

전기강판 GO재 재질불량원인 추적 Model 개발

(A Development of Tracking Model for the Cause of Defect Electrical sheet(Grain Oriented))

김 상 철

포항종합제철(주) IE실

* 요 약 *

본 연구의 목적은 당제철소에서 생산하는 제품중 전기강판 방향성제품의 재질 (철손) 불량원인을 추적하여 조업 Guidance를 제시하는 Model 개발이다.

Model 개발은 현장 조업 Data 에 대해 상관분석, 회귀분석, 분산분석등의 통계적분석을 통하여 재질에 영향을 미치는 주관련인들의 조업기준 재정립과 Menu화면에 의한 자동 불량원인 추적 Model 을 개발하였으며, Model 개발을 위한 사용 Tool 은 SAS Package 를 활용하였다.

1. 序 論

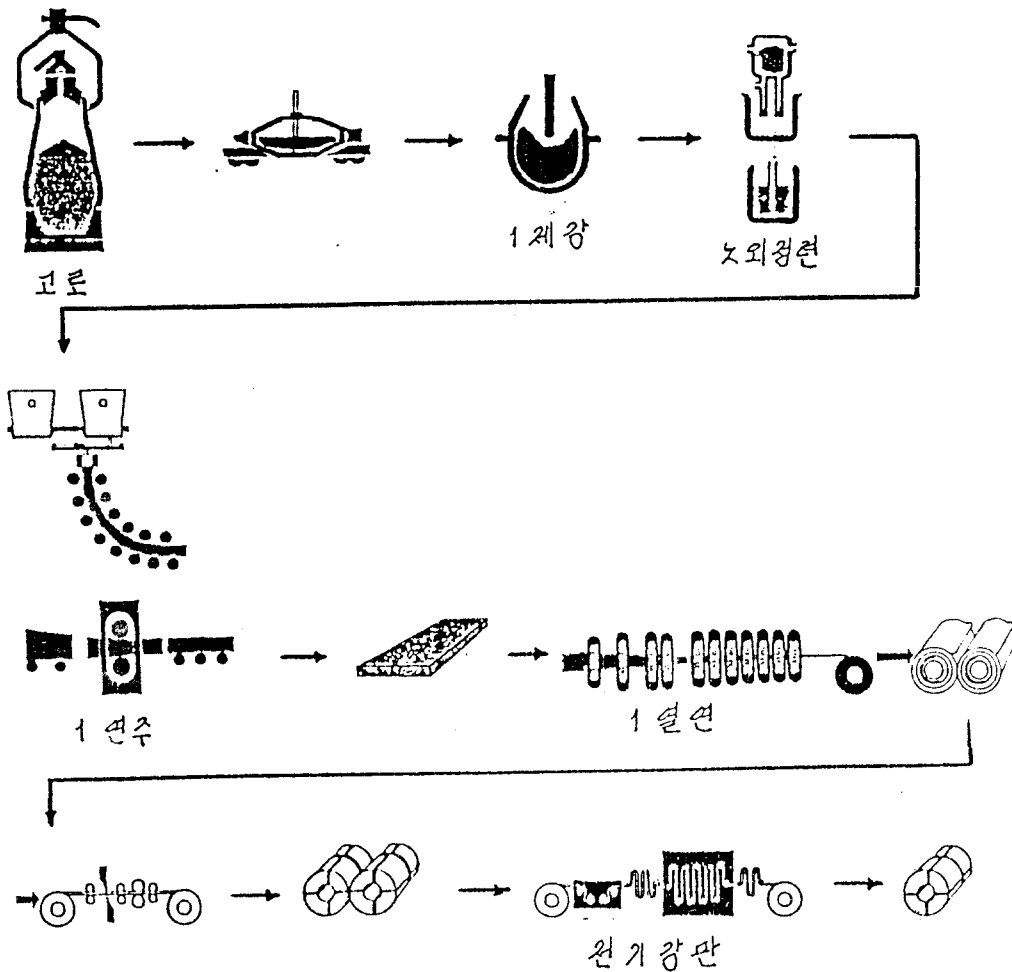
본 사례의 검토대상은 당제철소에서 생산하는 제품중 고부가가치 강종중의 하나인 전기강판 GO (방향성) 재에 대하여 재질 적중율 향상을 위해 제강~전기강판공정까지의 제반 재질관련인들의 통계적 분석을 통한 재질불량원인 추적 Model 을 개발 활용함으로써 전기강판 GO재의 재질불량감소를 통한 생산성 향상을 위하여 본 Model 을 개발하게 되었다.

