

공작기계를 자동화하는 목적은

- ① 생산성 증가, 생산비의 절감 및 품질의 향상
- ② 반복 작업에 오는 권태감 해소
- ③ 작업장에서의 위험으로부터 작업자의 보호
- ④ 기계공장 공간의 경제적 이용 등에 있다.

공작기계를 자동화하기 위한 기초동작에는 다음 사항이 있다.

- ① 소재를 운반한다.
- ② 절삭중에 chip을 제거한다.
- ② 가공물을 공작기계에 장착한다.
- ③ 절삭중 또는 절삭 후 공작물을 계측한다.
- ③ 절삭속도 및 이송속도를 선정한다.
- ⑩ 측정 결과에 의하여 공구를 수정한다.
- ④ 공구를 가공물에 급속히 접근시킨다.
- ⑪ 공구의 설치 및 풀기를 한다.
- ⑤ 절삭운동 및 이송운동을 개시한다.
- ⑫ 가공물을 푼다.
- ⑥ 이송운동을 정지한다.
- ⑬ chip을 운반한다.
- ⑦ 공구가 원위치로 복귀한다.

이상의 기초 동작을 시간과 공간적으로 制御하여 전부 자동화한 것을 全自動工作機械(full automatic machine tool)라 하고, 공작물의 着脱을 手動에 의존하는 것을 半自動工作機械(semi-automatic machine tool)라고 한다. 자동화에는 막대한 투자 비용이 들기 때문에 어느 정도까지 자동화할 것인가는 경제적 고려에 의하여 정하여진다.

## 7-1 制御裝置

공작기계의 제어에는 機械的制御, 油·空壓式制御, 電子式制御 및 數値制御로 크게 분류할 수 있다.

### 7-1-1 機械的 制御裝置

회전운동을 전달하는 요소에는 belt전동, gear전동, chain전동 등이 있고, 운동방식을 변화시키는 데에는 lever-crank기구, cam기구 등이 있다. 이 중에서도 공작기계의 자동화에는 다 음의 間歇的 機構는 빼놓을 수 없는 중요한 요소이다(5篇 1章 1-4 주기운동기구 참조).

#### [1] lever 운동을 이용한 간헐기구

Fig. 5-179는 walking beam 방식으로서 air cylinder에 의하여 구동되며, slider 및 lever, 반

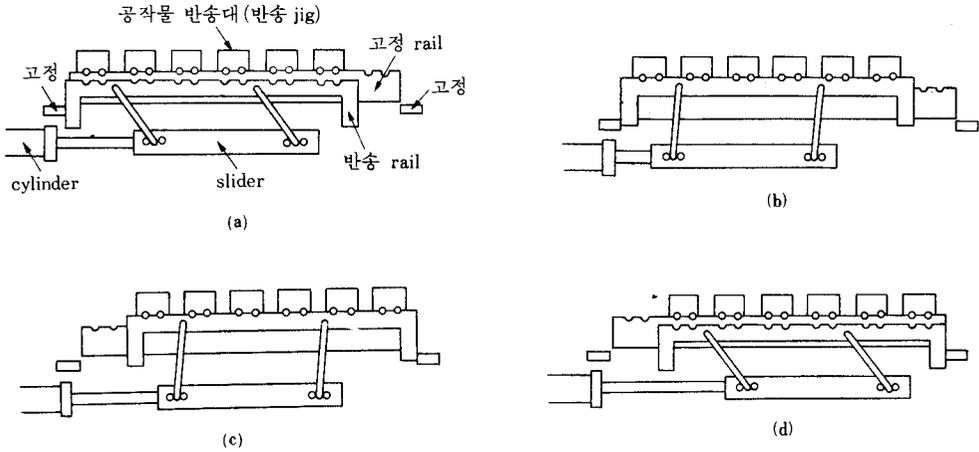


Fig. 5-179 walking beam 방식 간헐운동기구

송 rail 및 고정 rail로 구성되어 있다.

고정 rail 위에 정리된 jig는 반송 rail에 의하여 동시에 이웃 station으로 이동된다. 고정 rail의 각 station에는 홈이 있어 jig의 위치를 정하여 준다. Fig.5-180은 walking beam 방식의 간헐운동기구에 의하여 圓形工作物을 반송하고 있는 예이다.

Fig.5-181은 click(걸쇠)식 간헐운동기구로서 air cylinder에 의하여 구동되고, click, slider, 고정 rail로 구성되며 반송 jig는 고정 rail 위에 놓여 있다.

Fig.5-182는 回轉 pusher식 간헐운동기구로서 feed rod는 회전운동과 왕복운동을 할 수 있으며 등간격의 arm에 의하여 반송 jig가 이동된

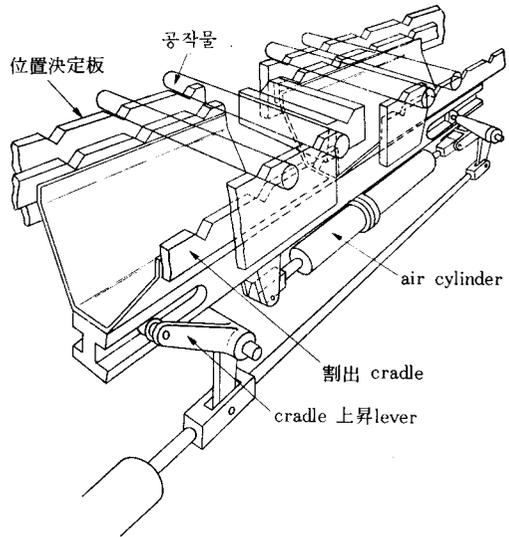


Fig. 5-180 walking beam 방식의 간헐운동에 의한 원형공작물의 반송

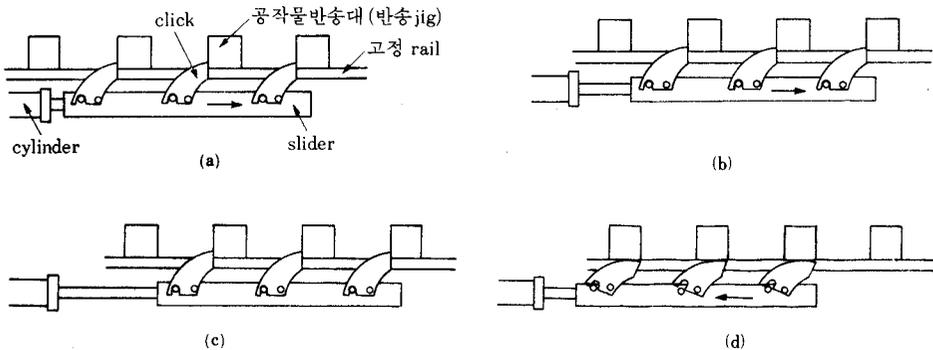


Fig. 5-181 click 방식 간헐운동기구

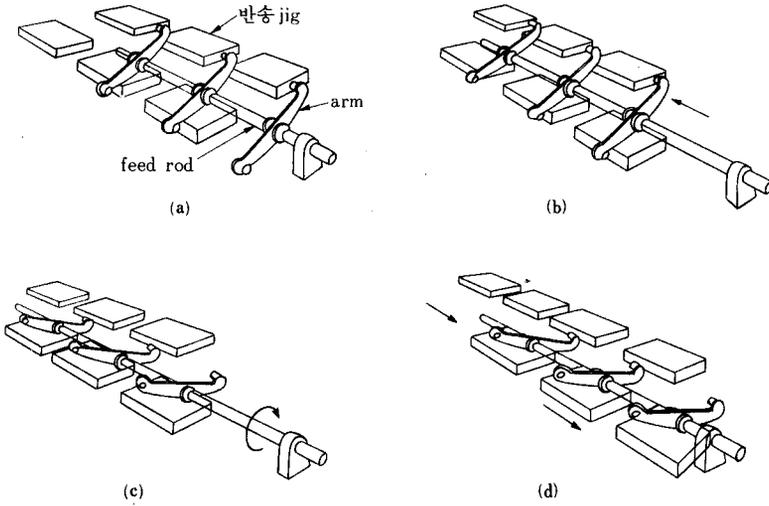
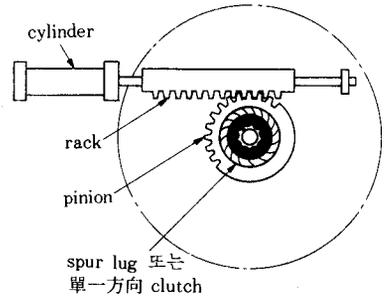


Fig. 5-182 回轉pusher식 간헐운동기구

ed rod의 왕복은 air cylinder에 의하여 이루어지고, 회전은 rack과 pinion에 의하는 경우가 많다.

[2] ratchet을 이용한 간헐기구

Fig.5-183은 ratchet기구가 간헐운동기구로 쓰이는 예로서 구동piston의 行程(stroke)을 변경함으로써 또는 pinion과 rack의 pitch를 변경함으로써 割出數(dividing 數, indexing 數)의 변경이 용이하다. 이때 위치 결정 정도를 확보하기 위하여는 삼입 pin 또는 brake를 사용하는 것이 좋다.



