

製織自動化 기술의 개발현황과 전망

— 織機 자동화 중심으로 —



김종수

(산업기계실 선임연구원)

- '80. 2 부산대학교 공과대학 섬유기계공학과 학사
- '91. 2 창원대학교 기계공학과 석사
- '80. 4-현재 한국기계연구소 산업기계실 선임연구원



김광영

(산업기계실 선임연구원)

- '78. 2 동아대학교 공과대학 기계공학과 학사
- '87. 2 동아대학교 기계공학과 석사
- '81. 3-현재 한국기계연구소 산업기계실 선임연구원



신중호

(창원대학교 정밀기계공학과)

- '74. 2 연세대학교 기계공학과 석사
- '74-'79 국방과학연구소 연구원
- '81. 12 Ohio State Univ 기계공학과 석사
- '86. 3 Ohio State Univ 기계공학과 박사
- '86-89 한국기계연구소 CAD/CAM실 선임연구원
- '89. 3-현재 창원대학교 정밀기계공학과 조교수

1. 서론

手織에 의한 織物제조기술은 원시시대까지 거슬러 올라갈 수 있으며 18세기 후반 fly shuttle의 발명으로 製織기술의 기계화 시대가 시작되고, 그후 200년간은 급속한 생산기술 향상이 달성되고 있다. 그림 1에서 보는바와 같이 織機기술의 변천은 산업혁명 이후 최초 100년간의 기계화에 의한 제1차 산업혁명기에서 그후 100년인 전기에너지 이용과 motor를 채용한 自動織機 시대인 제2차 산업혁명기를 거쳐 제3차 산업혁명기는 개발의 한계점에 이른 shuttle에 의한 방식보다 적은 관성으로 緯入하므로 제직의 능률화로 고생산성 및 광범위한 제직범위와 소량 다품종 직물을 생산할 수 있는 shuttleless loom의 시대가 도래되어 약 200배의 생산성 향상을 가져 왔다.

최근 급속히 발달하고 있는 첨단기술 특히 micro computer에 의한 제어 방식의 채용은 織機에 대한 조건인 고속운전하에서 고신뢰성, 복잡다양화, 고

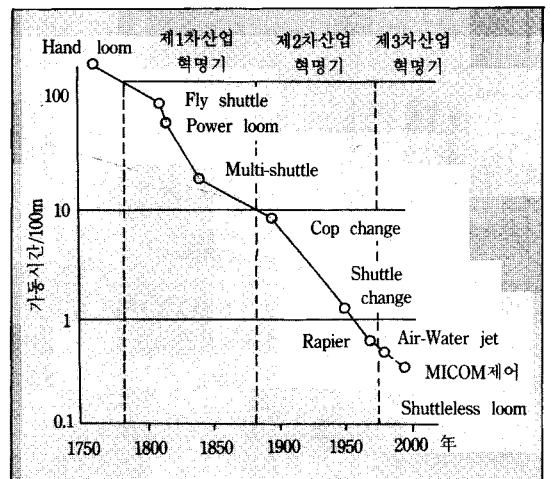


그림 1) 織機의 생산성 향상 추이

효율화 등을 실현하는데 최적의 수단으로 이 중에서도 MICOM제어 Air-jet Loom은 織機의 고속운전을 안정화하고 가동율의 향상, 용이한 조작성 및 범용성의 확대로 織機의 성능을 비약적으로 향상시켰으며, 고전적인 노동집약형 산업인 織布産業을 지식집약형 산업으로 전환을 주도하고 있다.

2. FA화의 배경

織布산업의 합리화 지양은 Air-jet 織機가 중심이 되어 급속히 진전되고 있는데 이는 다음과 같은 특징을 Air-jet 織機가 함유하고 있기 때문이다.

- ① 소품종 대량생산 및 다품종 소lot 생산에 적합...범용성, 품질교체의 용이성
- ② 생산성 향상...고속화, 성인화
- ③ 미숙련자에게도 용이한 취급...조작성 향상, 자동화
- ④ 고부가가치 직물의 제작

이상에 의해 布의 생산비가 감소되었으며 Air-jet 織機의 성능향상은 첫째, Air-jet에 의한 緯入

방식이 고속회전을 가능하게 하였고, 둘째, MICOM제어의 채용과 각 장치의 electronics화로 유연성을 기하게 되어 이것이 織機의 자동화나 織布工場의 FA화의 실현성을 높이고 織布에 대해 성인화가. 가능한 것을 예측할 수 있으며, 또한 織布업계의 요구에 대응할 수 있었기 때문이다.

織機 electronics화 배경을 살펴보면 1970년대 일본에서는 gripper, rapier 織機등 革新織機 도입의 검토 시작으로 織布業界에서는 생산성 향상에 의한 합리화, 노동집약형 산업에서의 탈피 및 다품종 소 lot에 대응하기 시작하였으며, 한편 electronics 분야에서는 IC의 집적도가 향상되고 MICOM의 높은 신뢰성을 기초로 cost performance가 대폭으로 향상됨과 동시에 소형 경량화가 실현되어 산업기계의 제어에 이용하기 쉬운 상태가 되었다.

MICOM에 의해 織機를 제어하는 것이 최적의 수단이라 판단하고 Toyoda에서는 ITMA '79에 세계에서 최초로 JA형 Air-jet 織機를 발표한 후 각 maker들도 MICOM 제어의 채용을 현실화 하고 있다. 표 1은 織機에 있어서 electronics 응용장치를

표 1) 織機에 있어서 전기·전자 관련기술

장 치	전기·전자 관련기술	장 치	전기·전자 관련기술
Driving	1) Motor	Warp stop	1) Contact Bar
	2) 전자 Brake	Weft yarn feeler	2) 절단 위치 표시
3) Slow Inching=Inverter	1) 광전식 표준 Feeler		
4) 표시 Lamp	2) 공급 Feeler		
Beating	5) 조작 Button	Selvedge	Selvedge yarn 절단탐지 Feeler
		Control	1) Micro Computer
2) Cross Counter	2) Fan Cushion Panel		
1) 전동송출	3) Ram Card		
Let-off	2) 장력 검출기	4) Rotary Encoder	
Weft insertion	1) 전기 Drum, Mixing	The Others	1) Pick Finder
	다색자유교환		2) Weft Miss Yarn 자동처리
	2) 전자 Valve		3) Monitoring System
3) 전자 Regulator	4) 자동일괄급유장치		
Shedding	1) 전자 Dobby		
	2) 전자 Jacquard		