Model 개발은 현장 실적 Data 를 기본으로 상관·회귀·분산분석등의 통계적 분석방법을 SAS (Statistical Analysis System) Package를 활용하여 제강~전기강판공정까지의 재질 주관련인들의 조업기준 재정립과 재질불량발생시 불량원인을 자동으로 분석토록 추적 체계를 Menu화면으로 System 화함으로써 향후 지속적인 조업조건분석에 의한 최적 조업조건 도출이 가능하게 하였다.

2. 현 황

가. GO재 생산 FLOW

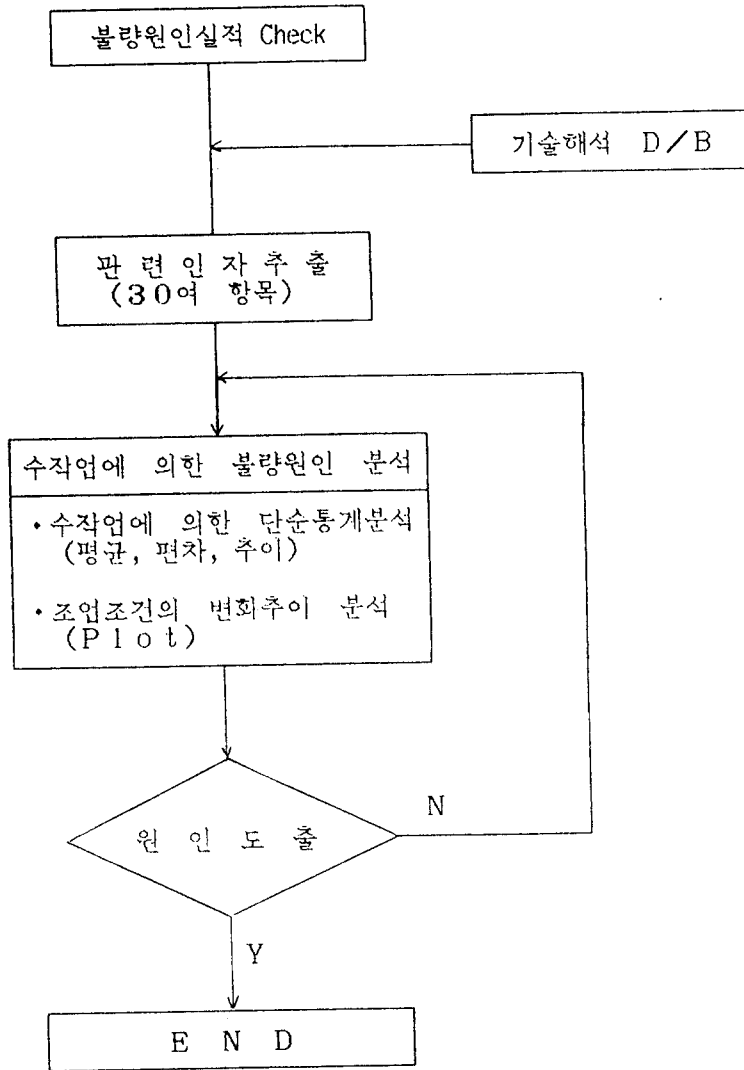
전기강판 GO재의 공정 FLOW 를 간략하게 도식화하면 [그림 1] 에서 나타난 바와 같다. 우선 철강을 생산하기 위한 원료처리로 주원료인 철광석과 원료탄등을 고로에 장입하여 쇳물인 선철을 만든다음 부원료인 석회석, 망간등을 진로에 투입하여 제련된 용강을 만든 후 연속주조 (Continuous Casting) 를 통하여 최초의 형상을 갖는 슬라브 (SLAB) 를 만들고, 이러한 슬라브를 섭씨 1,200 °C 이상 재가열후 단계적으로 압연하여 열연코일 (Hot Coil) 을 만들고, 이들 열연코일을 산세, 냉간압연을 통하여 연속소둔 및 수소소둔공정으로 열처리를 행하여 원하는 재질의 GO (방향성) 재를 생산한다.



