

## 제 9 회 단조 심포지엄



### Tripod Roller Gage Point 치수 불량률 감소를 위한 냉간 단조공정 최적화

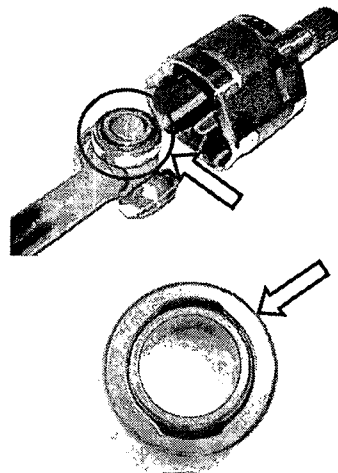
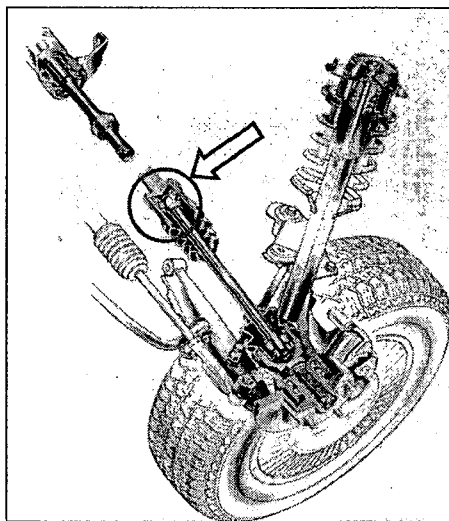
정재현\*, 윤태인\*, 문호근\*, 전만수\*\*