[3] Geneva기구를 이용한 간헐운동기구

Fig. 5-184는 Geneva기구에 의한 간헐운동을 보여 주 Fig. 5-183 ratchet 방식 간헐운동기구며, 원동축이 연속 또는 일정속도로 회전하고 있을때 Geneva wheel은 회전과 정지를 되풀이한다. Geneva wheel의 割出(indexing) 이동은 원동차의 roller가 Geneva wheel의 홈부에 삼입된 상태에서 이루어지고, roller가 홈에서 빠져나옴과 동시에 원동차의 位置決定板이 Geneva wheel의 오목면에 물리어 위치 결정이 된다.

[4] cam을 이용한 간헐운동기구

Fig.5-185에서는 축 A를 중심으로 회전하는 cam의 1端 a가 축 C상에서 회전하는 바퀴의 돌출부 d를 들어 바퀴를 간헐적으로 회전시킨다. lever의 돌출부 e는 바퀴의 역전을 막으며 cam의 b 부분은 d를 들어올려 회전시킬 때 lever의 brake 작용을 제거하여 준다.

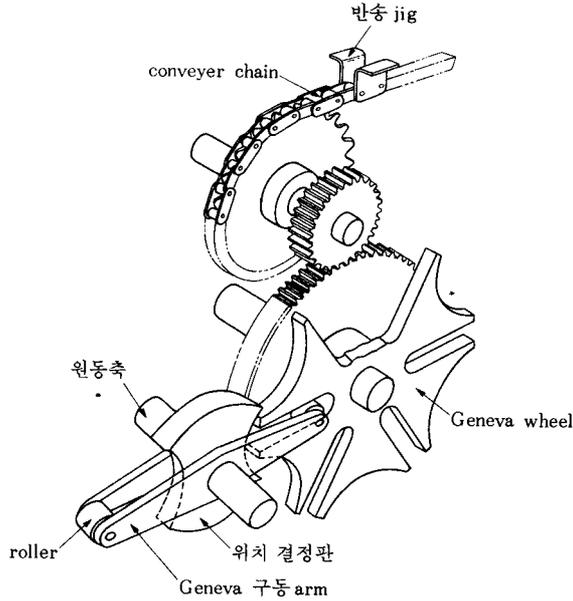


Fig. 5-184 Geneva 기구에 의한 간헐운동

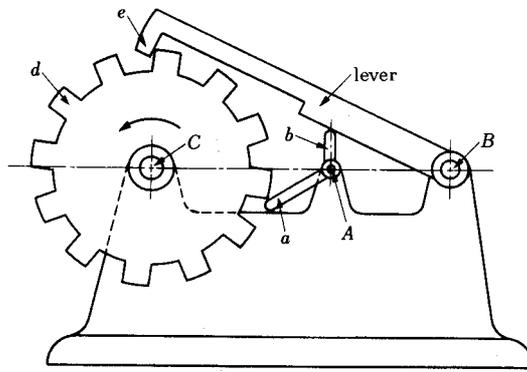


Fig. 5-185 finger cam에 의한 간헐운동

### 7-1-2 油壓式 制御裝置

油壓機構는 자동화 공작기계의 구동에서 다음과 같은 우수한 기능을 갖고 있다.

- ① 속도 변화를 연속적이면서 무단계로 할 수 있다.
- ② 진동이 적어 평활한 운동을 하게 한다.
- ③ 제어가 확실하고 용이하다.
- ④ 기계부분의 배치가 용이하다.
- ⑤ 운전의 응답이 빠르고 안전성이 높다.

그러나 기름의 온도변화에 의하여 속도변화가 수반되고, 정확한 운동을 얻는 데 어려움이 따

른다.

보다 상세한 설명은 5篇 1章 1-2-3을 참조하기 바란다.

### 7-1-3 電子式 制御裝置

전자식 속도제어 방식의 종류 및 이들의 비교는 5篇 1章 Table 5-10을 참조하기 바란다. 여기에서는 主軸의 起動 및 정지, 正轉 및 逆轉에 많이 사용되는 電磁 clutch만을 설명한다.

전자clutch는 운전중에 변환을 신속하고 안전하게 하기 위하여는 전자brake(magnetic brake)가 병용되는 경우가 많다. 전자clutch는 일종의 마찰clutch이며, 마찰면에 가해지는 압력은 coil에 직류전기를 통해서 생기는 電磁力에 의한 것이다.

Fig.5-186(a)에서 축 A가 회전하고 축 B가 정지하고 있을 때 전자clutch에 전류를 통해서 clutch가 磁化되면 축 B에 회전을 전달하게 된다. Fig.5-186(b)는 전자clutch 2개를 조합한 것으로서 중심축이 회전하고 있고 gear A와 gear B는 정지하고 있을 때 a, b에 통전하면 左 clutch가 작동하여 gear A가 회전한다. c, d에 통전하면 右 clutch가 작동하여 gear B가 회전한다. 이와 같이 通電方式에 따라 gear A, B가 동시에 또는 별개로 회전하거나 모두 정지한다. 반대로 gear A, B가 각각 임의의 회전수로 회전할 때 이 장치로 右 clutch 또는 左 clutch에 전류를 보냄으로써 축을 高底 2段의 속도로 회전시킬 수 있다.

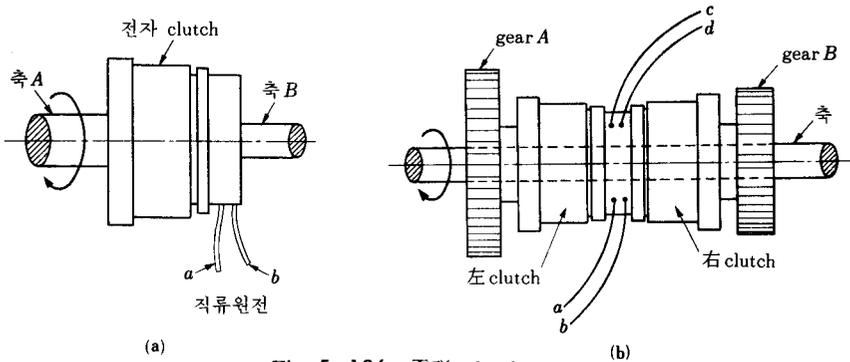


Fig. 5-186 電磁 clutch

### 7-1-4 數値制御(NC) 工作機械

#### [1] NC system

##### (1) NC의 構成

기계공학의 눈부신 발전과 더불어 전자공학의 발전은 모든 공학분야에 혁신을 가져다 주었다. IC, LSI와 VLSI의 개발은 계산과 制御分野에 더욱더 도움이 되었으며, 근래에 computer의 출현은 공작기계 분야에 커다란 영향을 미쳤다.

數値制御(NC)란 공작기계, gas절단기, robot, 세도기, 용접기, 조립기, 배선기 등의 각 기구의 동력을 수치와 부호로 구성된 수치정보로 제어하는 것을 말한다. 이때 각 기계의 기구를

servo機構(servo mechanism)라 하는데, 이 servo mechanism을 지령하는 program을 穿孔(punching)하거나 종이 tape 혹은 磁氣tape에 기록하여서 기계의 운동거리와 속도 및 운동의 종류 등을 부호로 지령하게 된다. 즉 수치나 부호 등을 이용하여 전자계산기기로 하여금 제어하는 것을 NC라고 한다. NC의 구성은 Fig.5-187에서 보는 바와 같이 program기구, 전자계산기, 전기계산기 기구와 servo기기로 구성되어 있으며, 이것을 NC의 3요소라 한다.

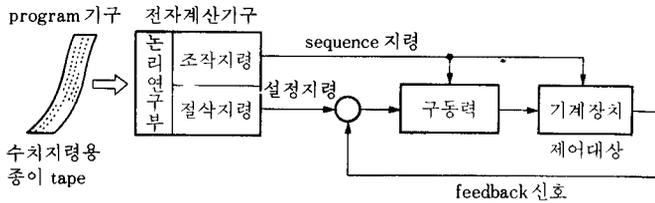


Fig. 5-187 수치제어의 구성

(i) servo機構

servo기구는 자동제어의 일부분으로서 선박이나 항공기의 자동제어, 온도 및 압력 등의 自動平衡計器 등에 널리 쓰이며, 특히 공작기계에서는 기계의 이동 거리, 위치와 속도를 제어하기 위하여 cam, limit switch를 조합하여 sequence제어나 program제어로 사용된다.

servo기구는 Fig. 5-188과 같이 入力된 수치나 부호를 전기신호로 변환시켜 servo계에 입력시켜서 기계가 실제 이동한 양  $e_r$ 와 基準入力量  $e_i$ 와의 차, 즉 검출기에서 얻은 오차를 feedback시켜서 servo계의 동작을 적절히 조절하며, 그 偏差信號에 소정의 특성을 가지게 하는 조

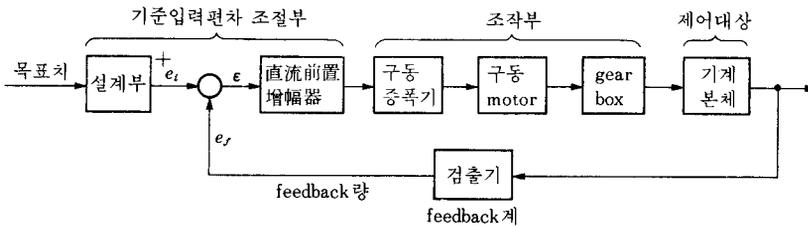


Fig. 5-188 servo機構의 기본 구성

절부, 구동 motor, 유압 motor 및 구동증폭기와 기계본체 또는 전동기를 연결시키는 gear box로 구성된 操作部, 제어의 대상이 되는 기계본체, 그리고 기계본체에 입력시킨 기준입력치( $e_i$ )와 실제 움직인 이동량( $e_r$ )과의 차(feedback量,  $\epsilon$ )를 검색하는 검출기 및 증폭부로 구성된 feedback계로 되어 있다.