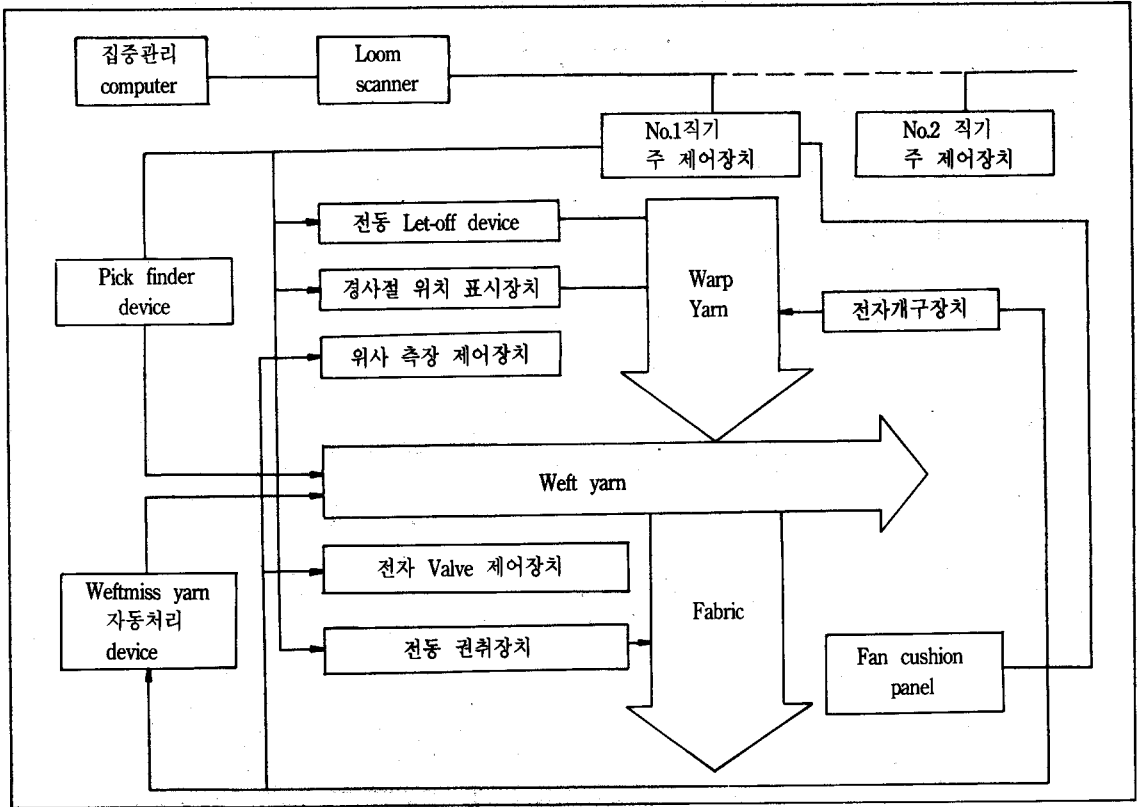


그림 2) 織機에 있어서 electronics 응용장치

나타내고 있는데 織機의 주요 기구중 beating 기구를 제외한 모든 장치에 electronics 기술이 이용되고 있으며 각 장치의 織機에 대한 matching을 그림 2에 나타내었지만 intelligent 기능을 가진 이들의 장치와 주제어 사이는 다량의 data 교신을 행한 전기적 noise의 영향을 피하기 위해 광통신 기술을 사용해서 연결하고 있다. 이들은 織機의 고속운전에 있어서 안전가동, 범용성 확대 및 운전조작의 용이화에 기여하고 있다.

고성능 Air-jet loom의 채용에 의하여 성인화되고 생산성이 향상되었지만 제직 cost에서 점유하는 인건비는 40%(그림 3 참조)나 된다. 인건비의 절감을 위해서는 織機 조작의 자동화에 의한 성인화, 織機 가동율의 향상, 織機의 안전 가동 달성, 그리고 취급의 용이화가 요구된다. 즉 beam의 무인반송, 織機群의 computer에 의한 집중관리(CIM화)등 제직준비 공정, fabric inspection 공정을 포함하는 직포공장의 system화(FA화)가 중요하게

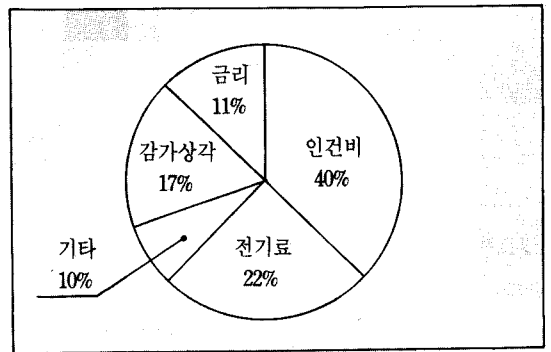


그림 3) 製織 cost

되어 왔다.

3. 織機의 자동화

3.1. 織機操作의 자동화

織機操作의 자동화는 현재까지 3단계로 발전하

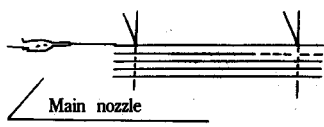




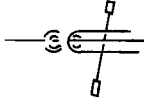
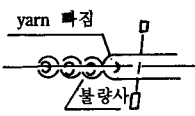
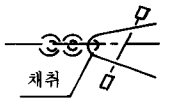

	기존 기계의 경우	Pick finder 부착 기계의 경우
정지시 위사 상태		
동작	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 불량위사 탐지 (RH feeler)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 정지(300°)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Drum clutch OFF</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 역전 조작</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 불량사 다음사</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 역전 조작</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 불량사 채취 조작</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 역전 조작</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 정지(310°)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Drum 수동회전</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Drum clutch ON</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Main nozzle 실림처리</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Start switch ON</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Start</div> </div> <div style="margin-top: 10px; text-align: right;">  불량사  채취  채취  채취 </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 불량 탐지 (RH feeler)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 위사 탐지 흡인</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 정지(300°)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 자동 역전</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 정지(180°)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 불량사 채취 조작</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Start switch ON</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Drum회전(1차)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Weft cutting</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 자동 역전</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> 정지(300°)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Drum회전(2차)</div> <div style="margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> Start</div> </div> <div style="margin-top: 10px; text-align: right;">  yarn 빠짐  불량사  채취 </div>
	<input type="checkbox"/> 는 수동조작	

그림 4) 종래 織機와 Pick finder부착 織機의 운전조작 비교

였으며 Air-jet 織機가 개발된 초기에는 운전조작을 push button을 채용하여 종래 shuttle 織機의 handle 조작과 비교하면 직기의 기동·정지 조작이 용이해지고 조작성이 향상되었다.

