

다구찌 방법에 의한 PAC 실내기 유로의 최적설계

Optimum Design of an Indoor Package Air-Conditioner's Flow Path by Taguchi Method

김장권*† · 오석형**

Jang-Kweon Kim*† and Seok-Hyung Oh**

(접수일 : 2013년 06월 14일, 수정일 : 2013년 09월 25일, 채택확정 : 2013년 09월 26일)

Abstract: In this study, the optimum design process of an indoor package air-conditioner (PAC) was implemented by Taguchi method. The goal of this study is to obtain the best set condition of each control factor composing of an indoor PAC. The number of revolution of a double inlet sirocco fan installed in an indoor PAC was measured by the orthogonal array of $L_{18}(2^3 \times 3^4)$ and analysed by using the-smaller- the-better characteristic among the static characteristic analyses. As a result, the optimum condition of an indoor PAC was found as a set of <G1, A2, B1, C1, D1, E3, F1> when the cost of production, assembling and working conditions were considered. Moreover, the number of revolution of a double-inlet sirocco fan used for an optimum condition was reduced about 8.5% more than that of a standard condition for the target flowrate of $18.5 \text{ m}^3/\text{min}$.

Key Words : Analysis of Variance(ANOVA), Control Factor, Double-Inlet Sirocco Fan, Noise Factor, Optimum Condition, Package Air-Conditioner(PAC), Signal-to-Noise(S/N) Ratio, The-Smaller-The-Better Characteristic, Taguchi Method

1. 서 론

패키지 에어컨(package air-conditioner, PAC)은 크게 실내기와 실외기로 분리되어 있다. 여기서 실내기는 증발기(evaporator)를 통한 냉방을 주목적으로 실내에 설치되는 기기이고, 실외기는 열교환기인 응축기(condenser)와 압축기(compressor)가 탑재되어 열 방출을 주목적으로 하면서 주로 실외에 설치하는 기기이다. 그런데, PAC 실내기의 주요 구성요소들을 살펴보면, 크게 캐비닛(cabinet)과 전

면패널(front panel) 및 공기흡입 그릴(grille)부와 열교환기 그리고 시로코팬(sirocco fan) 및 토출루버(louver) 등으로 구성되어 있다. 이 중에서도 시로코팬의 설계에 따라 PAC의 소음 및 냉방성능이 크게 영향을 받게 된다.

초창기 PAC의 저소음운전에 관한 연구에서 Kim^{1,2)}은 PAC 실내기 내부 유로 내에서 발생하는 각종 부품 등의 유동압력손실을 최소화하도록 설계한 후에 임펠러의 대구경화를 적용하여 회전수를 낮추면서 흡입공기량을 극대화시키는 방법으로

*† 김장권(교신저자) : 군산대학교 동력기계시스템공학과
E-mail : flowkim@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1848

** 오석형 : 군산대학교 기계공학부

*† Jang-Kweon Kim(corresponding author) : Department of Power System Engineering, Kunsan National University.

E-mail : flowkim@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1848

** Seok-Hyung Oh : School of Mechanical Engineering, Kunsan National University.

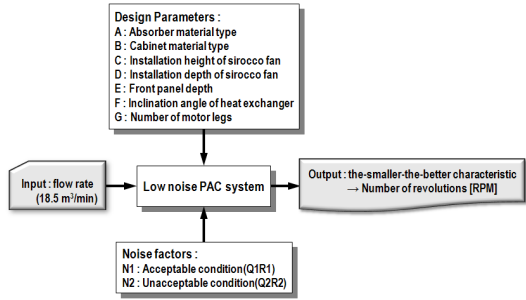


Fig. 1 Classification of design parameters.

저소음 시로코팬 설계를 시도한 바가 있다. 그러나 이런 상황에서도 PAC 실내기를 최적화하였다는 확신이 없었기 때문에, 주어진 PAC 실내기의 시스템저항을 만족하는 시로코팬만의 최적설계를 위해 Kim³⁾은 시로코팬 임펠러의 주요 설계인자들을 적은 횟수의 실험을 통해 결정하고자 다구찌(Taguchi) 실험방법⁵⁻⁹⁾을 도입한바가 있다.

