

V. A. V. 터미널의 직접계수형 제어 (Heating Piping Air Conditioning February, 1982, PP.77-81.)

編輯委員會

직접 계수형 제어 (direct digital control : DDC)는 제어기능을 수행하기 위하여 digital processor를 사용하는 최신의 제어기술이다. DDC system의 장점은 정련소, 발전소 (재래식 또는 원자력), 자동차 plant 등의 공정제어방면에서 증명되었다. 에너지 가격의 급격한 상승과 최근의 싸고 강력한 micro processor의 개발은 건물환경 제어에 DDC system을 적용하는데 있어서 기술적으로 그리고 경제적으로 유리한 환경을 조성하였다.

현재로서는 종합 DDC system이 대단위 또는 중간규모의 단지들(건물면적이 10 만 ft² 보다 넓은)에 대해 다른 어떤 energy 관리 및 제어 system보다도 더 저렴한 자재비와 상당한 성능의 개선을 제공하고 있다.

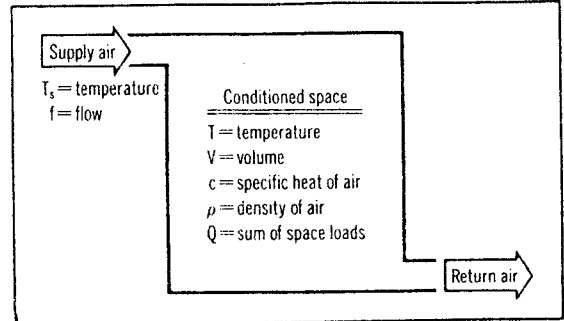
이 글의 목적은 variable air volume (VAV) 터미널에 대한 DDC 적용방법을 설명하고 DDC system의 기술적 및 경제적 장점을 증명하기 위한 것이다.

○ 실내모형

VAV 터미널 제어 system의 주된 목적은 실내부하조건에 관계없이 실내의 온도를 바라는 수준으로 유지시키기 위한 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위한 제어 system을 정의하기 이전에 이 문제를 수학적 모형을 사용하여 해석하기로 한다.

그림 1은 VAV 터미널을 사용하는 실내냉방 system의 개략도를 나타낸다. 에너지평형을 나타내는 수학적 모형은 에너지와 질량 보존방정식을 사용함으로써 연속적인 형태로 전개된다. 이 모형의 최종형태는 다음과 같다.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{f(t) \times T_s(t)}{V} - \frac{f(t) \times T(t)}{V} + \frac{Q}{c \times \rho \times V}$$



1 Space cooling system variables.

$T(t)$ = 실내온도, °F

$T_s(t)$ = 급기온도, °F

$f(t)$ = 급기유량, ft³

V = 실내체적, ft³

c = 공기의 비열, Btu/lb

ρ = 공기의 밀도, lb/ft³

Q = 실내 부하의 합, Btu

모형을 살펴보면, 제어 system이 효과적이기 위하여는, 모형방정식에 나타난 모든 변수들을 알아야 한다는 것을 알 수 있다.

- 실내온도
- 급기온도
- 급기유량
- 실내부하

그밖에도, 제어 algorithm은 실제 목적에서는 상수로 취급될 수 있는 다음과 같은 인자들을 포함하고 있어야 한다.

- 실내체적
- 공기의 밀도
- 공기의 비열

○ 제어 system의 특성

실내 온도를 유지하는 것 외에, 제어 system

은 다음 사항들을 만족시킬 수 있어야 한다.

- 제어 대상이 되는 지역에 대해 설정된 범위내에서 공기유량을 지속시키되 예상되는 냉방 부하에 해당되는 최대유량과 환풍 또는 실내난방 목적에 요구되는 최소 유량으로 한다.

- 실내사용형식에 대해 설정된 쾌적범위내의 온도를 유지한다.

- 에너지 소비를 최소화 시킬 수 있도록 운전 조건의 최적화를 허용한다.

- 가변적인 사용 형식과 부하 조건에 적응하기 위하여 운전의 융통성을 허용한다.

- 비정상적인 조건들은 사용자들이 인식하기 전에 보고한다.

- 자재비, 설치비 그리고 유지비를 절감한다.

○ 재래적 방식

전통적으로, 실내온도의 조절은 VAV 터미널에 작용하는 압축공기식 thermostat에 의해 이루어졌다. 전형적인 재래식 제어 system이 그림 2에 그려져 있다.

이 system은 기본적으로 연간 2°F의 장기편차로 약 ±2°F의 넓은 범위내에서 실내온도를 유지할 수 있다. 만일 최고 실내온도가 78°F를 초과하지 않아야 한다면 thermostat의 목표치 (set point)는 76°F에 설정되므로 냉각 에너지의 소비를 증가시킨다.

