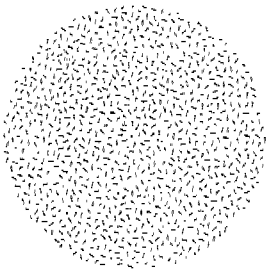


새로운 CAM시스템을 利用한 CNC環狀压延 機의 開發

Development of a CNC Ring-Rolling Machine Using a New CAM System



梁 東 烈

韓國科學技術院 生産工學科 教授

환상압연공정(Ring-Rolling Process)은 직경이 서로 다른 롤(Roll) 사이에서 가열된 원소재의 단면을 줄어들게 하면서 동시에 직경을 증가시키는 연속적인 점진적 성형방법이다. 회전력은 직경이 큰 구동롤(Drive Roll)에 의해서 전달되고 압력은 공회전하는 작은 직경의 압력롤(Pressure roll)에 의해 전달되며 원소재를 압력롤과 구동롤 사이에 놓고 회전시키면서 압력롤을 점차로 진입시킴으로써 원소재는 성형된다. 또한 성형중인 링(Ring)의 안정성과 원형도를 제어하기 위해서 좌우에 안내롤(Guide Roll)이 부착되어 적절한 압력을 주면서 링이 커짐에 따라 점점 풀어준다. 링의 두께방향으로 성형을 시켜주기 위해서는 원추형롤(Conical Roll)이 필요하며 링이 커짐에 따라 회전수가 적절히 감소되면서 후진하게 된다. 이러한 원추형롤의 유무에 따라 이것이 없는 수평식장치와 있는 경우의 수직수평식장치로 크게 대별되며 여러가지 측면에서 우수한 수직수평식장치로 크게 대별되며 여러가지 측면에서 우수한 수직수평식장치의 경우에는 수동식으로는 사용하기가 거의 불가능하여 장치의 자동화가 필요하다.

환상압연공정에 의한 제품은 균일한 물성, 증가된 강도, 깨끗한 표면, 정확한 치수, 짧은 성형시간, 기계가공의 최소화등의 큰 잇점이 있어서 대형보강플랜지(Flange), 기차타이어, 중대형베어링레이스, 치차의 원소재로 널리 쓰이고 있다. 이러한 실제적 유용성에 비해 이론적해석은 없어 왔다. 환상압연공정에서는 이론해석에 의한 하중 및 토크해석은 공정의 설계뿐 아니라 공정제어 등 여러가지 이에 대한 연구는 필수적이다. 최초의 환상압연기는 1842년 영국의 Bodmer^[1]에 의해 설계되었고 이후 여러가지 형태로 개량되어 오늘과 같은 수직수평식기계까지 발전되 왔다. 환상압연공정에 대한 연구는 1959년 Weber^[2]가 변형영역을 처음으로 실험적으로 측정되고 1960년 Potter^[3]에 의해 안내롤의 최적 위치가 예측되었다. 그뒤 Slip line동에 의한 기초연구가 Johnson, Needham^{[4],[5]} Hawkyard^[6]에 의해 행해졌고 실험적인 압력분포가 Mamalis 등에 의해 구해졌다^{[7],[8]}. 1980년에 Yang, Ryoo등^[9]은 연속가속속도장을 이용하여 처음으로 상계해를 구한 바

있으며 1983년에는 구동률 및 압력률의 속도장을 모두 고려한 이중속도장에 의한 상세해석을 한 바 있다^[11]. 최근에 Yang, Ryoo 등은 환상압연시의 마찰에 대한 분석^[12] 및 Microcomputer 용량에 알맞은 Force Polygon Diagram 방식^[13]에 대해 해석하였다.

국내에서의 장치개발은 1979년 과학기술원에서 수평식 Prototype 환상압연장치를 개발한 바 있다^[14]. 그러나 링의 중심축방향으로의 원하는 성형을 위해서는 원축형롤이 부착된 수직수평식장치가 필수적이 되고 한편 원축형롤이 도입되면 원추형롤의 수평 및 수직위치 그리고 회전수가 링이 커지면서 적절히 제어되어야 한다. 현재까지 독일 Banning 사의 NC 환상압연기가 가장 발전된 상태로 알려져 있으나 테이프의 이동 및 처리에 제약이 있어서 CNC화를 모색하고 있다. 본연구에서는 과기원에서 개발된 이론과 수동식장치개발을 토대로 환상압연시스템을 완전전산화하는데 성공하였다^[15].