본 연구에서는 다구찌 실험방법으로 이미 저소음 운전에 최적화된 Kim³⁾의 연구결과를 반영한 양흡입 시로코팬을 사용하였다. 또 본 연구에서는 지금까지 연구해온 경우¹⁻⁴⁾와 달리 주어진 PAC 실내기에 최적화된 시로코팬³⁾ 이외에 PAC 실내기를 구성하는 다른 부품들을 어떤 재질을 사용하느냐 혹은 어떻게 해서 설치하느냐에 따라 유로저항을 최소화하여 발생하는 저소음 운전성능을 최적 평가하고자 다구찌 실험방법⁵⁾을 이용하였다. 본 다구찌 방법에서는 양흡입 시로코팬의 회전수를 평가특성치로 정해 정특성해석의 망소특성(the-smaller-the-better characteristic)을 이용하여 제어인자들의 최적조건을 검토하였다.

2. 다구찌 실험방법

2.1 변수설계

Fig. 1은 본 연구에서 적용한 저소음 운전의 PAC를 만족하는 최적화 기법으로 채택한 설계변수들의 분류를 나타낸 그림이다. 본 연구에서는 PAC 실내기의 회전수를 정특성으로 분석하기 위해 입력신호로 18.5 m³/min의 팬 풍량을 이용하였다. 또 설계변수인 제어인자로는 PAC 실내기의 부

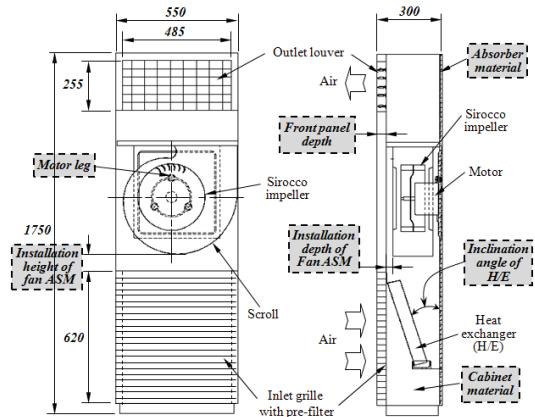


Fig. 2 Schematic diagram for structure elements of an indoor PAC.

품들을 최적으로 조립하는 과정에서 고려될 수 있는 7가지를 설정하였으며, 잡음인자로는 설부름새와 오리피스 틈새를 양호조건과 불량조건으로 각각 조합하여 변화를 주었다. 한편, 이들 조합의 결과로서 실험을 실시하게 되면, 주어진 풍량을 만족할 때, 팬의 회전수가 낮을수록 운전소음은 낮게 되므로 PAC 실내기의 품질이 그만큼 더 좋아지게 된다는 이유로 변수설계 방식인 망소특성을 적용하였다.

2.2 제어인자 및 수준의 결정

Fig. 2는 PAC 실내기에 대한 구성부품의 배열모습을 보이고 있다. 여기서 다구찌 방법에 사용한 제어인자들은 캐비닛의 흡음과 단열을 위해 사용하는 흡음재 종류 이외에 캐비닛 재질, 시로코 팬의 설치 높이 및 깊이, 전면패널의 깊이, 열교환기의 경사각도, 그리고 캐비닛에 모터를 고정시키는 버팀대(leg)수로 각각 선정하여 Fig. 2에 점선상자로 표시하였다. 여기서 흡음재 재질로는 두께 5 mm인 폴리에틸렌(poly-ethylene, PE) 수지(plastic)와 폴리우레탄(poly-urethane, PU) 수지가 결합된 흡음재를 수준 1에 배치하였고, 두께 10 mm인 PU만의 흡음재를 수준 2에 배치하였다. 또 캐비닛 재질로는 두께 0.8 mm인 강판과 진동에 강한 제진강판을 각각 사용하였다. 이 이외에도 7개의 제어인자들에 대한 각 수준들은 Table 1에 모두

Table 1 Determination of control factors and their levels.

