



# 콘넥터 설계 기술 참고서

DESIGN

GUIDE

콘넥터 스프링 접촉 및 접속 부품 설계에 있어 올바른 재료를 선택하는 법

BRUSHWELLMAN  
ENGINEERED MATERIALS

한국총판 (주) 도 일 코 리 아

본서의 저작권은 Brush Wellman Inc., U.S.A 에게 있습니다. 상업  
적 목적으로 본서의 일부 또는 전부를 어떤 형태로든지 사전 서면 허  
락없이 복제 사용하는 것을 금합니다. 본서에 관한 한국 연락처는  
(주)도일코리아 (전화 02-514-3501) 입니다.

# 목 차

# TABLE OF CONTENTS

제1장 설계절차 .....	11	3.6 환경적 측면 .....	28
제2장 업계의 동향.....	15	3.6.1 작동환경 등급 .....	28
2.1 콘넥터 요구조건의 결정요소.....	15	3.6.1.1 세부등급 .....	28
2.1.1 기술적 동향 .....	15	제4장 재료의 물성 .....	31
2.1.2 시장 동향 .....	16	4.1 동합금의 야금학적 특성.....	31
제3장 콘넥터의 요구조건.....	19	4.1.1 화학조성과 비중 .....	31
3.1 기계적 측면 .....	19	4.1.2 강화 메카니즘 .....	31
3.1.1 접촉이론 .....	19	4.1.2.1 고용경화 (Solid Solution Hardening).....	31
3.1.2 접촉력 (Contact Force) .....	19	4.1.2.2 가공경화 (Work Hardening) -	
3.1.3 접촉면의 형상과 크기 (Contact Geometry) .....	20	냉간가공(Cold Work) .....	31
3.1.4 삽입력과 인출력 (Insertion And Extraction Forces).....	20	4.1.2.3 시효/석출 경화 (Age/Precipitation Hardening) .....	32
3.2 전기적 측면 .....	21	4.1.3 템퍼 표시 (ASTM B601) .....	33
3.2.1 콘넥터 저항 .....	21	4.2 기계적 성질 .....	34
3.2.1.1 접촉 저항 (Contact Resistance) .....	21	4.2.1 기초 요소 .....	34
3.2.1.2 몸체 저항 (Bulk Resistance) .....	21	4.2.1.1 응력 (Normal Stress) .....	34
3.2.2 전력의 성질 .....	21	4.2.1.2 변형률 (Normal Strain).....	35
3.2.3 신호의 성질 .....	22	4.2.1.3 탄성계수 (Modulus Of Elasticity) .....	35
3.3 시스템적인 측면 .....	22	4.2.1.4 비례한도 (Proportional Limit) .....	35
3.3.1 신뢰성 .....	22	4.2.1.5 최대인장강도 (Ultimate Tensile Strength) .....	36
3.3.2 제조비용 .....	22	4.2.1.6 탄성한도 (Elastic Limit) .....	36
3.3.3 패키지의 크기제한 (Package Envelope) .....	23	4.2.1.7 시컨트계수 (Secant Modulus) .....	36
3.3.4 규격 및 사양조건 .....	23	4.2.1.8 항복강도 (Yield Strength) .....	36
3.4 재료적 측면 .....	23	4.2.1.9 포아송비 (Poisson's Ratio) .....	36
3.4.1 기저 금속 .....	23	4.2.1.10 굽힘응력 (Bending Stress).....	37
3.4.2 콘넥터 접점 재료 .....	23	4.2.1.11 항복 (Yielding) .....	38
3.4.2.1 금 .....	23	4.2.1.12 경도 (Hardness) .....	40
3.4.2.2 팔라듐과 팔라듐합금 .....	23	4.2.2 2차 요소 (시간과 관계되는 것) .....	41
3.4.2.3 주석과 주석합금 .....	24	4.2.2.1 응력이완 (Stress Relaxation) .....	41
3.4.2.4 니켈 .....	24	4.2.2.2 피로 (Fatigue) .....	45
3.4.2.5 도금 가공 .....	24	4.2.3 3차 요소 (물성간 상호관계) .....	47
3.4.2.6 도금 공정 .....	24	4.2.3.1 직각 스프링력 (Normal Force) .....	47
3.4.3 하우징(Housing) 재료 .....	25	4.2.3.2 영구변위 (Permanent Set) .....	50
3.5 접합공정 측면 .....	26	4.2.4 환경 요소 .....	51
3.5.1 솔더(Solder) 공정 .....	26	4.3 전기 및 열적 특성.....	52
3.5.2 기계적 부착 .....	26	4.3.1 열팽창계수	
3.5.2.1 압입핀 (Press-Fit) .....	26	(Coefficient Of Thermal Expansion: CTE) .....	52
3.5.2.2 절연재 파손 콘넥터 (IDC : Insulation Displacement Connector) .....	26	4.3.2 전기전도율 (Electrical Conductivity) .....	52
3.5.2.3 크림프(Crimps) .....	27	4.3.3 열전도율 (Thermal Conductivity) .....	52
3.5.2.4 압축접촉(Compression Contacts) 콘넥터 .....	27	4.3.4 온도 상승 (Temperature Rise).....	53
3.5.3 제공정 양립성 (Compatibility) .....	27	4.3.5 전력 특성 (Power Properties) .....	54
		4.3.6 신호 특성 (Signal Properties) .....	54
		제5장 설계와 분석 (Design & Analysis) .....	57

5.1 설계와 분석 방법	57
5.1.1 CAD 설계	57
5.1.2 제조 편의를 고려한 설계	57
5.1.3 공차 분석	58
5.1.4 치수 공차	59
5.1.4.1 스트립재 (Heat Treatable, Mill Hardened 스트립재에 한함)	59
5.1.4.2 선재	59
5.1.5 구조 해석	59
5.1.5.1 부하	60
5.1.5.2 지지조건	60
5.1.5.3 단순화와 가정	61
5.1.5.4 흔히 보는 단면의 성질	61
5.1.5.5 보(Beam)의 최대응력과 힘 공식	62
5.1.6 유한요소분석법 (Finite Element Analysis: FEA)	62
5.1.6.1 유한요소분석법의 위험성	65
5.1.7 전기분석 (Electrical Analysis)	65
5.2 설계 검토	65
5.2.1 Brush Wellman의 서비스 안내	65
<b>제6장 원형제작 및 확인 (Prototype &amp; Verification)</b>	69
6.1 방법	69
6.1.1 EDM 방전기계가공법 (Electrical Discharge Machining)	69
6.1.2 광화학적 에칭가공 (Photo Chemical Machining)	70
6.1.3 삼차원가공 (Stereolithography)	70
6.2 설계 평가	71
6.3 시험방법과 데이터	71
<b>제7장 품질인증 (Qualification)</b>	75
7.1 전자산업	75
7.1.1 일반 요구조건	75
7.1.2 환경시험	75
7.1.2.1 반복적 온도 변화시험 (Thermal Cycling)	76
7.1.2.2 열에의한 열화시험 (Thermal Aging)	76
7.1.2.3 가스시험 (Gaseous Testing)	77
7.1.2.4 온도와 습도시험	78
7.1.2.5 분진 민감도시험 (Dust Sensitivity Test)	79
7.1.2.6 진동과 충격시험	79
7.2 자동차산업 (미국 자동차)	80
7.3 군수산업 (MIL-STG-1344A)	80
<b>제8장 생산</b>	83
8.1 제조기술면에서 고려되어야 할 사항	83
8.1.1 성형성 (Formability)	83
8.1.1.1 종방향성형과 횡방향성형	84
8.1.2 열처리 (Heat Treating)	85
8.1.2.1 스템핑 후 열처리	87
8.1.2.2 수요가열처리(Heat Treatable)재와 공장열처리(Mill Hardened)재	88

8.1.3 형상 효과 (Shape Effects)	88
8.1.4 기타 영향	90
8.1.5 세정 (Cleaning)	90
8.1.6 납땜 (Soldering)	91
8.1.6.1 납땜성 (Solderability)	91
8.1.7 기계가공성 (Machinability)	91
8.1.8 봉재(Rod)와 선재(Wire)	92
8.1.8.1 봉재의 성질	93
8.1.8.2 선재의 성질	93
8.1.8.3 선재 대 스트립재의 비교	93
8.1.8.4 선정 요령	93
8.1.9 비용	94
<b>8.2 품질활동</b>	94
8.2.1 품질에 대한 철학	95
8.2.2 품질 선서	95
<b>8.3 SPC (Statistical Process Control: 통계적 공정 관리)</b>	96
8.3.1 공차내 분포도 (Process Potential, Cp)	96
8.3.2 공차내 생산능 지수 (Process Capability Index, Cpk)	97
<b>8.4 지속적 개선관리 체제</b>	97
8.4.1 ISO 9002 인증	97
8.4.2 ISO/IEC Guide 25-1990	97
<b>8.5 품질 활동 증거</b>	97
<b>제9장 응용 (Applications)</b>	101
9.1 설계 실습	101
9.1.1 기계적 조건	101
9.1.1.1 접촉력 (Contact Force)	101
9.1.1.2 설계 응력 대 항복 강도	102
9.1.2 온도-전기-환경 조건	103
9.1.2.1 온도 상승	103
9.1.2.2 응력 이완	104
9.1.3 제조조건	104
9.1.3.1 성형성(Formability)	104
9.1.3.2 제조원가	105
9.2 소형화 (Miniaturization)	105
<b>부 록</b>	111
(A) 베릴륨동 합금의 종류와 공급형태	111
(A.1) 고강도 합금 (High Strength Alloys)	111
(A.2) 고전도 합금 (High Conductivity Alloys)	111
(A.3) 니켈베릴륨 (Nickel Beryllium)	112
(A.4) 공급방법	112
(A.5) 베릴륨 함유 금속의 안전취급	112
(B) 외팔보(Cantilever Beam)의 힘 계산공식	113
(C) 참고 도서 목록	114
(D) 주요단위 환산표	115
(E) in-mm 환산조건표	115



