한다. 이를 피하기 위하여 일반적으로 <그림 3.10> (b)와 같이 동작간격(differential gap)을 설치해 접점의 빈번한 교체를 예방하고 있다. 동작의 간격이 있는 경우는 편차가 正

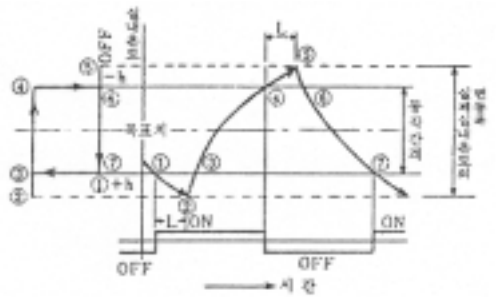
상태에서 -h로 되고, 비로서 접점이 ON으로 되며, 조작선단은 최소치(0%)에서 최대치(100%)로 된다. 이 때문에 제어량이 증대하고 편차가 0가 되어도 접점은 바뀌지 않고 ＋h로 되어 접점이 OFF가 된다. 이 조작선단의 위치가 바뀌는데 요하는 편차의 폭(2h)을 동작간격이라고 하고, 일반적으로 제어량과 같은 단위로 나타내며, 그 크기는 제어계의 목적에 맞게 선택된다. 동작간격은 접점기구로부터 피할 수 없는 경우도 있지만, 접점이나 조작부 또는 부속장치의 수명을 고려하면 어느 정도 필요한 것으로, 조절기의 감도(感度)나 정도(精度)와는 다른 것이다.

전기히터의 ON-OFF에 의한 방의 난방을 상정하면, 그때의 제어량과 조작량과의 관계는 <그림 3.11>과 같이 제어량은 한점으로 안정하지 않고 비감쇠(非減衰) 진동을 계속한다. <그림 3.11>의 ①은 전기히터가 OFF이고, 실내온도가 동작간격의 하단까지 하강한 지점이다. 이 때문에 접점이 바뀌고 전기히터는 ON이 되지만, 실내온도는 즉시 상승하지 않고 낭비시간(L)이 경과하기까지 하강을 계속하고, 낭비시간이 경과한 후, 전기히터의 효과로 실내온도가 상승한다. 실내온도가 상승하여 ④의 지점에서 전기히터는 OFF로 되지만, 실내온도는 낭비시간 동안 상승을 계속한다. 실내온도의 동작간격에서의 비출량(飛出量)은 낭비시간이 짧을수록, 또는 응답이 늦을수록(시정수가 큼) 적어진다는 점에서, 낭비시간 및 전달지연이 적고, 시정수(時定數)가 큰 제어대상을 위한 동작이라고 할 수 있다.



(a) 동작간격이 없는 경우 (b) 동작간격이 있는 경우

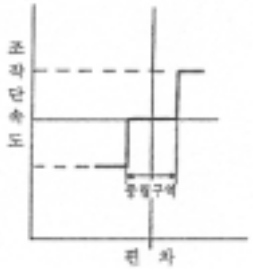
<그림 3.10> 2위치동작



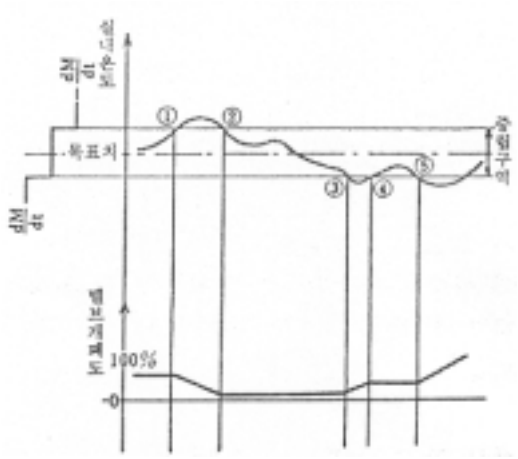
<그림 3.11> 2위치동작 제어계의 제어량과 조작량

3.4.2 플로팅 동작(單速度動作)