이러한 조절장치의 최적화는 대단히 제한되어 있다. 목표치의 변경은 수동으로 또는 급기 압력의 조작으로 행하여 질 수 있다. 통상적으로 비례 조정기와 관련된 넓은 온도 진폭을 최소로 줄이기 위해 VAV terminal 상류에 각종 압력보정기구들이 설치되는데 이것은 이 조립품의 압력 강화를 증가시키고, 공급 fan의 에너지 소비를 증가시킨다. 성능을 점점하는 기능이 없으므로 제어 system이 고장나면 불평하는 실내 사용자들을 통해 운전요원에게 보고되게 된다.

최대 및 최소 공기유량은 기계적으로 설정된다. 이 system은 설계 유량조건에 도달하기 위해서는 시간이 많이 걸리는 보정과 균형을 필

요로 하며 그 이후에 변동이 생기면 다시 균형을 잡아야 하는데 실제로는 거의 행하여 지지 않는다.

이 system은 공급 fan 체적 제어와 직접 연결되어 있지 않는데, 이것은 통상적으로 공급 duct 망 내의 어느 지점에서 임의로 선정된 정압을 유지함으로써 수행된다.

재래식 VAV 제어 system의 운전은 관리직원과 사용자 사이에 끝없는 숨바꼭질이 된다. 이 문제는 대단히 다양한 사용 양식을 특성으로 하는 대규모 대단위 건물에서 특히 심각하다.

○ DDC 방식

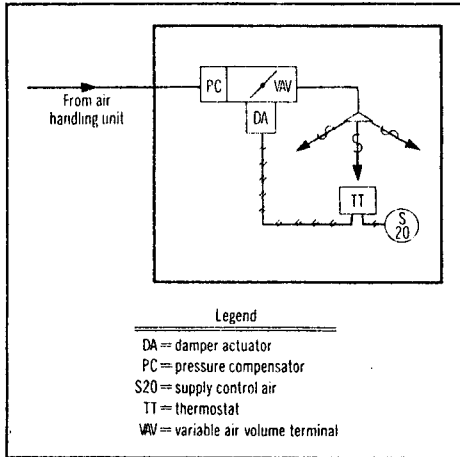
DDC 방식은 동력원 (24 V AC.), 실내온도감지기, 급기온도/속도 감지기를 구비한 microprocessor 제어기로 구성된다. 이 요소들은 그림 3에 나타나 있고 제어기의 기능 도표가 그림 4에 나타나 있다. 제어기는 5개의 기본 module로 구성되어 있다.

Microprocessor (MP) -- MP는 제어 system의 주요 부분으로서 실내온도, 급기온도, 급기속도, VAV damper 위치와 같은 자료들을 수집한다. 모든 자료들은 장치 내부 processing을 위해 기억장치에 저장되거나 원격 처리 장치 (remote processing unit)로 보내진다. VAV damper의 위치는 실제 실내온도에 근거하여 feed-forward 수정과 함께 비례/적분 제어 algorithm을 사용하여 계산된다. 적분인자를 사용하면 제어 system으로 하여금 실내온도를 정확하게 바라는 온도로 유지시키도록 할 수 있으므로, 단순한 비례 제어기에 내재하는 offset을 제거할 수 있다. feed-forward 수정을 사용하면 실내조건을 예상할 수 있으며, 급격히 변화하는 실내 부하에 의하여 야기된 실내온도의 큰 변화를 최소화 시킬 수 있다. 실내부하의 정확한 계산은 어렵고 비용이 많이 들지만 다음 공식을 사용하면 각 시간에서의 부하를 간단히 추산할 수 있다.

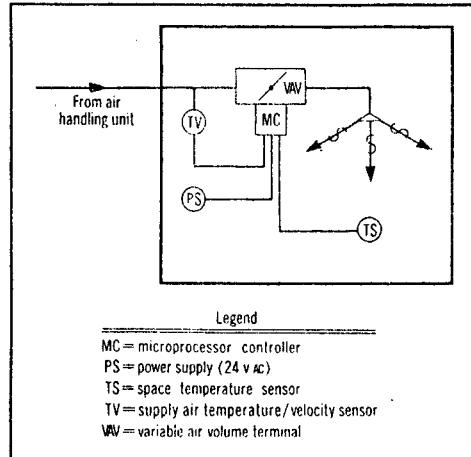
$$Q_k = C \rho V \left(\frac{T_k - T(k-1)}{t_s} + \frac{f_k \times (T_k + T(k-1))}{2V} - \frac{f_k \times T_{sk}}{V} \right)$$