현재 개발된 환상압연기시스템을 성형공정의 설계에서부터 각 공정 및 전체공정을 하나의 컴퓨터로 제어하게 되고 각 구동부분과 유압장치, 부속장치를 측정장치와 유기적으로 연결시켜 제어의 안정성과 장치의 정밀성을 유지하도록 설계되어 있다. 각기 시스템을 간략히 나누면 기계장치, 컴퓨터 및 인터페이스시스템, D/C와 A/C Motor 및 콘트롤러 Main Control 시스템, 유압장치, 측정장치, Manipulator, 냉각 및 윤활장치등으로 이루어져 있다. 설계규격 등은 소성해석으로부터 각부위에 하중, 일률등을 구조해석을 통해서 확인하였고 각 서브제어는 Closed-loop 제어방식으로 설계되었으며 각 제어변수는 이론해석 및 실험에 의해 설정하였다. 컴퓨터는 Analog Device 사의 MACSYM150과 MACSYM 200을 결합시킨 MACSYM 350 System 을 채택하였다. 특징으로는 다른 Microcomputer 보다 5~10배가 빠른 CPU time 및 I/O time을 갖고 있고 공업적인 환경에 맞게 설계된 것이다. Interface 장치는 각 센서의 특성에 맞게 Conditioner, Multiplexer, 증폭기 (Amplifier) 등을 설계제작하여 Main Control Panel 및 각 액츄에이터 (Actuator)와 연결하였다. 측정장치는 Load Cell, 선형변환기, Thermocouple, Encoder 등으로 되었고 모두 Main Control Panel 및 컴퓨터와 연결되어 있다. Main Control Panel 은 Closed-loop 제어상태에서는 상황지시 Panel 로 있

게 되며 Open-loop 제어로 전환하면 패널상에서 각 요소를 부분적으로 작동하는 것이 가능하게 설계되어 있다.

2. CNC 환상압연시스템의 개발

2.1 공정설계 및 전체시스템설계

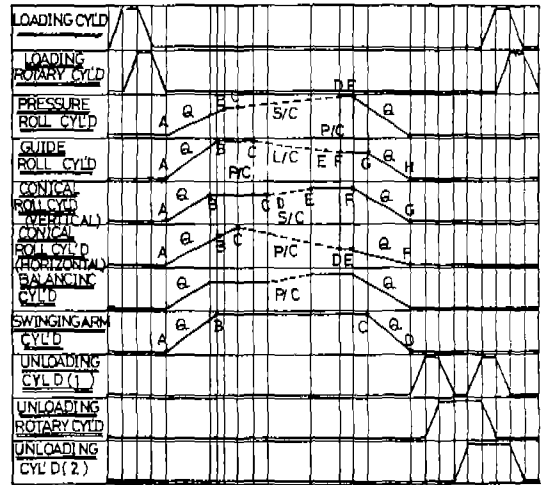
링제작을 위해서 소요되는 하중 및 토크산출은 기계장치의 제원, 요소설계, 제어설계, 각종부수장치의 제원으로써 가장 중요한 요소가 된다. 링의 성형에 따른 하중 및 토크산출^[10, 11, 13], 마찰과의 관계^[12], 구동률 및 압력률의 영향등에 대해 해석하여 설계의 제원으로 사용되었으며 링성형전에 예측할 수 있다. 특히 Force Polygon Diagram 에 의한 예측방법은 정확도에서는 다른 해석방법보다 떨어지지만 계산량이 적기 때문에 Microcomputer 를 위한 전산화 프로그램으로 적합하다. 전체시스템이 전산화되어 있기 때문에 소성설계에서 나온 결과를 공정설계에 이용하게 된다. 링의 성형이 진행됨에 따라서 압력률, 안내롤, 원추형롤등의 위치, 속도, 하중을 제어하게 된다. 압력률의 진입 및 원추형롤의 수직방향진입은 링의 직경변화에 따라서 공정이 정해지게 된다. 안내롤의 위치제어도 링의 직경변화에 따라 공정이 정해지나 양쪽롤의 하중변화에 따라서 원추형롤의 회전에 변화를 주게 된다. 원추형롤은 링의 직경이 증가함에 따라 후진하게 되며 이에 따라서 회전수가 감소하게 된다. 이러한 공정은 모두 링의 직경이 기준메이타가 되는데 실제공정중의 링은 진원이 아니므로 오차를 내포하고 있다. 그러므로 안내롤의 위치 및 하중에 따라서 링의 상태 및 원추형롤의 회전수를 조절해 주어야 한다. 결국 압력률의 위치, 속도 및 하중시퀀스 (Sequence) 안내롤의 위치와 하중시퀀스, 원추형롤의 수직위치, 속도 및 하중시퀀스, 원추형롤의 수평위치시퀀스, 원추형롤의 회전수변화 시퀀스등은 그림 1에서와 같이 링직경에 따라서 유기적으로 관계를 맺게 되어 있다. 제어체제는 크게 세 가지로 분류된다. 첫째로 Manipulator에 의한 링의 장입과 출하 (loading and Unloading)과 둘째로 작업시간의 단축을 위해서 성형하기 바로 직전까지 전진시키고, 성형후 원위치 (Reset Position)까지 귀환시키는 급속

운동 (Quick Motion)작업과 서보로 서보밸브작동에 의한 링의 성형구간 작업이다.