3.1.1. 제1단계 : Pick finder의 채용

糸切, 緯入불량, cheese측 糸切의 緯糸 공급불량, manual 정지등에 의해 織機가 정지하여 다시 가동시킨 경우 기계 조작은 정지원인의 차이에 의해 織物 결점이 발생하기 때문에 pick finder 장치는 織物결점 방지를 위해 재가동시의 織機 조작을 자동적으로 수행하는 장치이다. 그림 4는 종래의

織機와 pick finder 장치 부착 織機에 있어서 재가동 조작의 비교를 보여주고 있는데 운전조작 회수나 조작시간이 단축되었음을 알 수 있다.

예를들어 불량 緯糸처리의 경우, 불량 yarn을 shed 내에서 채취하여 재기동 button으로 재기동하기 때문에 조작시간이 20~25초 정도 필요로 하지만 pick finder 장치로는 10초 이내로 재기동하여 織機가동율이 증가하는 효과와 함께 운전 조작 불량에 의한 織物 결점을 해소하여 고부가가치 織物을 생산할 수 있기 때문에 장치의 채용이 급속히 증가되고 있다.

3.1.2. 제2단계 : 불량 緯糸 자동처리

불량 緯糸 발생시 pick finder에서는 불량 緯糸를 채취하고 있는 동안 불량 緯糸자동처리 장치는 불량 yarn을 자동적으로 처리하여 織機를 자동적으로 재가동 시킨다. 이 장치를 채용할 경우 불량 緯糸에 의해 織機가 정지하여도 織手의 도움없이 재가동하기 때문에 織機의 정지시간이 단축되고 가동율이 향상됨과 동시에 織手 1인당 가동대수가 증가하여 성인화를 유도할 수 있다. 그림 5는 불량 緯糸 자동처리 장치 작동원리도이다.

불량 緯糸 자동처리 장치는 처리하는 불량 yarn의 길이를 측정하고 완전히 제거된 것을 확인한 후 재가동하기 때문에 불량 yarn 절단에 의한 織物의 결점을 방지할 수 있다.

3.1.3. 제3단계 : 공급 불량 yarn의 자동처리

이 장치는 main nozzle과 cheese 사이에서 緯糸가 절단될 경우에 처리하는 것으로 불량 緯糸 자동처리와 같이 가동율의 향상과 성인화의 추구에 목적이 있다.

OTEMAS '89에 많은 회사들이 출품하였지만 proto type으로 가까운 장래에 실용화가 현실화

되면 불량 緯糸 자동처리 장치와 함께 緯糸 결점처리는 자동화가 구축된 것이며 그림 6은 Toyoda 방식의 개략도이며, 그림 7은 운전조작의 자동화에 관해서 요약하였다.