2위치동작에서는 부하가 안정해 있음에도 불구하고 조작량이 ON-OFF 하기 때문에 제어량이 사이클링 한다. 이를 예방하기 위해서는 조작량이 편차에 따라 연속적으로 가변하는 것이 바람직하다. 이 플로팅(floating) 동작은 목표치를 중심으로 제어동작이 일어나지 않는 중립구역를 설치하여 ON-OFF 동작의 결점을 해결한 것이다. 플로팅 동작의 편차와 조작량과의 관계를 <그림 3.12>에 나타냈다. <그림 3.13>에 나타낸 중립구역를 갖는 서머스타트로 전동밸브를 개폐하는 난방조작을 상정해 보자. 지금 부하의 감소에 의해 실내온도가 중립구역의 상한인 ①까지 상승하였다고 하면, 밸브가 닫히는 방향으로 모터가 일정속도로 회전한다. 이 때문에 실내온도가 하강하고, 중립구역의 상한인 ②의 지점에서 다시 중립구역으로 들어서면 모터는 회전을 중지하고 밸브는 그 상태를 유지한다. 실내온도가 하강을 계속하여 중립구역의 하한인 ③에 오면 밸브는 열리기 시작한다.



<그림 3.12> 플로팅동작



<그림 3.13> 플로팅동작 제어계의 제어량과 밸브개폐도

3.4.3 비례동작(P동작, 위치비례동작)

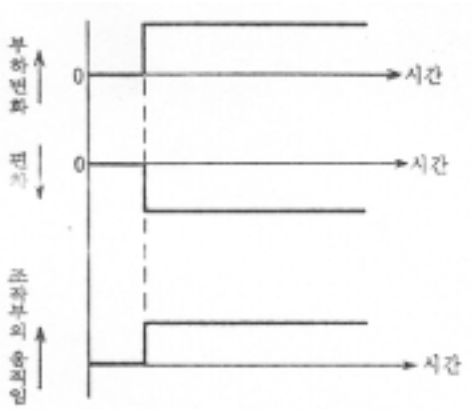
2위치 동작에서는 제어량이 설정치에서 벗어나면 조작부는 ON에서 OFF로 극단적으로 움직이기 때문에 제어결과는 사이클링을 발생한다. 비례동작은 조작부를 편차의 크기에 비례하여 움직이려고 하는 것이다. 에어 · 워셔 수조의 수위제어에 사용되는 볼탭(ball tap)이 그 예이다. 비례동작에 의한 조작부의 움직임은 <그림 3.14>에 나타낸 것과 같다. 일례로 <그림 3.15>에 나타낸 에어 · 워셔 수조의 수면제어에 사용되는 플로트 밸브에 대해 생각해 본다. 플로트 밸브가 50% 열려있고, 수위가 설정치인 50㎝를 유지하고 있다고 하자. 이 경우 지렛대의 지점은 b점이고, b점은 ab : bc＝1 : 10 관계에 있다고 하자. 이때 액면이 1㎝ 하강하면 밸브의 움직임은 그 1/10인 0.1㎝만큼 더 열리게 된다. 따라서 액면이 5㎝ 하강하면 밸브는 완전이 열리게 된다. 즉, 수위가 45㎝가 되면 완전이 열리게 되고 그 이상 수위가 낮아져 편차가 커져도 유입량은 증대하지 않는다. 반대로 수위가 55㎝가 되면 밸브는 완전이 닫힌다. 따라서 밸브가 완전이 열리고 닫히는 범위, 즉 비례동작을 하는 범위는 10㎝가 된다.