[그림 1] 전기강판 GO재 생산 FLOW

나. 불량원인 분석 Flow

[그림 2] 에서 나타난 바와 같이 수작업에 의하여 불량원인분석을 실시함으로써 인해 분석결과에 대한 신뢰정도가 상당히 미흡한 것으로 판단됨.



[그림 2] 불량원인 분석 FLOW

3. 불량원인 추적 Model 개발

가. Model 개발 기본방향

Model 개발은 기술해석 D/B내의 실적 Data 를 활용 통계분석 (분산분석) 을 SAS Package 를 이용하여 제강~전기강판공정까지의 주관련인자 조업 Guidance를 제시하고, GO재 재질불량 발생시 불량원인 추적을 위하여 Data 분석체계의 System 화를 통하여 불량원인 분석정도 향상 및 원인분석시간을 단축시키는 것으로 개발방향을 설정하였다.

나. 적용 Data

Model 개발을 위한 적용 Data 는 [표 1] 과 같이 7개월 15일 (3,450건)간의 실적 Data를 91개 항목에 대해 분석하여 Model 을 개발하였다.


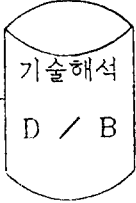
[표 1] 적용 Data

구 분		내 용
DATA 추출기간		' 90. 1. ~ 7. 15
DATA 추출방법		추적 Model 개발에 필요한 91개 항목을 기술해석 D/B로 부터 추출.
부 문 별 DATA항목	제 강	3 0 항 목
	열 연	1 8 항 목
	전 기 강 판	4 3 항 목
총 DATA 건수		항목별 3, 450 건

다. 인자별 조업조건 분석

1) 분석 FLOW

조업조건분석 FLOW 는 기술해석 D/B로부터 추출한 SAS Data set 을 1, 2, 3차에 걸친 통계분석을 통하여 주요인자에 대한 조업 Guidance를 제시하는 것으로 [그림 3] 에 도식화하였다.

구 분	F L O W	비 고
DATA 추출	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>(SAS)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>(FOCUS)</p>  </div> <div style="font-size: 2em;">←</div> </div>	- 기술해석 D/B와의 Interface 에 의한 SAS DATA SET구축으로 실적 DATA 91개 항목 설정.
통계분석 (1차)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>철손과 각 인자간 상관관계</p> <p>- 전문가에 의한 인위적방법 (91개)</p> <p>- 기초통계 (STEPWISE, CORR) 에 의한 통계적방법 →60개)</p> </div>	- 인위적 방법 (연구소, 현장) 과 기초 통계에 의하여 1차 관련인자 선택.
(2차)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>인자 각수준간 평균차 검정 (60개)</p> <p>- 분산분석 (ANOVA)에 의하여 유의수준 $\alpha = 0.10$ 로서 분석 →38개)</p> </div>	- 인자의 조업조건을 등간격 (5수준) 으로 구분하여 수준간 유의성검정으로 2차 관련인자 선택
(3차)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>인자 각수준간 다중범위검정 (38개)</p> <p>- 분산분석에 의해 유의수준 $\alpha = 0.01$ 로 다중비교 (Mu -ltiple Comparisons) 분석 → 7개)</p> </div>	- 2차 통계분석에서 유의로 판정된 인자에 대해 다중비교실시로 조업기준 재설정 인자 선택.
조업 Guidance 제시	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>조업 Guidance 제시</p> </div>	- 1, 2, 3차에 의한 통계분석결과 조업Guidance 제시.

[그림 3] 조업조건 분석 FLOW

2) 철손 관련인자 선택

관련인자 91개 항목에 대하여 인위적분석(아금학, 경험적측면) 및 기초통계 (CORR , STEPWISE) 분석에 의한 철손 관련인자를 [표 2] 와 같이 60개 항목으로 선택하였다.

선택기준은 4가지 선택방법【인위적분석 (아금, 경험) , 기초통계 (STEPWISE, CORR)】중 2회 이상 선택된 인자를 선택하였다.