feedback이란 제어하여 얻은 결과의 정도를 검색하며, 이것을 지령의 목표치(기준입력치,  $e_i$ )와 비교하기 위하여 입력측으로 되돌려 보내는 것을 말한다. 이 system에는 閉鎖回路 안에서 출력의 기준입력( $e_i$ )과 출력( $e_r$ )과의 차에 의하여 제어장치를 움직이게 하여 그 편차( $e_i - e_r$ )를 0으로 하는 것과 같은 訂正動力을 계속 실시하여 제어하는 방식과, 訂正動力을 가하지 않고 지령을 한 방향으로만 보내는 제어방식이 있다. 전자를 閉鎖回路制御(closed loop NC sys-

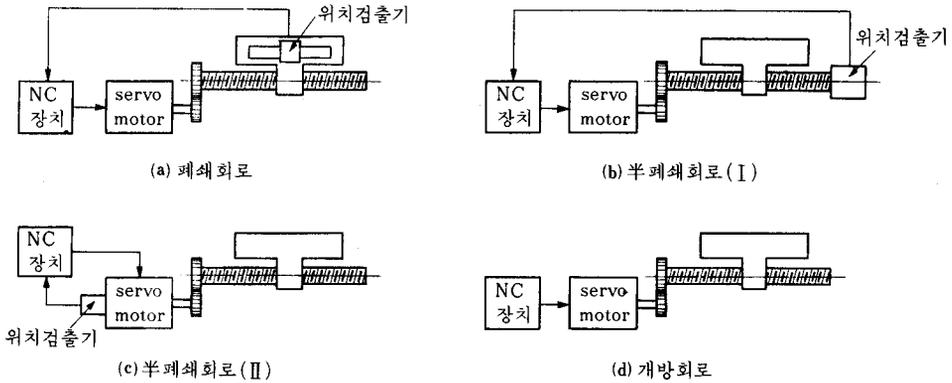


Fig. 5-189 NC의 servo 기구

tem)라고 하며, 후자를 開放回路制御 (open loop NC system)라 한다. Fig. 5-189는 이들 NC의 servo 기구의 예를 보여 준다.

(ii) 전자제산기 기구

일반적으로 공작기계에서는 가공물이나 절삭동작 등의 조건이 변하게 된다. 그러므로 가공 조건이나 가공물의 형태가 바뀌어도 이에 대응하는 동작을 할 수 있어야 한다. NC 공작기계에서도 이 조건에 따라 program이나 이미 program된 지령 tape를 교환하여 가공동작을 할 수 있어야 한다. 이렇게 하기 위하여 NC에서는 program을 바꿈으로써 이에 대응하는 여러 가지의 제어명령을 이 電子計算機機構가 자동적으로 연산처리하여 제어동작을 하여야 한다.

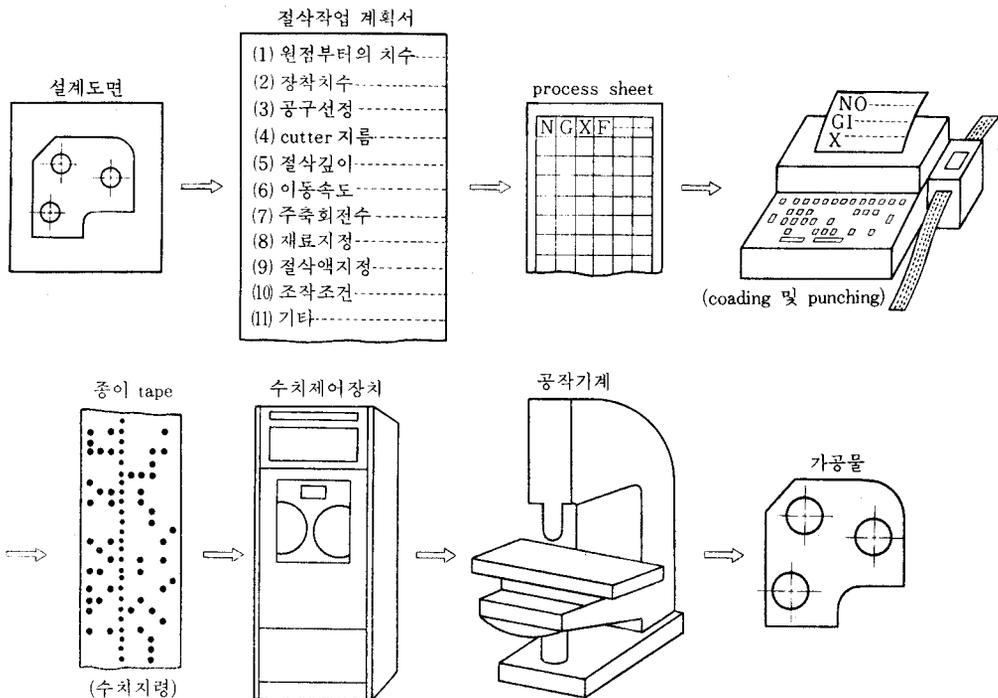


Fig. 5-190 가공 순서

(iii) program 기구

NC의 장치는 여러 종류가 있으며, 그 장치마다 program에 사용되는 언어는 다르다. program기구는 공작물의 제작도면으로부터 NC의 지령용지 tape를 만드는 과정의 기계들을 말하며, 이 과정을 **programming**이라 한다.

공작물의 제작도면에서 절삭계획서의 작성, process sheet 작성, 종이 tape에 천공(punching)을 하게 되는데, 가장 중요한 작업은 절삭계획서를 작성하는 일이다. 즉, 주어진 도면 위에서 원점좌표를 결정하여 가공물을 원점에 대하여 모양과 치수를 결정하고 가공 순서, 절삭속도 및 사용할 공구의 선정, 주축회전수 선정, 기계의 조작 순서, 냉각액의 지정, 공정 등 절삭에 필요한 모든 항목 및 순서를 상세히 검토하여 절삭계획을 수립한다. Fig.5-190은 NC공작기계의 가공순서를 그림으로 나타낸 것이다.

(2) 기능에 따른 NC의 제어방식

가공의 종류를 분류해 보면 drilling과 punching, pressing 등과 같이 절삭작업을 포함하지 않고 공구의 이동 거리만이 문제가 되는 위치 결정 작업, milling이나 boring과 같이 위치 결정과 동시에 직선절삭가공을 병용하는 작업, 원호·타원 등 곡선의 조합으로 되는 복잡한 형상의 가공물의 절삭가공 등으로 분류할 수 있다.

(i) 위치 결정 제어(point to point control, positioning control)

drilling machine이나 punching machine과 같이 공작물의 지정된 위치에 공구가 도달되는 것만이 요구되는 가공에서는 작업은 단순하지만 작업속도가 매우 중요한 요건이 된다.

Fig.5-191은 위치 결정 작업의 예로서 drilling을 도시한 것이다. 구멍 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> 및 P<sub>3</sub>를 뚫을 때 점 P<sub>1</sub>에서의 drill의 위치 결정은 NC 제어로 하지만 점 P<sub>1</sub>에서의 drilling 작업의 상하운동, 경로 L<sub>1</sub> 및 L<sub>2</sub>를 지나 구멍 P<sub>2</sub>의 위치가 결정되기까지의 속도 변화에 대한 제어는 하지 않는다. 그러나

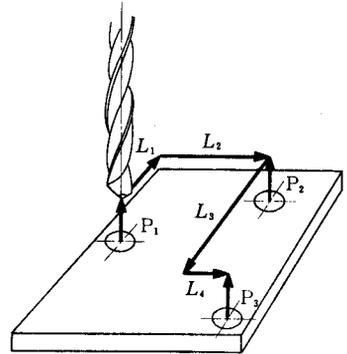


Fig. 5-191 위치 결정 방식

drill의 절삭저항의 변화나 table 또는 drill이 이동하는 동안의 마찰저항의 변화 등으로 어느 정도의 속도 변화가 나타난다. 이 속도 변화에 대한 원인은 구동전동기의 동력이 충분하지 못하기 때문이다. 그러므로 구동동력을 충분히 크게 하여 절삭저항 및 마찰저항의 변화를 motor의 torque에 흡수시켜 주축의 운동속도를 거의 일정하게 한다.

Fig.5-192에서는 위치 결정 NC 장치의 동작개요를 나타낸 것으로서 구동방식은 교류전동기(AC motor)에 의하며, 속도가 일정하고 고속회전을 한다. 지금 점 P<sub>1</sub>에서 점 P<sub>2</sub>에 위치 결정을 할 경우에 P<sub>1</sub>에서 drill 작업이 끝나면 gear 변환지령에 의하여 고속용 電磁clutch C<sub>H</sub>가 작동하여 高速 gear G<sub>H</sub>가 물리고, 低速 gear G<sub>L</sub> 및 中速 gear G<sub>M</sub>은 空轉하며, drill 또는 table은 고속 V<sub>H</sub>로 이동을 시작하게 된다.