다음에 지점을 ab' : b'c＝1 : 20가 되도록 지점을 b'점으로 이동하면 밸브는

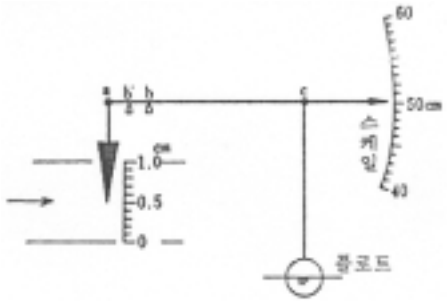
수위가 1㎝ 하강하면 그의 1/20이 움직임으로 수위가 10㎝ 내려가 완전히 닫히고, 수위가 10㎝ 상승하여 완전히 닫히게 되어 밸브가 완전히 열리고 닫히는 수위의 변동폭은 20㎝이다. 이와 같이 밸브의 움직임은 레버의 比로 바뀌기 때문에 이를 표현하는 방법으로서 비례대(比例帶)가 사용된다. 비례대는 밸브가 완전히 열리고 닫히는 눈금범위를 스케일 전체 눈금에 대한 퍼센트로 나타낸 것이다. 앞의 예에서 스케일의 전 눈금이 0 100㎝이었다고 한다면, 지점의 위치가 b점이었을 때 비례대는 10/100×100＝10%, b'점에 있을 때는 20/100×100＝20%가 된다. <그림 3.16>에서 알 수 있듯이 비례대가 작아지는 만큼 같은 편차에 대한 밸브의 움직임은 커지며, 따라서 제어동작은 강해진다. 배례대 0%라는 것은 비례대를 나타내는 선이 수직상태로, ON-OFF 동작이 된다. 비례대는 통상 임의로 변경할 수 있도록 되어 있는 것과 고정된 것이 있다.

비례동작에 의한 제어결과는 부하변화가 있는 경우 <그림 3.17>에 나타냈듯이 오프셋(offset)이 발생한다. 오프셋이 생기는 이유에 대하여 생각해 보자. 전술한 <그림 3.15>에 있어서, 앞의 설명과 마찬가지로 밸브가 50% 열리고 수위가 50㎝를 유지하고 있다고 하자. 이 때 부하변화에 의해 유출량이 증가하면 액면은 하강하고 플로트도 내려가므로 밸브가 한층 더 열려 유입량을 증가시킨다. 만일 밸브가 0.1㎝만큼 더 열리고 유입량과 유출량이 같아졌다고 하자. 레버의 지점이 <그림 3.15>의 b지점에 있으면 액면은 1㎝ 내려간 지점에서 평형을 이루게 된다. 즉 1㎝의 오프셋이 발생하게 된다. 또한 지점의 위치가 b'일 때는 밸브를 0.1㎝ 더 열리게 하기 위해서 수위는 설정치보다 2㎝ 내려가게 된다. 여기서 유입량과 유출량이 평형을 이루고, 2㎝의 오프셋을 발생하게 된다. 이와 같이 오프셋은 지점의 위치, 즉 비례대의 크기에 따라 변한다. 오프셋은 비례대가 작을수록 작아지는데, 너무 작게 하면 부하변화가 있는 경우 사이클링을 일으키므로 한도가 있다. 비례제어는 공정의 부하변화가 작은 경우 또는 어느 정도

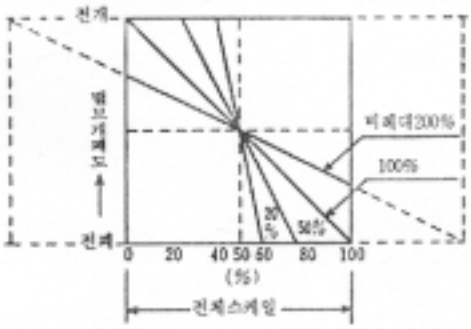
오프셋을 허용해야만 하는 경우에 사용된다.