각 Actuator를 사전에 계획된 공정으로 구동시키고 위해서 선형변환기, 로드셀 (load Cell), Encoder등의 센서가 연결되어 있다. 그림 2와 같이 전체시스템구성은 컴퓨터, Actuator, 센서, 콘트롤패널이 서로 유기적으로 연결되어 있다. 컴퓨터의 코맨드(Command)는 Multiplexer-out을 통해 릴레이 및 서보콘트롤러를 거쳐 액츄에이터를 구동 시키게 되며 이에 따른 센서에서의 응답을 Multiplexer-in를 통해 컴퓨터 및 콘트롤 패널과 연결되어 제어된다.

2.2 주구조물 및 유압시스템

주구조물 (Main Structure)의 주요물체는 베드, 압력롤캐리지, 구동롤물체, 수직절령 및 캐리지, 스윙암 (Swinging arm), 매니플레이터 등으로 이루어져 있으며 (그림 3 참조) 본장치는 열간작업기체이므로 냉각에 윤활에 유의하였다. 각부위의 기하학적 관계에서 부품의 크기를 산정하였고 각 부위의 응력체크를 병행하였다. 그림 3에서 주구조물의 정현도 및 측면도에 대한 개략이 나타나 있다. 장치의 크기는 높이가 약 5m, 길이가 6.5m, 폭 1.5m이며 약 30ton의 총중량을 가지고 있다. 베드는 용접 구조물로 되어 있으며 압력롤캐리지 및 수직절령 및

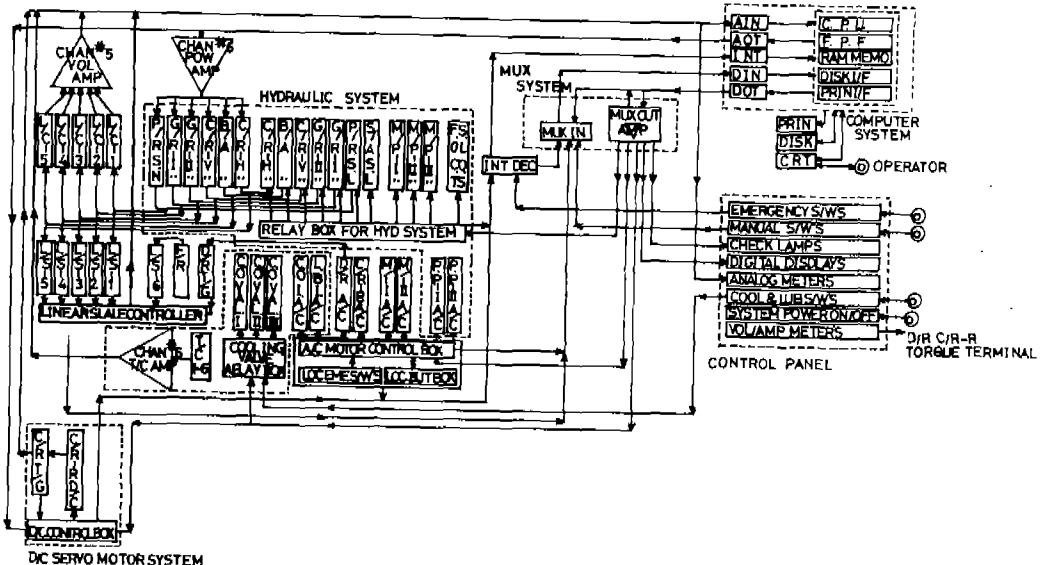


Q: QUICK MOTION, S/C: SPEED CONTROL
P/C: POSITION CONTROL, L/C: LOAD CONTROL

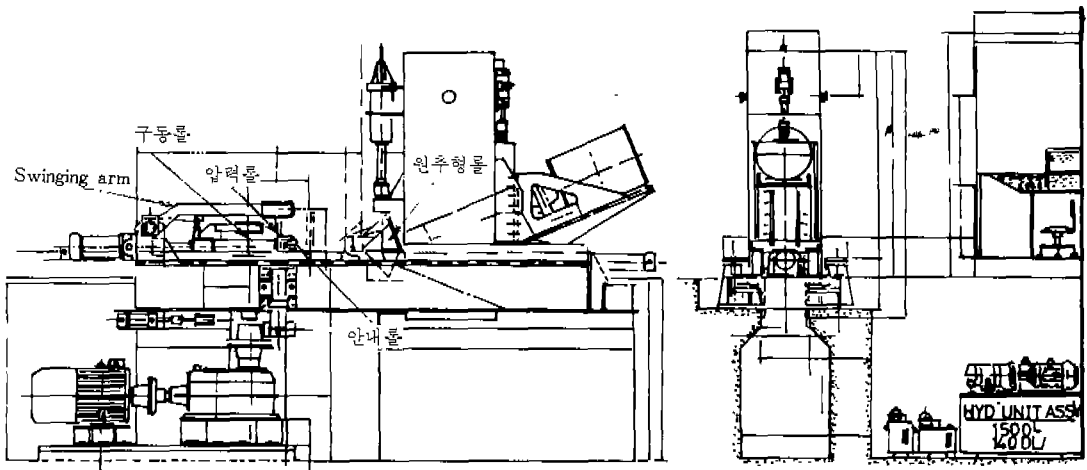
〈그림- 1〉 공정사이클스 다이어그램

캐리지와 슬라이드레일로 연결되어 있다. 스윙암은 압력롤의 상단을 잡아 주어서 압력롤의 변형을 방지해 주게 된다. 두개의 매니플레이터는 링의 장입과 출하에 쓰이며 유압 및 모터에 의해 상하, 회전 운동을 하여 링을 이탈착시킨다. 그림 4는 실제 제작된 CNC환상압연기의 사진이다.