[표 2] 1차 통계분석 결과표

변수명	1차판계해석				선택 여부	변수명	1차판계해석				선택 여부
	야금	경험	CORR	STEP			야금	경험	CORR	STEP	
G 04	*	*	*		◎	G 05	*	*	*	*	◎
G 06	*	*	*	*	◎	G 07	*	*	*	*	◎
G 08	*	*			◎	G 09	*			*	◎
G 10	*			*	◎	G 11	*		*	*	◎
G 12	*	*	*		◎	G 13				*	
G 14	*			*	◎	G 15	*		*	*	◎
G 16	*		*	*	◎	G 17				*	
G 18	*	*	*	*	◎	G 19	*			*	◎
G 20	*	*	*	*	◎	G 21	*	*	*	*	◎
G 22						G 23					
G 24		*	*		◎	G 25		*	*	*	◎
G 26		*	*	*	◎	G 27		*	*	*	◎
G 28	*		*	*	◎	G 29	*		*		◎
G 30						G 31					
G 32				*		G 33	*	*	*		◎
G 34	*	*	*		◎	G 35			*		
G 36	*	*	*	*	◎	G 37	*	*	*	*	◎
G 38	***	*		*	◎	G 39	***	*			◎
G 40	***	*			◎	G 41	***	*			◎
G 42						G 43			*	**	◎
G 44			*			G 45			*		
G 46	*	*	*	*	◎	G 47					
G 48						G 49	*	*	*	*	◎
G 57	*	*			◎	G 58	*	*			◎
G 59	*			*	◎	G 60	*	*		*	◎
G 61	*	*	*	*	◎	G 62	*	*	*	*	◎
G 63	*	*	*	*	◎	G 64	*	*	*	*	◎

변수명	1 차 판 계 해 석				선택 어부	변수명	1 차 판 계 해 석				선택 어부
	야금	경험	CORR	STEP			야금	경험	CORR	STEP	
G 65	*	*	*	*	◎	G 66		*		*	◎
G 67		*	*		◎	G 68	*	*	*	*	◎
G 69	*		*		◎	G 70				*	
G 71						G 72			*		
G 73	*	*	*		◎	G 74	*	*	*	*	◎
G 75	*	*	*	*	◎	G 76	*	*	*	*	◎
G 77	*	*	*	*	◎	G 78	*	*	*		◎
G 79	*	*	*	*	◎	G 80	*	*	*	*	◎
G 81	*	*	*	*	◎	G 82	*	*			◎
G 83	*	*	*	*	◎	G 84	*	*	*		◎
G 85	*	*	*	*	◎	G 86	*	*	*	*	◎
G 89			*								

3) 수준간 평균차 검정에 의한 주판련인자 선택

1차 통계분석에 의해 선택된 60개 항목에 대하여 인자의 조업조건을 등간격 (5수준)으로 분할한 후 분산분석 (ANOVA)을 이용하여 평균차 유의성검정으로 주판련인자를 [표 3]과 같이 38개로 선택하였으며 선택기준은 SAS Output으로 제공되는 유의수준 $\alpha = 0.10$ 이하의 인자를 선택하였다.

[표 3] 2차 통계분석 결과표

변수명	유의수준	선택어부	변수명	유의수준	선택어부
G 04	0.6302		G 05	0.0001	***
G 06	0.0096	***	G 07	0.0016	***
G 08	0.0029	***	G 09	0.6654	
G 10	0.3162		G 11	0.5573	
G 12	0.3733		G 14	0.2274	
G 15	0.0001	***	G 16	0.0001	***
G 18	0.0001	***	G 19	0.2015	
G 20	0.0004	***	G 21	0.0059	***
G 24	0.0554	*	G 25	0.0504	*

변수명	유의수준	선택여부	변수명	유의수준	선택여부
G 26	0.0001	***	G 27	0.0001	***
G 28	0.0002	***	G 29	0.0001	***
G 33	0.0038	***	G 34	0.0069	***
G 36	0.3518		G 37	0.2164	
G 38	0.0857	*	G 39	0.0136	**
G 40	0.6595		G 41	0.1382	
G 43	0.0353	**	G 46	0.0076	***
G 49	0.5864		G 57	0.6834	
G 58	0.0007	***	G 59	0.0042	***
G 60	0.0229	**	G 61	0.2950	
G 62	0.3139		G 63	0.0593	*
G 64	0.0190	**	G 65	0.0609	*
G 66	0.0001	***	G 67	0.0448	**
G 68	0.9541		G 69	0.2781	
G 73	0.4616		G 74	0.0237	**
G 75	0.0176	**	G 76	0.0001	***
G 77	0.0002	***	G 78	0.0001	***
G 79	0.0194	**	G 80	0.0147	**
G 81	0.0001	***	G 82	0.0024	***
G 83	0.1856		G 84	0.1793	
G 85	0.2090		G 86	1.0000	

— ***; 99 %로서 유의, **; 95 %로서 유의, *; 90 %로서 유의

4) 다중범위 검정에 의한 인자별 조업조건 분석

인자의 평균차 유의성 검정으로 선택된 38개 인자에 대하여 다중비교 (Multiple Comparisons) 실시로 조업조건 재설정 필요인자를 [표 4] 와 같이 7개 인자로 도출하였으며, 선택기준은 다중비교방법중 DUNCAN 의 New Multiple-range Test (다중비교검정법) 를 사용하여 유의수준 $\alpha = 0.01$ 이하인 인자를 선택하였다.