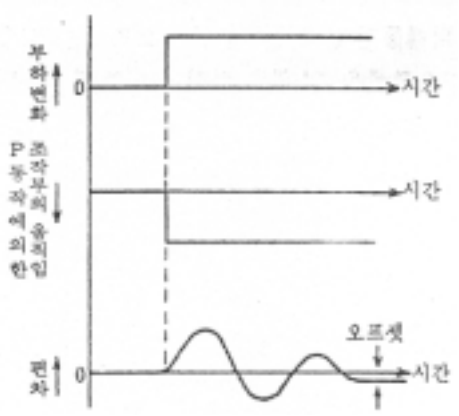
<그림 3.14> P동작에 의한 조작부의 움직임



<그림 3.15> 비례동작에 의한 제어



<그림 3.16> 비례동작에서의 편차와 밸브개폐도



<그림 3.17> 비례제어에서의 제어결과

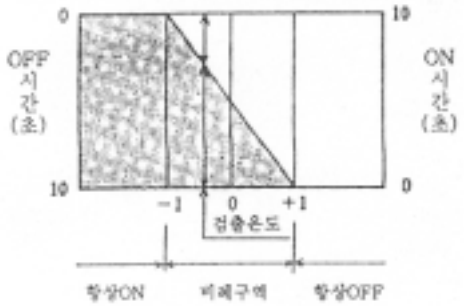
3.4.4 시간비례 동작

시간비례 동작은 조작부의 움직임이 ON-OFF 동작이며, 설정점을 중심으로 한 비례구역 안에서 ON-OFF 시간의 길이를 편차의 크기에 비례시키고 제어대상으로의 에너지 공급량을 비례 제어하는 것이다. 이 동작의 조절기에서는 비례구역과 단위시간내의 사이클을 정하는 순환비율을 정할 필요가 있다. 순환비율은 제어 정도(精度) 또는 조작부의 최적 동작빈도로부터 적당하게 정해진다. 시간비례 제어에 대해 전열히터에 의한 난방을 생각해 본다. 비례구역을 2℃, 순환비율을 360사이클/h(1주기 10초)로 조절한 경우, ON-OFF 시간의 비는 <그림 3.18>과 같이 구해진다.

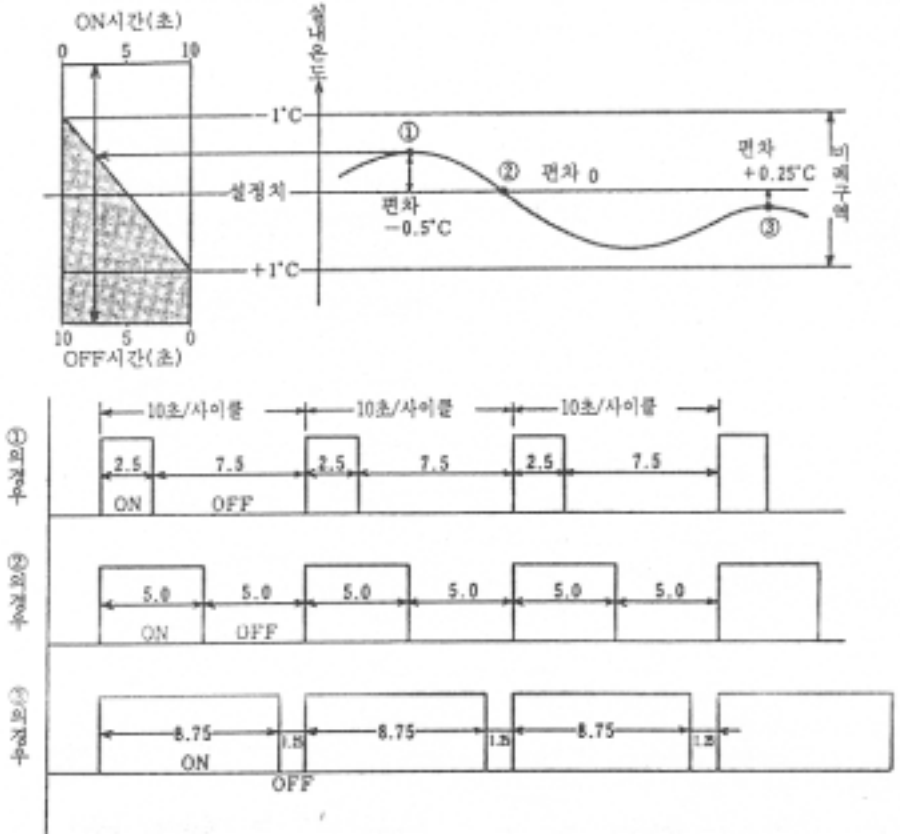
<그림 3.19>에 나타냈듯이 부하의 감소에 의해 실내온도가 목표치보다 0.5℃ 높아진 경우(①점), 편차는 -0.5℃이며, 1주기 10초간 전열히터의 ON시간은 2.5초, OFF시간은 7.5초가 된다. 또한 ②점은 편차 0, ③점은 ＋0.25℃일 때이다.