유압시스템의 구성순서는 링성형반력을 이길 수 있는 액츄에이터를 구동하는 서보밸브와 신속한 이



〈그림- 2〉 전체시스템다이어그램



〈그림-3〉 환상압연기의 정면도 및 측면도



〈그림-4〉 CNC환상압연기장치사진

탈착을 할 수 있게 Directional Valve를 이용했다. 각 액츄에이터에 필요한 유량과 부하압력을 고려하여, 펌프, 모터, 냉각기를 선정하고, 시스템의 시퀀스제어를 위하여 솔레노이드밸브 및 마이크로 스위치를 사용하였다. 각 액츄에이터의 속도, 위치

및 하중제어를 위해서 서보밸브를 사용하였고 이를 작동시키기 위해 입력전압을 출력전류로 미세변환시키는 동력증폭기를 설계제작하였다.

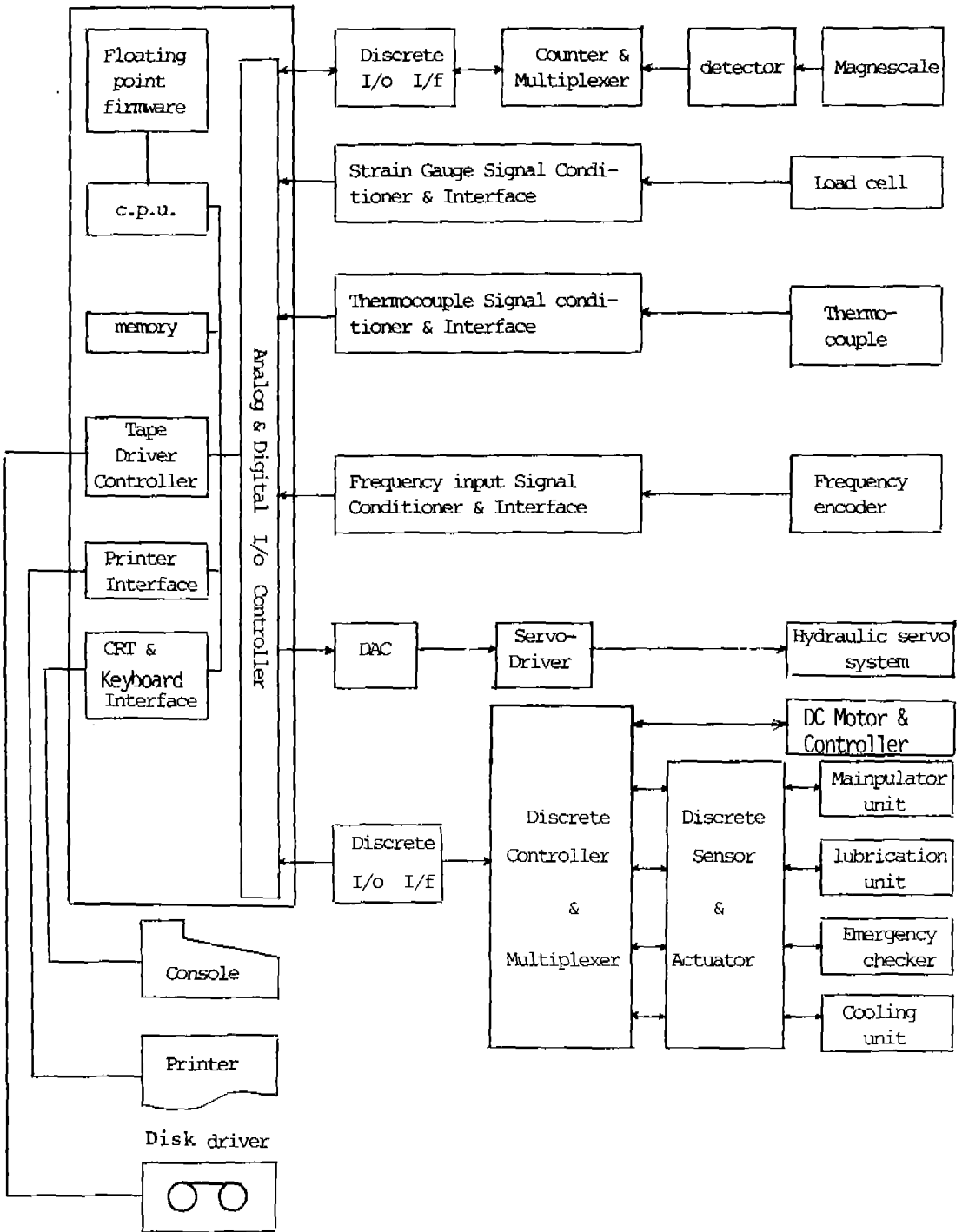
유압시스템과 컴퓨터시스템과의 연결은 먼저 릴레이단자와 컴퓨터의 DIO (Digital Input Output) 터미널과 연결된다. 서보밸브를 작동시키는 동력증폭기는 컴퓨터의 AOT (Analog Output)와 연결되며 $-10 \sim +10$ Volt D. C의 전압을 내보낸다. 시스템 모델링을 위하여 컨트롤러를 액츄에이터의 공정특성을 고려하여 제어변수를 결정한다. 다음으로 모델링된 식으로 유압시스템에 의해 정확한 링을 형성하기 위해서 컨트롤을 설계한다. 본유압시스템은 밸브자체의 비선형특성과 링성형시의 부하식 (load Equation)이 비선형이므로 디지털컨트롤러를 설계하기 위해서는 시스템을 선형화시켜 설계하였다.