다음에 정지점 P<sub>2</sub>의 바로 앞의 위치에서는 NC로부터의 지령에 의하여 고속용 전자clutch

$C_H$ 가 off되고 중속용 전자clutch  $C_M$ 을 on하여서 gear  $G_M$ 을 작동시켜 중속  $V_M$ 으로 한다. 다음 정지점  $P_2$ 의 직전에서 다시 중속용 전자clutch가 off되고 저속용 전자clutch가 on되어 저속용 gear  $G_L$ 이 작동되어서 저속  $V_L$ 로 된다. 이렇게 하여 점  $P_2$ 에 도달하면 電磁brake에 의해 정지하게 된다. 그러나 기계의 관성moment가 이송속도에 따라 다르기 때문에 속도변환점의 설정은 그 때마다 미세한 조정이 필요하게 되며, 저속에서 정지 직전에 전자clutch는 모두 off가 되고 잠시 기계가 惰行하는 기간이 있게 되는데, 기계의 可動部가 마찰의 영향을 받아서 정지점이 조금이나마 흐트러지는 경향이 있게 되므로 높은 정밀도의 위치 결정에는 적당하지 않을 때가 있다.

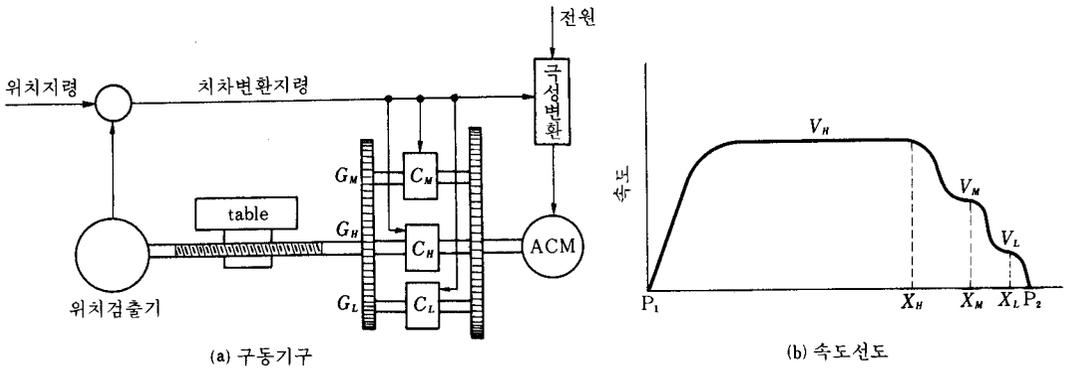


Fig. 5-192 위치 결정 동작

공작물의 모양에는 X, Y, Z 방향으로 직교하는 평면으로 구성된 것이 많은데, 위치 결정 제어에는 각 점의 位置情報를 나타내는 방법에 두 가지 종류가 있다. 하나는 각 점의 위치를 어떤 하나의 原點을 기준으로 하여 좌표값으로 표시하는 방식(絶對座標方式)과, 또 하나는 각 점의 위치를 그 앞의 점의 위치로부터의 増分値로 표시하는 방식(増分方式)이다.

Fig. 5-193은 絶對좌표방식과 증분방식으로 위치 정보를 나타낸 예로서, 絶對좌표방식에 있어서는 좌표값을 지령 tape에 넣으면 각 점의 순서는 달라져도 指令値는 변하지 않지만 증분방식에서는 가공 순서가 변화되면 같은 점이라도 지령치가 변하게 된다.

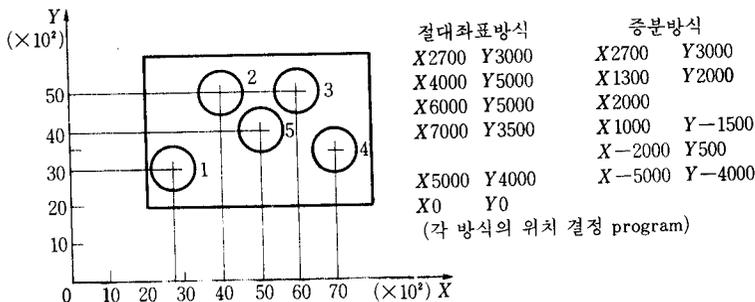


Fig. 5-193 絶對좌표방식과 증분방식

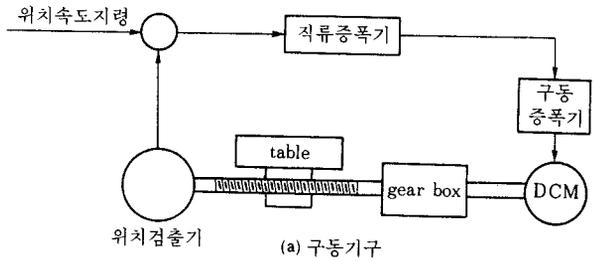
(ii) 位置決定 - 直線切削制御 (point to point straight cut control)

위치 결정-직선절삭운동은 기계가공에서 가장 널리 사용되는 방식으로서 위치 결정 사이에

축방향으로 평행하게 움직이는 동안 절삭작업을 하는 경우이다. 이 경우는 선반, milling machine 등에서 주로 사용하는 방법으로 Fig. 5-194에서와 같이 점  $P_1$ 의 bite 위치 결정과  $P_1$ 에서  $P_2$  사이의 직선절삭작업,  $P_2-P_3$ 점에서의 위치 결정과 같이 되풀이되어 실시된다.

위치 결정 동작은 소정의 위치에 대하여 구동전동기의 정확한 정지를 위한 제어를 실행하여야 하며, 직선절삭시의 cutter의 이동속도는 절삭깊이와 절삭속도, 즉 절삭torque 및 마찰torque의 변화에 대하여 구동전동기의 torque가 무한대이면 속도 변화는 나타나지 않고 규정된 속도로 절삭할 수 있다. 그러나 구동전동기는 경재성 및 무게, 크기에 제한을 받기 때문에 최소한의 전동기용량을 설정해야 하므로 속도제어가 필요하게 된다.

따라서 직선절삭에 쓰이는 구동전동기는 속도제어의 변화 범위에 대응하여 충분한 넓은 범위에서 동작되며 저속시에 필요한 torque를 충분히 공급할 수 있는 능력을 가져야 하므로 직류전동기와 유압motor가 일반적으로 쓰인다.



(a) 구동기구

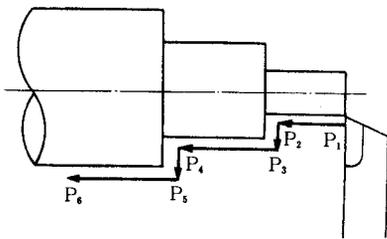
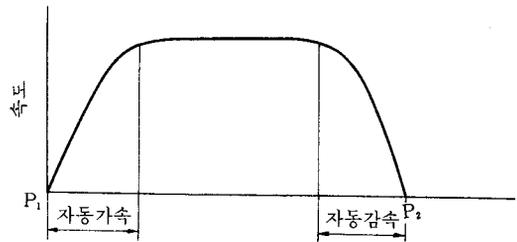


Fig. 5-194 위치 결정 - 직선절삭방식



(b) 속도선도

Fig. 5-195 위치 결정 - 직선절삭동작

Fig. 5-195는 위치 결정 - 직선절삭 NC 장치의 동작개요를 나타낸 예이다. 직류전동기(DC motor)를 사용하여 지령치에 의해서 속도가 지정되면 이에 대응한 전압이 직류증폭기를 거쳐 구동증폭기로 가해진다. 이렇게 하여 증폭기의 출력전압에 의해 가해진 전압에 따라서 DC motor의 회전수가 결정된다. 이 방식이 위치 결정 제어방식과 다른 점은 구동전동기의 속도 변화가 자유롭기 때문에 매우 간단하고 단시간에 이루어진다는 것이다.

(iii) 輪廓切削制御(contouring control, continuous path control)

윤곽절삭은 가공면이 매우 복잡하거나 연속곡선 또는 곡면을 절삭하는 것으로서 선반, milling machine 및 型彫刻機 등에 널리 이용된다.

Fig. 5-196은 윤곽절삭의 경우를 나타낸 경우로서 곡선 위에  $P_1, P_2$ 의 2 점을 잡고 직선  $P_1, P_2$ 의 곡선  $P_1P_2$ 에 대한 오차  $\epsilon$ 이 소정의 일정값이 되도록  $P_2$ 의 좌표를 정하여 곡선  $P_1P_2$ 를 직

선  $P_1P_2$ 로 근사적으로 절삭하는 것이다. 따라서  $P_1P_2$ 의 길이는 곡선의 曲率에 따라 변화하게 된다. 이 근사직선  $P_1P_2$ 를  $X, Y$  성분으로 분해하고  $X$  성분을 bite의 이동량,  $Y$  성분을 가공물의 이동량으로 하여 각각의 구동전동기의 동작량으로 나타나게 한다. 또 이동속도는 주변속도를 일정하게 하고 절삭하기 위하여 공구 및 가공물에 주어진 위치지령과 함께 각각의 속도지령이 이 vector의 성분에 의해서 주어지게 된다.

일반적으로 이동 거리  $P_1P_2$  및 주변절삭속도  $V_r$ 가 주어지면 NC내의 계산기구에 의하여 각 축의 성분  $P_1P_3$  및  $P_3P_2$ 가 결정되며  $V_x, V_y$ 가 자동적으로 계산되어 각 구동전동기에 지령하게 된다. 이와 같은 방법을 直線補間法(linear interpolation)이라 하고, 圓弧를 따라 分配回路를 가지는 것을 圓弧補間法(arc interpolation)이라고 한다.