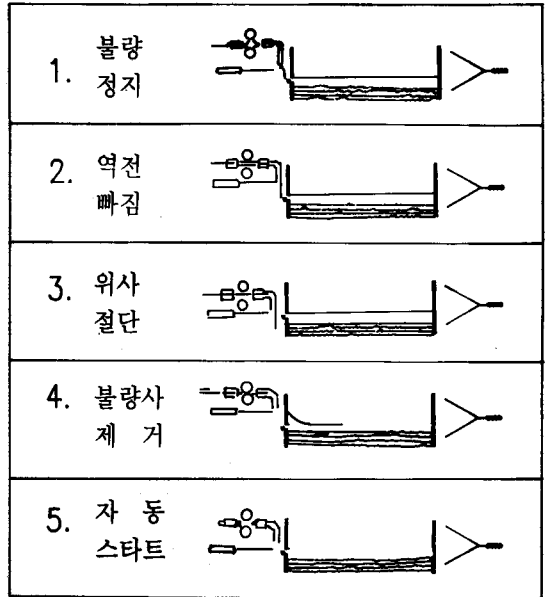


그림 5) 불량 위사 자동처리 장치 작동 원리

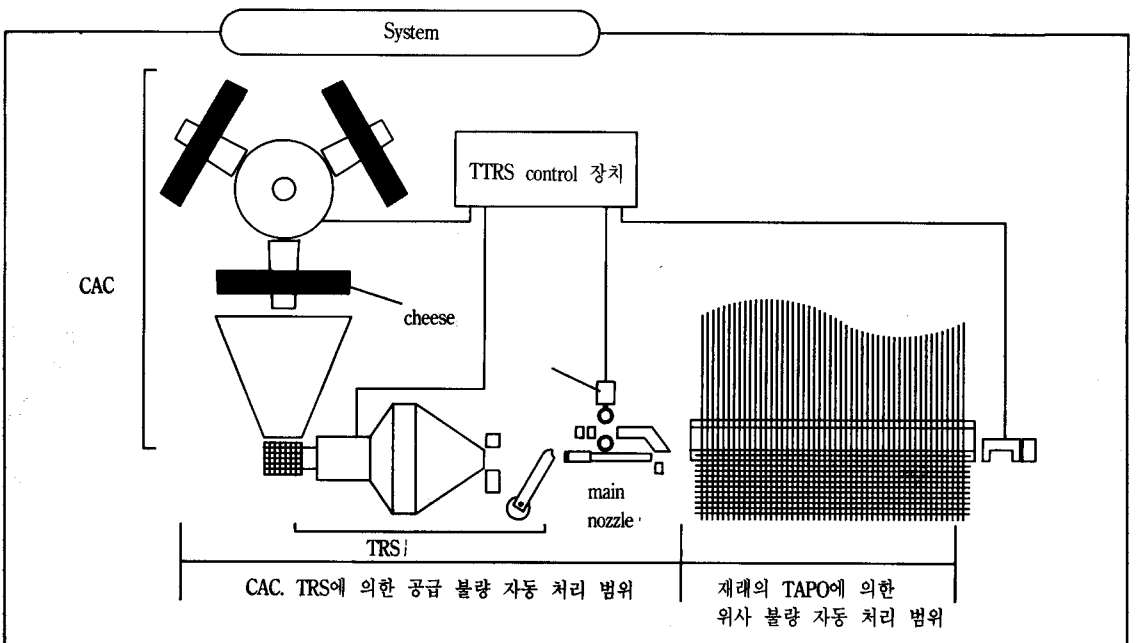


그림 6) 공급 불량 yarn 자동처리 장치의 개략도

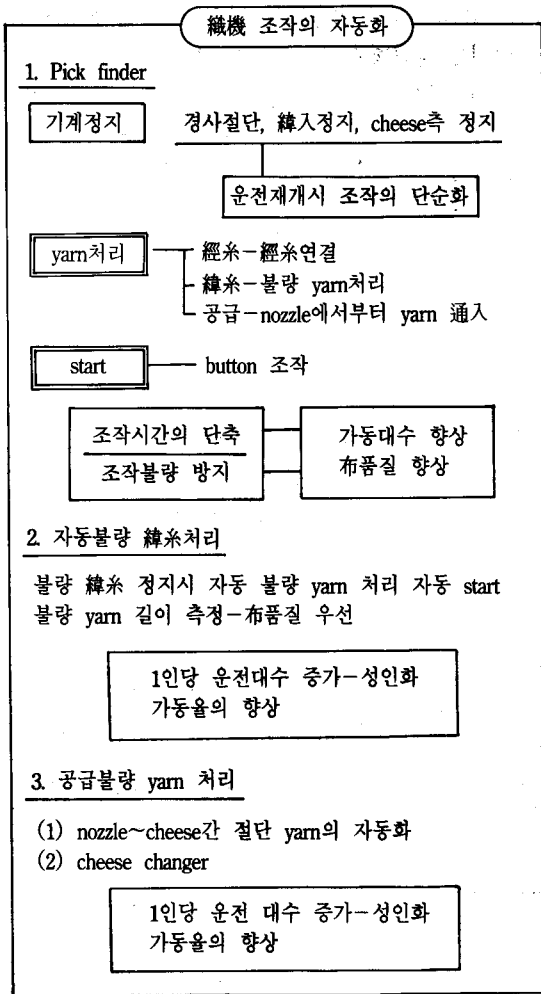


그림 7) 織機운전조작의 자동화

3.2. 가동율 향상의 자동화

초기 Air-jet loom은 대량생산을 목적으로 개발되었지만 그후 織機성능의 향상으로 범용성이 크고 製織범위가 넓어졌으며, 고생산성에 의해 단납기에 대응할 수 있어 다품종 소 lot 생산에 적합한 특징을 보유하게 되었다.

품질교체를 용이하게 하기 위해서는 (1) 제직 조건의 설정을 수행할 수 있는 data 입출력 장치, (2) 안정된 緯入을 위한 전자 valve 제어가 필수적이다.

3.2.1. Data 입출력 장치

製織物, 회전수 및 織機 상황에 따라, 織機의 제어조건을 변경할 필요가 있으며 그 조건 data를 MICOM에 입력한 기능으로 설정된 조건과 織機의 상황을 표시한 기능을 가지는 것이 입출력 장치이다. 즉 man, machine의 interface 기능을 가지며 사람과 기계의 접점에 있는 장치이고, data를 입력할 key board 및 data를 표시한 액정 혹은 형광 segment 등으로 구성되어 있다. 통상 이들의 기능은 panel에 집약되어 織機 본체에 조작이 용이한 위치에 부착되어 있다.

Air-jet loom의 fan cushion panel은 제어조건 data를 주제어장치에 입력하는 기능과 기계의 상태를 표시하는 기능을 가지고 있으며 그 구성은 그림 8에 Mode는 표 2에 나타내었다. 이 Mode 안의 CHECK, MONITOR, COUNTER는 織機의 상황을 표시하는 기능으로, 기계의 보수·관리에 이용하며 그 이외의 Mode는 주로 기계의 조건 data를 입력한 기능이다.

3.2.2. 전자 Valve 제어

Air-jet loom은 main nozzle, sub nozzle에서의 공기분사를 이용하여 weft insertion하며 이 nozzle 분사를 제어하고 있는 것이 전자 valve와 제어계이다. 그림 9에는 緯入을 위한 공기분사의 동작도를 나타내었다. 織機 폭에 따라 대개 5~10개의 valve가 사용되며 분사 timing을 설정할 경우 fan cushion panel의 key 조작에서 설정 조정하기 때문에 조작성이 향상되고 분사시간도 각 valve마다 자유롭게 설정할 수 있으므로 공기소비량의 감소 및 분사 timing의 설정은 분사각도를 그대로 입력하면 織機의 회전수에 맞추어 MICOM 연산에서 보정되며 rotary encoder의 신호에 의해 설정된 timing에서 적절하게 분사하므로 안정된 緯入을 할 수 있는 이점이 있다. 더구나 fan cushion panel의 key 조작에 의해 각 전자 valve의 분사가 확인되므로 보전이 용이하다.

