

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

|   |                                     |  |
|---|-------------------------------------|--|
| (51) 。 Int. Cl.<br>G01F 1/696 (2006.01) | (45) 공고일자<br>(11) 등록번호<br>(24) 등록일자 | 2006년09월13일<br>10-0620282<br>2006년08월29일 |
|---|-------------------------------------|--|

|             |                   |             |                 |
|-------------|-------------------|-------------|-----------------|
| (21) 출원번호   | 10-2002-7000306   | (65) 공개번호   | 10-2002-0038682 |
| (22) 출원일자   | 2002년01월09일       | (43) 공개일자   | 2002년05월23일     |
| 번역문 제출일자    | 2002년01월09일       |             |                 |
| (86) 국제출원번호 | PCT/US2000/040254 | (87) 국제공개번호 | WO 2001/04582   |
| 국제출원일자      | 2000년06월20일       | 국제공개일자      | 2001년01월18일     |

(81) 지정국      국내특허 : 안티구와바부다, 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바르바도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 벨리제, 캐나다, 스위스, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 도미니카, 알제리, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그라나다, 그루지야, 가나, 감비아, 크로아티아, 헝가리, 인도네시아, 이스라엘, 인도, 아이슬랜드, 일본, 케냐, 키르기즈스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 모로코, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 모잠비크, 노르웨이, 뉴질랜드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 슬로베니아, 슬로바키아, 시에라리온, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 탄자니아, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 세르비아 앤 몬테네그로, 남아프리카, 짐바브웨,

AP ARIPO특허 : 가나, 감비아, 케냐, 레소토, 말라위, 모잠비크, 수단, 시에라리온, 스와질랜드, 탄자니아, 우간다, 짐바브웨,

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르기즈스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴,

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 기니 비사우, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고,

(30) 우선권주장      09/350,747      1999년07월09일      미국(US)

(73) 특허권자      엔테그리스, 아이엔씨.  
미국, 55318 미네소타, 차스카, 라이만 볼리바드 3500

(72) 발명자      테리크페이셜  
미국텍사스75025플라노2822알마드라이브7401

파탄티우스타마스아이.  
미국텍사스75287달라스파이어브릭레인4319

(74) 대리인      정진상  
박중혁

심사관 : 장중윤

## (54) 센서 응답을 선형화하는 시스템 및 방법

### 요약

k차 다항식을 사용해서 센서 신호(m)로부터 선형화된 센서 신호(p)를 생성하는 시스템 및 방법에 있어서, k차 다항식의 계수는 컴퓨터에 의해 최소-제곱 방법을 사용해서 계산될 수 있다. 컴퓨터는 k차 다항식의 j번째 계수( $a_j$ )의  $1 \leq j \leq k$ 에서의  $(2j-1)$ 근을 계산해서 디지털 신호 프로세서(DSP)내의 저장 디바이스에 결과로 나온 근( $r_j$ )과 계수를 다운로드할 수 있다.

$1 \leq j \leq k$ 에서 DSP는  $\left(a_j^{\frac{1}{2j-1}} m\right)'$ 를 계산해서 그 결과값과  $\left(a_j^{\frac{1}{2j-1}}\right)^{j-1}$ 를 곱할 수 있다. 결과로 나온 항은  $a_1 m$ 의 계산에 더해져서 k차 다항식을 생성할 수 있다. k차 다항식은 선형화된 센서 신호이다.

### 대표도

$$\left(a_j^{\frac{1}{2j-1}} m\right)' \quad (I) \quad \left(a_j^{\frac{1}{2j-1}}\right)^{j-1} \quad (II)$$

### 색인어

다항식, 센서 신호, 최소-제곱 방법, 디지털 신호 프로세서

### 명세서

#### 기술분야

본 발명은 일반적으로 센서 응답을 선형화하는 시스템 및 방법에 관한 것이고, 더 상세하게는 유량 조절기에서의 센서 응답을 선형화하는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경기술

트랜스듀서(센서)는 어떤 형태의 에너지를 다른 형태의 에너지로 변환한다. 압력 센서, 전기 센서, 화학 센서, 및 온도 센서와 같은 다양한 종류의 센서가 있다. 이들 센서는 처리 상태에 대한 정보를 제공한다. 이 정보는 종종 처리과정을 모니터링하고, 제어하는데 사용된다. 센서는 다양한 제조 공정을 더 면밀하게 모니터링하고, 제어하기 위해 반도체 산업 전반에 널리 사용된다. 채널 길이 및 라인 폭이 감소함에 따라서, 반도체 산업에서의 허용가능한 처리의 변화도 감소하였다. 따라서, 처리가 조심스럽고, 정확하게 모니터링될 수 있도록, 반도체 산업에서의 센서는 정확하고, 신뢰할만한 결과를 내야한다.

반도체 처리에서 흔히 사용되는 센서중 한 타입은 유량센서이다. 유량센서는 처리 챔버의 가스의 유량을 측정한다. 유량센서는 전형적으로 열 센서이다. 열 유량 센서는 캐필러리 튜브를 권회하고 있는 두개의 저항 온도 센서로 이루어져 있다. 가스가 센서를 통하여 흐르면, 열이 하류로 전해지고, 온도차는 가스의 유량의 비율에 비례한다. 불행하게도, 유량센서를 포함한 많은 센서가 본래 내부 비선형 응답을 가지고 있다. 결론적으로, 센서 신호를 제어 시스템에 입력시키기 이전에 센서의 출력을 선형화하기 위한 많은 방법이 실시되어 왔다.

종래 기술의 센서 선형화인 아날로그 방법이 다이오드나 트랜지스터와 같은 비선형 전자 소자로 수행되었다. 이들 비선형 전자 소자는 보상회로의 비선형 특성이 센서의 비선형 응답의 역이 되도록 보상회로 토폴로지에 배열된다. 도 1은 보상회로 토폴로지의 보정응답(10), 센서 응답(12), 합성 선형응답(14) 사이의 관계를 도시한다.