시간비례 동작에서의 비례구역은 실내온도의 하강에 의해 전열히터가 ON시간 10초, OFF시간 0초, 즉 ON으로 되는 온도와 반대로 실내온도의 상승에 의해 전열히터가 OFF로 되는 온도의 폭을 의미한다. 시간비례 동작에 의한 제어결과는 <그림 3.20>과 같이 2위치동작과 비교해 제어량의

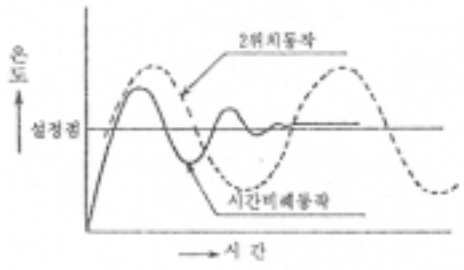
초과량이 적어지고, 정정(整定)시간도 짧아진다.



<그림 3.18> 시간비례동작(사이클주기: 10초)



<그림 3.19> 시간비례동작 제어계의 제어량과 조작부와의 관계



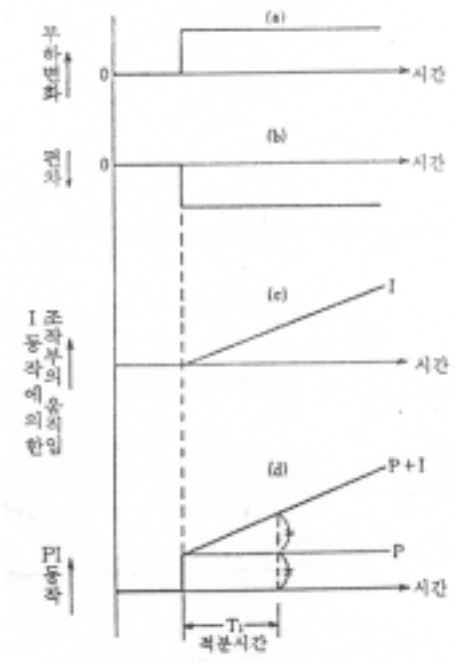
<그림 3.20> 시간비례동작에 의한 제어결과

3.4.5 비례＋적분동작(PI 동작)

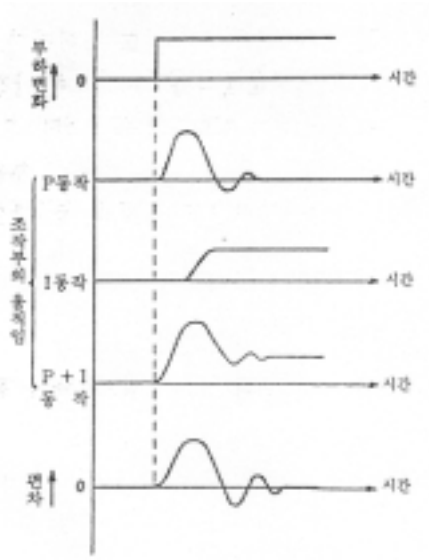
비례동작에 의한 제어는 오프셋을 발생한다. 오프셋을 없애기 위해서는 비례＋적분동작이 필요하다. 적분동작은 편차의 크기와 편차가 발생하는 시간에 둘러싸인 면적, 즉 편차 적분치의 크기에 비례하여 조작부를 움직이려고 하는 것이다. 따라서 제어량이 설정치에서 벗어나 있는한 조작부는 시간과 함께 계속 움직이기 때문에 편차는 발생하지 않는다.