	Factor description	Level 1	Level 2	Level 3
Control factors	A: Absorber material type	PE5t+PU5t	PU10t	-
	B: Cabinet material type	Steel plate	Vibration controlled steel plate	-
	C: Installation height of fan ASM [mm]	74	44	114
	D: Installation depth of fan ASM [mm]	21	13	29
	E: Front panel depth [mm]	40	60	80
	F: Inclination angle of H/E [°]	13.8	8.8	16.8
Noise factors	G: Number of motor legs	3	4	-
	Q: Orifice clearance [mm]	Acceptable (Q1R1) 5	Unacceptable (Q2R2) 7	-
	R: Cut-off clearance [mm]	18	20	-
Fixed factors	* Sirocco fan ASM, Cabinet size, Inlet-grille, Heat exchanger(H/E), Outlet-louver			

Table 2 Experimental and ANOVA results of the orthogonal array of $L_{18}(2^3 \times 3^4)$.

Set No.	Inner Array							Outer Array(Number of Revolutions)			
	Control Factors							Experimental Result [RPM]		ANOVA Result [RPM]	
	G	A	B	C	D	E	F	e	N1	N2	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	520	543	-54.5121
2	1	1	2	2	2	2	2	2	519	520	-54.3117
3	1	1	1	3	3	3	3	3	493	515	-54.0507
4	1	2	1	1	2	2	3	3	500	511	-54.0749
5	1	2	2	2	3	3	1	1	487	510	-53.9556
6	1	2	1	3	1	1	2	2	500	512	-54.0836
7	1	1	1	2	1	3	2	2	493	503	-53.9450
8	1	1	2	3	2	1	3	3	512	530	-54.3381
9	1	1	1	1	3	2	1	1	503	525	-54.2213
10	2	1	1	3	3	2	2	2	514	541	-54.4473
11	2	1	2	1	1	3	3	3	488	508	-53.9463
12	2	1	1	2	2	1	1	1	500	520	-54.1531
13	2	2	1	2	3	1	3	3	530	531	-54.4937
14	2	2	2	3	1	2	1	1	504	517	-54.1606
15	2	2	1	1	2	3	2	2	495	510	-54.0237
16	2	1	1	3	2	3	1	1	505	515	-54.1518
17	2	1	2	1	3	1	2	2	520	536	-54.4537
18	2	1	1	2	1	2	3	3	500	520	-54.1531

나타내었다. 여기서 제어인자 G와 A 및 B는 2수준으로 하였고, 나머지 4개의 제어인자들은 3수준을 선택하였다. 본 연구에서는 원래의 직교배열표 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 에서 3수준인 제어인자 A와 B를 2수준으로 만들기 위해 의수준(dummy level)법을 이용하여 A3=A1, B3=B1으로 각각 변경하였으며, 마지막 제어인자는 오차항(e)으로 처리하여 최종적으로 $L_{18}(2^3 \times 3^4)$ 의 직교배열표를 이용하였다.

한편, 시로코 임펠러는 PAC 실내기 뒷면에 용접된 보강판의 볼트에 방진고무와 함께 설치되는 반면, 스크롤은 실내기에 별도로 설치되므로, 임펠

러의 처짐 현상이나 회전 시 흔들림 등으로 인해 임펠러와 스크롤 사이의 설부 틈새와 오리피스 틈새가 PAC 실내기의 제조과정에서 설계자의 의도대로 정확히 일치시키기가 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 다구찌 실험기법의 변수설계에서 설부 및 오리피스 틈새들을 각각 잡음인자로 설정하였다. 여기서 설부 및 오리피스 틈새들의 양호한 조건으로는 각각 18 mm와 5 mm를 설정하였고, 불량한 조건으로는 이 값들에 각각 2 mm씩 더한 값으로 선택하였다. 그러나 이 잡음인자들이 실내기내에서 시로코 팬의 회전 시 독립적으로 발생하지 않기 때문에, 본 연구에서는 잡음인자로 설부 및 오리피스 틈새 조건들을 동시에 반영시켜 양호조건을 N1=Q1R1, 불량조건을 N2=Q2R2로 각각 조합하여 2수준으로 선택한 후, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 여기서 수준 1에 해당하는 각 인자들의 조합이 현재 PAC 실내기를 양산하는 과정에서 지켜지는 표준조건(standard condition)이 된다. 그 밖에 양흡입 시로코팬³⁾, 캐비닛크기, 입구그릴, 열교환기 및 출구루버는 모든 실험조건에서 동일하게 적용하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 다구찌 실험을 수행하기 위해 각 제어인자들의 조합으로 $L_{18}(2^3 \times 3^4)$ 의 직교배열표를 사용하였기 때문에, PAC 실내기를 총 18가지로 제작하여 실험하였다. 그 결과, Table 2는 풍량 18.5 m³/min을 만족하는 PAC 실내기의 회전수를 양호조건(N1)과 불량조건(N2)의 잡음인자별로 측정된 결과와 ANOVA로 해석한 결과들을 나타낸 표이다. 여기서 풍량 측정에는 KSB 6311 및 AMCA STANDARD 210-85를 참고로 하여 만들어진 흡입식 다중노즐 방식의 팬테스터(fan tester)¹⁻⁴⁾를 이용하였으며, 시로코팬의 회전수 측정은 PAC 실내기가 풍량 18.5 m³/min을 유지하는 상태에서 스트로보스코프(stroboscope) (서림전자, Type DX-525A)를 이용하였다. 한편, Table 2의 회전수의 분산분석(ANOVA)에는 상용 소프트웨어인 ANOVA-TM(ver. 2.5)⁶⁾을 활용하였다.