불행하게도, 보상회로의 사용에는 고유의 문제가 있다. 첫번째로, 이런 타입의 보상회로는 종종 기술자에 의해 수동으로 조절되어서, 지루하고, 시간이 많이 걸리는 교정 처리가 될 수 있다. 두번째로, 비선형 요소가 온도를 포함한 이러한 특성을 변화시킬 수 있고, 임의의 널(null) 포인트의 변이가 보정된 출력에서 큰 오차를 발생시킬 수 있다. 또한 널 포인트는 센서 자체에 의해 야기될 수 있다. 이들 오차의 원인은 디지털 방법을 통해서 감소되거나 완전히 제거될 수 있다.

디지털 방법은 센서와 디지털 마이크로 프로세서를 인터페이스시키는 것을 포함한다. 센서가 마이크로 프로세서와 인터페이스되면, 비선형 센서 특성이 컴퓨터화된 방법으로 보정될 수 있다. 이들 컴퓨터화된 방법은 다항식 곡선 피팅을 포함한다.

불행하게도, 디지털 방법은 일부 단점을 가지고 있다. 다항식 곡선의 계수는 흔히 정수 산술을 사용하는 대부분의 마이크로 프로세서에 매우 복잡해 질 수 있는 수학 공식을 사용해서 계산될 수 있다. 또한, 계산은 선형화를 위해 제한된 마이크로 프로세서의 수의 영역에 대해 너무 크거나 너무 작을 수 있는 수를 포함할 수 있다. 이러한 상황은 다항식의 차수가 2보다 더 크면 더욱 악화된다.

센서 선형화를 위한 다른 방법은 아날로그 기술과 디지털 기술을 결합하는 것이다. 그러나, 이런 방법은 추가적인 회로 소자 또는 마이크로 프로세서내의 제한된 수의 영역에 의해 야기된 제한에 의해 어려워진다.

궁극적으로, 종래의 아날로그 및 디지털 선형화 방법의 단점을 극복한 센서응답 선형화 방법이 요구된다. 이런 방법은 기술자나 엔지니어에 의한 수동 작업없이 센서의 교정을 가능하게 한다. 또한, 이러한 방법은 선형화 처리를 돕는 회로 또는 컴퓨터 구성요소에 의해 제한을 받지 않아야 한다.

예를들어 하기의 공보에 다른 종래의 시스템이 개시된다: 유럽 특허 출원 번호 EP-A-0 890 828(Emerson Electric Co.) January 13, 1999; 유럽 특허 출원 번호 EP-A-0 834 723(Emerson Electric Co.) April 8, 1998; 미국 특허 번호 US-A-4 059 982(Bowman) November 29, 1977; U.S. Patent number US-A-5 369 603(Myers) November 29, 1994; 및 유럽 특허 출원 번호 EP-A-0 519 751(Exxon Research Engineering Co.) December 23, 1992.

### 발명의 상세한 설명

본 발명은 센서 응답을 선형화하기 위해 종래에 전개되던 시스템 및 방법과 관련된 단점 및 문제를 실질적으로 제거하거나 감소시킨 센서 응답을 선형화하는 시스템 및 방법이 제공된다.

더 상세하게는 본 발명은 실제 플로우 레이트를 측정하고, 감지된 플로우 레이트 신호를 출력하는 유량 센서, 및 컴퓨터와 연결되고  $k$ 차 다항식  $p(m)=a_1m+a_2m^2+...+a_km^k$ 를 사용해서 감지된 플로우 신호를 선형화된 센서 신호로 변환하도록 프로그래밍된 디지털 신호 프로세서를 포함하고 있는 유량 조절기내에서 감지된 플로우 레이트 신호로부터 선형화된 센서 신호를 생성하는 시스템을 제공하고, 여기서,  $p(m)$ 은 선형화된 센서 신호이고,  $m$ 은 상기 감지된 플로우 레이트 신호이고,  $a_j$ 는  $j=1, k$ 일 때의 계산된 계수의 세트이다.

본 발명은 또한  $k$ 차 다항식  $p(m)=a_1m+a_2m^2+...+a_km^k$ 를 사용해서, 감지된 플로우 레이트 신호로부터 선형화된 센서 신호를 생성하는 방법을 제공하고, 상기 방법은 유량 센서를 가지고 실제 플로우 레이트를 측정해서 상기 감지된 플로우 레이트 신호를 출력하는 단계 및 컴퓨터와 연결된 디지털 신호 프로세서를 사용해서 상기 감지된 플로우 레이트 신호로부터 상기 선형화된 센서 신호를 생성하는 단계를 포함하고, 여기서  $p(m)$ 은 상기 선형화된 센서 신호이고,  $m$ 은 상기 감지된 플로우 레이트 신호이고,  $a_j$ 는  $j=1, k$ 일 때의 계산된 계수의 세트이다.

본 발명의 일 실시예는  $k$ 차 다항식을 사용해서 센서 신호( $m$ )로부터 선형화된 센서신호( $p$ )를 생성하는 방법을 포함한다.  $K$ 차 다항식의 계수는 최소 제곱(least-square)방법을 사용해서 계산될 수 있다. 컴퓨터는  $K$ 차 다항식의  $j$ 번째 계수( $a_j$ )의  $(2j-1)$ 근을  $2 \leq j \leq k$ 에서 계산할 수 있고, 디지털 신호 프로세서(DSP)의 저장 디바이스에 계수와 결과로 나온 근( $r_j$ )을 다운로드 할 수 있다.  $2 \leq j \leq k$ 에서, DSP는

$\left(a_j^{\frac{1}{2j-1}}m\right)^j$ 을 계산하고, 그 결과에  $\left(a_j^{\frac{1}{2j-1}}\right)^{j-1}$ 를 곱할 수 있다. 결과로 나온 식은  $a_1m$ 의 계산에 더해져서  $K$ 차 다항식을 생성할 수 있다.  $K$ 차 다항식은 선형화된 센서신호이다.

본 발명은 기술자나 엔지니어에 의한 수동 조작이나 "트위킹(tweaking)"을 요구하지 않는다는 점에서 기술적인 이점을 제공한다. 교정은 다양하게 공지된 처리 속도에 대한 센서의 출력에 기초해서 컴퓨터에 의해 계산된다. 이 방법은 종래의 아날로그 교정 방법에서와 같이 보상회로를 조정하기 위한 아날로그 회로 소자의 트위킹을 요구하지 않는다.