3.3. 범용성에 대한 자동화

최근에 특별장치로써 ① 다색자유 緯入장치, ②

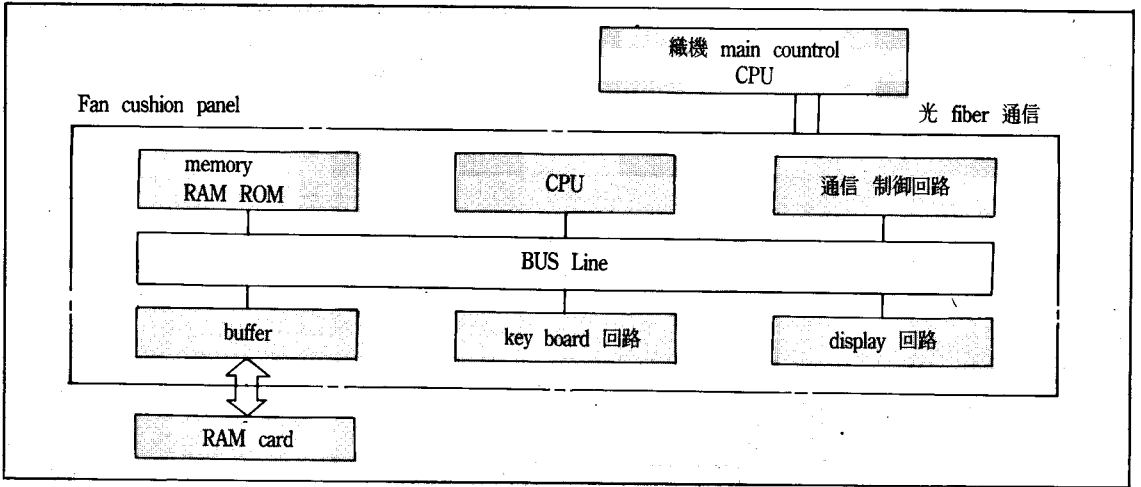


그림 8) Fan cushion panel의 구성

표 2) Fan cushion panel의 mode

Mode	주요 기능	Mode	주요 기능
CHECK	기계의 상태 Maintenance 표시	RUNSET	기계제어 항목의 설정, 정지각도, Pick finder의 유·무 등
MONITOR	Shift마다의 상황표시 1) 가동시간 2) 효율 3) 회전수 4) Pick수 5) 기계원인별 정지회수 및 시간	VALVE	전자 Valve의 분사 Timming 설정
		MIXING	Mixing조건 설정
		PATTERN	다색자유교환의 조건 설정
COUNTER	Shift마다의 Count 및 합산 Preset 값	LET-OFF	전동 Let-off의 조건 설정 밀도, Warp yarn 장력등 설정
FEELER	Feeler에 관한 조건 설정 Weft yarn 도달시간		

經糸의 장력 및 緯糸 밀도 변경을 운전중에 수행할 수 있는 전동 Let-off 및 Take-up 장치 외에도 그림 10과 같이 組織 pattern을 전기적으로 설정한 전자 dobby가 실용화 되어 더욱더 범용성이 확대되며 고부가가치 직물의 제직이 가능하게 되었다.

3.3.1. 다색자유 緯入장치

Air-jet loom에서는 織機幅과 같은 緯糸를 매회 측정하여 緯入운동을 행하고 있는데 최근 범용성 확대를 위하여 다색 緯入의 요구가 높아져 전기 drum 측정 장치가 개발되었다.

전기 drum은 緯糸 길이를 결정한 drum과

drum에 緯糸를 감는 winding arm, 緯入을 제어하는 고속응답 전자 pin, balloon sensor 등으로 구성되어 있다. winding arm은 회전수 가변 motor에서 구동되어 내장한 MICOM에서 제어하고 있고 織機와는 전기적으로 주제어 장치에 부착되어 결합하고 있다.

그림 11에 전기 drum의 구성도를 나타내었으며 장점은 다음과 같다.

- ① 緯糸 측정 motor의 고속응답, 전자 pin의 MICOM 제어에 의해 糸에 무리를 주지 않는 측정기능과 정확한 緯糸解除·정지 기능이 얻어진다.