Table 3 ANOVA analysis of S/N ratio on the number of revolution.

SOURCE	Df	S	V	F'	S'	ρ (%)
G	1	0.013	0.013	pooled	-	-
A	1	0.034	0.034	2.056	0.017	2.78
B	1	1.314E-5	1.314E-5	pooled	-	-
C	2	0.005	0.003	pooled	-	-
D	2	0.059	0.030	1.805	0.026	4.24
E	2	0.332	0.166	10.143	0.299	48.18
F	2	0.004	0.002	pooled	-	-
e1	6	0.174	0.029	pooled	-	-
e2	0	0.000	-	-	-	-
(e)	12	0.196	0.016	-	0.278	44.79
TOTAL	17	0.620	0.036	-	-	-

3. 실험결과 분석

3.1 기여율 분석

Table 3은 각 제어인자들의 최적인자에 미치는 기여도를 알아보기 위해 Table 2의 회전수 실험결과를 ANOVA 소프트웨어로 95%의 신뢰도에서 분석한 S/N비에 대한 분산분석표이다. 여기서 Df 는 자유도(degree of freedom)이며, S 는 변동(sum of squares), V 는 분산(variance), F' 는 분산비(variance ratio), S' 는 순변동(pure sum of squares), 그리고 ρ 는 기여율(percent contribution)을 의미한다. PAC 실내기에서 시로코헨의 회전수에 대한 기여율을 확인하기 위해 본 연구에서는 Table 3에서와 같이 S 값과 V 값에서 상대적으로 작은 값을 나타내면서 회전수에 큰 영향을 미치지 못할 것 같은 제어인자 중 G(모터 leg수), B(캐비닛재질), C(웬 ASM 설치높이), F(열교환기 경사각도) 및 오차항들을 대상으로 풀링(pooling)을 하였다. 그 결과 Fig. 3

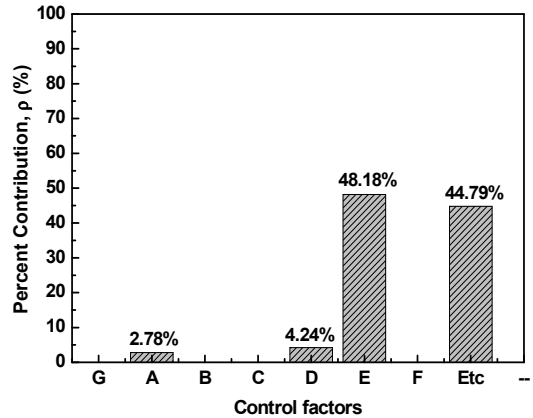


Fig. 3 Percent contribution ratio of control factor affecting the number of revolution.