본 발명은 극히 작은 수와 극히 큰 수와의 컴퓨터 곱셈을 수행할 수 있는 다른 기술적인 이점을 가진다. 이러한 수를 사용하는 교정은 제어 시스템에 흔히 사용되는 유용한 마이크로프로세서의 제한된 수의 영역으로 인한 오차를 초래할 수 있다. 매우 작은 수와 매우 큰 수 모두를 가지고 정확한 계산을 할 수 있기 때문에, 본 발명은 더 정확한 선형화 방법을 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 종래기술의 수정 응답, 센서 응답 및 선형화된 응답의 그래프,

도 2는 본 발명의 일 실시예의 블록도,

도 3은 교정 처리의 일 실시예의 흐름도,

도 4a는 선형 처리의 일 실시예의 일반적인 흐름도,

도 4b는 선형 처리의 일 실시예의 세부적인 흐름도,

도 5는 본 발명의 다른 실시예를 도시한 도면.

### 실시예

본 발명의 바람직한 실시예가 도면에 도시되어 있고, 여러 도면에서 동일한 그리고 대응하는 부분에는 동일한 번호가 사용된다.

본 발명은 K차 다항식을 사용한 센서 신호의 선형화 방법을 제공한다. 이 방법은 매우 큰 수와 매우 작은 수로 수의 영역이 제한될 때, 매우 큰 수를 매우 작은 수로 곱하는 처리를 할 수 있게 한다. 또한, 이 알고리즘은 정수 산술과 제한된 수의 영역을 가지고 DSP 타입의 마이크로 프로세서를 사용해서 고차의 다항식 어림셈을 실행가능하게 한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예의 블록도이다. 센서(16)는 아날로그 센서 신호(18)를 생성한다. 아날로그 센서 신호(18)는 아날로그-디지털 변환기(ADC:20)에 입력되어서 디지털 센서 신호(22)를 생성할 수 있다. 디지털 센서 신호(22)는 디지털 신호 프로세서(DSP:24)에 입력될 수 있다. 컴퓨터(26)와 연결된 DSP(24)는 선형화된 디지털 센서 신호(28)를 생성할 수 있다.

도 3은 도 2의 실시예의 흐름도이다. 선형화된 디지털 센서 신호(28)를 생성하기 위해 도 2의 시스템을 사용하기에 앞서, 컴퓨터(26)는 교정 처리를 수행할 수 있다. 도 3은 교정 처리의 일 실시예의 흐름도이다. 컴퓨터(26)는 파워풀한 테스트 및 측정 소프트웨어를 가지고 교정 처리를 수행할 수 있다. 단계(32)에서, 데이터의 세트

$$\{m_1, m_2, \dots, m_n\} \text{ [식 1]}$$

가 얻어질 수 있다.  $m_i$ 는 센서(16)로부터 디지털 센서 신호(22)의  $i$ 번째 측정값을 나타내고,  $f_i$ 는  $i=1, n$ 일 때, 측정되는 처리의 대응하는 실제값을 나타내고, 여기서  $n$ 은 측정값의 수이다. 이 선형화 방법은 디지털 센서 신호(22)에 대해 다항식 피트를 실시할 수 있다. 다항식 피트는

$$p_i(m_i)=a_1m_i+a_2m_i^2+\dots+a_km_i^k \text{ [식 2]}$$

이고, 여기서  $p_i$ 는 디지털 센서 신호(22)의  $i$ 번째 측정값( $m_i$ )의  $i$ 번째 예상되는(선형화된) 값이고,  $k$ 는  $k \leq n-1$ 에서의 다항식의 차수이다. 교정은 식 2에서 계수( $a_1, a_2, \dots, a_k$ )를 계산하기 위해 사용된다. 계수는 단계(34)에서 최소 오차 제곱 방법에 의해 계산될 수 있다. 이 방법에서, 계수( $a_1, a_2, \dots, a_k$ )는 모든  $n$  데이터 값에 대해서 예상된 값과 실제 값과의 사이의 오차를 최소화하도록 선택된다. 만약 전체 오차( $S$ )가 각각의 오차의 제곱의 합

$$S = \sum_{i=1}^n (p_i - f_i)^2 =$$

$$\sum_{i=1}^n (a_1 m_i + a_2 m_i^2 + \dots + a_k m_i^k - f_i)^2 \quad [\text{식 3}]$$

으로 주어진다,  $p_i(m_i)$ 의 계수는

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = \frac{\partial S}{\partial a_2} = \dots = \frac{\partial S}{\partial a_k} = 0. \quad [\text{식 4}]$$

이 되도록 선택될 수 있다.

일단, 단계(36)에서 계수가 계산되면, 컴퓨터(26)는  $2 < j \leq k$ 에서 j번째의 계수  $a_j$ 의  $(2j-1)$  근

$$r_j = a_j^{\frac{1}{2j-1}}. \quad [\text{식 6}]$$

을 계산할 수 있다.

단계(38)에서, 컴퓨터(26)는 계수와 결과로 나온 근  $r_j$ 를 2진 형 태로, DSP(24)의 저장 디바이스에 다운로드할 수 있다.

도 4a는 선형 처리의 일 실시예의 흐름도를 도시하고 있다.  $2 < j \leq k$ 에서 단계(40 및 42)는

$$\left[ a_j^{\frac{1}{2j-1}} \right] m_i, \quad [\text{식 7}]$$

및,

$$\left[ \left( a_j^{\frac{1}{2j-1}} \right) m_i \right]^j. \quad [\text{식 8}]$$

를 각각 계산하기 위해 실시될 수 있다. 단계(44)에서, DSP(24)는

$$\left[ \left( a_j^{\frac{1}{2j-1}} \right) m_i \right]^j. \quad [\text{식 9}]$$

와 단계(42)의 결과를 곱할 수 있다. 단계(46)에서,  $a_1 m_i$ 가 계산될 수 있다. 단계(44)에서 나온 항은  $a_1 m_i$ 에 더해져서 단계(48)에서의 i번째 측정값으로부터 i번째 예상된 값( $p_i$ )을 생성한다.