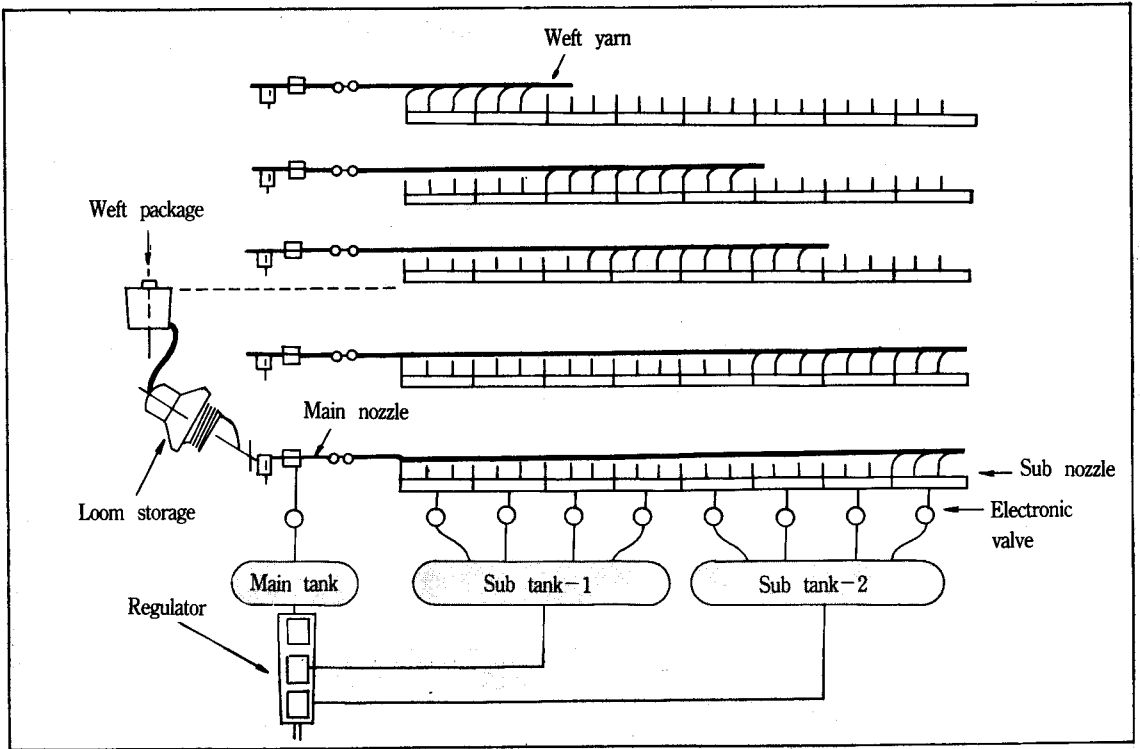


그림 9) 공기분사 동작도

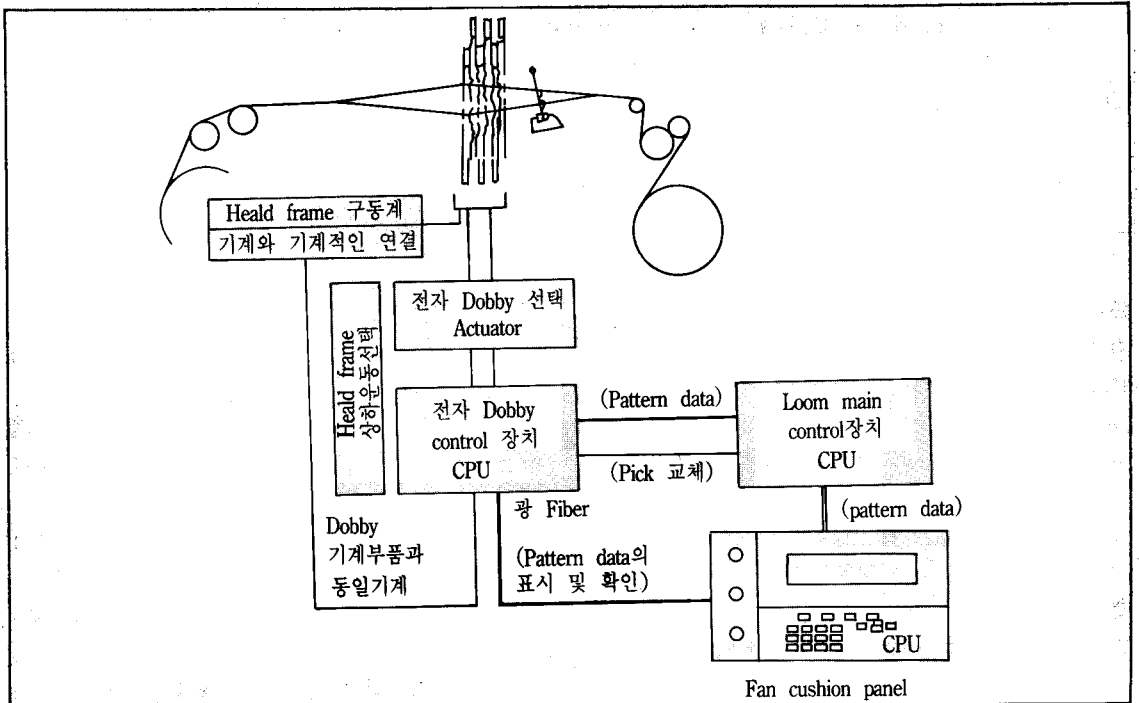


그림 10) 전자 Dobby의 시스템 구성도

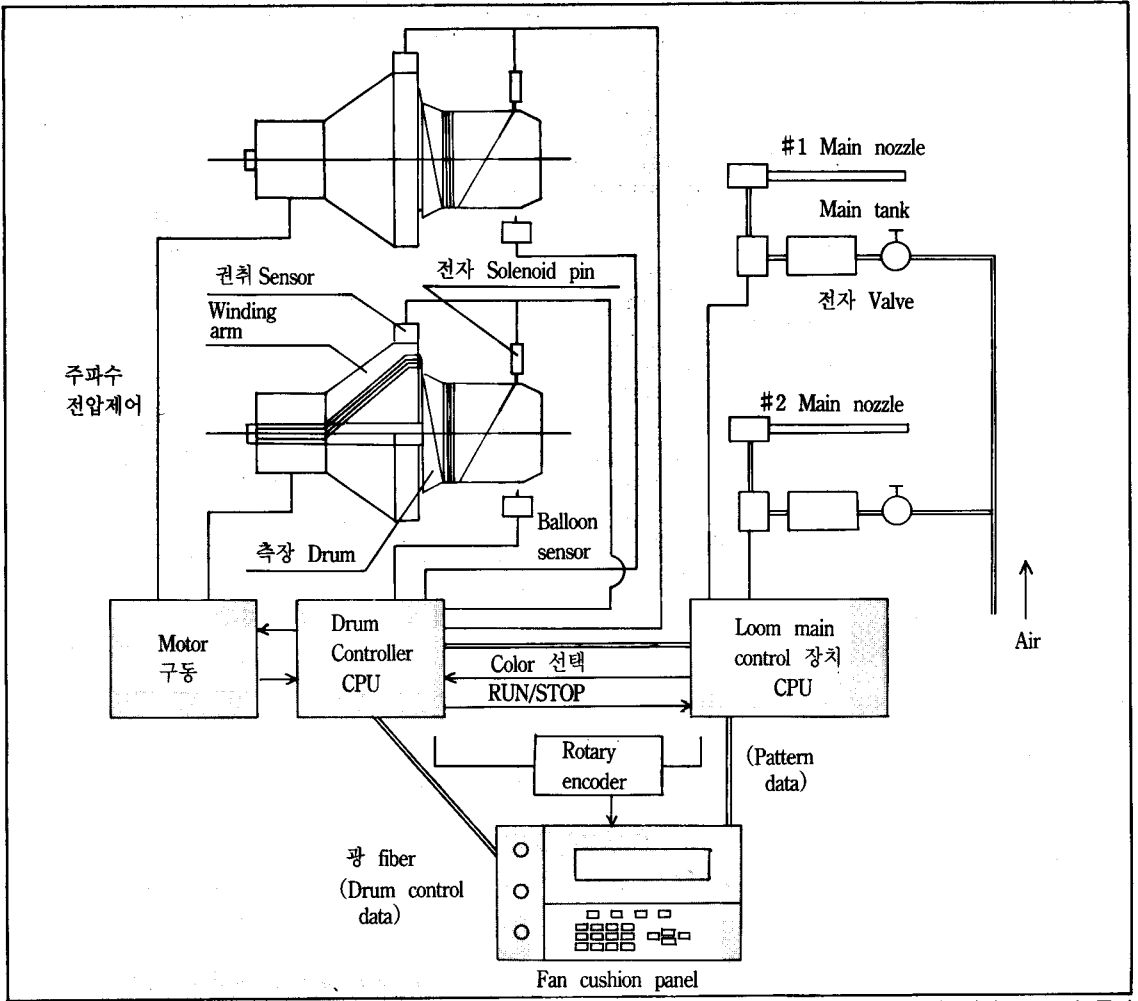


그림 11) 전기 Drum의 구성

- ② 2~3 pick의 緯糸를 drum상에 저장할 수 있으므로 supply package에 기인하는 이상 장력에 의한 변동을 감소시켜 안정한 緯入이 얻어진다.
- ③ 고응답 drum을 사용하고 기동·정지시의 특성과 이상운동시를 각각으로 제어할 수 있으므로 사용하는 緯糸에 최적의 조건 설정을 할 수 있고 糸切을 방지할 수 있다.