비례적분 동작에 의한 조작부의 움직임을 <그림 3.21>에 나타냈다. (a)와 같이 부하의 변화가 있는 경우 (b)와 같은 편차를 발생하고, 적분동작만에 의한 조작량은 편차의 적분값에 비례하기 때문에 (c)와 같이 직선으로 증가한다. 여기에 비례동작이 추가되므로 PI동작에 의한 조작량은 (d)와 같이 된다. 즉 편차가 있는 동안 밸브는 계속 움직여 제어동작을 하고, 편차가 0가 된 위치에서 밸브의 움직임이 중지한다. 적분동작의 정도는 <그림 3.21>의 (d)와 같이 P동작에 의한 조작량 변화를 I동작만으로 발생시키는데 필요한 시간(T_I)을 적분시간(reset time)이라고 하며, P동작에 대한 I동작의 세기를 나타낸다. 따라서 적분시간이 짧을수록 적분동작은 강하고, 적분시간이 길수록 적분동작은 약하다. 적분시간이 너무 짧으면 사이클링 및 불규칙하게 움직이는 원인이 되어 제어가 불안정하게 된다. 적분시간의 설정은 처음에 약간 길게 설정하고(10분 정도) 모양을 보면서 서서히 설정시간을 짧게 하는 것이 좋다. PI 동작에 의한 조작량 변화의 크기는

비례구역에 역비례하고, 적분시간과 편차의 크기에 관계할 뿐만 아니라 비례구역의 크기에도 관계한다. 예를 들어 비례구역 1/2로 하면 적분시간을 조정하지 않아도 적분시간은 1/2로 된다. 적분시간을 분(分)으로 표시한 것의 역수를 리셋率이라고 하며, 回/分(reset/min)으로 나타낸다. 적분시간 또는 리셋률의 조정은 비례구역의 조정과 함께 공정에 따라 조정해야 하며, 낭비시간의 큰(2분 또는 그 이상) 공정이나 전달지연이 큰 공정에서는 사이클링을 일으키기 쉽다. 사이클링이 너무 심해지는 것을 예방하기 위해 비례구역을 아주 크게 하고, 적분시간을 아주 길게(리셋률을 작게) 하여야 하지만, 이렇게 하면 부하변화시에 큰 편차가 발생하게 되고, 또한 제어변화가 설정점으로 되돌아올 때까지의 시간도 길어진다. 이때는 후술하는 미분동작을 추가하여 안정시킨다. PI 동작에 의한 제어결과를 <그림 3.22>에 나타냈다. 이밖에 I동작은 제어의 속응성(速応性)을 나쁘게 하므로 유의해 둘 필요가 있다.