- DUNCAN 의 New Multiple-range Test

$$\bar{y}(1) < \bar{y}(2) < \bar{y}(3) < \bar{y}(4) < \bar{y}(5)$$

($\bar{y}(1) \sim \bar{y}(5)$; 각 수준의 평균치)

$$\bar{y}(5) - \bar{y}(i) > LSR \left(SSR \sqrt{\frac{\sigma_e^2}{n}} \right)$$

D

L
인 인자 선택.

$\bar{y}(5)$; 가장 높은 평균치
 $\bar{y}(i)$; $i=1,2,3,4$ (각 수준의 평균치)
 LSR ; Least Significant Range
 (최소유의범위)
 SSR ; Significant Studentized Range

[표 4] 3차 통계분석 결과표

변 수 명	다중검정	선택여부	변 수 명	다중검정	선택여부
G 05	D > L	◎	G 06	D ≦ L	
G 07	D > L	◎	G 08	D ≦ L	
G 15	D ≦ L		G 16	D > L	◎
G 18	D ≦ L		G 20	D ≦ L	
G 21	D ≦ L		G 24	D ≦ L	
G 25	D ≦ L		G 26	D ≦ L	
G 27	D > L	◎	G 28	D ≦ L	
G 29	D ≦ L		G 33	D > L	◎
G 34	D ≦ L		G 38	D ≦ L	
G 39	D ≦ L		G 43	D ≦ L	
G 46	D ≦ L		G 58	D > L	◎
G 59	D ≦ L		G 60	D ≦ L	
G 63	D ≦ L		G 64	D ≦ L	
G 65	D ≦ L		G 66	D > L	◎
G 67	D ≦ L		G 74	D ≦ L	
G 75	D ≦ L		G 76	D ≦ L	
G 77	D ≦ L		G 78	D ≦ L	
G 79	D ≦ L		G 80	D ≦ L	
G 81	D ≦ L		G 82	D ≦ L	

5) 분석 결과

1, 2, 3차에 걸친 통계분석 결과 [표 5] 과 같이 7개인자에 대하여 조업조건 Guidance를 제시하였다.