직선보간이나 원호보간에는 여러 가지 방식이 있다. 여기서는 DDA 방식과 代數演算方式에 관하여 설명하기로 한다.

DDA란 digital differential analyzer(計數形 微分解析器)의 약어이다. NC processor 안에 여러 개의 register가 있다. register란 processor 자체의 동작을 하기 위하여 필요한 특수 memory가 processor 내부에 존재하는데, 이것을 register라 한다. 이 digital積分器에서도 적분되는 변수  $x$ 가 數值化되어서 register  $X$ 에 저장되고, 이 적분변수의 증분량을  $\Delta t$ 라 하면 적분치는  $x \cdot \Delta t$ 만큼 증가하게 되고,  $\Delta t$ 의 신호 pulse가 나타나면  $x$ 를  $R$  register의 내용인  $r$ 에 가산하여  $r + x \cdot \Delta t$ 를 새로운  $r$ 로 한다. 각 register의 용량은 같으므로 가산을 계속하면 overflow가 발생하여 pulse가 나타난다. 이것을  $\Delta z$ 라고 하면 overflow pulse의 길이는  $\Delta t$  및  $x$ 에 비례하게 되고, 이와 같이 하여 직선보간 및 원호보간의 pulse를 구할 수 있다.

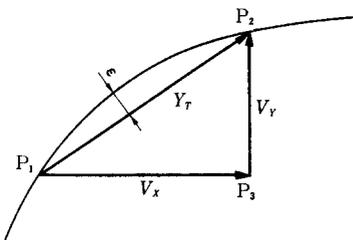


Fig. 5-196 윤곽절삭시의 근사직선

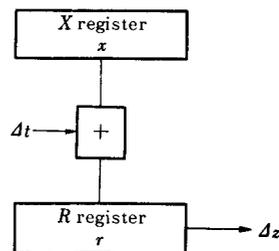


Fig. 5-197 digital 적분기

Fig. 5-197은 digital 적분기(digital微分解析器)이다.

① 직선보간: Fig. 5-198(a)에서 直線의 微分方程式은 다음과 같다.

$$dx = x_c \cdot dt, \quad dy = y_c \cdot dt$$

② 원호보간: Fig. 5-198(b)에 있어서 원호 AB를 움직이는 것으로 하고, A를 원점으로 하는 B의 좌표 및 반지름을 주게 되면 원의 방정식은

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2 \tag{5-177}$$

양변을 미분하면

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{x-x_c}{y-y_c} \tag{5-178}$$

따라서  $dy = -(x-x_c)dt$ ,  $dx = (y-y_c)dt$ 의 모양으로 pulse가 발생하게 된다.

대수연산방식이란  $x$ 방향과  $y$ 방향만으로 움직임을 한정하고, 계단식으로 곡선의 좌우를 순차적으로 이동시켜 접근시키는 방법이다.

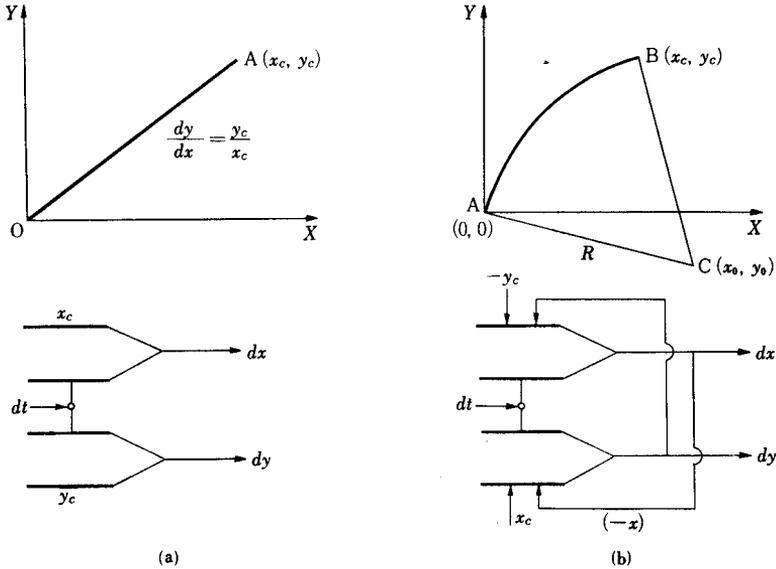


Fig. 5-198 DDA 방식 직선보간과 원호보간

① 직선보간 : Fig. 5-199(a)에서 원점과 점  $P_e$ 를 통과하는 직선을 따라 움직이게 하는 경우에 직선방정식은  $y/y_e = x/x_e$ 가 되며, 임의의 점  $P(x_i, y_i)$ 가 직선의 위쪽에 있으면  $y_i/y_e > x_i/x_e$ 가 되고, 아래쪽에 있으면  $y_i/y_e < x_i/x_e$ 가 된다. 이때  $y_i/y_e - x_i/x_e = D$ 로 놓으면  $D > 0$ 는 점이 위쪽에,  $D = 0$ 은 직선과 일치하고,  $D < 0$ 은 직선의 아래쪽에 있게 된다.

여기서 점  $(x_i, y_i)$ 가 직선의 아래쪽에 있고  $D < 0$ 이면 Y방향으로 pulse를 1개 낸다. 계속하여  $D < 0$ 이면  $D > 0$ 이 되도록 계속 행하는 방법이다.  $D > 0$ 이 되면 X방향으로 pulse를 1개

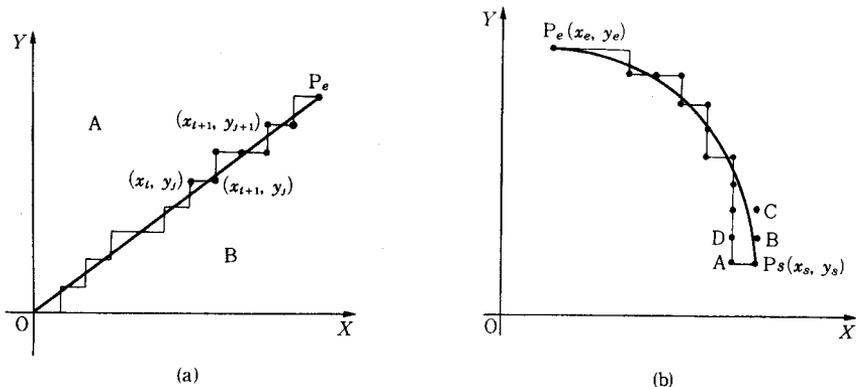


Fig. 5-199 대수연산방식

낸다. 이와 같이 하여 직선의 가장 가까이에 접근할 수 있도록 계단 형태로 움직이게 한다. 이 방법을 代數演算方式이라 한다.

② 원호보간 : 좌표원점을 중심으로 원호  $P_sP_e$ 를 생각할 때, 이 원호를 원으로 생각하면

$$(x-x_s)^2+(y-y_s)^2=R^2 \quad (5-179)$$

이 된다.

이때 마찬가지로의 임의점  $(x_i, y_i)$ 가 있을 때, 이 점의 좌표를 원의 식에 대입하면  $R^2$ 이 클 때 원호의 外側에 있게 된다. 그러므로 판별식 ( $R^2=0$ 으로 놓고  $D^2-4ac$ )은

$$D=x_i^2-x_s^2+y_i^2-y_s^2 \quad (5-180)$$

으로 표시할 수 있다.

따라서 점  $(x_i, y_i)$ 가 원호의 外側에 있으면  $D>0$ , 원호와 일치하면  $D=0$ , 원호의 內側에 있으면  $D<0$ 이 된다.

이때  $D<0$ 인 경우 Y방향의 pulse,  $D\geq 0$ 으로 하면 X방향의 pulse를 낸다. 이것을 되풀이하여 원호의 근방을 추적해 나가는 것이다.

### (3) 制御指令

NC의 정보는 수치와 부호로 표시되는데, 종이 tape나 磁氣 tape에 기록되어서 NC 장치에 주어지게 된다. 종이 tape가 주로 사용되므로 이에 대하여 설명하기로 한다.

NC의 program이나 천공(punching)의 경우에 key-board가 사용되는데, 여기에 사용되는 문자 code에는 EIA(electric industries association) code와 ISO(international standardization organization) code의 두 가지 종류가 있다. 현재는 주로 EIA code가 사용되며, 이때 사용되는 tape는 1in 폭, 8track이다.

제어 tape 위에 어떤 순서, 어떤 형태로 NC 기계에 정보를 천공하는가의 형식을 **tape format**이라 하며, 이 tape는 block 단위로 다음과 같이 기록된다.

(i) sequence 번호(N) (sequence number) : block의 처음에 위치하여 block의 순서(번호)를 나타내는 것이며 3 자리로 가입한다.

(ii) 준비기능(G) (G-function) : 이 block에 있어서는 NC 장치에 어떤 기능을 준비하라는 지정이다.

(iii) 수치어(dimension word) : NC 공작기계에서는 각 축의 변위량을 지정하게 되며, 이때 각 축의 address 다음에 부호와 변위량을 지정하는 수치가 들어가게 된다. 수치어의 순서를 address에 의해 표시하면 X, Y, Z, P, Q, R, U, V, W, A, B, C, D, E와 같은 순서로 나타낸다.

(iv) 이송속도(F) (F-function) : 공작물에 대한 공구의 상대속도를 지정하는 것으로, 다음 세 가지 방법이 있다.