Q_k = k 번째 시간에서의 실내 부하
 T_k = k 번째 시간에서의 실내 온도
 $T(k-1)$ = (k-1) 번째 시간에서의 실내 온도

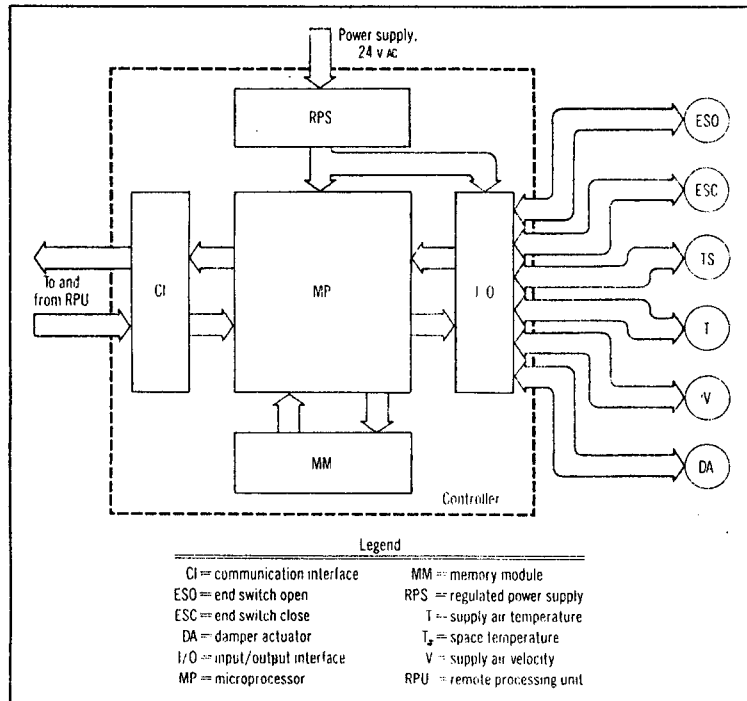
f_k = k 번째 시간에서의 급기 유량
 T_{sk} = k 번째 시간에서의 급기 온도
 t_s = 자료획득 시간
 V = 실내체적
 C = 공기비열
 ρ = 공기밀도



2 Space cooling controls using conventional approach.



3 Space cooling controls using DDC approach.



4 Functional diagram of DDC controller.

microprocessor 는 VAV 터미널의 DDC를 수행하는 것 외에도 RPU에서의 요구도 만족시킨다.

Memory (MM)—반도체 Memory 는 제어기 software (algorithms)를 저장하는 안정된 ROM(read only memory)와 system 변수 및 동조 상수들을 저장하는 RAM (random access memory)으로 구성된다.

Communication Interface (CI) — CI module 은 제어기와 RPU 사이의 정보교환을 허용한다. DDC loop 목표치 (바라는 실내온도), 동조상수, 최대/최소 공기유량, system 의 필요/불필요한 신호들은 RPU로 부터 받는다. 실내온도, 급기의 온도 및 속도와 실내부하의 실제값들은 조정과 최적 처리를 위하여 RPU로 전달된다.

Input/Output Interface (I/O)—이 module 은 microprocessor 가 감지기들로부터 입력신호를 받는 것과 VAV damper 작동기에 출력신호를 보내는 것을 가능하게 한다. 급기온도와 실내온도는 백금 저항 온도계 (RTD), thermistor, 온도 감지 diode 들을 사용해서 측정할 수 있다. 측정정밀도는 $\pm 0.1^{\circ}\text{F}$ 이내이며 장기 편차는 일년에 0.01°F 를 초과하지 않는다.

급기속도는 target flow meter 나 열선 probe 들로 측정할 수 있다. 측정 정밀도는 통상적으로 $\pm 2\%$ 이내이며 장기 편차는 일년에 약 0.1% 정도이다.

VAV damper 의 완전 폐쇄 및 완전 개방위치 는 필요하다면 말단 switch 들을 사용함으로써 조정할 수 있다.

출력신호는 전자기 actuator 를 위한 analog (연속) 형태 또는 24 V AC 가역 전동기 (drive pulse 의 길이는 비례/적분 제어 algorithm을 사용함으로써 microprocessor 에 의해 계산됨)를 위한 가변길이 pulse 형태로 할 수 있다. 24 V AC 가역 전동기의 개략도는 그림 5 에 보

여진다.

Power Supply (RPS)—RPS module 은 microprocessor 와 I/O interface 를 위한 24 V AC 동력원을 제공한다. 저전압 동력을 사용함으로써 배선 비용이 상당히 절감된다. Stand-alone or EMCS 운전

VAV terminal 제어기를 기초로 한 microprocessor 는 두가지 운전 양식 즉, Stand-alone 또는 energy 관리보존 system (Energy Management and Control System) 의 일부로서 사용될 수 있다.