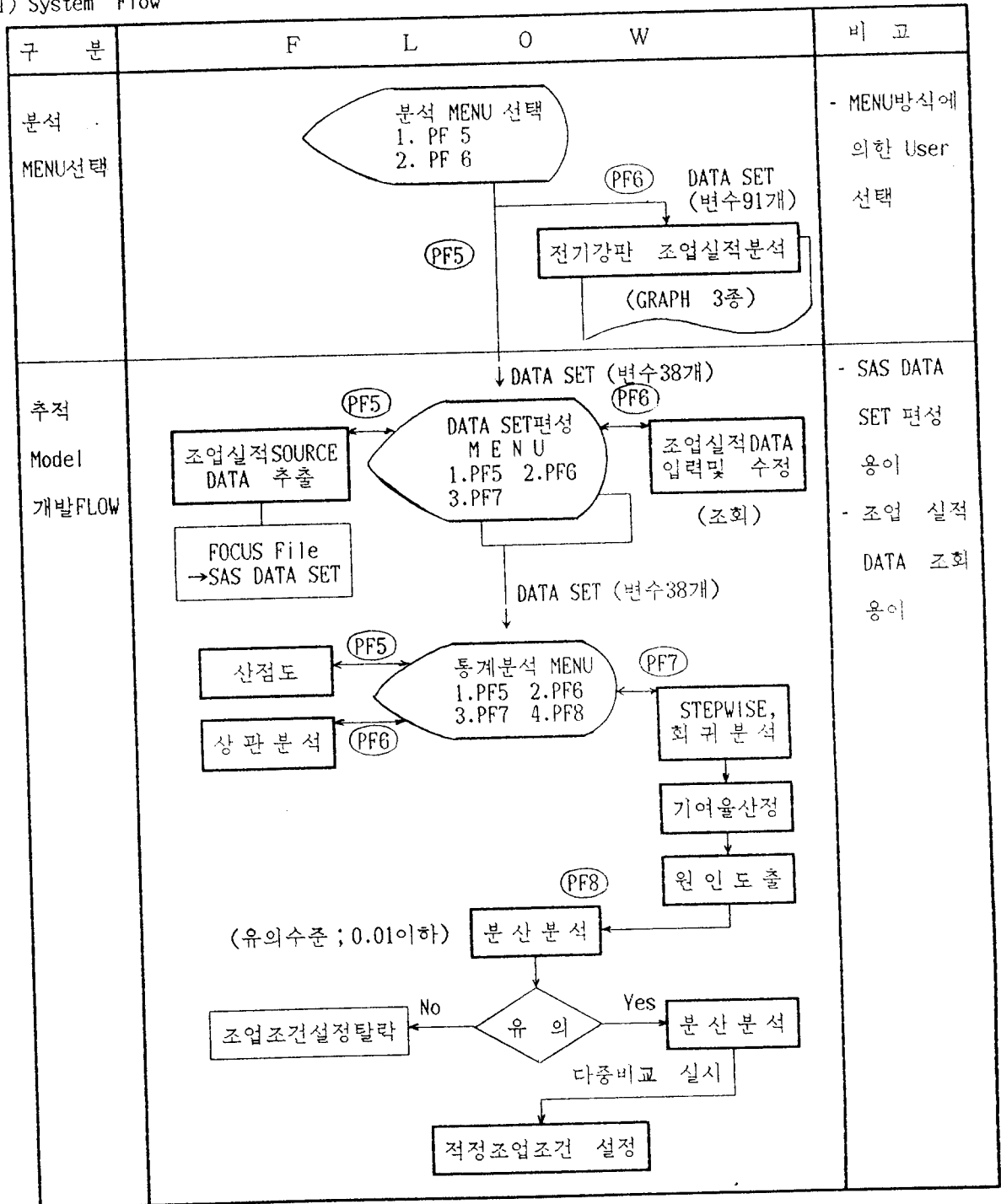
[표 5] 조업 Guidance 제시표

구 분	변 수 명	분 석 결 과 조 업 기 준	수 준					비 교
			X1	X2	X3	X4	X5	
제 강	G 05	상향유도 필요	A	A	B	B	B	
	G 07	하향유도 필요	B	B	B	B	A	
	G 16	하향유도 필요	B	B	B	B	A	
	G 27	상향유도 필요	A		B		B	
열 연	G 33	상향유도 필요	A	B	B	B	B	
전 기 강 판	G 58	상향유도 필요	A	B	B	B	B	
	G 66	상향유도 필요	A	B	B	B		

라. 불량원인추적 MODEL 개발

- 불량원인 추적체계를 SAS/AF, FSP, Statistics, Graphic 을 활용하여 작업조건 변경후 지속적으로 재질불량원인 추적을 가능하게 System 화하였으며, 개발 Flow 는 [그림 4] 와 같다.

1) System Flow



[그림 4] Model 개발 Flow

2) 개발 Menu

SELECT OPTION ==> MAIN.MENU PRESS END TO RETURN.

```
=====
$ ***** < 전기강판 GO재 저질 불량원인 추적 시스템 > ***** $
=====
( M380R#3 SAS,DEV=GSP6653 )
```

```
-----+-----+
PF 5   : 전기강판 GO재 불량원인추적 Model
PF 6   : 조업 실적 분석          ( Graphic )
-----+-----+
PF 1   : 이용안내                ( Help )
PF 3   : 종 로                    ( EXIT : SAS OPTION 상태 )
-----+-----+
```

SELECT OPTION ==> STATGO.MENU PRESS END TO RETURN.

```
=====
$ ***** < 전기강판 GO재 불량원인추적 Model > ***** $
=====
( M380R#3 SAS / FOCUS )
```

```
-----+-----+
PF 5   : 조업 실적 source Data 추출
        - SELECTING DB : DKM01,DKM02,DKM12,DKM22,DKM30
        - JOB COMMAND  : >> JUNGI
        - SAS D.S NAME  : JGGA.KSC1
PF 6   : 조업 실적 Data 입력 및 수정 ( 조회 )
PF 7   : D a t a 통계 분석
-----+-----+
PF.3   : 이전 Menu              ( Main Menu )
-----+-----+
```