① magic-3(magic three) : 3 자리의 10진수를 사용하여 이송속도[mm/min]를 지정하는 방법으로서 상위 1 자리는 이송속도의 소수점 이상 자리수보다 3이 큰 값을 나타내며, 하위 2 자리는 실제의 이송속도를 반올림한 값을 표시한다.

② 이송속도수(FRN, feed rate number) : 이송속도  $V$ (mm/min)를 변위량  $L$ (mm)로 나눈 값을 FRN이라 한다. 이것을 10진수의 3자리로 표시하게 된다.

③ 등비급수열법 : R 20이라는 10의 20乘根을 기본으로 한 等比級數에 따라 이송속도를 두고, 이것을 10진수의 2자리로 code화한 것으로 이송속도를 지정하는 방법이다.

(v) 주축회전수 지시기능(S) (S-function) : 주축의 회전수(rpm)를 지정하는 기능이다. 이 code화는 F-function에서의 magic-3 또는 등비급수열법중의 하나를 선택하여 사용한다.

(vi) 공구선택기능(T) (tool-function) : 공구의 교환에 있어서 공구를 지정하는 기능이다. 자동공구 교환장치(ATC=automatic-tool-changer)의 code화에는 key holder와 code key 방법이 가장 많이 사용된다.

(vii) 보조기능(M) (M-function) : 10진수 2자리수로서 표시하며 block의 최후에 오는 언어인 냉각액의 on-off, 주축회전의 on-off 등 보조적인 NC 기능의 지정을 위한 것이다.

(viii) EOB, CR : block의 종료를 뜻한다(end of block, carriage return).

#### (4) programming

NC 장치의 종류는 많으나 그 장치마다 사용되고 있는 용어는 다르며 저마다 특성을 갖고 있다. 이 특성을 살려 최소의 가공시간으로 최대의 가공을 할 수 있도록 program을 작성하여야 한다.

NC 공작기계를 사용할 때 가공물의 부품도면으로부터 NC tape를 작성하는 작업을 **part programming**이라 하며, 이에 필요한 지식은 다음과 같다.

- ① 도면을 해독할 수 있는 능력과 입체적인 형상을 머리 속에다 그릴 수 있어야 한다.
- ② 기계가공에 대한 지식과 경험이 있어야 한다.
- ③ 사용하는 NC기계의 능력과 기능, 한계 program에 관한 사전 지식이 필요하다.
- ④ 대수 및 삼각법의 기초적인 지식이 필요하다.
- ⑤ program 언어에 관한 지식이 필요하다.

다음에는 부품의 도면으로부터 가공계획을 수립해야 하며, 이때 필요한 사항은 다음과 같다.

- ① 가공하는 범위와 사용하는 NC 기계의 선정
- ② 절삭순서
- ③ 절삭공구 및 tool holder의 선정과 기계에 설치할 위치의 결정
- ④ 절삭조건(주축의 회전, 이송속도, 절삭액의 선정)
- ⑤ 공작물의 성질

위의 조건에 맞는 process sheet로부터 programming을 하며, 이에는 수동 programming과 자동 programming이 있다.

##### (i) 수동 programming

수동 programming은 비교적 단순하고 간단한 공정인 경우에 사용하는 방법으로서, 부품의 도면으로부터 공정을 설정하고 NC 공작기계를 선택하여 가공순서에 따라 공구를 선택하며, 절삭조건에 맞게 하여 공구의 위치 및 공구경로를 계산해서 process sheet를 작성한 다음 pun-

ching 하여 checking을 거쳐 가공에 들어간다.

(ii) 자동 programming

부품의 형상이 복잡해서 수동 programming으로는 공구의 위치 산출에 많은 시간이 걸릴 경우와 punching의 잘못 등에 의해 programming에 많은 시간을 요할 경우에 computer를 이용해서 자동 programming을 실시하면 매우 편리하다.

Fig. 5-200은 자동 programming의 순서를 나타내며, program 언어는 다음과 같다.

① APT(automatically programmed tools) : 미국에서 개발된 언어로 현존하는 것 중에서 가장 대규모로 풍부한 기능을 가지고 있으며 언어가 복잡해서 대형계산기 기구를 필요로 한다.

② EXAPT(extended subset of APT) : work shop technology를 고려하여 APT와 호환성을 가진 국제적 표준 자동 program 언어이다. 이 언어는 서독 Aachen 공과대학이 중심이 되어 개발된 언어이다. 이 언어는 공구의 동작뿐만 아니라, 가공공정, 절삭조건의 결정까지 자동화되어 수준은 높으나 처리 가공 형상이 매우 제한된다.

③ FAPT : 일본의 FANUC 회사에서 개발한 자동 program으로, 현재 우리나라에서 주로 많이 사용되고 있는 언어이다.

Fig. 5-201은 program system을 나타낸 것이다.

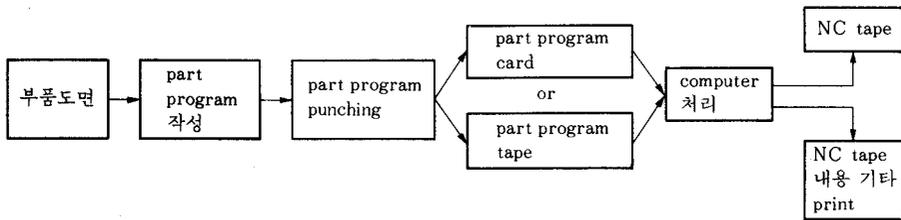


Fig. 5-200 자동 programming의 순서

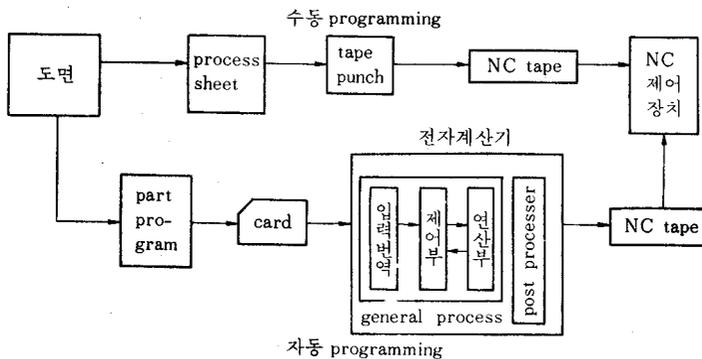


Fig. 5-201 program system

[2] CNC system

전자공학의 발전은 모든 산업에 커다란 변화를 가져다 주었다. 몇천, 몇만 개의 transistor나 diode가 모여서 하나의 복잡한 회로를 구성하고 있는데, 이 복잡한 회로를 작은 chip에 집

적시된 결과 computer가 탄생하게 되었고, computer를 numerical control 분야에 이용한 결과 CNC (computer numerical control)가 탄생되었다. 즉, CNC 장치는 數値制御裝置의 일부 또는 거의 대부분을 computer로 치환한 것이다. 보통 NC는 直線補間, 圓弧補間, 工具徑補間 등의 목적에 고정된 論理回路를 가진 특수한 계산기를 가지고 있었다. 그러나 microprocessor의 등장은 computer에 의한 numerical control이 이루어지게 하였고, NC의 내부에 computer를 두고 numeric box를 제어하여 기능을 더욱 완벽하게 함은 물론 programming에 있어서도 명령과 programming 공정을 단순화하여 시간을 적게 들여서 일반 NC 장치에 없는 여러 가지 기능을 가지게 되었다. 또한 computer에 robot을 부착시켜서 모든 공정을 自動化할 수 있게 하였다. 이와 같이 computer를 numerical control에 사용한 것을 CNC라 하며, Fig.5-202는 CNC의 기본 형태를 나타내고 있다.

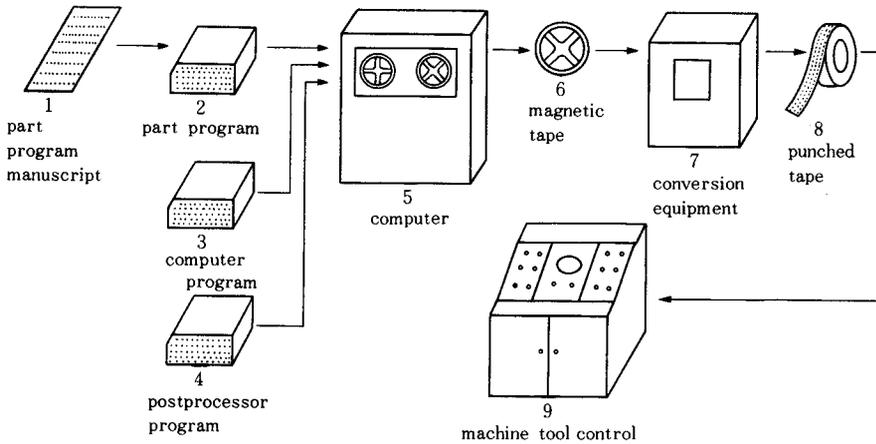


Fig. 5-202 computer에 의한 control 경로

CNC의 구동은 제작도면으로부터 part program을 작성하여 computer에 입력시켜서 program을 완성시키거나 tape reader로부터 이미 program된 내용을 computer의 memory에 load하여 program이 실행되는데, 모든 동작이 자동화되어서 수정 작업도 동시에 행할 수 있다. computer에 출력된 신호에 따라 spindle과 stepping motor에 의해 절삭을 이행하게 된다. 특히 stepping motor는 computer에서 출력된 pulse에 의해 동작하게 되므로 매우 정밀한 동작을 할 수 있게 된다.