Stand-alone 양식에서는 제어기는 수동 전위 차계를 사용함으로써 설정된 제어 환선 (control loop) 운전 변수들에 의해 DDC 의 실내온도를 유지한다.

다음 값들이 정의되어야 한다.

- 바라는 실내온도 (목표치)
- 최대 급기량
- 최소 급기량

제어기의 운전은 I/O interface module 의 jack 에 연결된 수동 terminal 을 사용하여 다음의 자료들을 나타냄으로써 조정할 수 있다.

- 바라는 실내온도 (목표치)
- 실제실내온도
- 최대 급기량 setting
- 최소 급기량 setting
- 실제 급기량
- 급기온도

EMCS 의 일부로서 작동할 때는, 제어기는 상응하는 RPU로 부터 신호를 받아서 주기적으로 최적화된 제어 환선 운전 변수들에 의해 실내온도의 DDC 를 유지한다.

실내온도 목표치는 사용형태, 일간, 주간 또는 연간중의 시기 또는 기타 관련 인자들을 근거로 하여 자동적으로 수정될 수 있다. VAV box 는 필요하거나 불필요 할 수도 있으며 공기량의 범위는 실제 실내조건에 적합하도록 변

동될 수 있다.

비례상수 (gain)와 적분(reset) 시간과 같은 제어 algorithm의 동조 상수들은 가변 실내조건에 대한 제어기의 최적 응답을 보장하도록 RPU에 의해 자동적으로 최적화 될 수 있다.

제어 환선의 동특성 (lag)은 box에서의 공기 유량과 밀접한 관계가 있다는 것에 유의하여야 하며: 그러므로 실내 부하에서 주어진 변화에 대한 제어기 응답 속도는 낮고 높은 공기유량 조건에 대하여 달라져야 한다.

RPU를 가진 communication interface는 실제 실내조건들이 air handling unit의 second level optimization에 사용되는 것을 허용한다. system의 총에너지 소비 (fan 동력과 냉각에너지)를 최소화 하도록 급기의 온도와 유량이 최적화 될 수 있으므로 상당한 운전 비용을 절감할 수 있다.

그밖에도, 완전한 종합 DDC system은 다음과 같은 광범위한 진단법들을 제공한다.

- 낮은 실내온도 경보
- 높은 실내온도 경보
- 낮은 유량 경보
- 높은 유량 경보
- 제어기 파손(소위 watch-dog timer 를 통하여)

• 덕트망 누설(모든 지역 유량의 총합과 air handling unit에서 측정된 급기유량의 비교를 통하여)

system이 자체의 운전을 조정할 수 있는 능력은 사용자들의 불평에 훨씬 앞서 교정 조치를 허용하며, 사용자들에 의해서 부과되는 비정상적인 요구에 대비하여 system을 보호한다. (예를 들어, 실내온도 감지기 바로 밑에 설치된 복사기 또는 computer terminal).

○ 장점과 단점

재래적 방식과 비교하여 DDC는 다음과 같은 장점들이 있다.

- 저렴한 자체비

- 저렴한 운전비
- 운전의 융통성 증대
- 정비 요구사항의 감소
- 자체 진단

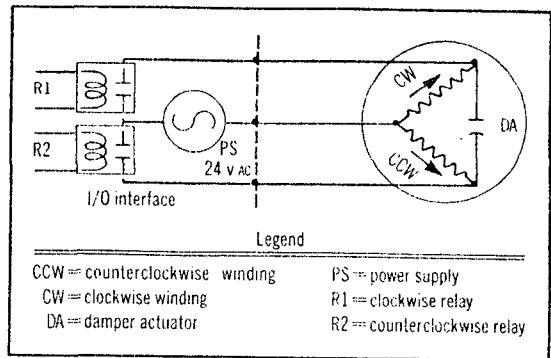
DDC system의 단점들은 다음과 같다.

- 제한된 유용성 (몇몇 생산자들이 현재 DDC 제어기 개발에 종사하고 있다)

- 제한된 지원, 특히 외딴지역에서

DDC 제어 system의 점증하는 수요로 인하여 위의 문제들이 곧 제거될 것으로 기대된다.

표준공압 system과 DDC system을 자체비의 관점에서 비교한 것이 표1에 주어져 있다.



5 Output to 24 v ac reversible motor.

Table 1 — Capital cost comparison of standard pneumatic and direct digital control systems.

Item	Capital cost, \$	
	Standard pneumatic	Direct digital
VAV terminal ¹	\$150	\$100
Power supply ²	50	50
Controller ³	100	100
Installation	100	100
Calibration	50	10
Balancing	50	0
Totals	\$500	\$440

¹Assuming pressure compensating device for conventional system.
²Assuming cost of pneumatic tubing comparable with low voltage wiring.
³Assuming heating/cooling "dead band" adjustable thermostat for conventional system.