# 표 목록

## LIST OF TABLES

표 1 : 작동 환경	27	표 14 : 스트립(Strip)의 두께공차	59
표 2 : 설계 요구조건 대 재료의 물성	31	표 15 : 선재의 직경공차	59
표 3 : 동합금의 화학 조성과 밀도	31	표 16 : 설계평가 내용과 대상	71
표 4 : 템퍼 (Temper) 등급표	33	표 17 : Alloy 25 1/2HT의 인장시험 데이터	72
표 5 : 동합금 스트립(Strip)재의 기계적 성질	39	표 18 : 시험종류와 관계규격	72
표 6 : 경도 종합표 (베릴륨동)	40	표 19 : 동합금의 템퍼별 성형성 일람표	85
표 7 : 응력이완 종합비교표	43	표 20 : 수요가열처리(Heat Treatable)재와 공장열처리(Mill Hardened)재의 비교	88
표 8 : 응력이완 계산용 계수표	44	표 21 : 동합금의 기계가공성 등급표	92
표 9 : 피로강도 종합표	46	표 22 : 봉재의 기계적 성질 (베릴륨동)	92
표 10 : 직각력과 관계있는 것	48	표 23 : 선재의 기계적 성질 (베릴륨동, 인청동, 양백동)	93
표 11 : 변형경화지수 (베릴륨동)	49	표 24 : 소형화(Miniaturization) 사례	106
표 12 : 동합금의 열팽창계수	52		
표 13 : 동합금의 전기전도율과 열전도율	53		

# 차트 목록

## LIST OF CHARTS

차트 1 : 주요 동합금의 탄성계수 비교	102	차트 4 : 주요 동합금의 응력이완 저항성 비교	104
차트 2 : 주요 동합금의 최대 항복강도 비교	102	차트 5a : 주요 동합금의 종방향 성형성 비교	105
차트 3 : 주요 동합금의 전기 전도도 비교	103	차트 5b : 주요 동합금의 횡방향 성형성 비교	105

# 그림목록

## LIST OF FIGURES

그림 1 : 접촉이론 .....	19	그림 24b: 인성의 근사치 계산법 .....	51
그림 2 : 접촉방식의 기하학적 분류 (Contact Geometry) .....	20	그림 25 : 공차 분석 .....	58
그림 3 : 접촉저항 .....	21	그림 26 : 두께공차로 인한 접촉력의 과소과다율 .....	58
그림 4 : 접촉저항 대 접촉력 .....	21	그림 27 : 지지조건 (Support Conditions) .....	60
그림 5 : 클래딩 공정도 (Cladding Process) .....	25	그림 28 : 흔히 보는 단면의 치수 .....	61
그림 6 : 절연재 파손 콘넥터 (Insulation Displacement Connector) .....	27	그림 29 : 최대 응력과 휨(Deflection) 공식 .....	61
그림 7 : 강화 메카니즘 .....	32	그림 30a: 유한요소모형 (Finite Element Model) .....	63
그림 8 : 단축(Uniaxial) 인장시험기 .....	34	그림 30b: 유한요소모형 .....	63
그림 9 : 인장시험에서 보는 것 .....	35	그림 31 : 유한요소분석 모형의 보기 .....	64
그림 10 : 응력-변형률 곡선 .....	35	그림 32 : 방전가공(Electrical Discharge Machining) 개념도 .....	69
그림 11 : 포아송비 (Poisson's Ratio) .....	36	그림 33 : 응력시험 평가 흐름도 .....	76
그림 12 : 보(Beam)의 굽힘 .....	37	그림 34 : 기공부식 (Pore Corrosion) .....	77
그림 13 : 최대 표면응력 .....	37	그림 35 : 후레팅부식 (Fretting Corrosion) .....	78
그림 14 : 응력이완 비교에 쓰이는 요소 .....	41	그림 36 : V블록 성형성 시험다이 .....	83
그림 15 : 응력이완과 직각스프링력 .....	41	그림 37 : 성형성과 폭 관계 .....	84
그림 16 : 응력이완 시험기구 .....	42	그림 38 : 굽힘 방향 .....	84
그림 17 : 응력이완 곡선 .....	42	그림 39 : 시효경화 온도와 시간이 인장 강도에 주는 영향 (Alloy 25) .....	86
그림 18 : 피로시험 기준 .....	45	그림 40 : 시효경화로 인한 부피수축 .....	87
그림 19 : 피로곡선 .....	45	그림 41 : 2단계 굽힘 .....	87
그림 20 : 외팔보(Cantilever Beam)의 끝에 부하가 걸린 모양 .....	47	그림 42 : 수요가열처리(Heat Treated)재와 공장열처리 (Mill Hardened)재의 접촉자로서의 사용례 .....	88
그림 21a: 마찰력 .....	47	그림 43 : 성형된 스트립의 되퍼짐 현상(Springback) .....	89
그림 21b: 삽입력과 인출력 (Insertion And Extraction Forces) .....	48	그림 44 : Cp와 Cpk의 기초 개념 .....	96
그림 22 : 변형경화 (Strain Hardening) .....	49	그림 45 : 설계 흐름도 .....	101
그림 23 : 영구변위 (Permanent Set) .....	50	그림 46 : 주요 동합금별 응력이완에 대한 온도의 영향 .....	104
그림 24a: 인성(Toughness)의 정의 .....	51	그림 47 : 소형화 (Miniaturization) .....	107



책머리에

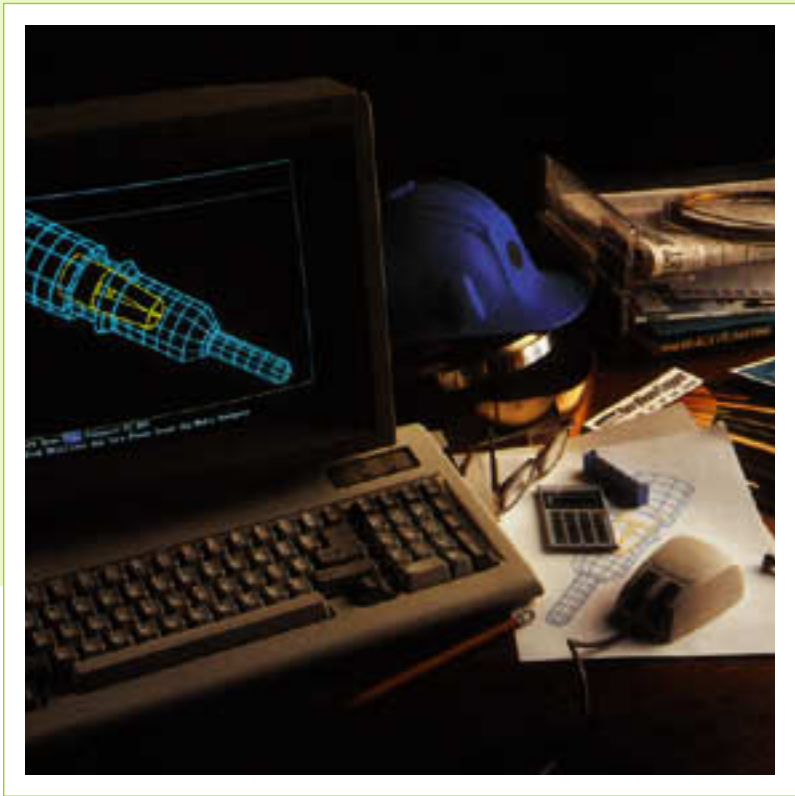
# 책머리에

접점 스프링 재료는 강도는 물론 응력이완 저항성, 전도성, 성형성 (Formability), 내식성, 투자율 등의 다양한 성질이 복합적으로 연관되어 있다. 새로운 접점스프링을 설계함에 있어 이러한 복잡한 요구사항들을 충족시키기 위해서는 재료의 성능을 좌우하는 제물성과 그들간의 상호관계를 필히 숙지하고 있어야 하겠다. 이는 설계자가 사용 가능한 재료와 그에 대한 구체적인 기술적 성질, 제조법, 품질 및 제조원가 우위성 등의 특징을 파악하고 있어야 함을 뜻한다.

베릴륨 함유 합금의 전문 생산 공급자인 Brush Wellman社は 스트립, 봉재, 선재, 판재, 형재, 주물용 잉곳 및 마스터합금 등 모든 제품을 생산하고 있다. Brush Wellman社は 콘넥터 설계자들에게 편의를 드릴 수 있다는 생각하에 본 기술참고서를 발간하였으며, 다음 사항에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다:

- 만들고자 하는 콘넥터의 성능에 보다 적합한 금속재료의 판단
- 성능과 제조 생산성을 고려하는 Temper의 선정

본 참고서는 표3에 보인 일반적인 콘넥터 재료들에 대해서 제조회사가 공표한 물성 및 Brush Wellman社가 시험하여 얻은 제반 물성을 싣고 있다. 파란색으로 표시된 것은 Brush Wellman社의 표준제품이며 그 밖의 특별 사양의 제품도 고객의 주문에 따라 공급된다.





# 제1장 설계절차

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인



품 질 인 증



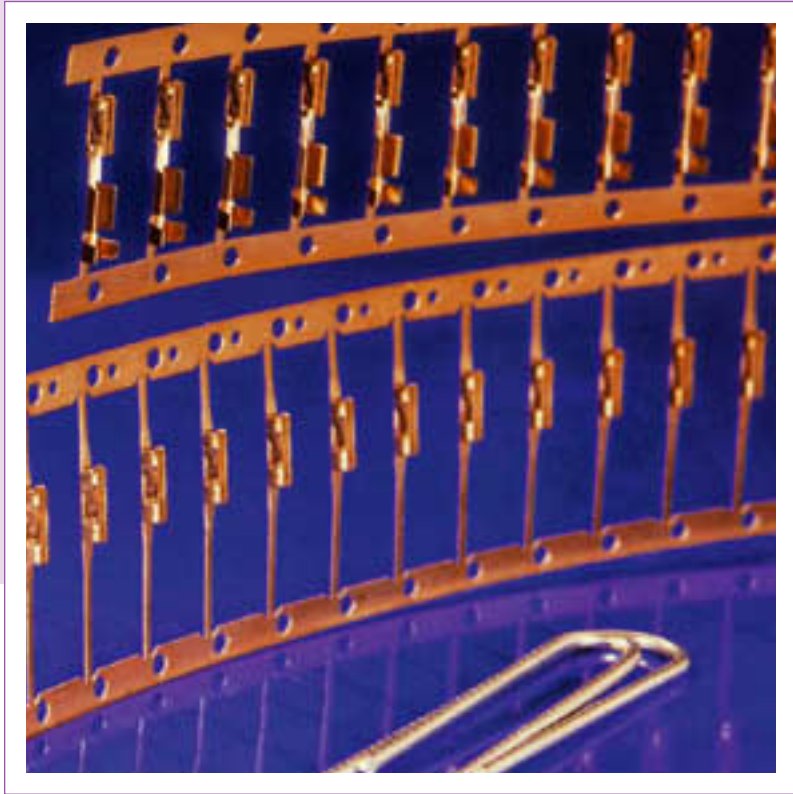
생 산



## 제1장 설계절차

설계절차는 여러 단계를 거친다. 산업의 동향이 콘넥터의 요구조건들을 결정지어 주며, 이들 요구조건으로부터 중요한 설계요소를 선정, 필요한 재료의 품질등급을 확인하여야 한다. 그 후, 여러대상 재료중 성능, 제조, 비용 측면에서 가장 적절한 재료를 정한다. 세부 설계와 분석 후에는 다시 설계검토를 하여 모든 요구조건이 충족되었는지 확인한다. 원형제작으로 설계를 최종 확인한다. 다음은 양산에 투입할 수 있는 부품이 정말 되었는지 성능인증(Qualification)절차에 들어간다. 성능인증 절차란 그 부품의 성능이 장기적으로 사용해도 괜찮은지를 시험해 보는 단기 모의시험을 말한다. 여기에 합격되면 그 부품은 양산에 도전할 태세가 된 것이다. 옆에 보인 설계 절차도는 콘넥터 설계 절차를 설명하고 있다. 이 책에서 우리는 설계 요소 각각에 대하여, 그리고 콘넥터 성능에 영향을 주는 재료의 물성 하나하나에 대하여 검토할 것이다.