에서와 같이 제어인자 E(전면패널깊이)가 48.18%로 가장 큰 회전수에 매우 민감하다는 것을 알 수 있다. 또한 제어인자 D(웬 ASM 설치깊이)는 4.24%로, 그리고 제어인자 A(흡음재종류)는 2.78%로 작은 값을 나타내 상대적으로 기여율이 낮음을 알 수 있다. 여기서 특이한 점은 흡음재 재질인 제어인자 A가 회전수에 영향을 미칠 것 같지 않는데도 불구하고, 작은 크기지만 기여율이 존재한다는 것은 아마 흡음재 재질이 시로코헨이 작동할 때 하나의 유로저항으로 작용해서 회전수에 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편, 회전수에 있어서도 오차항으로 인한 기여율(Etc)이 44.79%로 크게 나타난 것은 본 연구에서 제어인자로 선택하지 않은 시로코 헨 자체가 포함되어 발생한 측면이 강한 것으로 사료된다.

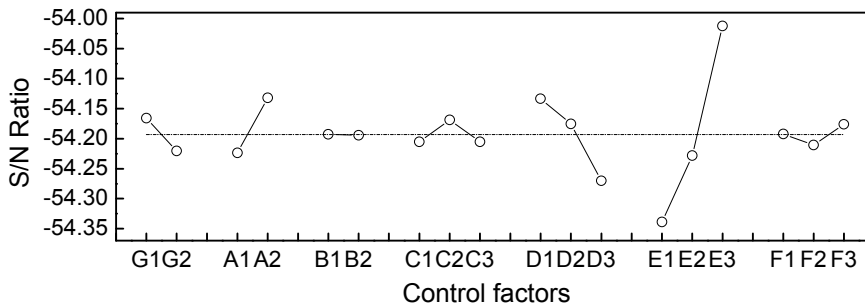


Fig. 4 Factor effect chart of S/N ratio for the number of revolution.

Table 4 Determination of optimum condition.

Condition	Set of factor	Revolution number estimation	
		S/N	RPM
Standard model	G1 A1 B1 C1 D1 E1 F1	-54.294 ^{±0.227}	505~532
Modified model	G1 A2 B1 C2 D1 E3 F3	-53.822 ^{±0.227}	478~504
Optimum	G1 A2 B1 C1 D1 E3 F1	-53.875 ^{±0.227}	481~507

Table 5 Confirmation result of reproducibility.

Condition	Set of factor	Estimation	Experiment
		RPM	RPM
Standard	G1 A1 B1 C1 D1 E1 F1	505~532	531.5(mean)
Optimum	G1 A2 B1 C1 D1 E3 F1	481~507	487

3.2 망소특성의 변수설계

일반적으로 음수가 아니면서 작을수록 좋은 특성에 대해 해석하는 망소특성에서는 S/N비를 통해 제어인자의 최적상태를 분석하는데, 이 S/N비는 식 (1)로 정의된다.

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

여기서 y_i 과 n 은 각 실험조합별 측정된 데이터와 그 수를 각각 나타낸다.

Fig. 4는 Table 3의 회전수를 ANOVA S/W에 대입하여 각 제어인자들이 갖는 수준별 S/N비로 계산한 결과들을 나타낸 그림이다. 여기서 PAC 실내기가 저소음으로 운전하기 위해 시로코팬이 가장 낮은 회전수를 발휘하기 위한 최적조건은 각 제어인자별로 S/N비가 가장 큰 변수들로 구성해야 함으로 Fig. 4에서 살펴보면, <G1, A2, B1, C2, D1, E3, F3>의 조합으로 선택할 수 있다.

3.3 최적조건의 도출

Table 4는 S/N비를 통해 선택한 각 제어인자들의 조합으로 얻어진 PAC 실내기의 각 모델별로 예측한 회전수를 나타낸 표이다. 여기서 PAC 실내기를 만족하는 최적 제어인자의 조합은 회전수를 분석하여 얻어진 최적조건이라 해도 각 제어인자의 수준을 현실적으로 재설정할 필요가 있다. 먼저 회전수 분석을 통해 얻어진 수정모델(modified

model)의 최적조건을 표준모델(standard model)과 비교하면, 흡음재질(A), 팬 ASM 설치높이(C), 전면 패널의 깊이(E) 및 열교환기 경사각도(F)가 서로 다르게 나타남을 알 수 있다. 이들 중에서도 열교환기 경사각도(F)의 변경은 PAC 실내기의 크기를 키워야 함으로 디자인 측면에서도, 또 PAC 실내기를 구성하는 각 부품들의 조립성이나 작업성, 가격상승여부 등에서 많은 제약이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 새로운 최적조건으로 <G1, A2, B1, C1, D1, E3, F1>의 조합을 결정하였다. 그 결과 Table 4로부터 주어진 풍량 18.5 m³/min을 만족하는 표준모델의 예상회전수는 505~532 RPM으로 나타나나 수정모델에서는 478~504 RPM으로 감소된 효과를 보여주고 있다. 그러나 최종 결정된 최적모델에서의 회전수는 수정모델의 경우보다는 약간 상승한 것을 알 수 있다.