June 18, 2004

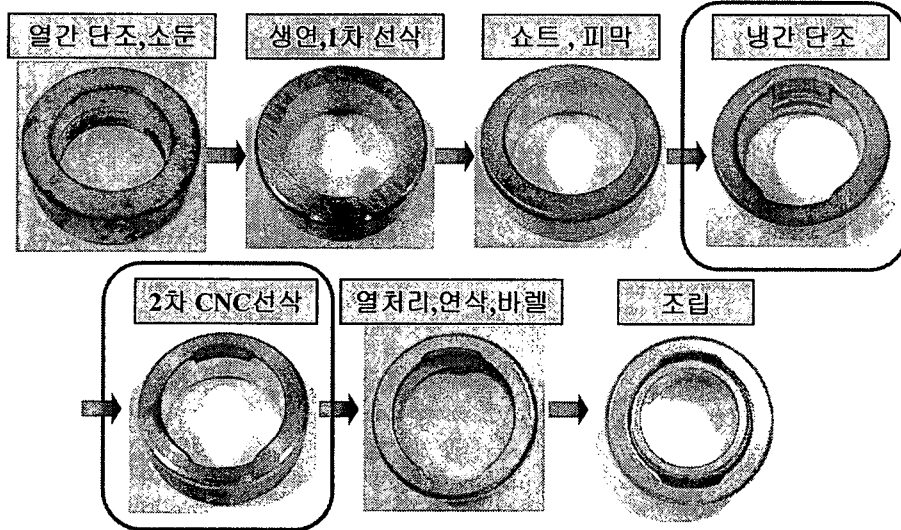
\* FAG 베어링 코리아(유) 연구소

\*\* 경상대학교 기계항공공학부

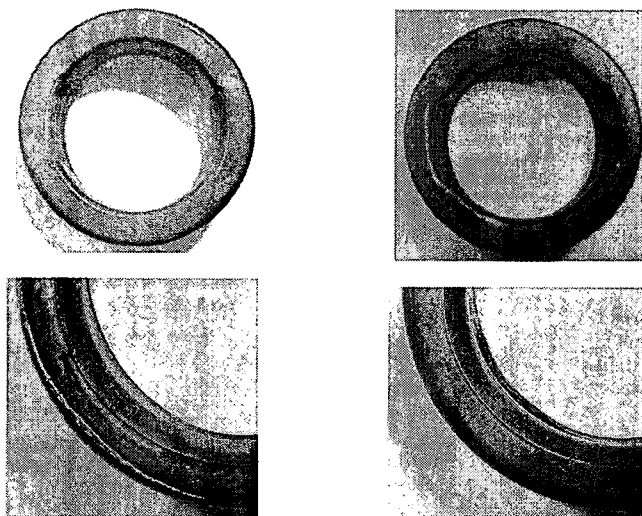
## C.V. Joint Tripod Roller



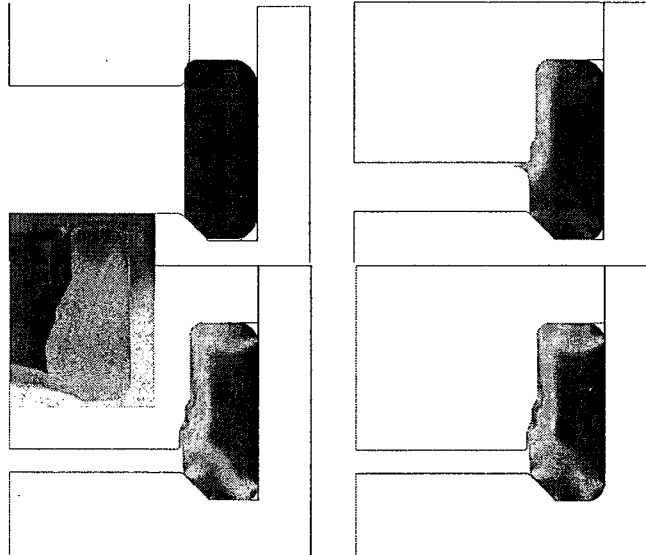
제조 공정도(변경 전 공정)