도 4b는 선형 처리의 다른 실시예의 상세한 흐름도를 도시한다. 단계(50)에서, 처리가 개시된다. 단계(52)에서, SUM은 식 SUM=0에 따라 시작하고, j는 식 j=2에 따라 개시된다. 단계(54)에서, 디지털 센서 신호(22)의 디지털 값  $m_i$ 가 얻어진다. i는 n이 디지털 센서 신호(22)에서 디지털 값의 수일 때, 1에서 n까지의 범위에 있다. 단계(56)에서, j가 k보다 큰지 판정한다. j가 k보다 크지 않다면, 단계(58)가 실시된다. 단계(58)에서,  $r_j = a_j^{\frac{1}{2j-1}}$ 가 DSP(24)의 메모리로부터 검색된다. 또한  $t_j = r_j m_i$ 이 형성된다. 단계(60)에서, 인덱스(l=1)이 개시되고, 변수( $v_j$ )는  $t_j$ 와 동일하게 설정된다. 단계(62)에서, l=j인지 판정된다. 단계(64)에서, l이 j와 동일하지 않으면, 변수  $v_j = v_j t_j$ 이다. 단계(66)에서, 인덱스(1)은 l=l+1에 따라서 증가된다. 처리는 이후에 단계(62)로 돌아가서, l는 j와 비교된다. 단계(62)에서, l=j이면, 인덱스(1)는 단계(68)에서 0으로 초기화된다. 이후에 단계(70)에서 l=j-1인지 판정된다. l이 j-1과 동일하지 않으면, 단계(72)에서 변수  $v_j$ 는  $v_j r_j$ 와 동일하게 설정된다. 단계(74)에서, l는 식 l=l+1에 따라서 증가된다. 이후에, 처리는 단계(70)로 돌아가서, l=j-1인지 판정된다. 인덱스 l=j-1이면, 단계(76)에서 SUM=SUM+  $v_j$ 에 대한 식에 따라서 SUM은 증가된다. 단계(78)에서, j는 식 j=j+1에 따라 증가된다. 처리는 이후에 단계(56)으로 돌아가서 j가 k보다 큰지 판정된다. 단계(56)에서 j가 k보다 크면, 단계(80)가 실시된다.

단계(80)에서,  $a_1$ 과 동일한 변수  $r_1$ 는 DSP(24)의 메모리로부터 획득되고,  $r_1 m_1$ 와 동일한 변수( $t_1$ )도 계산된다. 단계(82)에서, 디지털 센서 신호(22)의  $i$ 번째 측정값의  $i$ 번째 예상값이 식  $p_i = \text{SUM} + t_1$ 에 따라서 계산된다. 단계(88)에서, 처리는 종료된다.

도 4a 및 4b에 개시된 방법은 하기의 수학적 요소에 기초한다. 첫번째로, 일보다 더 작은 수중 큰 근이 일을 향해 수렴한다. 두번째로, 홀수 정수인 근은 수의 부호를 지킨다. 예를들어,  $a_3 = -0.0000034$ 가 주어지면, 세번째 근은  $-0.015036946$ 이고, 그 다섯번째 근은  $-0.085927$ 이다. 원래의 수( $-0.0000034$ )가 제한된 수의 영역에서 정수 산술에서 다루기 어려운 반면에, 다섯번째 근을 가지고 하는 계산은 용이하다. 다항식이 계산될 때, 3차 항은

$$\left( (a_3)^{\frac{1}{5}} m_1 \right) \left( (a_3)^{\frac{1}{5}} m_1 \right) \left( (a_3)^{\frac{1}{5}} m_1 \right) \left( (a_3)^{\frac{1}{5}} \right) \left( (a_3)^{\frac{1}{5}} \right) = a_3 m_1^4 \quad [\text{식 } 10]$$

와 같이 계산된다. DSP 타입의 마이크로 프로세서가 곱셈을 신속하게 수행할 수 있기 때문에, 식은 DSP(24)가 단지 다섯번만 반복되는 곱셈을 수행하게 할 필요가 있다.

(1)  $\left( (a_3)^{\frac{1}{5}} m_1 \right)$ 를 계산해서 저장한다(첫번째 곱셈)

(2) 저장된 수와 그 자체를 두번 곱한다(두번째 및 세번째 곱셈)

(3) (2)에서 얻어진 결과와  $\left( (a_3)^{\frac{1}{5}} \right)$ 를 두번 곱한다(4번째 및 다섯번째 곱셈)

2차항의 계산은 유사한 방식으로 행해진다. 이 방법은, 고차항이 1보다 작은 계수를 가지면(유량 조절기 어플리케이션인 경우), 고차 다항식 어렵셈으로 용이하게 확장될 수 있다.

도 5는 유량 조절기(90)에 관해서 센서 신호의 선형화가 일어나는 본 발명의 일 실시예를 도시하고 있다. 유량 조절기(90)에서, 유량센서(92)는 실제 플로우(94)를 측정한다. 감지된 플로우 레이트신호(96)는 ADC(98)에 입력되어서 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(100)를 생성한다. 그다음에 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(100)는 DSP(102)에 입력된다. DSP(102)는 선형화 모듈(104) 및 조절기(104)에 의해 나타나는 태스크를 수행하도록 프로그래밍할 수 있다. 선형화 모듈(104)은 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(100)를 선형화된 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(106)로 변환시킬 수 있다. 선형화된 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(106)는 조절기(108)에 입력될 수 있다. 조절기(108)는 밸브 구동 신호(110)를 출력할 수 있다. 밸브 구동 신호(110)는 밸브 구동 회로(112)에 입력될 수 있다. 밸브 구동 회로(112)는 실제 플로우(94)에 직접 영향을 미치는 밸브(114)를 작동시킬 수 있다. 교정 처리중, DSP(102)는 컴퓨터(116)와 DSP(102) 사이의 접속을 통해 PC와 같은 컴퓨터(116)와 통신하도록 동작될 수 있다. 컴퓨터(116)는 정밀한 수학적 계산을 수행해서 이 계산 결과를 DSP(102)에 다운로드하기 위한 명령어를 포함할 수 있다. 이런 계산 결과는 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(100)의 다항식 피트에 대한 계수를 포함할 수 있다.