Fig. 5-203은 computer에 출력된 신호에 의해 control unit에서부터 가공 과정을 나타낸 open-loop의 control system이다.

CNC의 기능은 다양하면서 매우 복잡한 경우도 있으나 숙련된 기능공에 의해서 절삭할 수 없는 형상도 program에 의해서 수행할 수 있다.

여기서는 간단한 몇 종류만 설명하기로 한다.

선삭가공의 경우 조도 및 정밀도는 거의 무시된다. 이때 Fig.5-204에서와 같이 工具의 cycle 동작이 요구되는 경우가 발생되는데 program은 아주 간단히 된다. Fig.5-204(a), (b)의 경

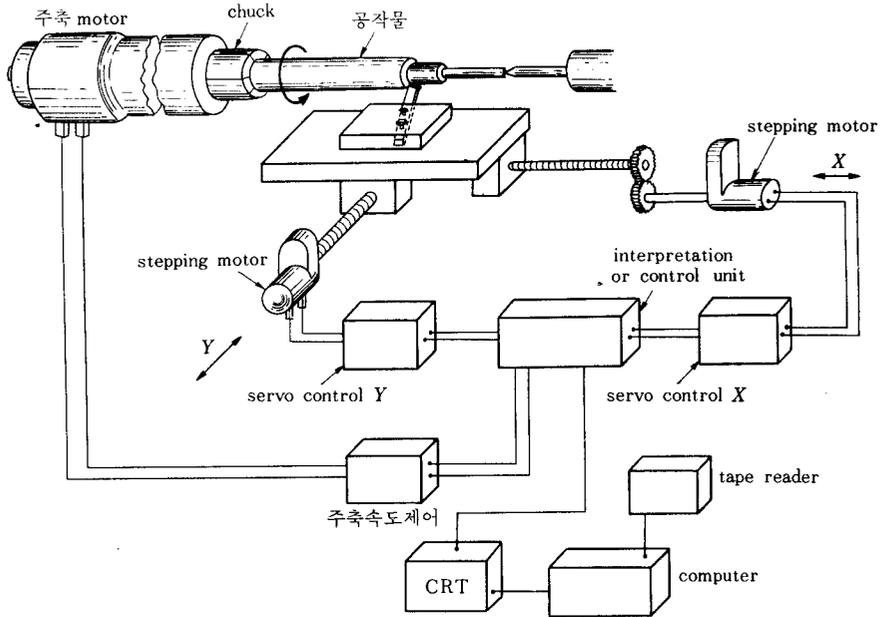


Fig. 5-203 CNC의 open-loop control system

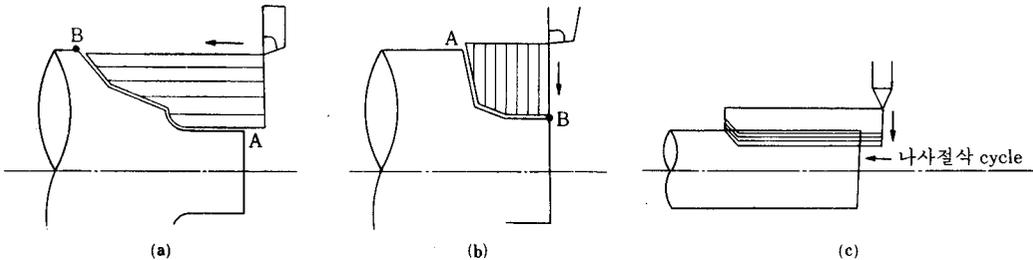


Fig. 5-204 선삭 cycle

우 점 A에서 B에 이르는 輪廓形狀에 관한 data를 지령 tape에 넣고, 실제의 공구통로를 CNC 내의 computer에 의해서 산출시키고, Fig. 5-204(c)의 나사절삭 cycle에서는 나사의 깊이, pitch, 절삭깊이, 최초의 절삭량, 주축의 회전수를 지령 tape에 입력시킴으로써 나사절삭을 위한 공구 통로를 CNC내의 computer에서 결정하여 2회 절삭 깊이부터 자동으로 산출하여 가공한다.

CNC 공작기계의 주축은 DC motor로 구동되기 때문에 주축의 속도는 전압에 비례하게 된다. 절삭가공에 있어서 가공면 조도 및 정밀도는 주축의 속도와 깊이는 관련이 있으므로 균일한 속도를 유지하여야 한다. Fig. 5-205는 주축의 회전을 공구의 위치에 따라 변화시켜서 공구와 공작물의 상대속도를 일정하게 유지하는 제어가 필요하게 된다.

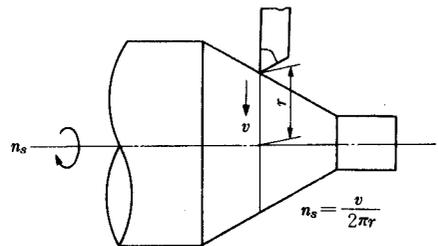


Fig. 5-205 周速一定制御

이외에 圓弧補間, 공구의 位置補正, 工具徑補正, 増分-絶對座標 변환, EIA-ISO code 변

환, 고정 cycle 등 보통 NC에서 복잡한 기능도 CNC의 등장으로 package화된 program에 의해 쉽게 가공할 수 있다.

[3] machining center

machining center는 일종의 數値制御 複合工作機械로서 setting이나 clamping 등을 바꾸지 않고 milling, boring, 나사깎기 등 각종의 가공을 1대의 制御機械에서 거의 자동적으로 수행할 수 있다.

Fig. 5-206은 3軸制御 machining center, Fig. 5-207은 4軸制御 machining center이고, Fig. 5-208은 5軸制御 machining center의 예이다. machining center는 垂直形(vertical type)과 水平形(horizontal type)이 있으며, 수평형은 분할대를 갖고 있어 多數面을 가공할 때 공작물의 면을 바꾸어 가면서 가공할 수 있기 때문에 ATC의 기능과 더불어 종래의 多工程作業을 單工程作業으로 할 수 있다. 또한 수평형에서는 chip의 자연 낙하로 chip 처리가 용이하나 수평으로 위치한 공구의 처짐에 의한 가공 정도의 저하가 염려된다.

수직형은 생산성과 chip 처리 능력은 다소 낮으나 공작물의 설치 및 해체가 용이하다.

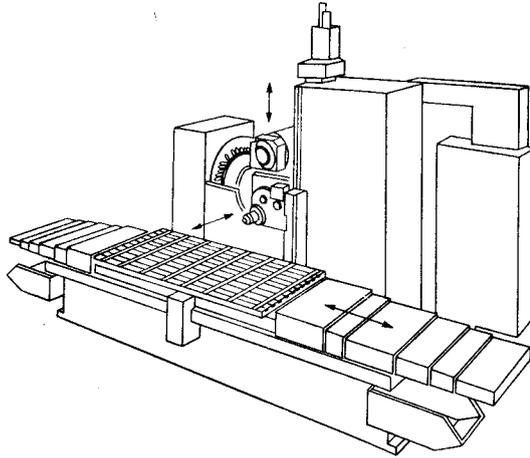


Fig. 5-206 3軸 제어 machining center

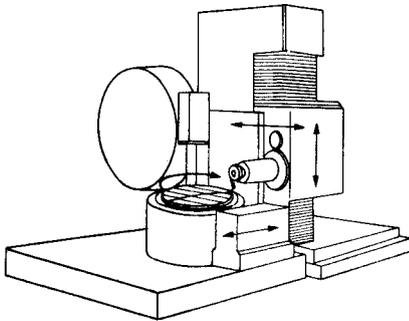


Fig. 5-207 4軸 제어 machining center

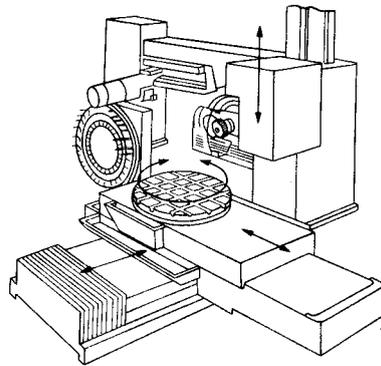


Fig. 5-208 5軸 제어 machining center

machining center는 數値制御 기능을 갖고, cutter, drill, tap, reamer, broach 등의 공구를 신속하게 교환할 수 있어야 하며, 타공작기계와 비교하여 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

[장점]

- ① 공작물과 공구의 총 着脫時間이 크게 절감된다.
- ② tape의 교환으로 가공조건의 변화가 신속하고 융통성이 큰 자동화가 가능하다.
- ③ 가공정도가 균일하여 검사공정을 생략할 수 있다.
- ④ 공정과 소요시간이 tape에 의하여 규제되므로 공정관리가 용이하다.

[단점]

- ① 연속된 가공에 의해서 발생한 열이 가공물에 축적되어 熱變形 및 치수오차를 초래한다. 최근에는 熱變形對策이 실시되어 상당히 高精度의 가공이 가능하다.

(1) 自動工具交換裝置(ATC, automatic tool changer)

ATC에 사용되는 tool holder는 Fig.5-209와 같이 공작기계협회의 MAS 규격으로 정하여져 있다. pull stud는 tool holder에서 나사조임으로 고정된다.

pull stud와 工具의 체결장치와의 관계는 Fig.5-210에서와 같이 pull stud를 ball로 잡아올려서 tool holder의 taper부가 주축의 taper 구멍에 밀착되도록 고정시킨다.