냉간 단조품 - 불량/개선



냉간 단조공정 해석 - 2차원

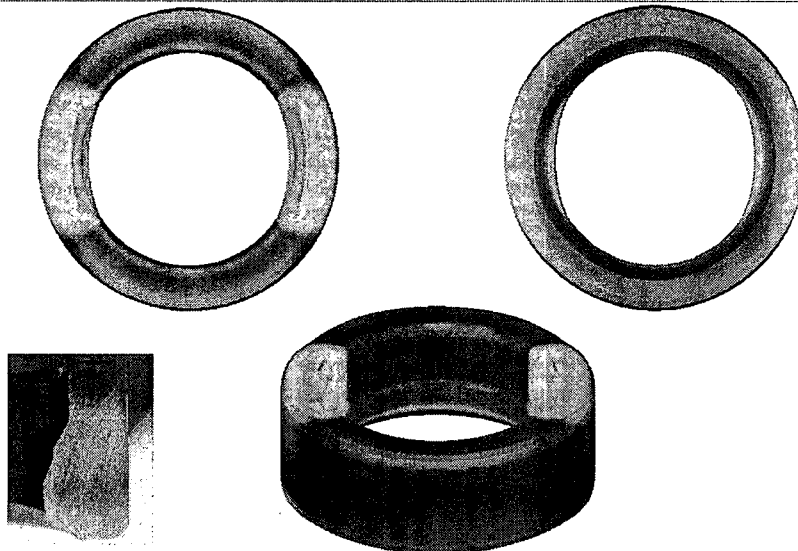


Page 5

FAG Bearings Korea Corporation

A Member of the Schaeffler Group

냉간 단조공정 해석 - 3차원



Page 6

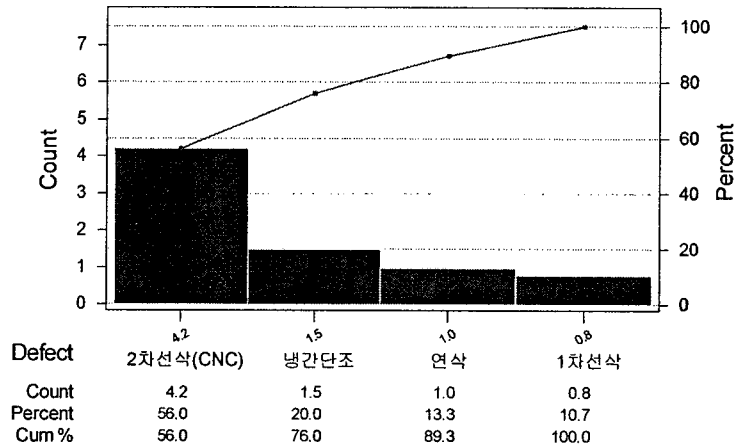
FAG Bearings Korea Corporation

A Member of the Schaeffler Group

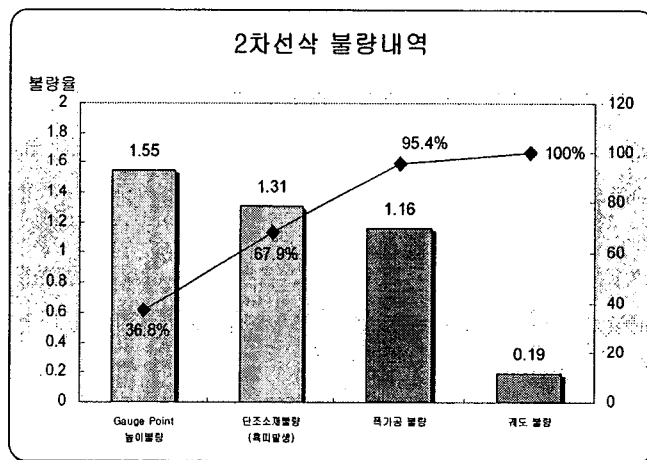
## 공정별 불량율 현황



■ 조사수량 : 518천개



## 2차 선삭 불량 요인 분석

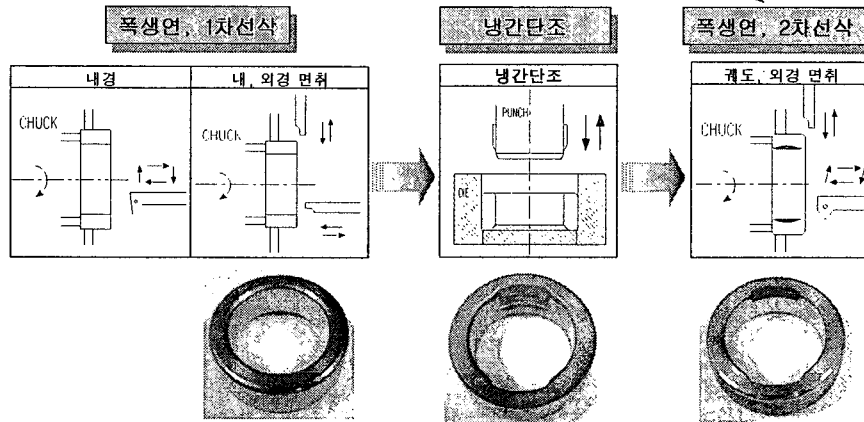


■ Gauge Point 치수산포로 인한 불량율이 전체의 67.9%를 차지.

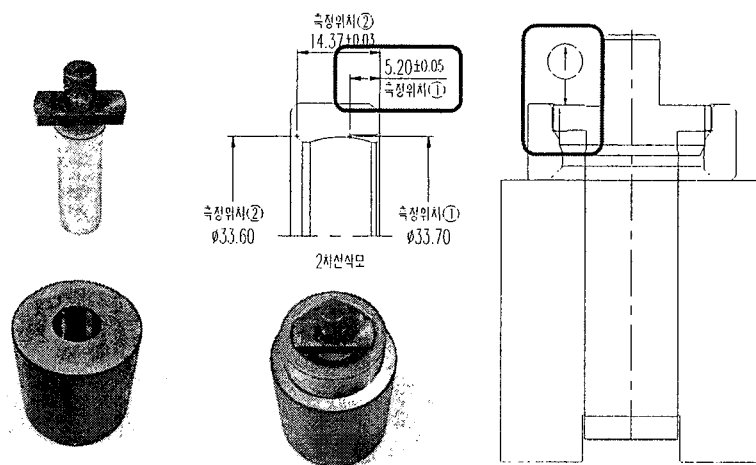
## 제조 공정도(변경 후 공정)



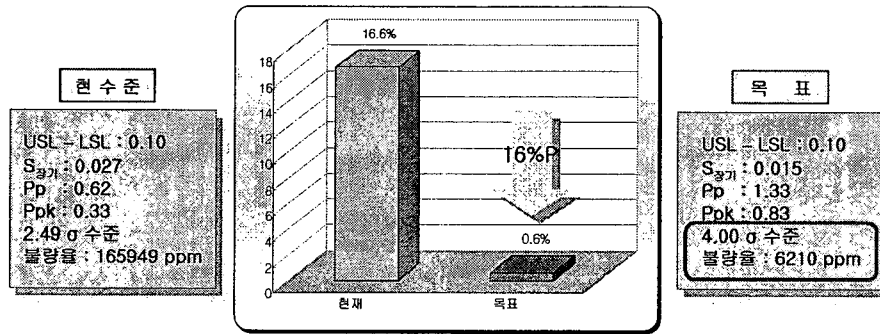
CNC 선삭 공정을  
폭생연, 유압라인 선삭으로 변경.