도 5에서, 감지된 플로우 레이트신호(96)는 ADC(98)에 의해 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(100)로 변환된다. 단극 입력 전압이라 가정하면, ADC(98)의 최대 입력 전압 범위는 0-1024(10비트 ADC), 0-4096(12비트 ADC), 또는 0-65536(16비트 ADC)의 수로 분할될 수 있다. 최소 입력 전압(0V)은 0디지털 전압에 대응하고, 최대 입력 전압은 ADC(98)의 비트 수에 따른 1023, 4095 또는 65535의 디지털 값에 대응한다. 대부분의 아날로그 디지털 변환기는 쌍극 신호도 다룰 수 있다. ADC(98)의 디지털 출력은 -512 내지 511(10 비트), -2048 내지 2047(12 비트 ADC), 또는 -32768 내지 32767(16비트 ADC)의 범위가 될 수 있다. 근래의 디지털 신호 프로세서(DSP) 컴퓨터 칩은 -32768 내지 +32767(16 비트)의 범위의 수 영역을 지원하는 것이 전형적이다. 본 발명의 선형형화 방법은 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(100) 및 선형화된 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(106)를 DSP(102)의 수의 영역의 일부에 맞춘다. DSP(102)의 산술 유닛내에서 수가 오버 플로우하는 것을 방지하기 위해 전체 범위의 수영역(-32768 내지 32767)의 일부가 선형화된 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(106)에 대해서 사용될 수 있다. 이와 같이, 수는 유량센서(92)로부터 출력되는 감지된 플로우 레이트신호(96)에 대응할 최대 선형화된 디지털식으로 감지된 플로우 레이트신호(106)로서 할당될 수 있다.



유량센서(92)는 캐필러리 튜브에 권회된 두개의 저항성 온도 센서로 구성될 수 있다. 두개의 저항성 온도 센서는 두개의 저항성 온도 센서에 의해 생성되는 신호를 조절하는 인터페이스 회로에 결합될 수 있다. T.I Pattantyus 등에 의해 1999년 7월 9일에 출원된 미국 출원 번호 제 09/350,746호, "Improved Mass Flow Sensor Interface Circuit"에 개시된 인터페이스 회로를 특히 참조하라.

조절기(108)는 당업자에게 공지된 디지털 제어 방법을 사용해서 실시될 수 있다. 이들 방법은 비례 적분(PI)제어 및 미분 제어를 포함할 수 있다. E.Vyers에 의해 1999년 7월 9일에 출원된 미국 출원 번호 제 09/351,120호, "A System and Method for Digital Mass Flow Controller" 및 E.Vyers에 의해 1999년 7월 9일에 출원된 미국 출원 번호 제 09/351,098호, "System and Method For A Variable Gain Proportional-Integral(PI) Controller"에 개시된 방법을 특히 참조하라.

밸브(114)는 솔레노이드 작동식 밸브일 수 있다. 밸브 구동 회로(112)에 대해 실시될 수 있는 많은 회로 구성이 있다. 이들 구성은 밸브 구동 신호(112)를 밸브(114)를 구동하는 솔레노이드에 대한 구동 전류로 변환시킬 수 있다. 대부분의 이들 회로는 솔레노이드에 연속 전압 또는 스위치되는 펄스 폭 변조 전압을 제공하기 위해 트랜지스터와 같은 제어 소자를 포함한다. 스위칭 펄스 폭은 밸브 구동 신호의 함수이다. 솔레노이드에 걸리는 전압의 스위칭 펄스 폭의 함수인 평균 솔레노이드 전류는 솔레노이드 내에서 생성될 수 있다. 솔레노이드 전류는 밸브(114)를 작동시킬 수 있다. T.I Pattantyus에 의해 1999년 7월 9일에 출원된 미국 출원 번호 제 09/351,111호, "Method and System For Driving A Solenoid"에 개시된 밸브 구동 회로를 특히 참조하라.

유량 조절기는 페루프 조절 알고리즘을 실시할 수 있다. K. Tinsley에 의해 1999년 7월 9일에 출원된 미국 출원 번호 제 09/350,744호, "System and Method of Operation of a Digital Mass Flow Controller"에 개시된 개량 디지털 제어 알고리즘을 특히 참조하라.

본 발명이 상술한 소자 및 방법을 포함하는 유량 조절기에 사용되는 것에 제한되지 않는다는 것에 주목하는 것은 중요하다.

본 발명의 일 기술적인 이점은 다항식 피트의 계수를 계산하기 위해 사용되는 교정과정에서 센서 신호를 선형화하기 위해 수동으로 튜닝할 필요가 없다는 점이다. 아날로그 보상 회로를 사용하는 종래의 기술과는 다르게, 디지털 선형화 방법은 컴퓨터(26 또는 116)를 사용해서 계수를 계산한다. 유량 조절기(90)의 교정 처리에 의해 공지된 플로우 레이트에 대해서 감지된 플로우 레이트신호(96)를 측정할 수 있다. 이 데이터는 컴퓨터(116)에 의해 사용되어서 계수를 계산할 수 있다. 이 교정과정은 기술자 또는 엔지니어가 종래의 기술의 방법에서 사용되는 것과 같은 임의의 보상 네트워크의 회로 소자를 "트위킹"함으로써 데이터를 수동으로 선형화하는 것을 필요없게 한다.

본 발명의 다른 기술적인 이점은 극히 작은 수의 처리를 포함하는 디지털 선형화 방법을 가능하게 한다는 것이다. 예를들어,  $\{m_1, m_n\}$  간격의 크기가  $\{p_1, p_2\}$  범위와 같은 차수의 크기일 때,  $a_i$ 는 일에 가깝고,  $a_1m_1, a_2m_1^2, \dots, a_km_1^k$ 도 일에 가깝다. 그러나,  $m$ 의 값이 0 내지 25000의 어디에 있을 때,  $a_i$  계수( $i>1$ )의 값이 일보다 훨씬 작을 것이라는 것은 용이하게 알 수 있다. DSP(102)에서, 이런 작은 계수를 다루고 계수를 결정하기 위해 필요한 정밀한 계산을 하는 것을 어렵다. 유량 조절기(90)의 경우에, 이들 계수는 전형적으로 1보다 훨씬 작다. 결론적으로, 이들 계수의 증가된 제공은 제로로 접근한다. DSP(102)에서, 제한 수의 영역은 계수의 정확한 계산을 방해할 수 있다. 컴퓨터(116)의 사용으로 인해 DSP(102)보다 더 강력한 계산 환경에서 계수가 계산될 수 있다. DSP가 전형적으로 PC만큼 강력하지 않다는 것에 주목해야 한다. 프로그램, ROM 및 RAM 메모리의 용량은 PC보다 DSP가 훨씬 더 제한된다.