제9장 응용에서는 옆에 보인 세부설계 절차도에 따른 설계의 실례를 들기로 한다.



## 제2장 업계의 동향

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인



품 질 인 증



생 산

## 제2장 업계의 동향

항공, 자동차, 컴퓨터, 전자, 의료기기, 통신설비 분야에 있어 재료의 선택은 오늘날 콘넥터를 설계하는데 가장 중요한 사항으로 대두되었다. 이들 업계로부터 콘넥터에 대한 많은 새로운 요구 조건들이 나오고 있기 때문이다.

### 2.1 콘넥터 요구조건의 결정요소

업계의 동향은 소형화, 많은 핀수, 빠른 속도, 높은 작동온도 등을 요구하는 기술적 동향과 낮은 가격, 짧은 개발 주기를 요구하는 시장 동향으로 구분된다.

#### 2.1.1 기술적 동향

- **소형화** - 패키지의 부피가 감소됨에 따라 중심선간 간격이 더욱 좁아지고 허용공차 범위가 작아지고 얇게 만드는 것이 요구되고 있다. 결국 더 작은 접촉자와 얇은 스트립 재료를 요구한다.
- **약한 힘** - 휘는 정도가 제한되어 접촉되는 힘이 약해지는 반면 동등한 성능과 신뢰도를 요구한다.
- **많은 핀수** - 인치당 100개 이상의 핀수와 콘넥터당 1,000개 이상의 핀수가 요구되기도 한다.
- **빠른 작동속도** - 빠른 속도의 작동을 위해 콘넥터는 신호통로의 길이를 최소화하여야 하고 임피던스(Impedance)도 거기에 맞춰야 한다.
- **높은 작동온도** - 전자 부품의 사용 범위가 넓어짐에 따라 감당해야 하는 전력이 커지고 작동환경이 가혹해 지므로 높은 작동온도에 견딜 수 있도록 요구한다.

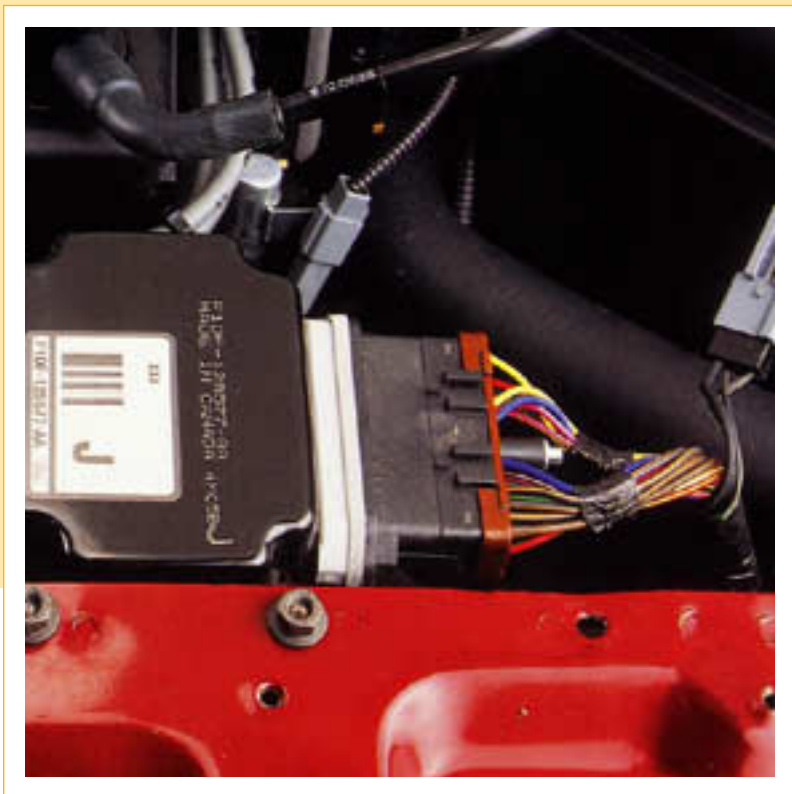


- **표면장착 납땜(Surface Mount Soldering)** - 콘넥터는 기판위에 부착하는 것이 증가함에 따라 납땜에 적합한 많은 기계적 지지물이 있어야 한다.
- **덜 보수적인 설계** - FEA(Finite Element Modeling Analysis) 분석법을 통한 가상 설계가 가능해짐으로써 안전율이 낮아 졌다.

### 2.1.2. 시장 동향

- **짧은 개발주기** - 짧아진 장비의 수명과 신제품은 개발 주기를 짧게 하고 있다.
- **낮은 가격** - 기업간 경쟁으로 최종 제품 및 콘넥터 부품의 가격이 낮아지고 있다.
- **내구성** - 콘넥터중에는 그 수명 기간중 10,000번의 삽입을 요구하는 것도 있다.

많은 콘넥터에 있어 이러한 다양한 성능, 제조성, 품질, 원가요소 등이 모두 접촉 스프링재의 재료로 어떤 것을 사용했는가에 달려있다는 것은 잘 입증되어 있는 바이다. 결국 콘넥터 설계의 성패는 설계자가 얼마나 성능, 제조성, 비용면에서 가장 적합한 접촉자 재료를 선택할 수 있는가 하는 역량에 달려 있다고 하겠다.



## 제3장 콘넥터의 요구조건

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인

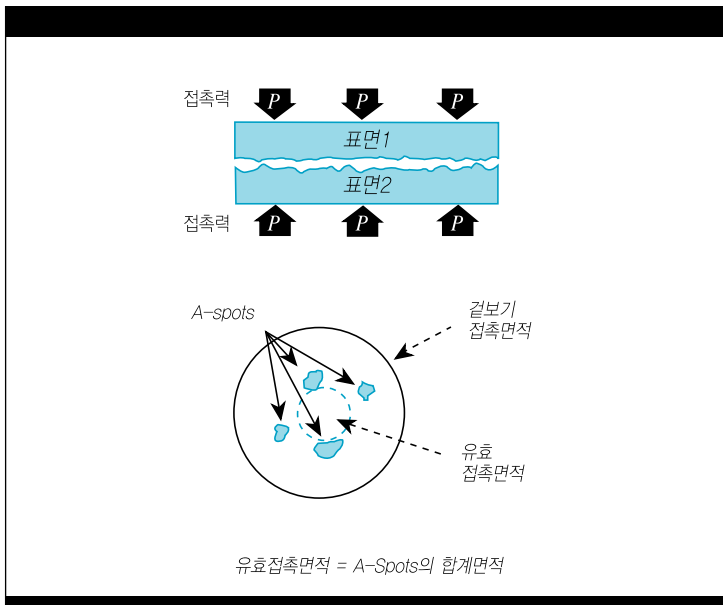


품 질 인 증



생 산

그림 1. 접촉이론



## 제3장 콘넥터의 요구조건

콘넥터는 전자 시스템에서 신호의 왜곡(Signal Distortion)이나 전력 손실없이 두가지 부품을 기계적, 전기적으로 연결해주어야 한다. 주어진 분야의 요구조건에 따라 성능 또는 제조적인 측면중 어느 쪽이 먼저 우선 고려되기도 하지만 각 특성들이 전체적으로 조화로와야 재료가 올바르게 선정되었다고 할 수 있다. 콘넥터의 요구조건을 6가지 부문 - 기계적 측면, 전기 및 열적 측면, 시스템적 측면, 재료적 측면, 제조 공정적 측면 및 환경적 측면으로 나누어 기술한다.

### 3.1 기계적 측면

#### 3.1.1 접촉 이론

콘넥터 시스템의 기계적인 요구조건을 이해하기 위해서는 전기적 접촉이 어떻게 만들어 지는가를 이해하여야 할 것이다. 접촉이론에 의하면 실제 재료의 표면이 완전한 평면이 아니고 울퉁불퉁하다. 따라서 어떤 하중하에서 두개의 표면이 접촉할 때, 금속과 금속이 접촉하는 부위는 국부적으로 된다. 접촉부위는 A-Spots라고 표시한 두 표면의 울퉁불퉁한 부분이 맞닿는 곳이다(그림1 참조). 이 때 A-Spots의 수, 밀도 및 크기는 하중, 표면 경도, 표면 형상과 크기(Surface Geometry) 및 표면에 존재하는 산화층 혹은 오염물질의 물질적 특성에 따라 달라진다. A-Spots 면적의 합이 유효 접촉면적이다.

#### 3.1.2 접촉력 (Contact/Nomal Force)

접촉력(P)은 접촉에 필요한 응력을 접촉 면적으로 곱한 값이며, 두 표면에 직각인 힘이다. 전기적으로 결합이 없는 접촉은 일정한 접촉력을 유지함으로써 가능하다. 스프링력(접촉력)이 크면 접촉

표면간 기밀성을 형성하여 부식성 오염 물질의 침투로 인한 전기적 불안정을 방지할 수 있다. 제4장 “재료의 물성”은 콘넥터 설계의 중요한 특성을 심층적으로 다룬다.