<그림 3.21> PI동작에 의한 조작부의 움직임



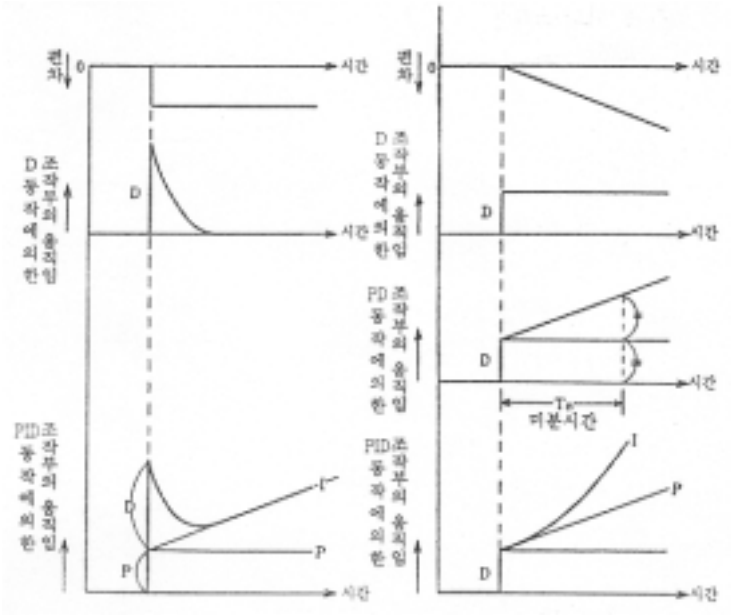
<그림 3.22> PI 동작에 의한 제어결과

3.4.6 비례＋적분＋미분동작(PID 동작)

공기조화기에 부하변화가 있고, 예를 들어 실내온도가 5분간에 2℃ 내려간 경우와 20분간에 2℃ 내려간 경우의 수동조작에 대해 생각해 본다. 모두 편차는 ＋2℃이지만 증기밸브를 열어 정정(訂正)하는 동작의 크기는 5분간 2℃ 내려간 쪽이 20분간 2℃ 내려간 쪽보다 크다. 결국 편차가 생기는 속도에 따라 증기밸브의 개폐정도를 정할 필요가 있다.

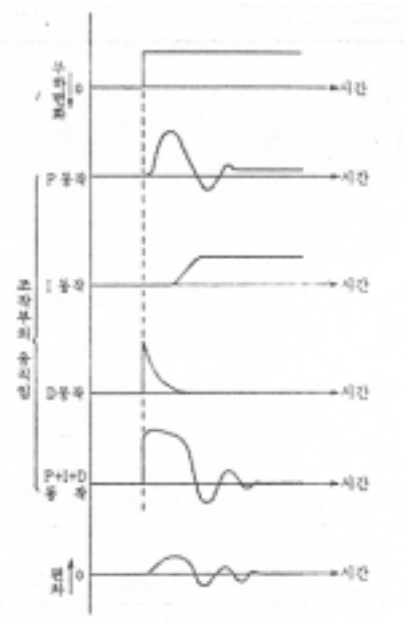
미분동작은 위의 예와 같이 편차의 발생 속도에 비례해 조작부를 움직여 편차가 보다 크게 되는 것을 사전에 방지하려는 것이고, 조작량은 편차의 크기에 관계없이 편차의 변화속도에 비례한 양이 된다. 그래서 제어량이 설정치로부터 조금이라도 벗어나면 그 편차의 발생속도에 따라 조작부가 <그림 3.23>의 (a)와 같이 움직이므로 편차가 발생하기 시작한 초기에 크게 정정동작이 일어나게 된다. 편차의 시간적인 변화가 없어지면 미분동작은 없어지고, 비례 또는 비례＋적분동작만 작용하게 된다. 미분동작은 단독으로 사용되는 경우는 없고 다른 동작에 부과하여 이용되며, 낭비시간을 부정함으로써 순환주기를 줄이고, 제어변수를 일찍 설정점에 접근시킬 수 있다. <그림 3.23>의 (a)는 편차가 계단형태로 변화하듯이 변화속도가 가장