3.3.2. 電動送出

織機의 送出 장치는 經糸 장력을 일정하게 유지하면서 warp beam의 회전을 제어하는 기능이 필요하다. 電動送出 장치는 經糸를 일정장력에서

고정밀도로 送出함과 동시에 발생하는 停止段이라는 織物의 trouble을 방지할 목적으로 개발된 것이며 장점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 經糸장력 설정을 key 조작에 의해 간단히 할 수 있고 운전중의 장력도 검출
- ② Warp beam의 滿管에서 空管까지 經糸 장력제어
- ③ 운전조건외의 광범위한 변화에 대해서 고응답의 장력제어로서 장력의 안정화와 織物 품질상의 중요한 결점인 機械段의 발생을 방지
- ④ 緯糸 및 經糸 절단 또는 기계 정지의 경우 정지원인 및 정지시간, 정역회전 조작, 기

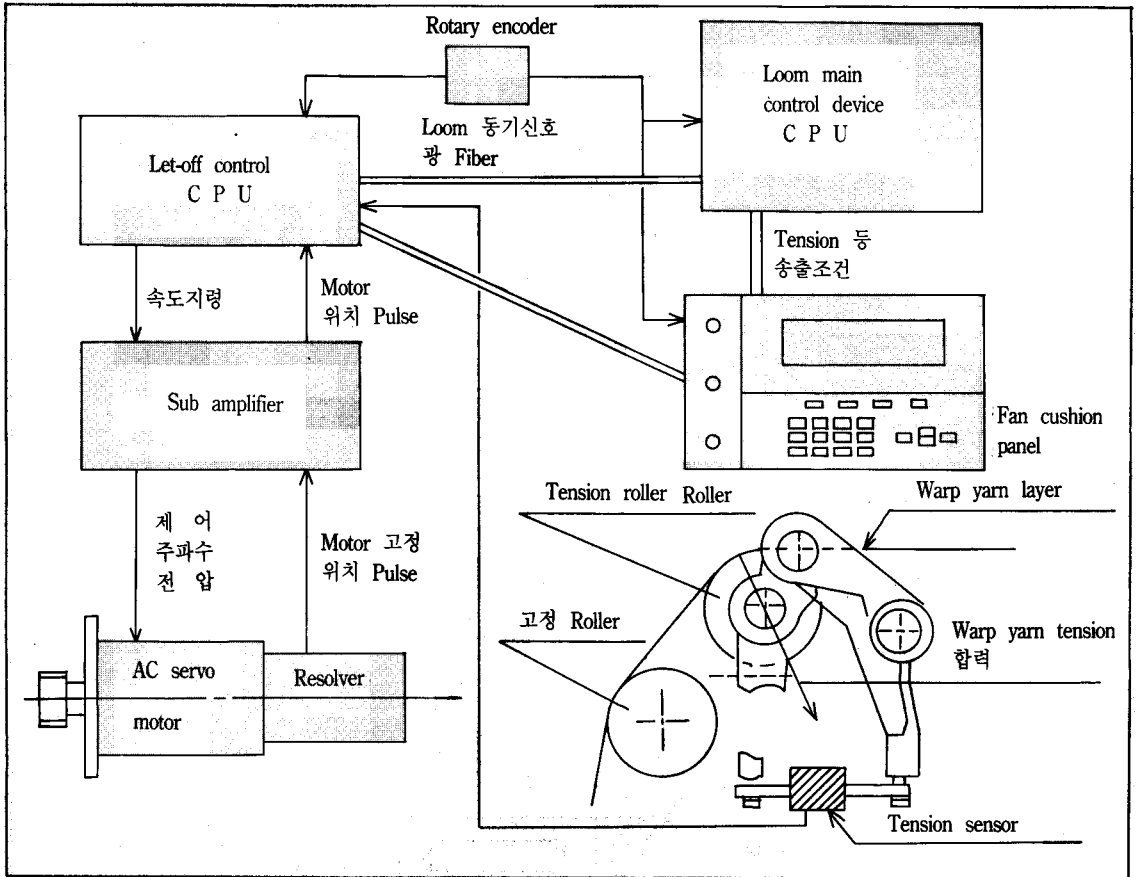


그림 12) 電動送出 System

동시의 經糸 장력을 제어하고 止段의 발생을 방지하여 織物品質을 향상시킨다.

- ⑤ 經糸 장력 변동시 즉시 검출 및 MICOM 연산, 구동 motor를 제어해서 이상장력을 신속히 정상으로 복원이 가능

電動送出 장치의 구성은 그림 12에 나타내었으며 tension roller부에 설치한 load cell에 의해 經糸 장력을 검출하고, 설정한 장력은 送出 control 부에서 제어하고 warp beam 구동용 serbo motor를 작동시킨다.

3.3.3. 電動捲取

捲取장치는 織物의 緯糸밀도를 결정하며 織物의 품질에 직접적인 영향을 미치는 중요한 기능을 가지고 있다. 電動捲取 장치는 電動送出 장치와 같이 독립된 motor로 구동하며, 織布의 take-up

roller를 작동시켜 밀도를 자유로 변화시키는 장치로서 織機의 구동 unit에 부착되어 있는 encoder에서의 신호에 따라 take-up roller를 일정 비율로 구동시킨다. 電動送出 장치와 연결하여 밀도를 바꿀수 있고 4색, 8색 자유선택 장치를 부착한 織機에서 番手가 다른 緯糸를 사용하며 組織과 緯糸 밀도를 교환할 필요가 있는 경우에 유효하며 금후의 활용이 기대되고 있다. 그림 13은 電動捲取의 사진을 보여준다.

4. 향후전망

최근 선진국에서는 織機에 대한 MICOM 제어의 채용으로 현저하게 성능 향상이 되었으며 전장 부품이 고급화한 만큼 그 신뢰성이 중요하게 되어 key board를 중심으로 sensor, actuator등 hard부

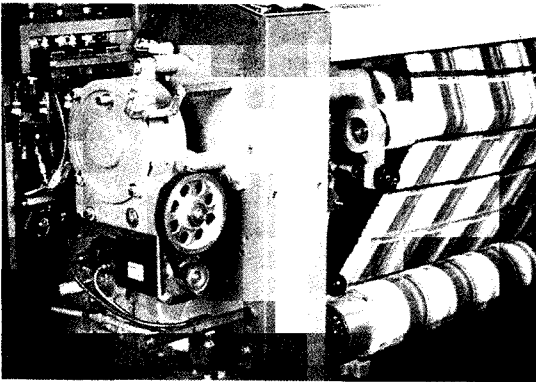


그림 13) 電動捲取 장치

품의 품질, 신뢰성을 높이기 위해 제조설비, 검사, 시험장비가 충실하게 되었으며 soft면에서는 simulation에 의해 동작의 신뢰성을 확보하고 나아가 인공지능을 활용해서 예방보전, 최적 製織 운전 등의 기능향상 연구로 추진하고 있다.