### 3.1.3 접촉면의 형상과 크기 (Contact Geometry)

높은 접촉 응력은 주어진 하중 하에서 접점의 모양상 유효 접촉면적을 최대화시킨다. 이 접촉 응력을 “헤르츠응력(Hertz Stress)”이라 한다. 헤르츠응력 계산시에 다음과 같이 가정한다.

1. 매끄러운 표면간의 접촉시, 한 점의 응력은 무한대가 된다.
2. 접촉표면적에 비해 실제 접촉면적은 작다.
3. 변형은 탄성변형(Elastic Deformation)이다.
4. 마찰은 없다.

접촉응력(헤르츠응력)은 그것이 낮아지는 순서로, 구와 평면간의 접촉(Sphere On Flat), 원통과 원통의 접촉(Crossed Cylinders), 원통과 평면의 접촉(Cylinder On Flat), 끝으로 평면대 평면의 접촉(Flat On Flat)으로 낮아진다.

### 3.1.4 삽입력(Insertion Force)과 인출력(Extraction Force)

삽입력과 인출력은 두 콘넥터를 연결하고 분리하는데 필요한 힘이다. 접촉력과 혼동하면 안된다. 접촉력과 마찰계수에 비례한다. 허용 삽입회수(Insertion Cycles)는 마모관계, 접촉력, 접점의 수, 마찰계수, 연결부위의 인입 각도 및 설계 요구조건에 의해 결정된다. 총 연결력(Total Mating Force)은 연결과 조립시

그림 2. 접촉방식의 기하학적 분류

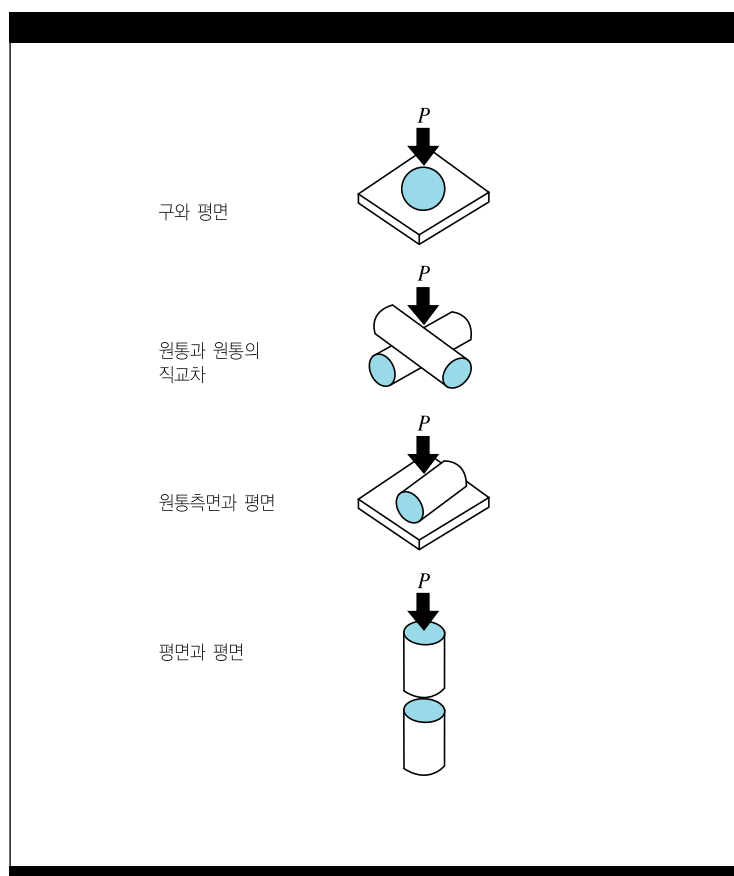




그림 3. 접촉저항

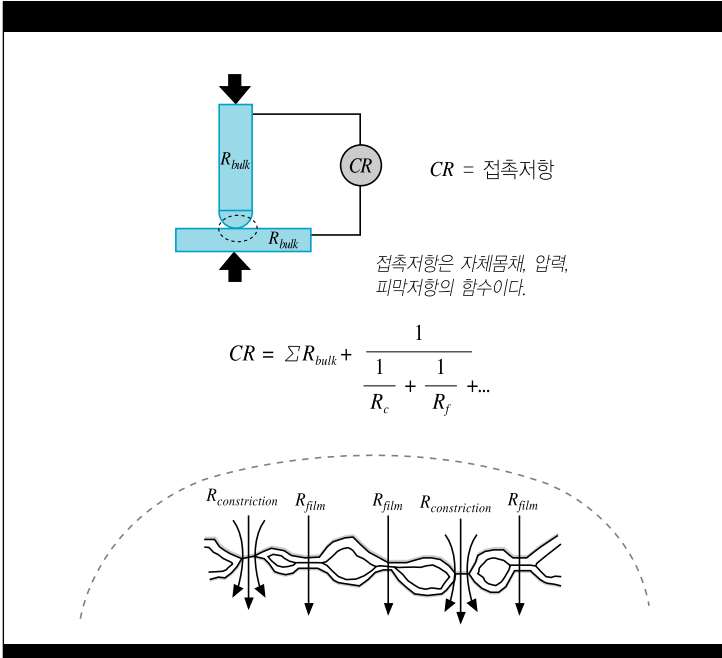
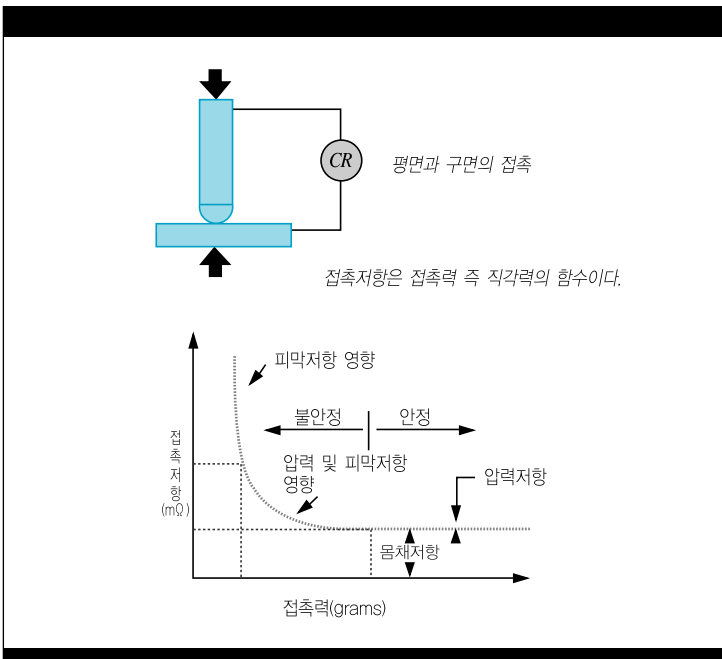


그림 4. 접촉저항대 접촉력



의 인체공학적 고려에 의해 결정하여야 하며, 15lbs(66.6N) 이상의 힘이 요구 될 때에는 기계적 도움이 필요할 수 있다. 윤활제를 쓰면 삽입력을 낮추고 산화 및 부식을 억제한다. 윤활을 함유하지 않은 윤활제이어야 한다. 윤활제는 또한 고온에서 안정적인 성질을 갖는 것 이어야 한다.

### 3.2 전기적 측면

#### 3.2.1 콘넥터 저항

전체 콘넥터 저항은 접촉면의 접촉저항과 접촉스프링의 몸체저항(Bulk Resistance)으로 이루어 진다.

##### 3.2.1.1 접촉저항(Contact Resistance)

접촉저항은 접촉력, 접촉 형식 및 접촉 표면의 특성으로부터 생기는 전기적인 저항이며, 압축저항(Constriction Resistance)과 피막저항(Film Resistance)으로 세분된다(그림3 참조). 접촉저항은 접촉면의 크기와 관계없이 실제 접촉면적 또는 A-Spot의 압축저항에 따라 결정된다. 피막저항은 접촉재료의 산화 또는 오염으로 인하여 접촉재료 사이에 낀 얇은 절연물질 층(20Å 정도)의 저항이다. 이들 얇은 막은 터널효과(Tunneling Effect)에 의해 전자들이 통과한다. 이 두 저항은 접촉력과 접촉하는 재료의 경도에 따라 달라진다. 그림4는 접촉력과 접촉저항과의 관계를 보여 준다. 인출분리식 접촉자의 접점 저항은 2-3 mΩ (Milli-ohm) 정도이다.

##### 3.2.1.2 몸체 저항(Bulk Resistance)

접촉 스프링의 몸체저항은 기저금속의 전기전도율(전기저항율)과 그 크기에 따른다. 스프링 몸체저항의 크기는 수 mΩ에서 수십 mΩ이다.

##### 3.2.2 전력의 성질 (Power Properties)

### 3.2.2.1 전류 용량 (Current Capacity)

전류용량은 주어진 온도상승 범위내에서 흐를 수 있는 최대 전류의 크기이다. 고전도 기저금속은 전류를 더 많이 흐르게 하여도 온도 상승이 적다. 콘넥터의 전류 용량은 접촉 스프링 재료의 종류, 크기 및 접촉력에 의해 결정된다.

### 3.2.3 신호의 성질 (Signal Properties)

콘넥터에 요구되는 특성중의 하나는 신호의 찌그러짐(Signal Distortion)이 없게 전기적 접촉을 유지하는 것이다. 이것은 낮은 전류신호에서 더욱 중요하다. 다음은 몇가지 신호특성에 대한 설명이다:

#### 3.2.3.1 접지 신호 비율 (Signal To Ground Ratio)

콘넥터에서 접지된 전위에 대한 신호된 전위의 비율. 콘넥터 “소음”을 결정하는데 있어 유용하다.

#### 3.2.3.2 캐 파 시 탄 스 (Capacitance)

전하를 저장하는 정전기 크기의 단위. 신호도체와 신호도체 사이, 신호도체와 접지간의 전기적 간격을 측정하는 단위이다. 도체와 도체간의 간격, 도체의 재질 및 설계에 영향을 받는다.

#### 3.2.3.3 임피던스(Impedance)

무한히 긴 송신라인을 통해 전달되는 전기적 신호의 전압 대 전류의 비율. 고속 전송라인에서는 그에 맞는 균일한 임피던스가 요구된다.