## Gauge point 치수 측정

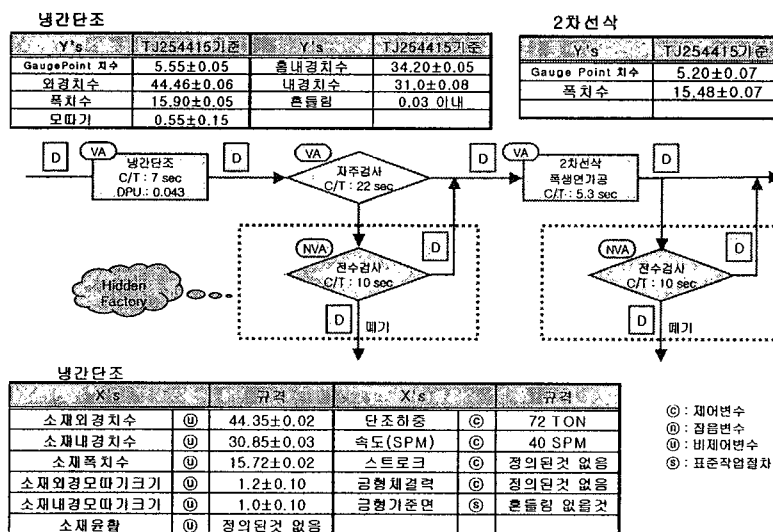


## 2차 선삭품의 치수불량율 감소

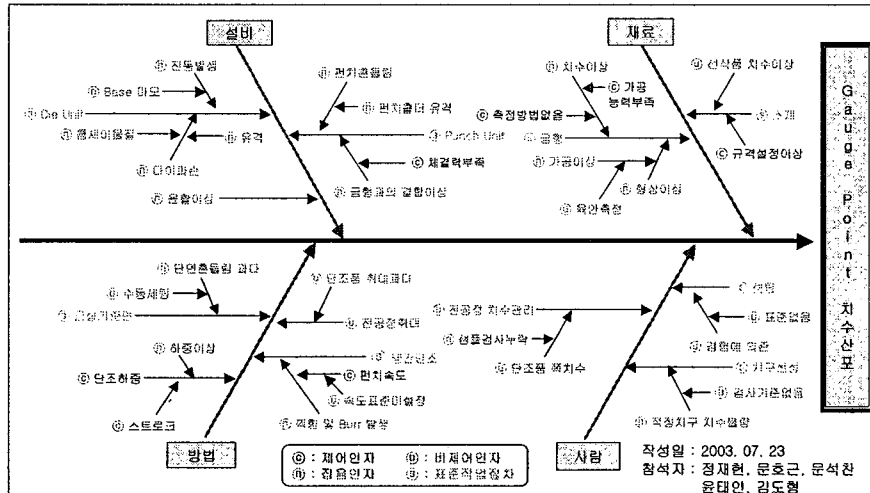


■ 치수 불량율 16%P(96.4%) 감소

## 프로세스 맵(Process map)



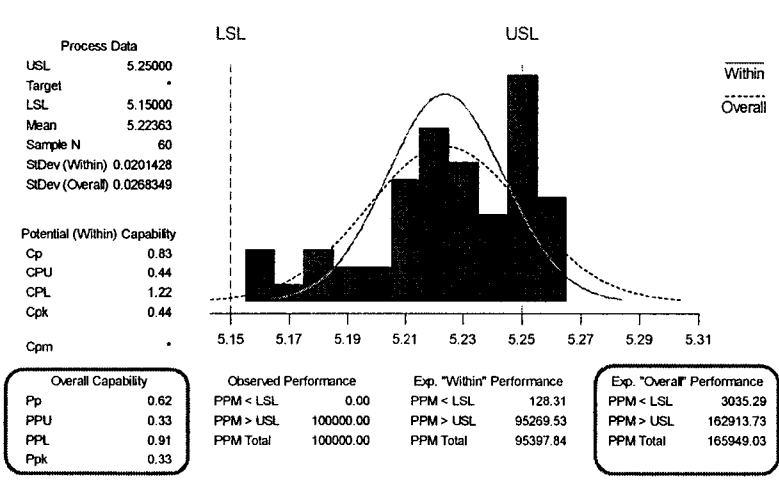
# 특성요인도(C&E Diagram)