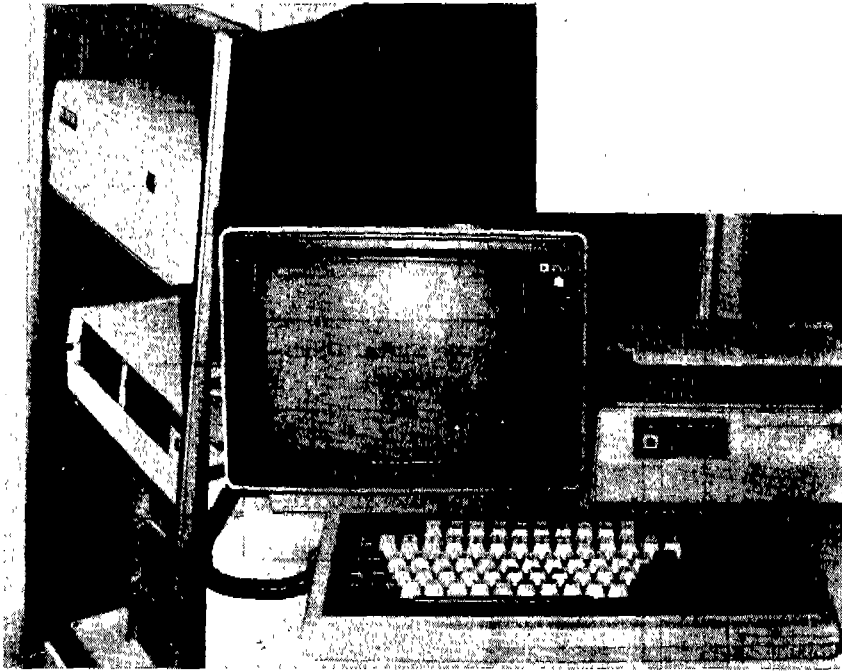
2.3 컴퓨터시스템 및 컨트롤패널

컴퓨터시스템은 MACSYM350기종으로 CPU로서는 16bit마이크로프로세서인 Intel 8086을 사용하고 있다. 128Kbyte의 RAM을 가지고 있으며 두개의 디스크드라이버와 CRT를 포함하고 있다. 또한 아날로그입력 및 출력, 디지털입력 및 출력이 그림 5에서와 같이 인터페이스되어 있다. 그림 6은 컴퓨터시스템의 일제사진이다. 인터페이스회로는 센서의 출력을 컴퓨터의 출력과 매칭시키게 하고 컴퓨터의 출력으로 액츄에이터를 동작시킬 수 있게 설계되어 있다. 구성되어 있는 회로는 I/O Multiplexer, Power-on Reset Circuit, 서보밸브동력증폭기

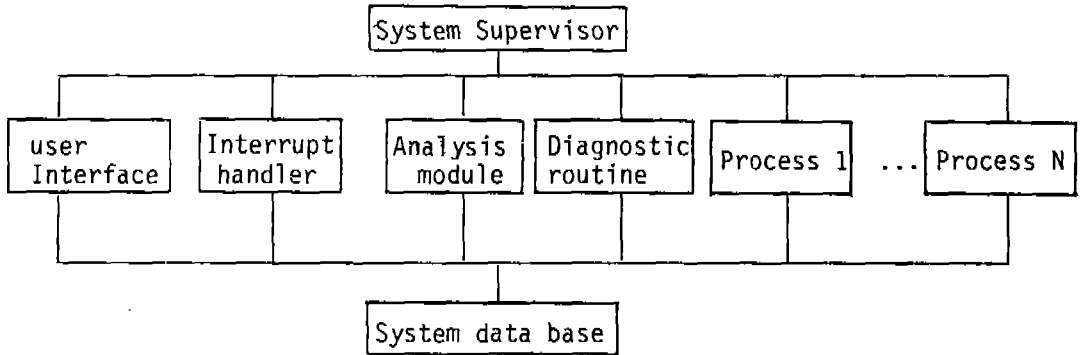
〈그림-5〉 컴퓨터 인터페이스 구성도

Electric system construction





〈그림 - 6〉 컴퓨터시스템 (MACSYM350)



〈그림 - 7〉 소프트웨어구성

카운터, F/V Converter 등이다. 그림 7은 프로그램의 구성을 나타내주고 있다.