#### 3.2.3.4 인덕턴스(Inductance)

전류변화에 반응하여 생기는 전압으로 전기적 “잡음”을 일으킴. 자기 인덕턴스(Self Inductance)와 도체간의 상호 인덕턴스(Mutual Inductance)를 포함한다.

**3.2.3.5 지연 (Delay)** - 콘넥터 캐파시탄스에 의해 발생하는 신호 지연 또는 전송 지연. 콘넥터의 길이를 줄임으로써 전송 지연을 줄일 수 있다.

**3.2.3.6 Cross Talk (Coupled Noise)** - 캐파시탄스, 유도 커플링 또는 그 두가지 원인에 의해 다른 도체로 누전되는 신호.

**3.2.3.7 절연저항 (Insulation Resistance)** - 전압이 걸림에도 불구하고 전류의 흐름을 차단하는 절연체의 저항. 일반 하우징 재료(Housing Material)나 전선 절연재(Wire Insulation)의 절연저항치는 수 Megohm이다.

**3.2.3.8 유전력 (Dielectric Strength)** - 주어진 두께의 절연물체가 지정된 시간동안 절연 파괴없이 견딜수 있는 최대의 전위차(전압). 하우징 재료와 전선의 절연체에 대하여 측정한다.

## 3.3. 시스템적 측면

### 3.3.1 신뢰성

시스템의 신뢰성은 그 부품들의 실패율에 달려있다. 신뢰성은 일정기간동안 실수하지 않는 갯수의 비율 또는 부품이 실수 없이 작동하는 확률이다. 그러므로 실패율이 신뢰성을 가늠한다. 실패율은 어떤 시간내에 주어진 집단에서 장치들이 실수할 수 있는 비율이다(예를 들면, 1,000시간 작동시 몇 퍼센트가 실패). 콘넥터의 실패는 플러그의 메카니즘, 마모 메카니즘, 부식 메카니즘 때문에 생긴다. 콘넥터의 실패율은 규정된 접촉저항(보통 10 milliohms)을 초과하는 것이 시험 집단의 몇 퍼센트나로 정의한다. 시스템 신뢰성을 결정하는 중요한 요소는 전체 시스템의 통전 운전 시간 즉, **Power-On-Hours (POH)**와 **On/Off 횟수** 즉, 전기를 공급하고 차단하는 횟수이다. 다중 접점을 가진 Wiping 콘넥터는 콘넥터의 신뢰성이 다른 것보다 좋다. **Wipe** 는 삽입시 산화막과 오염물질을 제거하기 위한 것이다. **Redundancy**는 모든 접점에 동시에 영향을 미치는 오염 가능성을 감소시켜 준다. 콘넥터는 특정 환경을 설정, 응력 시험을 실시함으로써 예상된 실작동 조건하의 제품 성능을 예상해 볼 수 있다.

### 3.3.2 제조비용

원가 분석을 통하여 다른 대안은 없는지, 다른 기저 금속을 쓸 때의 비용은 어떠한지 알아 본다. 성능 대비 비용 검토를 통하여 여러 가지 기저 금속중 어느 것이 적합한지 안다. 제8장 생산에서 비용에 대해 추가적인 설명을 한다.

### 3.3.3 패키지의 크기제한 (Package Envelope)

시스템은 콘넥터가 들어갈 패키지의 크기(깊이, 폭, 높이)를 정해준다. 콘넥터를 위한 공간이 협소하게 됨에 따라 인치당 Grid 또는 접촉간격(Contact Spacing)이 감소하여 보다 얇고 강한 재료가 요구된다. 허용 공차 또한 엄격해 지고 있다. 접촉 시 중심선 이탈과 과응력 발생을 방지하기 위하여 특별한 보조 기구가 필요하고 연결이 접촉에만 의지되지 않게 하기 위한 고정방법이 요구된다.

### 3.3.4 규격 및 사양조건

콘넥터의 성능 사양은 고객의 요구 사양과 제공업 규격으로 많은 부분이 결정된다. 그러나 이에 부가하여 콘넥터의 성능인 증시험(Qualification)에서 요구되는 응력 시험도 있다.

## 3.4 재료적 측면

콘넥터용 재료는 다음과 같은 물성이 필요하다.

- 접촉저항과 몸체 전기저항이 낮을 것.
- 내식성이 있을 것.
- 반복 삽입에 적합하기 위하여 마찰력이 작고 내마모성이 있을 것.
- 적절한 스프링 특성을 갖을 것.
- 가격이 타당할 것.

이러한 요구 사항에 부응하여 콘넥터의 접촉 스프링 재료로서 수 많은 금속재료가 개발되었다. 동합금 기저금속에 니켈(Ni)을 하지도금 하고 금(Au), 팔라듐(Pd)과 같은 귀금속이나 주석(Sn)같은 비(卑)금속을 그 위에 코팅하여 쓰는 것도 있다.

### 3.4.1 기저금속(Base Metal)

양호한 전기전도도와 좋은 기계적 스프링성 및 좋은 성형성을 가진 고성능 동합금이 기저 금속이 된다. 재료 선정시에는 아래 사항을 고려해야 한다:

- 전도도(Conductivity) : 몸체 저항을 최소화시킨다.
- 연성(Ductility) : 성형성을 좋게 한다.

- 항복강도(Yield Strength) : 탄성범위 내에서 보를 최대로 휘게 할 수 있다.
- 응력이완(Stress Relaxation) : 상승된 온도 하에서 오랫동안 변형 상태를 유지하고 있어도 변형응력 감소가 작다.
- 경도(Hardness) : 접촉부의 금속 마모를 적게 한다.

### 3.4.2 콘넥터 접점재료

접촉부위의 동합금 기저 금속의 부식을 막고자 하는 것이 접점 재료의 주된 목적이다. 이들 재료는 주위 부식성 환경에 대한 내식성이 유기물 분자 흡착 저항성, 경도(내마모성) 및 접촉부위가 넓어지고 균열(Cracking)과 파괴(Spalling)가 잘 안생기게 하는 연성을 고려해야 한다. 금, 팔라듐 및 그 합금과 주석 및 그 합금이 흔히 접점재료로서 덧씌워지는 재료로 쓰인다. 니켈은 가장 일반적인 하지도금 재료이다.

#### 3.4.2.1 금(Au)

경화금(코발트 또는 니켈경화)은 가장 일반적으로 쓰이는 접촉면용 귀금속이다. 금도금은 연금, 경금을 함유한 시아나이드산 용액으로부터 도금 된다. 금도금은 광택 표면을 갖으며, 우수한 내식성과 전기특성을 갖는다. 연금(Soft Gold)은 24 캐럿 또는 순도 최소 99.99%의 금으로서 쉽게 납땀(Soldering)되나 마모성이 취약하다. 공업용인 경금(Hard Gold)은 경화제로 코발트 또는 니켈을 합금한 순도 99-99.8%의 금으로, 상당한 내구성과 연성이 있다. 0.25-0.8 micron 두께의 도금으로 좋은 마모, 마찰, 전기, 부식 특성들을 얻을 수 있다. 금의 두가지 단점은 비싸다는 것과 경금은 납땀성(Solderability)이 떨어 진다는 것이다.

### 3.4.2.2 팔라듐(Pd)과 팔라듐합금

팔라듐(Pd)과 팔라듐니켈(Pd-Ni)은 도금 후, 그 위에 얇은 연금 Flash(0.25 micron 미만) 피막을 입혀 사용한다. 내식성과 접촉저항 면에서 금에 비견할 수 있다. 경도와 내구성 면에서는 금보다 등급이 높다. 팔라듐과 팔라듐니켈은 일반 부식에 금보다 민감하다.

### 3.4.2.3 주석(Sn)과 주석합금

이 합금은 Hot Dipping이나 전기도금 어느 쪽으로든 도금이 된다. Hot Dipping에는 두가지 방법이 있는데 0.8-2.0 micron의 도금층을 위해 Dipping 후 Mechanical Wiping 공정을 거치는 것이고 둘째는 Dipping 후 Air Knife Finishing 처리하여 1.5 micron 이상을 도금하는 것이다. 전기 주석도금의 두께는 1-3 micron으로 제한된다. 전기도금 주석은 입도를 크게하고 도금 표면을 부드럽게 하기위해 도금후 로내에서 가열하여 주석 도금층이 재용해(Reflow)되게 하는 것도 있다. 주석 Hot Dipping의 장점은 납땀성(Solderbility) 개선, 기저금속에 대한 좋은 부착성, 굽힘성(Bendability) 및 낮은 생산비등을 들 수 있다. 순수 주석의 도금은 전기쇼트를 일으킬 수 있는 Whiskering(수염결정조직)이 생기게 할 수 있다. 이를 피하기 위해 최소량의 7%납(Pb)을 첨가한다.

### 3.4.2.4 니켈(Ni)

다음과 같은 목적으로 니켈 하지도금이 쓰여진다:

- 니켈은 동과 금이 직접 닿아 있을 경우 생기는 동이 금쪽으로 확산되는 것을 막는다. 니켈 하지 처리를 함으로써 금도금 층을 보다 얇게 할

수 있다. 또 기저금속인 동합금까지의 표면에 기공이 생기는 것을 감소시켜 표면 부식을 막아준다.

- 니켈은 금보다 경도가 높으므로 니켈 하지는 딱딱한 기층을 제공함으로써 금의 내마모성을 증가시킨다.
- 동에 귀금속을 직접 도금하고자 할 때, 귀금속 도금 욕조는 산성이거나 알칼리성이거나 그 도수가 금도금이 시작되기 전에 약간의 동을 먼저 용해할 수 있을 만큼 높아야 한다. 니켈에 도금할 때에는 이렇게 할 필요가 없으므로 귀금속 도금용액의 수명을 늘릴 수 있다.

전기도금된 니켈은 물성의 범위가 넓다. 경도, 내구성, 응력 및 인장강도가 도금용액에 따라 달라진다. 대표적 니켈도금 욕조에는 Sulfamate, Fluoborate, Pyrophosphate의 세가지가 있다. 대표적인 니켈 하지도금 두께는 1.25-2.5 micron이다.

### 3.4.2.5 도금 기공

도금층에는 미세한 구멍이 있게 되는데 이 것의 발생과 형태는 도금두께와 피도금체의 결합 내용에 따라 달라진다. 기공이 있으면 그 곳에서 부식이 발생할 수 있다. 부식 생성물과 부식막은 귀금속 도금층의 기공을 통해 주위 부식성 환경이 기저금속을 침해하여 생긴다.