# 개선전 공정능력 평가



## Process Capability Analysis for Gauge Point



## 냉간 단조조건 영향 분석



- 단조 조건 변화에 따른 Gauge Point의 치수변화 확인
- 실험조건의 적합성 여부 판단

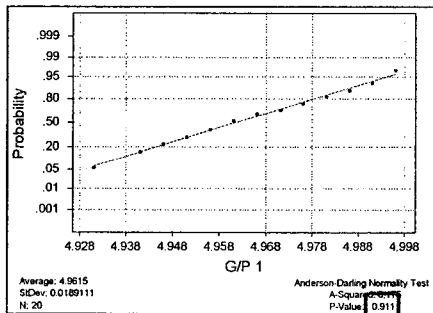
구분	조건 1	조건 2	No.	조건 1 G.P.	조건 2 G.P.	No.	조건 1 G.P.	조건 2 G.P.
Punch 치수 1	5.250 mm	5.277 mm	1	4.811	5.525	11	4.796	5.520
Punch 치수 2	5.260 mm	5.236 mm	2	4.801	5.530	12	4.816	5.530
Punch 각도 1	30°15'34"	29°51'59"	3	4.791	5.505	13	4.781	5.515
Punch 각도 2	29°59'10"	29°45'59"	4	4.771	5.515	14	4.796	5.505
단조하중	46.75 Ton	79.55 Ton	5	4.796	5.515	15	4.766	5.530
			6	4.791	5.515	16	4.796	5.510
			7	4.791	5.515	17	4.806	5.520
			8	4.816	5.535	18	4.776	5.525
			9	4.791	5.520	19	4.771	5.525
			10	4.801	5.535	20	4.806	5.530

## MiniTab을 이용한 정규성 검증

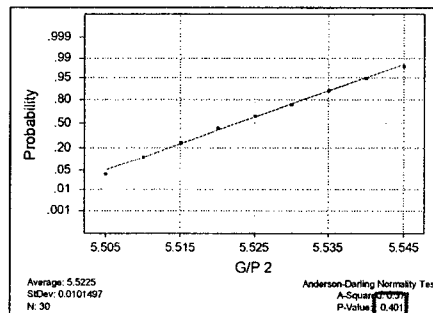


- 데이터가 이론적인 정규분포와의 일치 여부에 대한 결정

조건 1의 데이터



조건 2의 데이터



- 정규성 검증 결과 P-Value > 0.05 이므로 각 데이터는 정규성을 가진다.



**Test for Equal Variances**

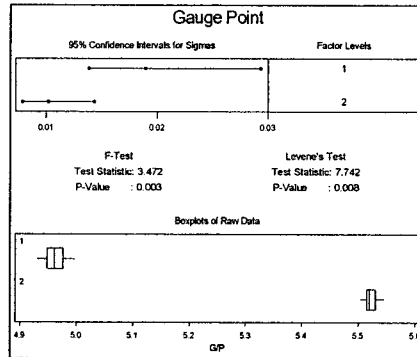
Response G/P  
 Factors 조건  
 ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower Levels	Sigma	Upper	N	Factor
1.39E-02	1.39E-02	2.93E-02	20	1
7.63E-03	1.01E-02	1.43E-02	30	2

F-Test (normal distribution)  
 Test Statistic: 3.472  
 P-Value : 0.003

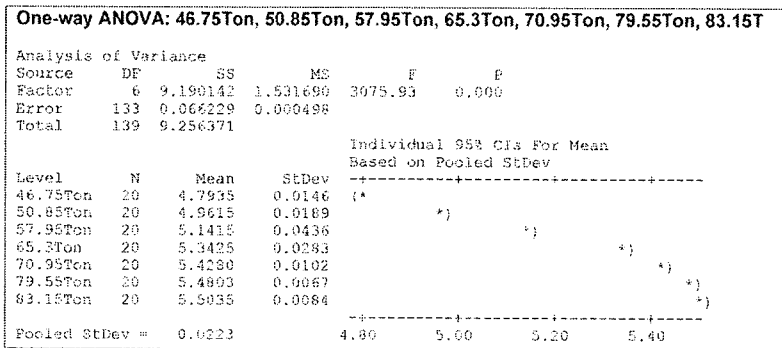
Levene's Test (any continuous distribution)  
 Test Statistic: 7.742  
 P-Value : 0.008



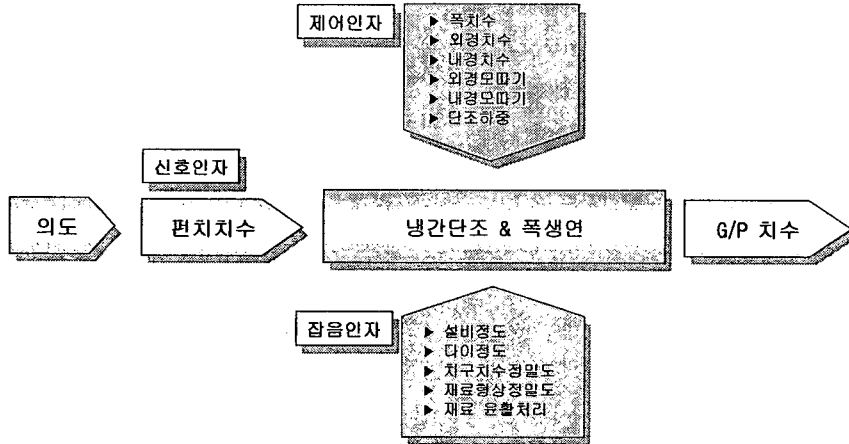
P < 0.05 으로 Ho :  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  를 기각  
 즉, 해당조건은 G/P 변화에 영향을 준다.