이와같이 織機 단일로서의 기능향상 뿐만 아니라 織布 공장 전체로서 system화가 이루어져 織布 공정을 통한 total automation화로 연구가 진행될 것이며 소 lot 다품종 생산의 적응, 공장 가동율의 향상, 직물품질의 확보에서 제품의 단납기화에 대응하고 수주에서 발송까지의 관리 중요성이 인식되어 가고 있으며, 성인화에 대한 추구는 warp beam과 제품인 織布의 운반에 대해서도 주목되기 시작하고 있어 織布 공장의 FA화 활용도가 높아져 가고 있다.

MICOM 제어에 의한 Air-jet loom에서는 쌍방향 통신 interface를 장착하는 것이 용이하고 host computer에 의한 중앙집중 관리도 실시할 수 있다. 지금까지의 monitoring system 이용은 織機가동 상황 관리등의 생산 관리를 주체로 실시되어 왔으나 향후는 이것에 더해서 maintenance monitor에 의한 보전관리 및 織機의 운전조건 설정에도 적

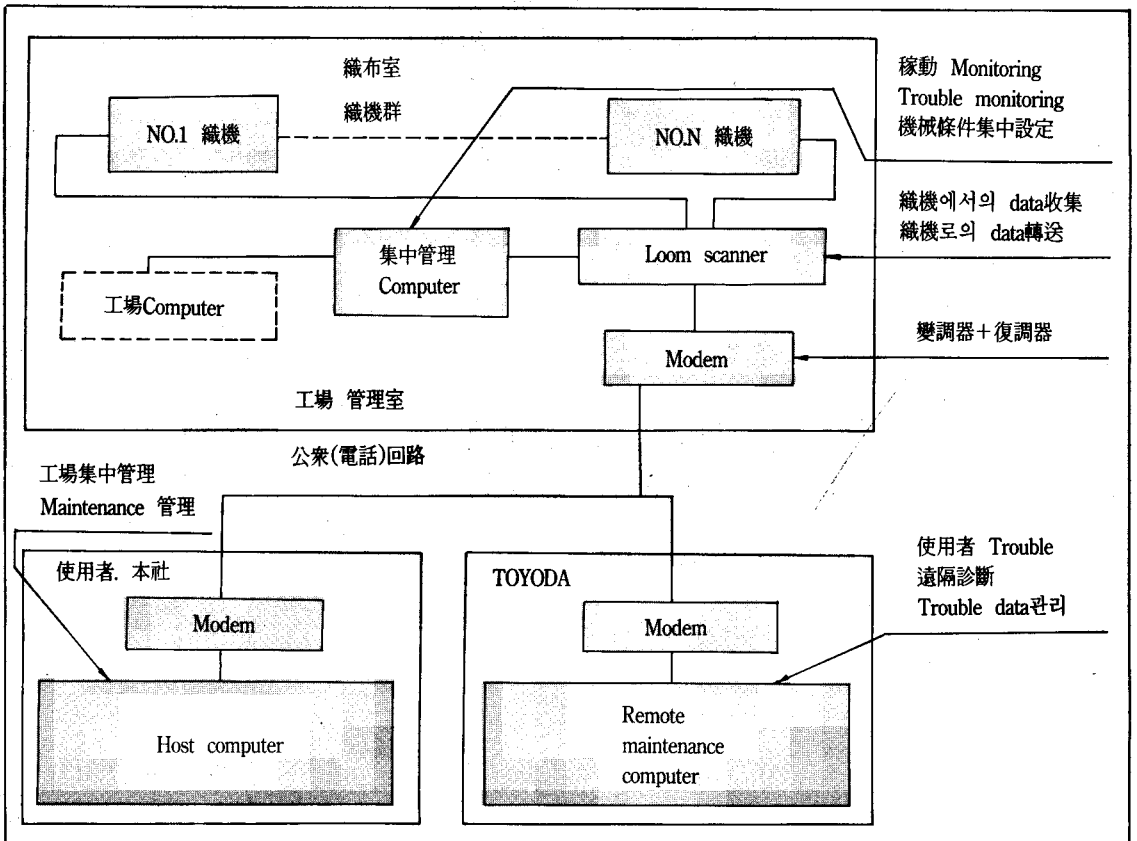


그림 14) 중앙관리 System

응할 수 있는 system이 개발되고 있다. 이러한 system을 이용하여 織布공장의 FA화를 이룩할 수 있게 될 것이다. 중앙 관리 system의 예로서 그림 14에 일본 Toyoda 중앙관리 system에 관해서 나타내었다.

5. 결 론

織機의 개발은 최근 수년간 첨단기술의 응용으로 가속화 되어 성능이 현저히 향상되었다. 향후 織布 전체로서의 과제를 집약 정리하면 다음과 같다.

- ① 기능을 향상시켜 안전가동과 함께 布의 고 품질 확보
- ② 조작성 향상, 성인화를 위한 운전제어의 자동화 및 robot화
- ③ 운반공정의 고효율화, 성인화를 겨냥한 織布 공장의 FA화
- ④ 중앙집중관리 computer를 사용한 織布공장의 system화

이와같은 theme에 대한 국내에서도 기술개발을 달성하여 織布산업의 합리화로 2000년대 섬유수출 300억불 달성과 섬유기계의 독자적 또는 국제공동 개발 및 플랜트 사업을 통한 고도기술이전을 현

실화 하고 첨단기술을 섬유기계 산업에 응용하여 Total textile production control system화와 기술 집약적 산업구조의 구축으로 경제적·기술적 고도화를 이루어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 일본 섬유기계학회 직기연구위원회편 "Jet Loom Hand Book(part 6)." 1987.
- [2] 일본섬유기계학회 섬유기계학회지 Vol. 41, No. 4, 1988.
- [3] 일본섬유기계학회 섬유기계학회지 Vol. 41, No. 1, 1988.
- [4] 일본섬유기계학회 섬유기계학회지 Vol. 41, No. 9, 1988.
- [5] Toyoda JA Catalogue
- [6] Tsudakoma ZA Catalogue
- [7] Kramer K. Otter F. Scholze G. "Investion in Air-Jet Weaving," Melliand Textilberichte 69, NO.10, 1988.
- [8] 鈴木. 섬유기술 News, 제632호, 3, 1990.
- [9] 鈴木一. 일본섬유기계학회지, Vol. 44, No. 6, 1991.
- [10] 김종수, 김광영 "직기에 있어서 Computer 응용" 한국기계연구소 소보 19집, 1989.