빠른 경우의 PID 동작 조작부의 움직임을 나타낸 것이다. 편차가 생긴 순간에 미분동작이 작동하고 조작부가 크게 움직이지만, 곧 미분동작은 사라지고 PI동작이 된다. <그림 3.23>의 (b)는 일정속도로 편차가 증가할 때의 조작부의 움직임을 나타낸 것이다. 편차가 일정속도로 변화할 때 미분동작만으로 비례동작과 같은 조작량을 얻는 시간(T_d)을 미분시간(rate time)이라고 하며, 미분동작의 정도를 나타낸다. <그림 3.23>의 (b)에서 알 수 있듯이 미분시간이 길수록 미분동작은 강하고, 미분시간이 짧을수록 미분동작은 약하다. 따라서 적분동작과 그 관계는 반대가 된다. 미분시간을 너무 길게 하면 편차가 작을 때에도 출력이 커지며 그 결과 사이클링이나 불규칙한 움직임이 발생한다. 미분시간의 설정은 처음에는 약간 짧게 설정하고 모양을 보면서 서서히 설정시간을 길게 하는 것이 좋다. PID 동작에 의한 부하변화인 경우의 제어결과는 <그림 3.24>와 같이 안정이 빠르므로 낭비시간이 큰 경우 또는 도가 지나쳐 문제가 되는 경우에 적합하다.



(a) 편차속도가 가장 빠를 때 (b) 편차속도가 늦을때

<그림 3.23> PID동작에 의한 조작부의 움직임



<그림 3.24> PID동작에 의한 제어결과

3.5 제어대상의 특성과 제어동작

제어동작에는 여러가지 종류가 있기 때문에, 실제 공정에 적합한 제어동작을 선정하고 시스템 설계를 하는 것은 쉽지가 않다. 일반적으로 낭비시간을 L, 시정수를 T로 하고, L/T의 크기로부터 다음과 같이 설명하고 있다.

① L/T＜0.1 일 때: ON-OFF동작으로 좋다.

② L/T＜0.2 일 때: 비례동작으로 좋다.

③ L/T＜0.2 1.0 일 때: PI 또는 PID동작으로 좋다.

④ L/T＞0.1 일 때: 검출점까지의 낭비시간 감소, 지연시간의 감소, 플랜트 요소의 개선 등을 검토할 필요가 있다. L이 2分 이상에서는 L/T가 작더라도 D동작을 추가한다. 또한 가장 많이 취급하는 공정변수의 특성에 대한 개요를 <표 3.1> (a), (b), (c)에 나타냈다.

<표 3.1(a)> 프로세스 특성

공정특성	시간지연	외 란	자기	공정

제어동작	용량지연		낭비시간		크기		속도		잡음	평형성		반응속도	
	대	소	중	소	대	소	중	소		유	무	빠름	늦음
ON-OFF	○	△	×	△	×	○	×	○	○	○	○	×	○
플로팅	×	○	×	△	○	○	△	○	○	○	×	△	○
P	○	△	△	○	△	○	△	○	○	○	○	△	○
P+I	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
P+D	○	△	○	○	△	○	△	○	×	○	○	○	○
P+I+D	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○

(주) ○: 적당, △: 그다지 적당치 않음, ×: 부적당

<표 3.1(b)> 프로세스 특성

반응속도	용량지연	낭비시간	자기제어성	부하변동	제어동작	비 고
늦 음	대	소	임의	소, 천천히	ON-OFF	사이클링이 생김
약간 늦음	소	소	대	천천히	Floating	사이클링이 생김
임 의	소	소	요(要)	중, 천천히	I	
늦음, 중립	대	소, 중	임의	소, 천천히	P	오프셋이 생김
임 의	임의	소, 중	임의	중, 천천히	P+I	
늦음, 중립	대	비교적 대	임의	소	P+D	
임 의	임의	비교적 대	임의	임의	P+I+D	

<표 3.1(c)> 프로세스 변수의 특성

	용 량	지 연	낭비시간	제어동작
온 도	중 또는 대	중 또는 대	소 대	ON-OFF, P, PI, PD, PID
압 력	소 또는 중	극소	소	ON-OFF, P, PI
유 량	무시 가능	소	소	P, PI, Floating
수 위	소 또는 중	소 또는 중	소	ON-OFF, P, PI