**1인자 분산 분석**

▣ 단조하중의 변화에 따른 G/P의 변화



▣ 단조하중의 변화가 전체 변동의 99.3%를 차지하고 있다



- 중요 입력 변수(X's) 선정 - CE Diagram, XY Matrix
- 폭치수와 외경치수의 교호작용이 고려됨
- 입력 변수 수준 결정

제어인자	수준 1	수준 2	수준 3
폭치수	15.72 mm	15.78 mm	
외경치수	44.30 mm	44.35 mm	44.40 mm
내경치수	30.75 mm	30.85 mm	30.95 mm
외경 모따기	C 1.0	C 1.2	C 1.4
내경 모따기	C 0.6	C 0.8	C 1.0
단조하중	60 ton	70 ton	80 ton

## 로버스트 실험 작업표



- ▣ 폭치수 인자(1개)와 소재 및 단조하중의 인자(5개)로 구성
- ▣ 편차치수는 고정함

번호(수준)	인자	수준1	수준2	수준3
1 A(2)	폭치수	15.72 mm	15.78 mm	
2 B(3)	외경치수	44.95 mm	44.30 mm	44.30 mm
3 C(3)	내경치수	30.75 mm	30.85 mm	30.95 mm
4 D(3)	외경모따기	C 1.2	C 1.0	C 1.4
5 E(3)	내경모따기	C 1.0	C 0.6	C 0.8
6 F(3)	하중	80 ton	60 ton	70 ton
7 G(3)	?			
8 H(3)	?			

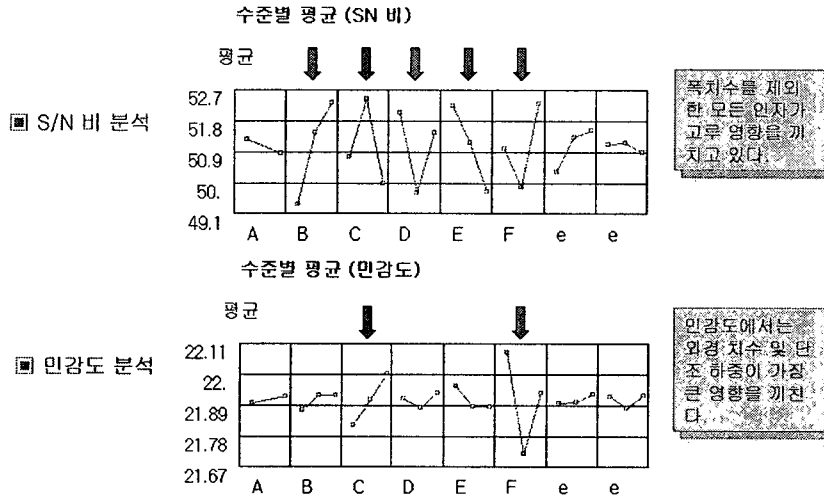
L18[2(1)3(7)] 중 2개의 인자는 오차인자로 표기

## 로버스트 실험 결과 데이터



시험 NO.	Punch NO.3 : 5.73 mm					
	샘플 1		샘플 2		샘플 3	
	대	소	대	소	대	소
1	5.16	5.14	5.14	5.12	5.13	5.12
2	4.89	4.87	4.91	4.91	4.89	4.87
3	5.17	5.16	5.13	5.13	5.17	5.15
4	4.93	4.91	4.95	4.94	4.93	4.93
5	5.08	5.05	5.08	5.06	5.09	5.07
6	5.27	5.27	5.29	5.27	5.27	5.25
7	5.07	5.07	5.03	5.07	5.07	5.06
8	5.21	5.21	5.23	5.22	5.21	5.21
9	5.03	5.00	5.00	4.98	5.00	5.00
10	4.89	4.89	4.92	4.90	4.94	4.93
11	5.13	5.12	5.13	5.12	5.11	5.11
12	5.20	5.19	5.23	5.16	5.23	5.21
13	5.13	5.09	5.13	5.11	5.14	5.12
14	5.06	5.04	5.04	5.03	5.05	5.03
15	5.18	5.17	5.17	5.17	5.18	5.15
16	5.06	5.04	5.05	5.03	5.04	5.03
17	5.21	5.20	5.21	5.20	5.19	5.18
18	5.09	5.08	5.07	5.05	5.09	5.06