요약하면, 상술한 방법은, 큰 수와 작은 수 모두에 대한 수의 영역이 제한될 때, 작은 수에 의해 곱해진 큰 수의 처리를 가능하게 한다. 또한, 이 알고리즘은 정수 산술을 하는 DSP 타입의 마이크로프로세서를 사용해서 고차 다항식 어렵셈을 가능하게 한다.

비록 본 발명이 예시된 실시예를 참조로 상세하게 설명되었지만, 이 설명은 단지 예시일 뿐이고, 제한해서 구성하려는 것은 아니다. 따라서, 본 발명의 실시예의 상세에 대한 다수의 변화 및 본 발명의 추가적인 실시예가 본 발명을 참조하는 당업자에게 나타날 수 있고, 만들어 질 수 있다는 것을 더 이해해야 한다. 모든 변화 및 추가적인 실시예는 첨부된 청구의 범위에 따라 본 발명의 사상과 범위에 속한다고 사료된다.

## (57) 청구의 범위

### 청구항 1.

유량 조절기에서 감지된 플로우 레이트 신호로부터 선형화된 센서 신호를 생성하는 시스템에 있어서, 상기 시스템은:

실제 플로우 레이트를 측정해서 감지된 플로우 레이트 신호를 출력하는 플로우 센서; 및

감지된 플로우 신호를 선형화된 센서 신호로 변환하는 명령어를 포함하고, 컴퓨터와 연결된 디지털 신호 프로세서;를 포함하고,

상기 컴퓨터는:

(a)  $k$ 차 다항식  $p(m)=a_1m+a_2m^2+...+a_km^k$ 의 상기 계산된 계수( $a_j$ )를 계산하고;

(b)  $2 < j \leq k$ 에서,  $a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}$ 를 계산하고;

(c) 단계(a)~(b)로부터 결과값을 상기 디지털 신호 프로세서내의 메모리 디바이스에 다운로드하도록 프로그래밍되고;

상기  $p(m)$ 은 선형화된 센서 신호이고,  $m$ 은 상기 감지된 플로우 레이트 신호이고,  $a_j$ 는  $j=1, k$ 일 때의 계산된 계수의 세트인 것을 특징으로 하는 시스템.

### 청구항 2.

제 1 항에 있어서, 상기 디지털 신호 프로세서는:

(a)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}m\right)^j$ 를 계산하고;

(b)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1}$ 를 계산하고;

(c)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}m\right)^j \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1}$ 를 계산하고;

(d)  $(a_1m)$ 를 계산하고; 및

(e) 공식 
$$p(m) = (a_1m) + \sum_{j=2}^k \left[ \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}m\right)^j \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1} \right]$$
에 따라서, 선형화된 센서 신호를 계산하도록 프로그래밍된 것을 특징으로 하는 시스템.

### 청구항 3.

제 1 항에 있어서, 상기 감지된 플로우 레이트 신호는 상기 감지된 플로우 레이트 신호가 상기 선형화된 센서 신호로 변환되기 이전에 A-D 변환기를 사용해서 디지털화되는 것을 특징으로 하는 시스템.

### 청구항 4.



제 1 항에 있어서, 상기  $k$ 차 다항식  $p(m)=a_1m+a_2m^2+...+a_km^k$ 의 상기 계산된 계수 ( $a_j$ )의 세트는 최소 제곱 오차 방법을 사용해서 계산되는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 5.

제 1 항에 있어서, 상기 디지털 신호 프로세서는 상기 유량 조절기내의 밸브를 제어하는 밸브 제어 신호를 생성하도록 더 프로그래밍된 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 6.

제 2 항에 있어서, 상기 컴퓨터는 최소 제곱 오차 방법을 사용하여 상기 계산된 계수( $a_j$ )를 계산하도록 프로그래밍되어 있는 것을 특징으로 하는 시스템.

#### 청구항 7.

센서 신호로부터 선형화된 센서 신호를 생성하는 방법에 있어서, 상기 방법은:

처리 파라미터를 측정하는 센서로부터 상기 센서 신호를 생성하는 단계;

컴퓨터와 연결된 디지털 신호 프로세서를 사용해서 상기 센서 신호로부터 상기 선형화된 센서 신호를 생성하는 단계;를 포함하고,

상기 컴퓨터는:

(a) 상기  $k$ 차 다항식  $p(m)=a_1m+a_2m^2+...+a_km^k$ 의 상기 계산된 계수( $a_j$ )의 세트를 계산하고;

(b)  $2 < j \leq k$ 에서,  $a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}$ 를 계산하고; 및

(c) 상기 단계(a)~(b)로부터 결과값을 상기 디지털 신호 프로세서내의 메모리 디바이스에 다운로드하도록 프로그래밍되고,

상기  $p(m)$ 은 상기 선형화된 센서 신호이고,  $m$ 은 상기 센서 신호이고,  $a_j$ 는  $j=1, k$ 일 때의 계산된 계수의 세트인 것을 특징으로 하는 방법.

#### 청구항 8.

제 7 항에 있어서, 상기 디지털 신호 프로세서는:

(a)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}m\right)^j$ 를 계산하고;

(b)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1}$ 를 계산하고;

(c)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m\right)^j \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1}$  를 계산하고;

(d)  $(a_1 m)$ 를 계산하고; 및

(e) 공식 
$$p(m) = (a_1 m) + \sum_{j=2}^k \left( \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m\right)^j \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1} \right)$$
에 따라서, 상기 선형화된 센서 신호를 계산하도록 프로그래밍된 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 9.