### 3.4.2.6 도금 공정

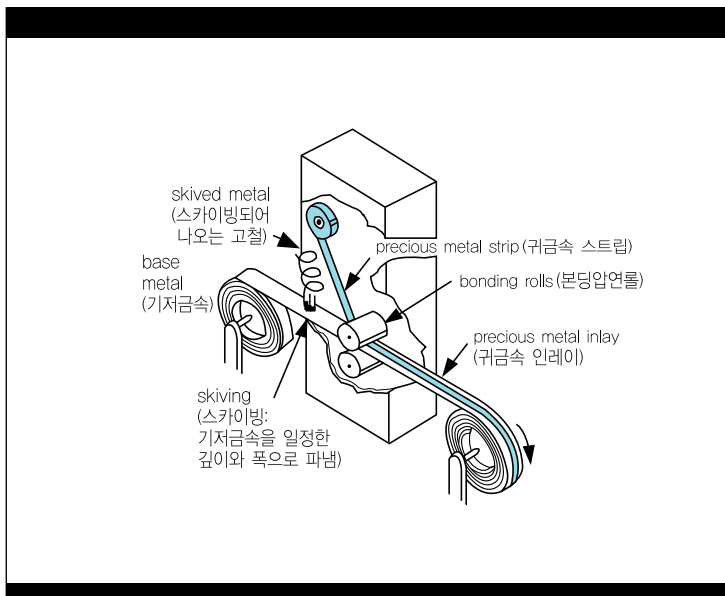
가장 일반적인 도금 공정은 전기도금, 비전기도금, Hot Dipping 및 Cladding 이다.

**전기도금**은 금속도금용 용액의 전해욕조 내에서 전도체 표면에 부착성 금속층을 형성하는 것이다. 양극(Anode)과 음극(Cathod)사이에서 직류전류를 통전시키면 도금용액 속에 있는 금속이온이 음극인 피도금체 표면으로 이동하여 전착된다. 전기도금 기술은 요구되는 기능부위에만 제한적으로 국부도금되게 할 수도 있다.

**비전기도금법**은 대개 수성 매개물속에서 피도금체에 금속 피막이 생기게 하는 방법으로서 용액내의 금속 복합물과 피도금체 금속간의 화학반응으로 이루어진다. 이 반응을 위하여 외부 전류는 필요치 않다.

**Hot Dipping**은 가장 오래된 방법으로 피도금체를 용융된 금속 속에 침적하여 코팅하는 것이다. 이 방법은 피도금체와 도금체가 금속간 화합물을 형성할 경우에만 사용한다. 도금체의 용점은 피도금체의 용점보다 매우 낮아야 한다. 한 예로 동판에 주석도금하는 것을 들 수 있다. 전기 접촉면의 주석 도금은 주

그림 5. 클래딩 공정도



석 합금이 아닌 순수 주석이여야 하며, 이 것은 중요하다. Hot Dipping은 상대적으로 간편하고 대량생산의 장점은 있으나 도금두께를 조절하기 어렵고 얇은 도금층을 얻기 힘든 단점이 있다. Hot Dipping 된 주석도금은 Whiskering (수염결정) 문제가 없다.

Cladding은 보통 기저금속에 다른 얇은 층의 금속을 가열 압연하여 결합시키는 것이다(그림 5 참조). Cladding에는 Stripe-Inlay Cladding과 Solder Cladding의 두가지가 있다. Stripe-Inlay Cladding은 귀금속 줄(Stripe)을 기저금속 표면에 파 넣어 압착하는 것이다. Inlay 금속의 윗 표면은 기저금속 표면과 같은 높이에 있다. 두 금속은 고온 고압하에서 압연을 통해 영구적으로 결합된다. Solder Cladding은 금속표면에 Solder(납과 주석의 합금)의 줄 또는 층을 입히는 것이다. 압착결합(Bonding)시키거나 또는 기저금속 표면 위에 용융된 Solder를 Reflow시켜 입힐 수 있다. Cladding은 Inlay 금속이 압연 공정을 거치기때문에 기공이 없다. 한 금속스트립위에 귀금속과 주석 또는 Solder Cladding을 적절히 조합하면 제조상의 편의를 얻을 수 있다.

### 3.4.3 하우징 재료

콘넥터에 있어서 PBT(Polymer Based Thermoplastics) 재료는 접촉 스프링 부품을 독립적으로 움직이게 하여주고, 제자리에 있게 하여주고, 지지하여 주고 따라서 중심선을 유지하여 주며 주변의 위해환경으로부터 보호하여 준다. 하우징 재료는 납땀(Soldering)과 같은 콘넥터 제조공정에 영향받지 않아야 한다. 납땀시에 견딜



수 있도록 열변형온도(Heat Deflection Temperature)가 충분히 높아야 한다. 요구되는 다른 성질은 치수 유지 안정성, 뒤틀리지 않아야 하는 점, 내습성, 그리고 얇은 단면의 몰딩이 가능해야 하는 점이다.

### 3.5 접합공정 측면

#### 3.5.1 Solder 공정

콘넥터는 Solder 공정에 의해 기계적·전기적으로 회로기판 또는 다른 기기에 연결된다. 최상의 Solder 공정을 선택하기 위해서는 접속자(Joints)의 수, 모양, 복잡성을 잘 살펴야 한다. Solder 공정은 급속 가열 및 냉각이 모든 경우에 요구되는데 이유는 다음과 같다:

- 고온에서 베릴륨동등 접속자 금속이 산화될 수 있다.
- 오랜 가열시에는 용제(Flux)의 품질이 저하된다.
- 과열은 베릴륨동등 접속 금속의 금속학적 변화를 일으킬 수 있다.
- 과열은 접속금속과 Solder 경계면에 결합력을 저하시키는 금속간 화합물을 형성시킨다

Solder 공정은 수작업식, Wave Solder 식, Vapor Phase Reflow 식, Infra-Red Reflow 식이 있다. Solder 공정을 온도가 높아지는 순서로 다음에 기술한다.

**수작업식 납땜** 또는 Hand Soldering은 납땜 인두를 사용하여 소량 작업시에 쓰인다. 급속 가열이 중요한 고려 요소이다. 수작업식 납땜법의 다른 형태인 칩적식 납땜시에는 땀 부위를 미리 용제 처리 한 후, 수초 내지 수분동안 Solder 욕조에 담근다.

**Wave Solder** 식 납땜 방법은 용융 Solder를 납땜 연결하고자 하는 금속

부위에 파동 조절 분사하는 방식이다. 그 기술은 보통 용제(Flux)를 발라주는 공정과 과잉 Solder를 제거하는 공정을 갖는다. 노출 시간은 온도가 높으므로 몇초로 한다.

**Intrusive Reflow**는 제한된 수량의 표면장착 부품의 도선을 기판의 구멍을 통하여 Solder Paste에 의하여 납땜 고정시키는데 쓰이는 방식이다.

**Vapor Phase Reflow**는 증기를 사용하여 Solder 접합부를 가열하는 방법이다. 이 Soldering은 오염이 차단된 환경에서 정밀한 온도조절이 가능하므로 특정한 곳 또는 접근이 힘든 부위의 납땜에 장점이 있다. Solder는 Paste 또는 사전에 어떤 형태로 만든 것(Prefomed)이며, 온도가 높은 상태에서 노출시간은 10-180초까지 다양하다.

**IR(Infra-Red) Reflow**는 적외선으로 Solder를 용융시킨다. 주석-납 도금한 콘넥터를 미리 정위치 시킨 회로기판은 보통 IR Reflow Furnace를 통과시켜 납땜 고정시킨다.

#### 3.5.2 기계적 부착

부품을 인쇄된 회로기판 또는 도선에 부착시키는데는 많은 기계적 부착방법이 있다. Solder 공정을 대신할 수 있는 기계적 결합은 보다 높은 접촉 압력이 요구될 때 쓰인다.

##### 3.5.2.1 압입핀 (Press-Fit)

압입핀(Compliant Pin)과 PTH(Plated-Through-Hole)간의 기계적인 연결은 인쇄 회로 기판 조립에서 공정을 축소시키는 한 방법이다. 그 기술은 핀 또는 Post를 도금된 구멍(PTH)으로 밀어 넣는다. 압입핀은 PTH에 맞게 변형되는 부분을 가진다. 이 공정은 납땜 및 납땜 전후의 세척공정을 없애준다. 이 공정 적용을 위하여는 몇가지 재료 특성이 중요하다. 핀의 압입(Compliant) 에너지는 접속 신뢰성을 예측하는데 중요한 요소로서 이는 그 재료의 스프링성에 관계된다. 압입 접촉면의 성형성도 중요하다. 또 핀이 PC 보드에 삽입시 좌굴현상(Buckling)이 안 생기려면 재료가 강도가 있는 것이어야 한다.

##### 3.5.2.2 절연재 파손 콘넥터

###### (Insulation Displacement: IDC)

IDC는 리본 케이블의 단말을 접속자와 닿게 만드는 방법이다. 여기서는 접속자가 전선 절연재를 관통해서 전선의 도체와 전기적으로 접촉을 이룬다(그림6 참조). 그 재질의 항복강도는

그림 6. 절연재 파손 콘넥터 (IDC)

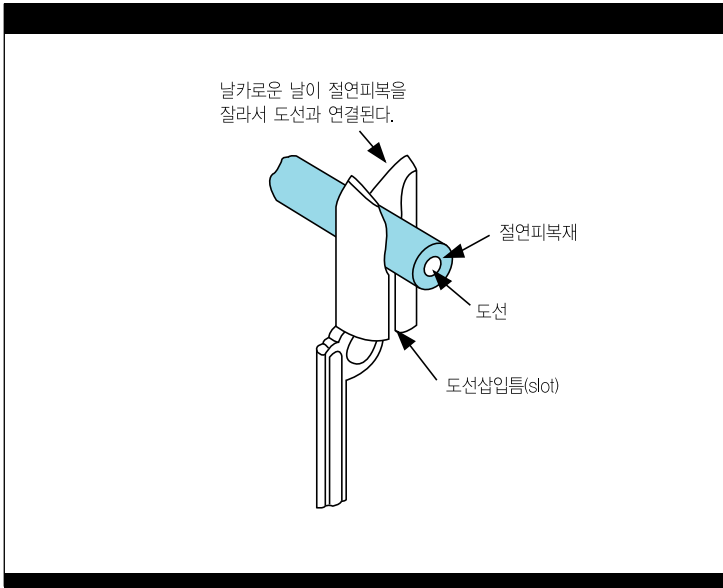


표 1-작동환경

사 용	사용처 구분	T min				T max
		(°F)	(°C)	(°F)	(°C)	연 수
Consumer		+32	0	140	+60	1-3
Computers		+59	+15	140	+60	≈5
Telecom		-40	-40	185	+85	7-20
Commercial Aircraft		-67	-55	203	+95	≈20
Industrial & Automotive Passenger Compartment		-67	-55	203	+95	≈10
Military Ground & Ship		-67	-55	203	+95	≈5
Space LEO & GEO		-40	-40	185	+85	5-20
Military Avionics		-67	-55	203	+95	≈10

절연재 관통 삽입시 절연재를 절단할 수 있는 힘을 낼 수 있어야 한다. 응력이완 저항성은 자체의 스프링력만이 장기간 전기 접촉을 유지하는 유일한 방법이기 때문에 대단히 중요하다. 접촉자 선단의 경도는 전선 절연재를 절단 관통하기 위해 중요하다.