# 로버스트 실험 결과분석



# 로버스트 실험 결과분석



분산분석(S/N 비, 민감도)

분산분석 표 (SN 비)

인자 번호	f (자유도)	S (변동)	V (분산)	Fo (F-값)	검정 기여율
A	1	0.81553	0.81553	0.5	-- 0.0 %
B	2	31.771	15.885	10.5	** 23.0 %
C	2	21.744	10.872	7.2	** 14.9 %
D	2	20.216	10.108	6.7	** 13.7 %
E	2	21.495	10.747	7.1	** 14.7 %
F	2	20.101	10.051	6.6	** 13.6 %
e(1)	6	9.0856	1.5143	-	- 20.0 %
(e)	(6)	(9.08559)	(1.51426)	-	- (20.0 %)
전체	17	125.23	-	-	- 100.0 %

인자번호	인자이름
A	특치수
B	외경치수
C	내경치수
D	외경모따기
E	내경모따기
F	하중
e	?
e	?

분산분석 표 (민감도)

인자 번호	f (자유도)	S (변동)	V (분산)	Fo (F-값)	검정 기여율
A	1	0.0035135	0.0035135	1.8	- 0.3 %
B	2	0.012385	0.0061925	3.2	- 1.5 %
C	2	0.10522	0.052608	27.4	*** 17.5 %
D	2	0.0098045	0.0049022	2.6	- 1.0 %
E	2	0.022315	0.011157	5.8	** 3.2 %
F	2	0.41327	0.20663	107.7	*** 70.8 %
e(1)	6	0.01151	0.0019184	-	- 5.6 %
(e)	(6)	(0.0115102)	(0.00191837)	-	- (5.6 %)
전체	17	0.57801	-	-	- 100.0 %

신뢰도 판단기준  
 "\*\*\*\*" - 신뢰수준 95%이상  
 "\*\*\*" - 신뢰수준 90~95%  
 "\*\*" - 신뢰수준 80~90%  
 "플" - 신뢰수준이 매우 낮음

# S/N비의 최적화



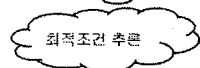
## ■ 최적 조건 조합에서의 S/N 비 예측

### 분산분석 표 (SN 비)

인자 번호	f (자유도)	S (변동)	V (분산)	Fo (F-값)	검정 기여율
A	1	0.81553	0.81553	0.5	-
B	2	31.771	15.885	10.5	**
C	2	21.744	10.872	7.2	**
D	2	20.216	10.108	6.7	**
E	2	21.495	10.747	7.1	**
F	2	20.101	10.051	6.6	**
e(1)	6	9.0856	1.5143	-	-
(e)	(6)	(9.0856)	(1.51426)	-	-
전체	17	125.23	-	-	100.0%

### 최적 조건의 추론 (SN 비)

인자	수준
(A) 폭치수	(1) 15.72 mm
(B) 외경치수	(3) 44.30 mm
(C) 내경치수	(2) 30.85 mm
(D) 외경모따기	(1) C 1.2
(E) 내경모따기	(1) C 1.0
(F) 하중	(3) 70 ton



기존 공정/실험의 SN 비 [db]  
53.334

추정된 최적 조건의 예측된 SN 비 [db]

모든 공정/실험의 SN 비 [db]  
51.216

57.918 (+/- 2.46) (기존 공정/실험 보다 4.584[db] 증가와 41.1%의 산포 감소)

최적조건에서의 표준편차 예측치 계산

$$0.0267 \div \frac{0.0267}{41.1\%} = 0.0157$$

# 예측된 최적조건에 대한 확인실험



- 중요 인자의 최적 조합 수준에서 예측된 결과를 실험으로 확증
- 영향력이 미약한 인자는 가장 경제적인 수준 선정

기본 공정 데이터

No.	Gauge Point	No.	Gauge Point
1	5.250	16	5.211
2	5.250	17	5.191
3	5.250	18	5.201
4	5.260	19	5.231
5	5.245	20	5.241
6	5.250	21	5.261
7	5.250	22	5.156
8	5.235	23	5.216
9	5.215	24	5.166
10	5.225	25	5.221
11	5.250	26	5.211
12	5.230	27	5.211
13	5.250	28	5.181
14	5.235	29	5.181
15	5.255	30	5.191

변경 공정 데이터

No.	Gauge Point	No.	Gauge Point
1	5.196	16	5.186
2	5.186	17	5.156
3	5.201	18	5.201
4	5.181	19	5.170
5	5.201	20	5.186
6	5.206	21	5.181
7	5.201	22	5.216
8	5.170	23	5.201
9	5.181	24	5.191
10	5.206	25	5.196
11	5.181	26	5.201
12	5.201	27	5.196
13	5.196	28	5.170
14	5.201	29	5.191
15	5.156	30	5.181