4. 확인실험 및 재현성 평가

Table 5는 PAC 실내기를 양산하는 과정에서 지켜지는 표준조건과 다구찌 실험방법에 의해 얻어진 최적조건을 각각 실험해서 얻어진 소음과 회전수를 비교한 표이다. 최적조건으로 실험한 회전수는 Table 4의 예측값 범위 안에 포함되어있어 모두 만족하고 있다고 판단할 수 있다. 따라서 실험에 따른 재현성이 이루어짐을 알 수 있다. 결국 본 연구에서 구한 최적조건은 성립한다고 볼 수 있어, 결과적으로 최적조건의 실제 회전수는 표준조건대비 약 8.5%(45 RPM)가 개선된 487 RPM이 얻어져 운전소음에 대한 성능개선이 기대된다.

5. 결 론

풍량 18.5 m³/min을 만족하는 주어진 크기의 PAC 실내기에서 양흡입 시로코팬의 최저회전수를 얻고자 다구찌 실험방법의 망소특성을 도입한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 이상적인 각 제어인자의 최적조건은 <G1, A2, B1, C2, D1, E3, F3>의 조합임을 알 수 있다.
- (2) 경계성과 조립성을 포함한 상품성을 고려하

면, 각 제어인자의 최적조건은 <G1, A2, B1, C1, D1, E3, F1>의 조합으로 결정되었으며, 이 조합에서도 표준모델대비 성능개선을 확인하였다.

(3) 최적조건으로 운전 시 PAC 실내기의 회전수는 표준모델대비 약 8.5%가 감소된 487 RPM이 얻어졌다.

(4) 제어인자 중에서 전면패널의 깊이가 회전수에 48.18%만큼 가장 큰 영향을 미치고 있다.

(5) 오차항에 의한 기여율이 44.79%로 크게 나타난 것은 본 연구에서 제어인자로 고려하지 않은 양흡입 시로코팬 자체와 풀링된 제어인자들이 포함된 영향으로 판단된다.

California, American Supplier Institute.

8. M. S. Phadke, 1989, "Quality Engineering Using Robust Design", AT&T Bell Laboratories.
9. W. Y. Fowlkes and C. M. Creveling, 1995, "Engineering Methods for Robust Product Design", Addition-Wesley Publishing Company.

References

1. J. K. Kim, 1995, "Study on the Development for Low Noise Package Air-Conditioner", Trans. of the KSME, Vol. 19, No. 10, pp. 2710-2719.
2. J. K. Kim, 1996, "Study on the Development for Low Noise Indoor and Outdoor Package Air-Conditioner", Trans. of the KSME (Part A), Vol. 20, No. 6, pp. 1913-1920.
3. J. K. Kim, 1999, "An Experimental Study on the Optimum Design of Sirocco Fan by Using Taguchi Method", Trans. of the KSME (Part B), Vol. 23, No. 6, pp. 761-768.
4. J. K. Kim and S. H. Oh, 2013, "Experimental Study on the Aerodynamic Performance of Double Inlet Sirocco Fan for a Package Air Conditioner", Journal of the KSPSE, Vol. 17, No. 1, pp. 52-57.
5. J. K. Kim and S. H. Oh, 2013, "Optimum Design of an Indoor Package Air Conditioner's Flow Path for the Installation of a Double-Inlet Sirocco Fan", Proceeding of the KSPSE, Spring Annual Meeting, June 13-14, pp. 29-32.
6. ANOVA-TM Users Manual, 1993, American Supplier Institute.
7. Case Studies & Tutorials, 1993, 11th Annual Taguchi Symposium, Nov. 2-4, Costa Mesa,