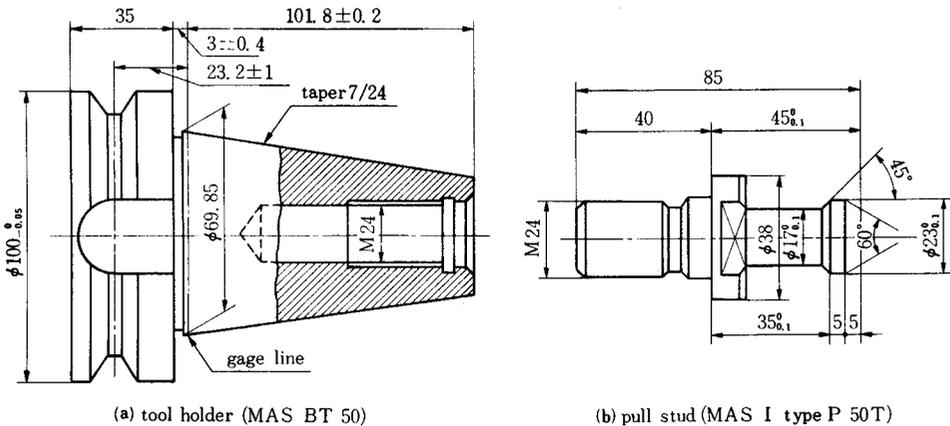


Fig. 5-209 tool holder와 pull stud

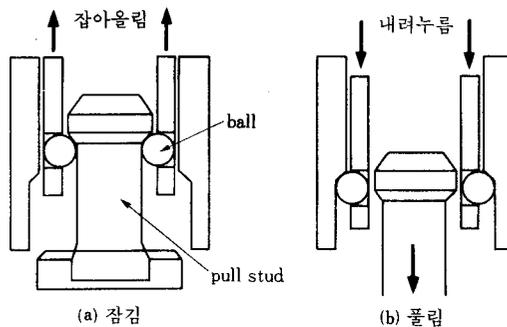


Fig. 5-210 ATC의 공구체결방식(주축 내부)

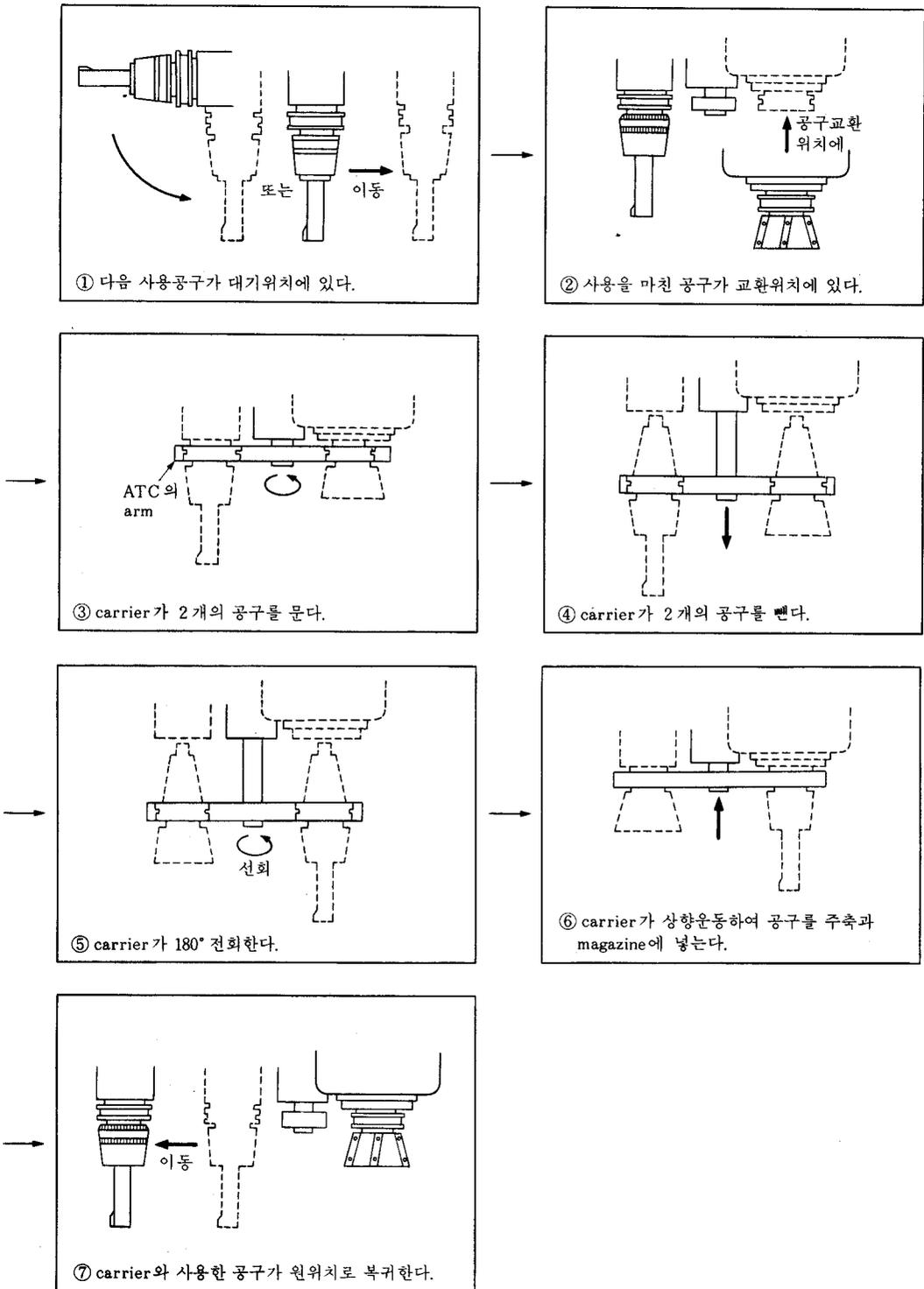


Fig. 5-211 공구의 자동교환

주축에서 멀리에 多數의 공구를 저장하는 magazine이 있으며, 이 magazine에서 필요한 공구를 가져오고 사용을 마친 공구는 magazine에 보관한다. carrier(돌리개)의 동작은 주축과 magazine의 두 공구를 물고 180° 회전하여 주축과 magazine에 넣은 다음 carrier는 90° 만큼 더 회전하여 가공에 지장이 없는 위치에서 대기한다. 다음에 다시 교환을 요할 때는 carrier는 90° 회전하여 앞의 동작을 되풀이하며, Fig.5-211은 공구교환 과정을 보여 주고, 교환시간은 5초 정도이다.

공구를 magazine에 사용될 순서대로 정리하여 두는 방식의 공구교환장치를 sequential 방식이라 하고, 임의대로 공구번호만 지정하면 공구가 선택되도록 하는 방식을 random 방식이라 한다.

[4] DNC system

DNC란 direct numerical control의 略語로서, 1대의 computer를 數臺의 공작기계와 직접 연결하고 공작기계를 자동으로 제어하는 system이다. NC 기계에서 paper tape에 정보를 수록하기 때문에 tape reader의 불량, 먼지, 파손 등에서 오는 문제점을 DNC system은 tapeless system으로서 정보가 magnetic disc에 저장되어 NC system의 문제가 해결된다. Fig.5-212는 DNC system의 각종 기능의 관계도로서 端末에서 실행된 각 program의 기능은 NC data 준비기능, 공구 data 入出力 기능 및 system을 관리하는 목적의 기타기능으로 구성되어 있으며, 이들의 기능에 따라 DNC 운전에 필요한 NC data, 공구data, 搬送制御data의 준비가 행해진다.

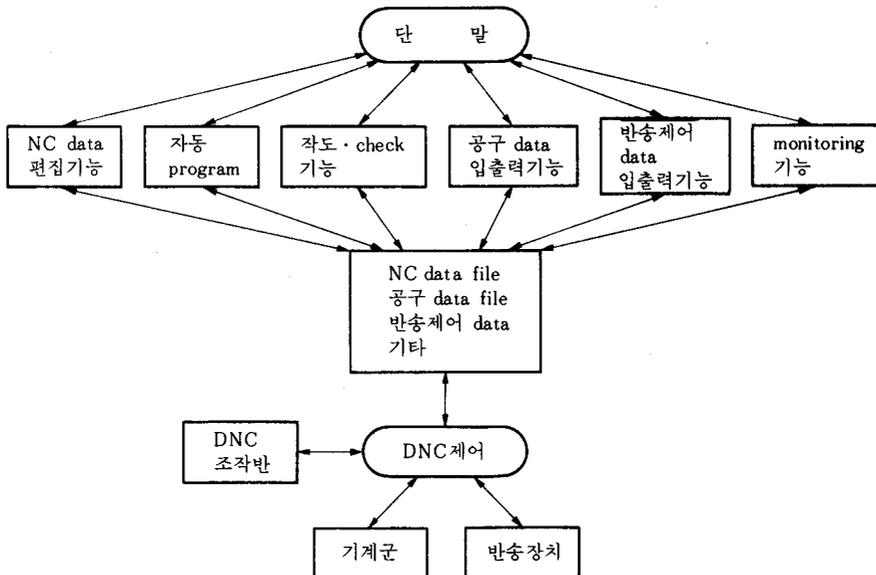


Fig. 5-212 각 기능의 관계