SELECT OPTION ==> ANALYGO.MENU PRESS END TO RETURN

```
=====
$ ***** < 통계분석 및 기여도 도출 > ***** $
=====
( M380R#3, DEV=GSP6653 )
```

```
-----+-----+
PF 5   : Plotting                ( 산 점 도 )
PF 6   : Correlation             ( 상관 분석 )
PF 7   : 인자선택 및 기여율도출 ( STEPWISE,REGRESSION )
PF 8   : 적정 조업조건 도출      ( 분산 분석 )
-----+-----+
PF 3   : 이전 Menu              ( Model Menu )
PF 15  : 최초 Menu              ( Main Menu )
PF 24  : system exit            ( SYSTEM READY )
-----+-----+
```

해당 PF Key를 누르시오!

SELECT OPTION ==>

STEPGO.MENU

PRESS END TO RETURN.

```

=====
S < 인자 선택 및 기억을 드출 >
=====
(M380R#3, DEV=GSP6653)

```

```

-----+
PF5 : 인자 선택 ( 통계 분석 ) |
PF6 : 기억을 도출 ( Graphic ) |
-----+
PF3 : 이전 Menu ( Model Menu ) |
PF12 : 통계 Menu ( STAT Menu ) |
-----+

```

ANOVAGO.MENU
 SELECT OPTION ==> PRESS END TO RETURN.

```

=====
S < 적정 조업조건 도출 >
=====
(M380R#3, DEV=GSP6653)

```

```

-----+
PF5 : 분산 분석 ( ANOVA ) |
PF6 : 인자간 유의성 검정 ( Graphic ) |
-----+
PF3 : 이전 Menu ( Model Menu ) |
PF12 : 통계 Menu ( STAT Menu ) |
PF15 : 최초 Menu ( Main Menu ) |
-----+

```

ANOVAGOS.MENU
 SELECT OPTION ==> PRESS END TO RETURN.

```

=====
S < 분산 분석 ( ANOVA ) >
=====
( OUTPUT MENU )

```

```

-----+
PF5 : 분산 분석 ( 유의성 검정 ) |
PF6 : 적정 조업조건 설정 자동편성 ( ** ) / |
-----+
PF3 : 이전 Menu ( ANOVA Menu ) |
PF12 : 통계 Menu ( STAT Menu ) |
PF15 : 최초 Menu ( Main Menu ) |
PF24 : system exit ( SYSTEM READY ) |
-----+

```

해당 PF Key를 누르시오 !

3) 주요기능

구 분	개 요	운 영 방 법	비 고
1.원인분석 기능	<ul style="list-style-type: none"> • 불량발생 원인인자 추적 및 계수표준화를 통한 인자별 기여도 분석. - H-Bar Chart 에 의한 인자별 기여도 Graphic . • 조업실적 추이분석 - 일별, Line별, 인자간 철손 추이분석 (Graphic) 	• User MENU 방식	- MENU Driven 방식에 의한 User 변수입력으로 불량원인 자동분석.
2.조업 Guidance 제시 기능	• 다중범위검정에 의해 선택된 인자에 대한 조업 Guidance 제시.	• User MENU 방식	

4. 결 론

야금학적 이론과 현장경험조업에 의하여 조업기술을 축적해 왔던 전기강판 G0재 제조 기술이 급변 현장 실적 Data 의 통계적분석을 통하여 새롭게 접근함으로써 전기강판 제조 기술향상에 중요한 Event 가 될 수 있었다.

3차에 걸친 통계분석 결과에서 나타났던 7개 인자에 대한 조업 Guidance는 전문가 (야금학 전공자, 현장 조업원) 에 의해 타당성이 입증되었으며, 검증 ('90.7.16-10.30 실적 Data) 을 통하여 철손 적중율이 G 09 등급의 경우 13.1 % 향상되었음을 볼 수 있었다.