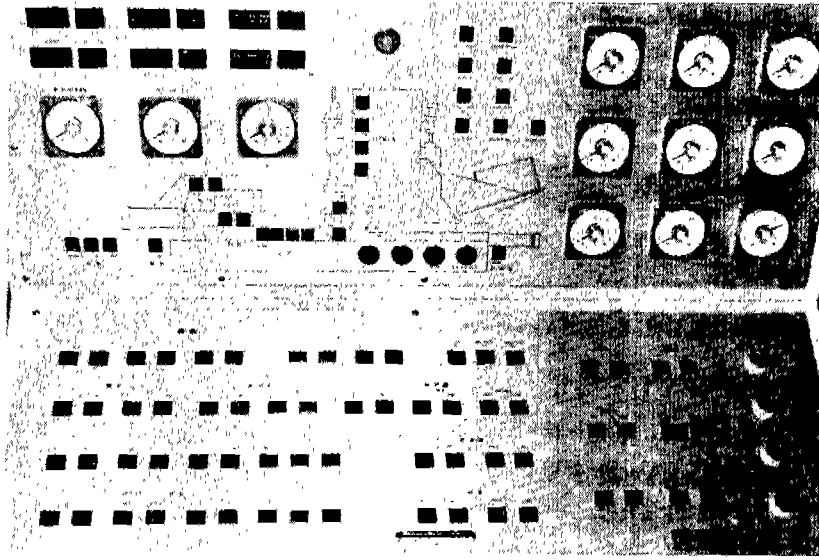
콘트롤패널은 데스크작업패널을 비롯하여, A/C 모터콘트롤패널, D/C모터패널, 센서박스, 릴레이박스, 원격콘트롤패널등으로 나누어져 있다. 데스크작업패널은 작업자가 작업상태를 감시하는 기능과 Openloop제어로 전환하여 수동으로 동작시킬 수 있는 기능을 겸하도록 설계되었다. 즉 각종 인터럽트 및 게인(Gain)과 바이어스(Bias)의 조절이 가능하다. 패널의 각단자는 컴퓨터, 센서, 액츄에이터와 연결되어 있어서 패널상에서 모든 작동상태를 알수

있도록 설계되었다. 그림 8은 데스크작업패널의 실제 모습을 보여 주고 있다.