### 3.5.2.3 크림프(Crimps)

크림프는 날개의 전선 끝을 다른 기기와 접속을 위하여 단말 처리하는 방법이다. 냉간용접 접합으로 전기적·기계적인 접속이 확실하다. 이 냉간 접합은 접속자와 전선의 압착 변형에 의한 Microwelds 접합으로서 접촉면 사이에 산화피막이 생길 여지가 없다. 가스기밀 크림프를 위하여 중요한 것은 성형성, 스프링백(Springback) 성질, 크림핑(Crimping) 하고 있는 동안 전선의 변형을 계속 지속시키기 위한 그 재료의 강도이다.

### 3.5.2.4 압축접촉 콘넥터 (Compression Contacts)

이 것은 접촉자가 분리될 수 있는 시스템이다. 여기서는 두 개의 평면 접촉자가 미끄럼 없는 Z-방향 압력으로 접촉된다. 스프링, 강선 또는 고탄성 고무 같은 것에 의해 지속적으로 가해지는 힘으로 전기적 접촉을 유지시키므로 두 접촉자의 평면도가 중요하다.

### 3.5.3 제공정 양립성 (Compatibility)

- 온도와 화학 물질 : 콘넥터는 Soldering 공정에서 쓰이는 산, 약염기, 용제, 기타 화학약품(산화제, 물)에 안전하여야 한다.
- 취급 자동화 : 대량생산 체제에서는

작은 콘넥터는 표준 Tape-and-Reel 형태로 포장 공급되고 긴 콘넥터는 튜브, 트레이 또는 적당한 테입에 장입시켜 공급한다. 로봇으로 취급을 자동화시키려면 특별한 자동정열기가 필요하다.

- Pin-In-Hole 또는 표면 장착 : 인쇄 회로 보드에 부품을 고정 부착시키는 방법은 도금된 구멍(PTH)에 부품의 핀을 삽입하거나 또는 표면장착 기술로 패드에 도선을 납땀한다. 표면장착 부착력은 Solder에 의존한다. 콘넥터는 그 크기, 중량, 요구되는 삽입력 및 균일하지 못한 표면 때문에 진공 노즐로 들어야 하는 등 표면장착 Soldering에 적합하지 못한 때가 있다. 최신 콘넥터는 접촉자의 밀도가 조밀해 짐으로써 크기와 중량이 줄어 이러한 우려가 해소되고 있다.

### 3.6 환경적 측면

#### 3.6.1 작동 환경 등급

전자기기의 응용분야는 자동차(승객 공간 및 본넷트 아래), 가전품, 의료, 통신, 항공, 우주, 군사(항공전자, 병기시스템, 통신), 컴퓨터(대형, 중형, PC, 워크스테이션, 슈퍼컴퓨터), 공정제어(중. 경공업), 시험 및 Burn-in 등이다. 표1은 대표적 작동 환경을 보여주고 있다.

##### 3.6.1.1 세부 등급

어느 등급이나 추가적으로 다음과 같은 등급의 범위를 정의하고 있다:

- 온.습도 등급(Psychrometric Class) : 온도와 습도의 범위
- 가스 등급(Gaseous Class) : 부식성 가스의 농도 범위. 대상 가스 및 가스군(群)은 ①유황증기 입자 또는 유화가스(H<sub>2</sub>S) 등의 모든 유황 복합물내에 있는 Sx(환원 유황 총량), ②가스 상태의 염

소(Cl<sub>2</sub>)와 가스 상태의 염산(HCl)에 들어 있는 염소를 포함한 산성 염소 가스(Cl<sub>x</sub>), ③SO<sub>2</sub>, ④NO<sub>2</sub>, ⑤O<sub>3</sub>(Ozone) 또는 중성 상태에서 옥화물(Iodide) 이온을 옥소(Iodine:요오드)로 산화시키는 이산화질소가 아닌 오존을 포함하는 모든 산화제이다.

- 미립자 등급(Particulate Class) : 대기중 미립자의 농도범위
- 운반과 보관 등급 : 응용분야에 상관없이 모든 제품은 실제 설치되기 전 운반 및 보관기간 동안 비를 제외하고는 어떤 대기 환경에 노출되어도 열충격 및 결로로 인한 품질저하가 없어야 한다. 금속에 따라서는 장기간 보관시 표면 피막 생성이 허용되는 것도 있다.

- 진동 등급 : 작동, 운반 및 이동시의 진동 범위를 포함

- 충격 등급 : 운반 및 취급시의 충격 범위를 포함



## 제4장 재료의 물성

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인



품 질 인 증



생 산

표2-설계요구조건 대 재료의 물성

설계요구조건	재료의 물성
스프링력	탄성계수 재료 치수와 공차
삽입주기 횟수 또는 수명	영구변위 저항성 피로강도(Low Cycle, R = 0) 접촉자의 제조 끝손질 상태
부하/힘의 한계	항복강도
설계응력	탄성계수
전류용량	전기 및 열전도도 응력이완저항성
신뢰도	응력이완저항성 접촉자의 끝손질 상태
비용	밀도
제조성/크기	성형성 기계가공성 납땜성

표3-동합금의 화학조성과 밀도

UNS기호	Brush Alloy	합금명	화학조성 (wt %), Cu Balance	밀도	
				(lb./in <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )
C17200*	25	Beryllium Copper	1.8 Be, 0.2 Co	0.302 **	8.36 **
	190	Beryllium Copper	1.8 Be, 0.2 Co	0.302 **	8.36 **
	290	Beryllium Copper	1.8 Be, 0.2 Co	0.302 **	8.36 **
C17300*	M25	Beryllium Copper	1.8 Be, 0.2 Co, 0.2-0.6 Pb	0.302 **	8.36 **
C17000*	165	Beryllium Copper	1.7 Be	0.304 **	8.41 **
C17510*	3	Beryllium Copper	1.7 Ni, 0.3 Be	0.319 ***	8.83 ***
C17500*	10	Beryllium Copper	2.6 Co, 0.5 Be	0.319 ***	8.83 ***
C17410*	174	Beryllium Copper	0.3 Be, 0.5 Co	0.318	8.80
C19150	1915	Leaded Ni Copper	1.0 Ni, 0.8 Pb, 0.25 P	0.320	8.88
C19400		Copper Iron	2.4 Fe, 0.1 Zn	0.317	8.78
C26000		Cartridge Brass	30 Zn	0.308	8.53
C51000		Phosphor Bronze A	5.0 Sn, 0.1 P	0.320	8.86
C52100		Phosphor Bronze C	8.0 Sn, 0.1 P	0.318	8.80
C65400		Silicon Bronze	3.0 Si, 1.5 Sn, 0.1 Cr	0.309	8.55
C68800		Aluminum Brass	22.7 Zn, 3.4 Al, 0.4 Co	0.296	8.19
C72500		Cu-Ni-Sn	9.5 Ni, 2.3 Sn	0.321	8.89
C7025 *		Cu-Ni-Si	3.0 Ni, 0.65 Si, 0.15 Mg	0.318	8.80
C72700*		Spinodal	9.0 Ni, 6.0 Sn, 0.1 Mn	0.321	8.89
C72900*		Spinodal	15.0 Ni, 8.0 Sn	0.323	8.95
N03360*	360	Beryllium Nickel	2.0 Be, 0.5 Ti, Ni balance	0.294	8.14

\* = 시효경화 열처리 가능한 재료

\*\* = 시효경화 열처리전 밀도 = 0.298 lb/in<sup>3</sup>(8.25 g/cm<sup>3</sup>)

\*\*\* = 시효경화 열처리전 밀도 = 0.316 lb/in<sup>3</sup>(8.75 g/cm<sup>3</sup>)

## 제4장 재료의 물성

설계의 최적화는 얼마나 적절한 재료를 선택하여 얼마나 요구기준을 맞추느냐 하는 것이다. 표2는 중요한 설계의 요구사항과 이에 영향을 미치는 재료물성을 보여준다.

설계를 위해 요구특성을 주의 깊게 검토하고 그 특성들을 중요한 순서로 등급을 정하면 합당한 물성을 복합적으로 지닌 재료를 선택하는데 도움이 될 것이다.

### 4.1 동합금의 야금학적 특성

#### 4.1.1 화학조성과 비중(표3 참조)

#### 4.1.2 강화 메카니즘

고체의 기계적 변화에 있어 조직은 중요한 역할을 한다. 조직은 화학조성과 처리 공정에 의하여 결정된다. 열간 및 냉간 압연, 용해 어닐링(Solution Annealing) 및 열처리와 같은 공정들은 기계적 성질에 영향을 미친다. 이러한 강화 메카니즘에는 고용경화(Solid Solution Hardening), 가공경화와 시효경화의 세 가지가 있다(그림7 참조).

#### 4.1.2.1 고용경화

##### (Solid Solution Hardening)

다른 금속의 첨가로 전위 운동(Dislocation Motion)을 방해하여 강도를 증가시키는 것을 말한다. 전위는 결정을 불안정하게 한다. 첨가 효과는 첨가량의 퍼센트와 크기 차이에 따라 달라진다. 이것은 합금의 메카니즘이다.