이에 의한 기대효과는

-철손 품질향상으로 수요가 신뢰도 향상

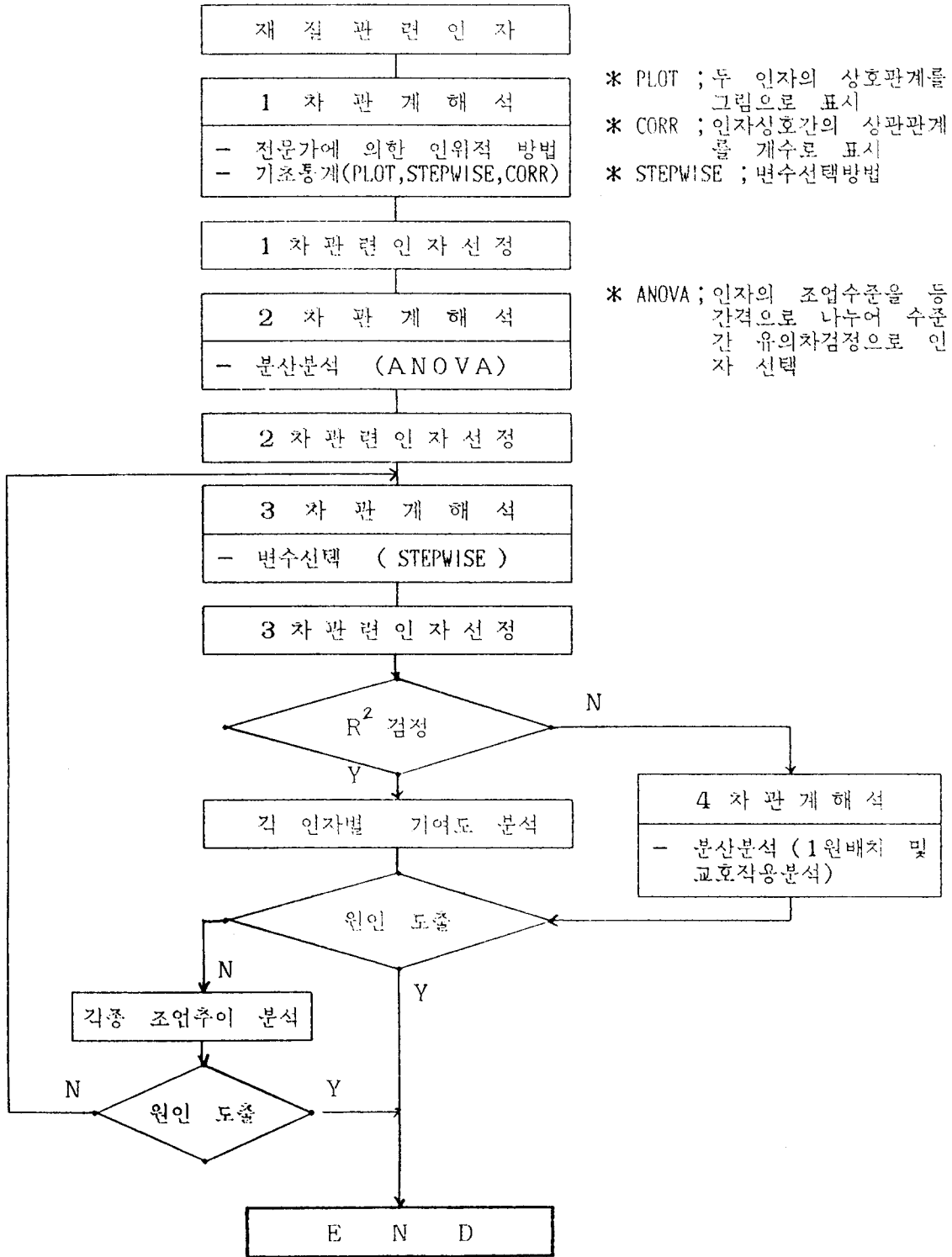
-분석결과 축적에 의한 공정단위 항목별 최적 조업조건 제시가 가능하며,

불량원인 추적 Model 을 개발 System화함으로써 품질불량 발생시 불량원인의 자동분석에 의한 분석정도 향상 및 분석시간 단축이 가능하다.

* 참고문헌

- 박성현, "회귀분석", 대영사, 1981.
- 박성현, "현대실험계획법", 민영사, 1982.
- Taro Yamane (1969): An Introductory Analysis, Harprt & Row INC.
- Dancan, A.J. (1947): Quality and Industrial Stlististics, Richard D. Irwin, INC.

* 별첨 ; 1. 통계분석 FLOW



별첨 ; 2. 원인추적 SYSTEM 운영체계