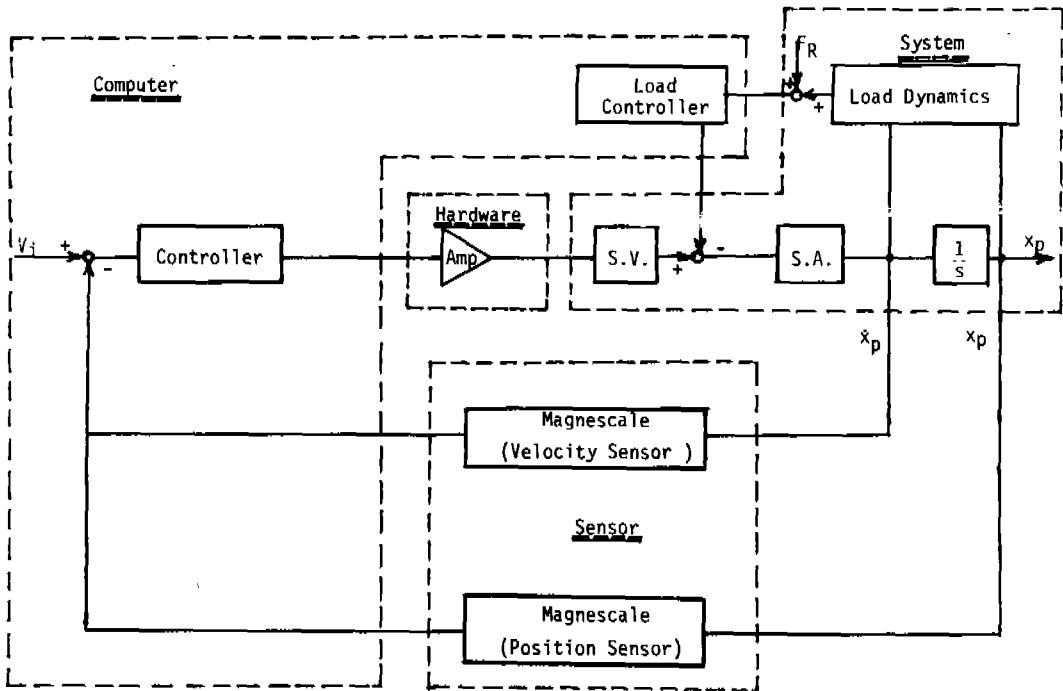
2 · 4 측정시스템

측정장치로는 힘, 변위, 온도, 회전수 등의 측정을 위해서 각각 로드셀, 선형변환기(자석식 Magnescale), 썬미스터, Encoder를 사용하여 아날로그나 디지털 신호로 컴퓨터에 입력된다. 한편 컴퓨터는 여러 신호를 분석하여 가해지는 소성력과 예측된 값과 비교하여 주어진 값으로 제어하게 된다.

로드셀은 압력률, 만내률, 원추형률 및 밸런딩



〈그림- 8〉 Main Control Panel



〈그림- 9〉 센서와 컴퓨터와의 연결

실린더등에 정착되어 있어서 Signal Processing Unit을 통과하면서 아날로그에서 디지털로 신호가 변환되어 컴퓨터에 입력된다. 선형변환기는 압력물 안내롤, 원추형롤의 수직 및 수형운동부, 직경측정 롤러 (Feeler Roller)에 각기 장착되어서 각부위의

변위를 측정하게 되어 있다. 변위는 0.05mm까지 측정하며 디지털출력을 카운팅회로를 통과하여 컴퓨터에 디지털입력 된다. 속도측정은 길이측정출력을 이용하여 F/V Converter를 통해서 미분하여 A/D Converter로 보내어서 컴퓨터와 연결된다.

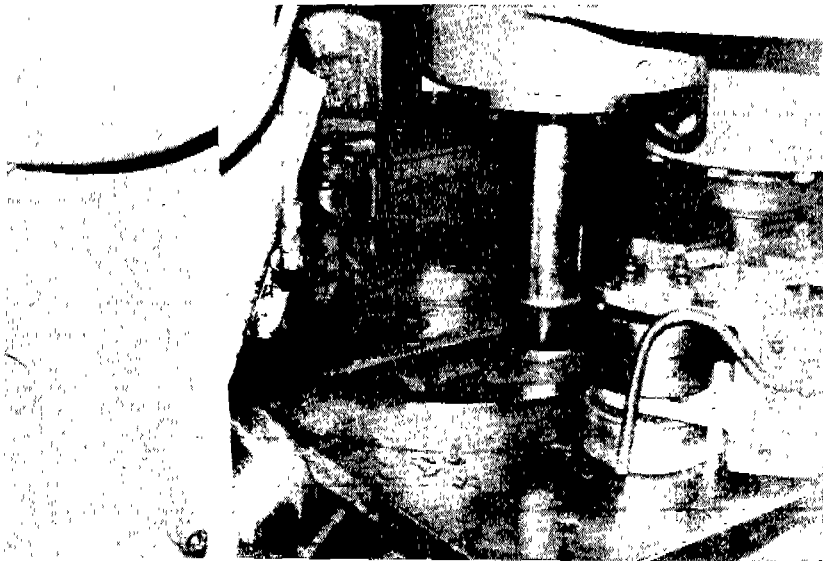
온도는 고온의 소성변형중인 링과 접촉하고 있는 부분인 베어링하우징내부에서 측정되어 과도한 가열을 사전에 방지하기 위해 측정된다. 써비스터의 측정된 온도가 예상치보다 높으면 Multiplexer-in을 통해서 컴퓨터가 비상상태임을 알려주고 냉각시스템을 작동시키게 된다. 그림 9는 센서들과 컴퓨터와의 인터페이스구성도를 나타낸다.

3. 성능시험

서론에서 언급된 바와 같이 링을 생산하기 위해서는 전체시스템이 유기적으로 작동하여야 한다. 구동롤이 회전하고 압력롤이 진입하게 되면 장입된 링은 회전하면서 성형되기 시작한다. 이때 두개의

안내롤이 접촉하게 되고 원추형롤이 축방향을 구속하면서 링의 직경변화에 따른 주어진 속도로 회전하게 된다. 링직경의 증가의 절반속도로 원추형롤은 후진하게 된다. 이와같이 링의 이탈착을 제외하고 6개의 자유도로 정확하게 작동되어야 요구되는 링이 성형하게 된다.