제 7 항에 있어서, 상기  $k$ 차 다항식  $p(m) = a_1 m + a_2 m^2 + \dots + a_k m^k$ 의 상기 계산된 계수( $a_j$ )는 최소 제곱 오차 방법을 사용해서 계산되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 10.

제 7 항에 있어서, 상기 센서는 유량 조절기내의 플로우 레이트 센서를 포함하고, 상기 처리 파라미터는 플로우 레이트를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 11.

제 7 항에 있어서, 상기 디지털 신호 프로세서는:

(a)  $1 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m\right)^j$  를 계산하고;

(b)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1}$  를 계산하고;

(c)  $2 < j \leq k$ 에서,  $\left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m\right)^j \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1}$  를 계산하고;

(d)  $(a_1 m)$ 를 계산하고; 및

(e) 공식 
$$p(m) = (a_1 m) + \sum_{j=2}^k \left( \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m\right)^j \left(a_j^{\frac{1}{2^{j-1}}}\right)^{j-1} \right)$$
에 따라서, 상기 선형화된 센서 신호를 계산하도록 프로그래밍된 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 12.

제 7 항에 있어서, 상기 감지된 플로우 레이트 신호는 상기 감지된 플로우 레이트 신호가 상기 선형화된 센서 신호로 변환되기 이전에 A-D 변환기를 사용해서 디지털화되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 13.

제 7 항에 있어서, 상기  $k$ 차 다항식  $p(m)=a_1m+a_2m^2+...+a_km^k$ 의 상기 계산된 계수 ( $a_i$ )의 세트는 최소 제곱 오차 방법을 사용해서 계산되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 14.

제 10 항에 있어서, 상기 디지털 신호 프로세서는 상기 유량 조절기내의 밸브를 제어하는 밸브 제어 신호를 생성하도록 더 프로그래밍된 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 15.

삭제

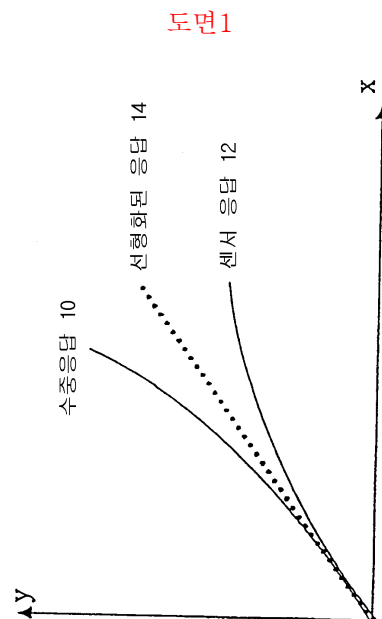
### 청구항 16.

삭제

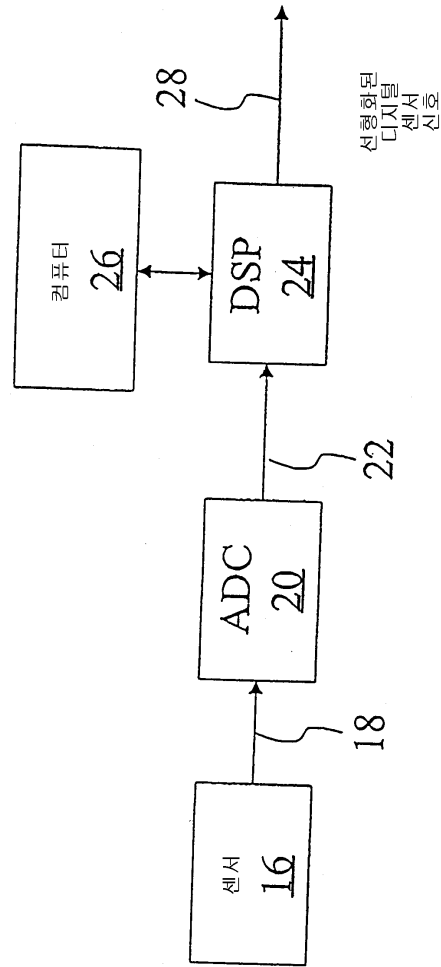
### 청구항 17.