# 분산통계 검증

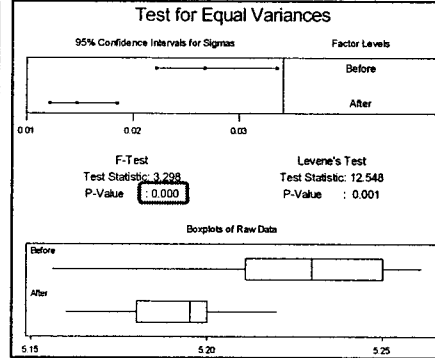


▣ 개선한 결과가 유의한지 않은지 두 모집단의 변동(Variation)의 유의성을 검증

## 검증결과

**Test for Equal Variances 개선전 VS 개선후**  
 ConfLvl 95.0000  
 Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor
2.21E-02	2.67E-02	3.36E-02	60	개선전
1.22E-02	1.47E-02	1.85E-02	60	개선후



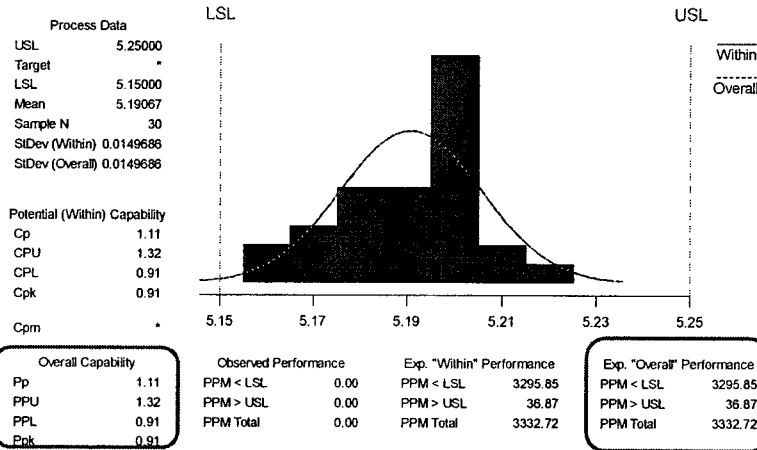
## 결론

산출된 P값이 0.000 즉 0.05보다 작으므로 대립가설 채택. 따라서 개선전후 산포는 서로 차이가 있다.  
 (귀무가설  $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ , 대립가설  $H_a: \sigma_1 \neq \sigma_2$ )

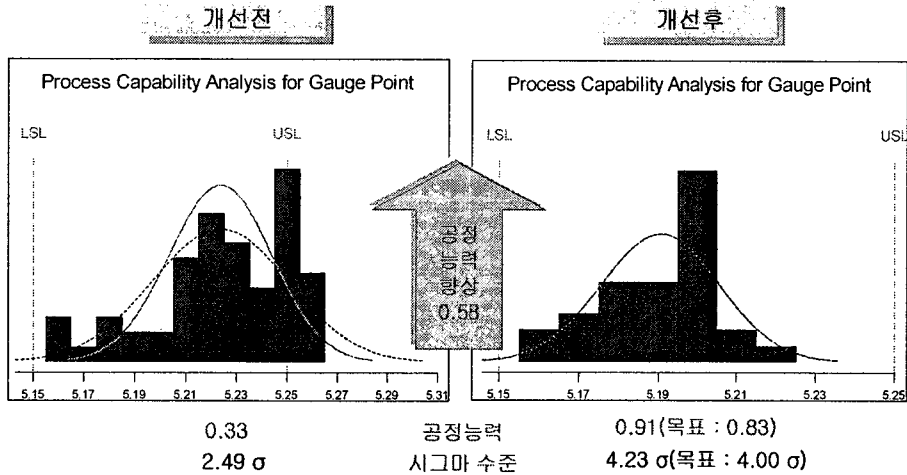
# 개선후 공정능력 평가



## Process Capability Analysis for Gauge Point



## 개선전후의 공정능력 비교



## 결 론



- AFDEX-2D/3D를 이용한 냉간 단조공정 유한요소해석**
  - 냉간 단조품 불량 개선
  - 금형설계(편치, 하형 금형)
  
- 6시그마 기법 적용**
  - 단조 후 제품 치수 안정화로 후 공정 치수 산포 감소
  - 단조 공정 규격화로 작업자, 세팅 간의 치수 산포 감소 및 불량 감소
  - 최적 냉간 단조조건 설정