본장치의 특성실험을 위해서 실험재료는 알루미늄 Al 3004와 Al 6063을 냉간상태에서 행하였고 Steel AISI 1045는 열간상태에서 하였다. 냉간알루미늄은 가공경화에 의하여 어느정도의 성형후에 취성이 급격히 증가하므로 가공속도를 낮은 범위하에서 하였다. 그림10은 성형중의 사진이다. 원소재때 생산된 링의 비교는 표 1에서와 같다. 강의 링경우 진원도가 0.5mm이내의 우수한 링이 생산되었다. Al의 경우는



〈그림-10〉 성형중의 사진

〈표-1〉 링소재와 링제품의 치수

| MATERIAL | CONDI-TION | RING BLANK (m/m) | | | FINAL RING (m/m) | | |
|------------------------|------------|------------------|-------|--------|------------------|--------|---------------|
| | | O. D. | I. D. | HEIGHT | O. D. | HEIGHT | CIRCULARITY |
| AL 3004 CON-CASTING | COLD | 230 | 150 | 40 | 370 | 40 | MAX 1mm |
| AL 6063 CON-CASTING | COLD | 230 | 150 | 40 | 450 | 40 | MAX 1mm |
| STEEL AISI 1045 | HOT | 250 | 150 | 50 | 700 | 38 | MAX 0.5 mm |

취성때문에 표면스케일이 생겨 다소 오차(1mm이내)가 있었으나 이것은 기계성능테스트하기 위해 일부러 냉간에서 한 것이므로 어쩔 수 없는 것이라고 할 수 있다. 높이방향으로의 어미현상(Fishtailing) 등의 표면경험이 전혀 발견되지 않았으며 강의 열간성형된 제품표면은 아주 매끄러운 상태를 보였다

4. 결론

전산화된 환상압연공정에 대한 새로운 시스템이 개발되었다. 전체시스템을 Closed-loop 제어하였고 마이크로컴퓨터를 이용하여 공정설계, 공정의 제어를 하도록 하였다. 주구조물의 구조, 유압시스템의 구성에서 독창적인 개념을 도입하여 작업성 및 생산성을 높였다. 컴퓨터와의 인터페이스시스템 그리고 측정장치와 액츄에이터와의 연결등을 효과적으로 실현시켰다. 특히 콘트롤패널상에서는 전체시스템의 상태를 체크할 수 있을 뿐 아니라 경우에 따라서 공정을 인터럽트시킬 수 있는 새로운 시도를 하였다. 이로써 지금까지 나와 있는 NC환상압연기와는 다른 새로운 개념의 CNC환상압연기를 설계, 제작하였다.

[후 기]

본 장치는 과학기술처의 특정연구사업으로 지원되었으며 파기처 그리고 참여기업인 동명중공업(주) 및 한일

단조공업(유)에 심심한 사의를 표하는 바이다.

참고문헌

1. Harboard, F. W. and Hall, J. W., Metallurgy of Steel, Vol. 2, London (1923)
2. Weber, K. H., Stahl und Eisen, 79, 1912(1959)
3. Potter, R. H., Aircr. Prod. Lond. 22, 468(1960)
4. Johnson, W. and Needham, G., Int. J. Mech. Sci., 10, 95 (1968)
5. Johnson, W., MacLeod, I. and Needham, G., Int. J. Mech. Sci., 10, 455 (1968)
6. Hawkyard, J. B., Johnson, W., Kirkland, J. and Appleton E., Int. J. Mech. Sci. 15, 873(1973)
7. Mamalis, A. G., Hawkyard, J. B. and Johnson, W., Int. J. Mech. Sci., 17, 669 (1975)
8. Mamalis, A. G., Hawkyard, J. B. and Johnson, W., Metall and Metal Forming, May, 132 (1976)
10. Yang, D. Y., Ryoo, J. S., Choi, J. C. and Johnson, W., Proc. of 21st Int. MTDR Conf., London, 69 (1980)
11. Ryoo, J. S., Yang, C. Y. and Johnson, W., Proc. of 24th Int. MTDR Conf, Manchester 19 (1983)
12. Yang, D. Y. and Ryoo, J. S., Accepted Paper, Proc. of the Inst of Mach Engr. (1984)
13. Ryoo, J. S. and Yang, D. Y. and Johnson, W., Accepted Paper, 1st Int. Conf. Tech Plas, Tokyo (1984)
14. 양동열의 21명, "환상압연공정에 의한 링제작연구" ADD Report (1981)
15. 양동열의 21명, "전담화된 환상압연기 장치의 개발", 파기처 보고서, M41-2084-2 (1984)

★ 人 事 ★

• 韓電任員 •

- ▲ 理 事 長 崔順達(前遞信部長官)
- ▲ 非常任理事 韓弼淳(韓國에너지研究所長)
- ▲ " 白英鶴(電氣通信研究所長)
- ▲ " 池哲根(大韓電氣學會長)
- ▲ " 徐相穆(KDI 副院長)
- ▲ " 金永權(電氣安全公社 理事長)
- ▲ 當然職理事 朴正基(韓國電力公社 社長)
- ▲ " 康奉均(經濟企副院長)
- ▲ " 朴商建(動資部電力局長)
- ▲ 常任監事 申東鮮

• 動 資 部 •

- ▲ 池桂植 광업등록사무소장 직무대리 ▲ 金振模 총무과장 ▲ 柳益秀 원유과장 ▲ 韓允愚 대체에너지과장 <2일字>