삭제

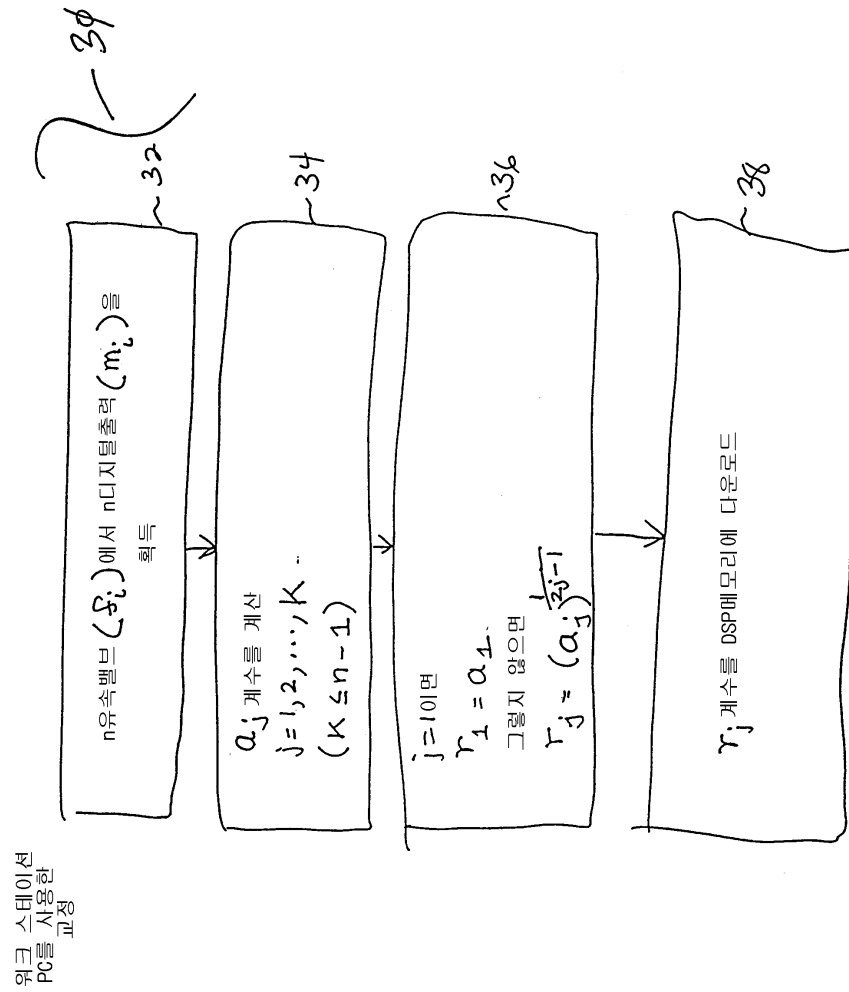
도면



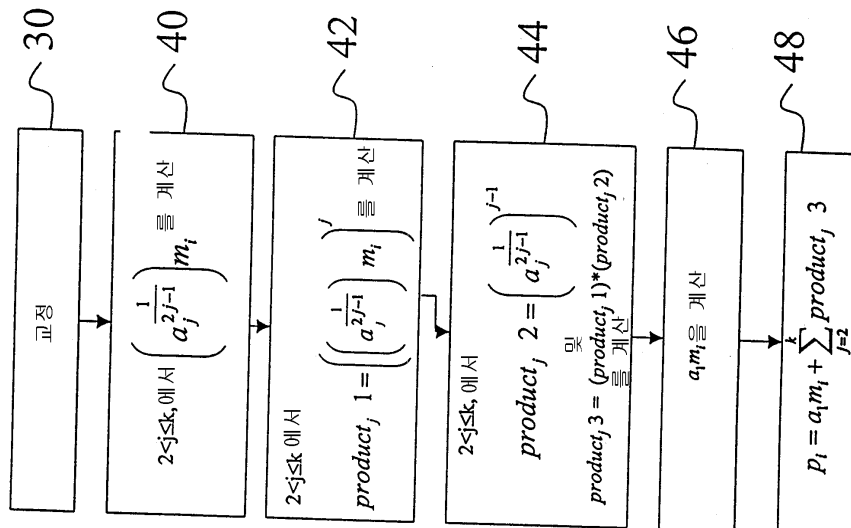
도면2



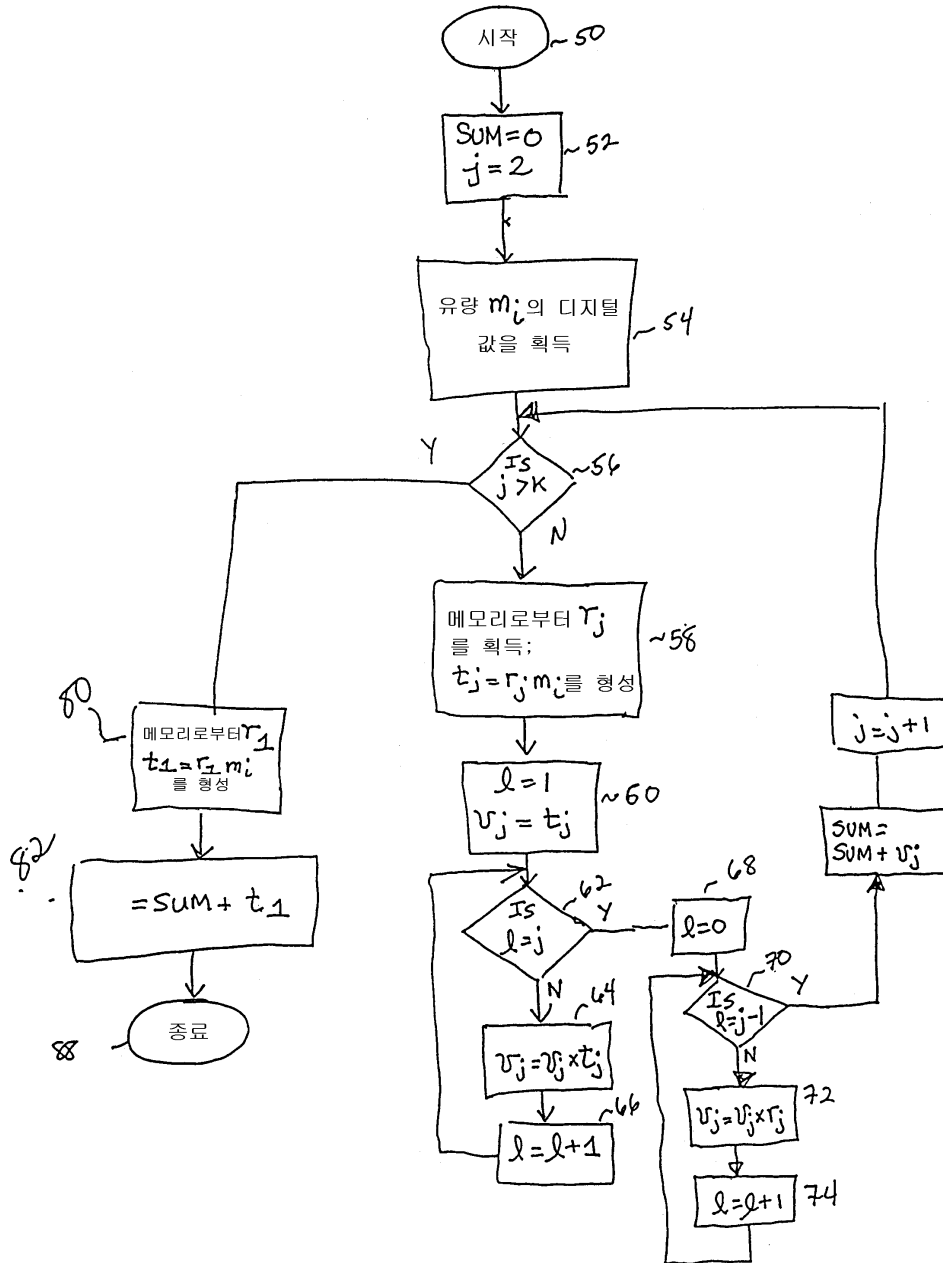
도면3



도면4a



도면4b



도면5