#### 4.1.2.2 가공경화(Work Hardening)

##### - 냉간가공(Cold Work)

기계적인 변형으로 합금의 강도가 증

가한다. 냉간가공의 결과로 저장된 에너지가 강화 메카니즘이 된다. 저장된 에너지의 대부분은 전위의 발생과 상호작용 때문이다. 입자는 변형방향으로 길게 늘어지며, 자기에게 맞는 결정학적 방위 즉, “집합조직(Texture)”을 생성한다. 가공경화 합금은 변형량 변화로 강도를 조절한다. 재결정온도 이하의 온도에서 형태 또는 단면을 변경시켜 변형 경화물이 생기도록 기계적 조작을 한다. 변형이 크면 합금 강도가 커지나 연성이 감소한다. 용해소둔 합금을 냉간가공하면 가공정도에 따라 다른 특성이 만들어 진다 (표4 참조).

#### 4.1.2.3 시효/석출 경화 (Age/Precipitation Hardening)

수요가 열처리(Heat Treatable) 재를 열처리하면 강도를 증가시키는데 냉간가공, 입자크기 축소 및 고용경화보다 효과적이다. 먼저 합금을 단상구역(Single Phase Region) 까지 가열하여 용해시키고 존재하는 모든 석출입자들이 고용될 수 있도록 충분히 시간을 유지시킨 후 2상구역(Two Phase Region) 으로 급속냉각(Quenching) 시킨다. 급속냉각으로 평형석출이 방해되어 과포화 고용체가 만들어 진다. 상온 또는 그 이상의 온도에서 시효 처리시 Fine Scale 의 과도조직(Transition Structure)이 생긴다. 시효경화의 변이로써 스피노달경화(Spinodal Hardening)가 있다. 스피노달 분해 강화 메카니즘은 원자들의 재배열을 야기시켜 정상적인 석출 또는 시효경화에 공통적인 불연속 석출(Discrete Precipitates) 대신에 제어된 조성 변화가 생기게 한다.

베릴륨동의 시효경화는 동합금 조직 내 감마상( $\gamma$ -phase)의 단단한 Beyllide

그림 7. 강화메카니즘

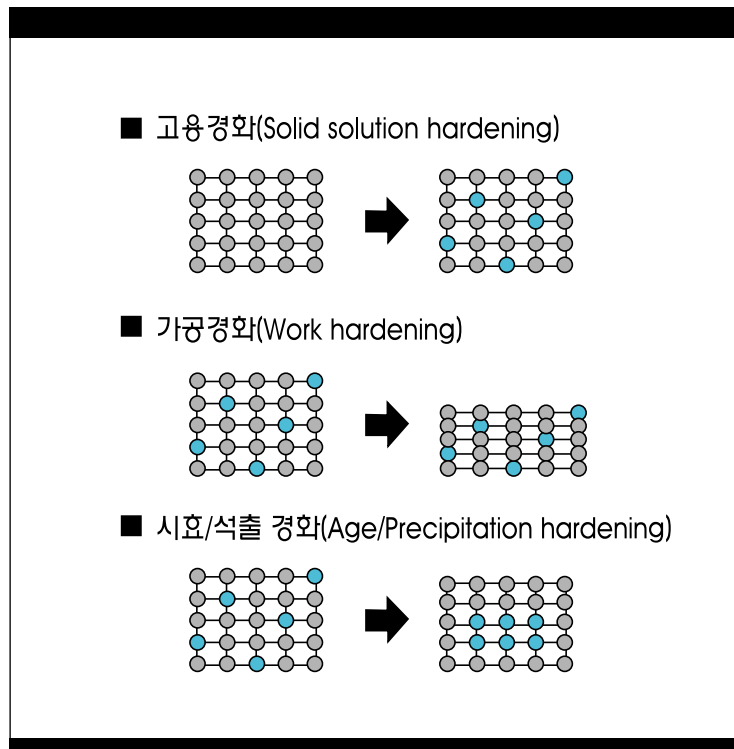


표4-템퍼 등급표

Brush 기호	ASTM 기호	내 용	냉간압연 또는 인발 압하비율 (%)	
			STRIP	WIRE
A	TB00	Solution Annealed	0	0
1/4 H	TD01	Quarter Hard (work hardened)	11	21
1/2 H	TD02	Half Hard	21	37
3/4 H	TD03	Three-Quarter Hard	29	50
H	TD04	Hard	37	60
S	TD06	Spring	60	84
XS	TD08	Extra Spring	69	90
AT	TF00	Heat Treated - 시효 또는 석출 경화 (가공경화 또는 성형후 표준열처리함)		
1/4 HT	TH01			
1/2 HT	TH02			
3/4 HT	TH03			
HT	TH04			
AM	TM00	Mill hardened - 추가 열처리 불필요		
1/4 HM	TM01			
1/2 HM	TM02			
3/4 HM	TM03			
HM	TM04			
SHM	TM05			
XHM	TM06			
XHMS	TM08			
HTR		Mill hardened - Alloys 3 와 10에만 있음 - 강도를 높임 Mill hardened - Alloys 3 와 10에만 있음 - 전도도를 높임		
HTC				

석출이 주도한다. 그 단단한 상은 기지 조직보다 밀도가 높고, 고온에서 형성됨에 따라 시효 처리 사이클중 약간의 체적변화를 일으킨다. 체적이 줄면 이는 비중이 높아진다는 것을 의미한다. 고강도 베릴륨동 합금(25, M25, 165)에서 체적감소는 약 0.6% 이다. 그에 따른 직선치수 감소는 0.2%이다. 고전도 베릴륨동 합금(3, 10)에서는 시효경화에 따른 체적변화는 베릴륨(Be) 함량이 적기때문에 무시해도 좋다.

#### 수요가열처리재(Heat Treatable)

스탬핑후 열처리하여 강도를 높이는 합금을 말한다. 모든 합금이 다 열처리 가능한 것은 아니다. 용해소둔, 냉간가공, 석출 열처리된 합금은 열처리완료템퍼(HT Type)를 갖는다. 예로써, Alloy 25를 1/2H 템퍼로 냉간가공하여 스탬핑후 열처리하면 1/2HT 특성을 갖는다.

#### 공장열처리재(Mill Hardened)

공급자에 의해 제조과정에서 이미 열처리하여 출하하는 소재의 재질을 말한다. 공장에서부터 공급되는 Mill Hard (HM Type) 템퍼는 냉간가공과 석출 열처리의 적절한 조합으로 만들어 진다. Mill Hard 재질은 스탬핑후 열처리를 하지 않는다.

베릴륨동의 열처리에 대한 자세한 사항은 제8장 생산을 참조바람.

#### 4.1.3 템퍼 표시 (ASTM B601)

템퍼는 야금학적 조직과 열적, 기계적인 조직의 결과로 생기는 합금의 특성을 말한다. 한 합금의 강도는 부품의 사양들을 맞추기 위하여 강도 범위를 넓게 조절할 수 있다. 템퍼의 변화로 이러한 강



도의 다양성이 얻어진다. 공급자는 스트립 압연 또는 인발공정에서 변형량을 다르게 하거나 열처리 가능 합금의 제조공정 요소들을 변경시킴으로써 제품의 템퍼를 조절할 수 있다. 표4는 보통 합금의 템퍼 등급을 보여준다.

#### 4.2 기계적 성질

탄성계수와 항복강도같은 기계적 특성은 어떤 경우에도 재료 선택의 기초가 된다. 그런데 실제 사용시에는 여러 환경 조건과 온도같은 다른 고려 요소없이 간단하고 한결같은 단순 변형 요소만 충족시키면 되는 경우는 없다. 따라서 재료의 기계적 특성들을 철저히 이해하는 것은 물론 오랜 시간에 걸친 역경의 영향과 기계적 성질을 파악하기 위하여 재료시험을 철저히 수행하는 것이 매우 중요하다. Brush Wellman社에서는 이러한 자료를 확보하고 고객들을 위해 설계 및 기술 지원을 한다. 제5장 설계와 분석에서도 이 지원에 대하여 언급하고 있으며, 무료전화번호 1-800-375-4205번을 열어 놓고 있다.

##### 4.2.1 기초요소

하중, 변형 및 응력간의 관계에 대한 이해는 그림8에 보인 간단한 단축 인장 시험에서 시작된다.

##### 4.2.1.1 응력(Stress)

응력은 인장시험에서 단면에 가해진 하중의 비율이며, psi(lb/in<sup>2</sup>) 또는 kg/mm<sup>2</sup>으로 표시된다.

$$\text{응력}(\sigma) = \frac{\text{하중}}{\text{단면적}} = \frac{L}{A}$$

그림 8. 단축 인장시험기

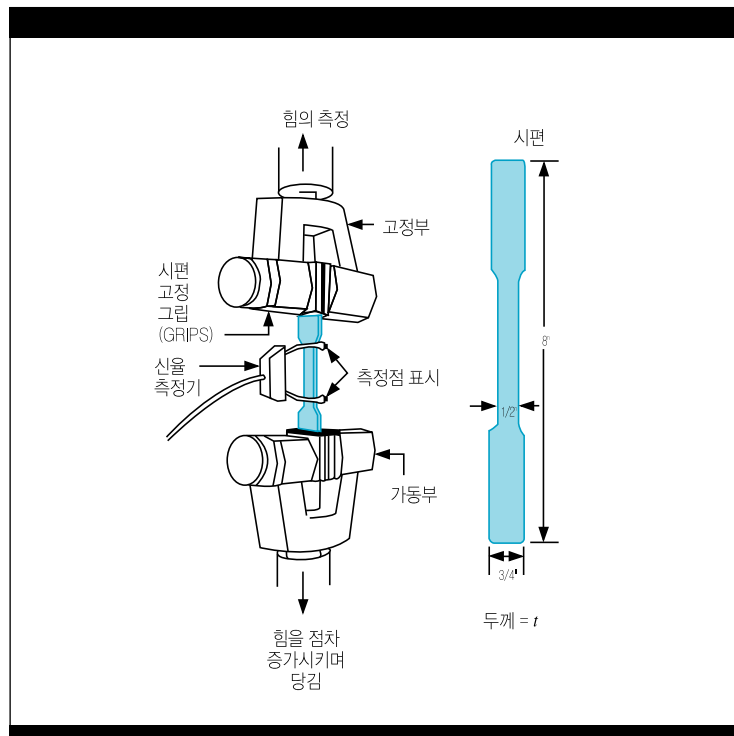


그림 9. 인장시험에서 보는 것

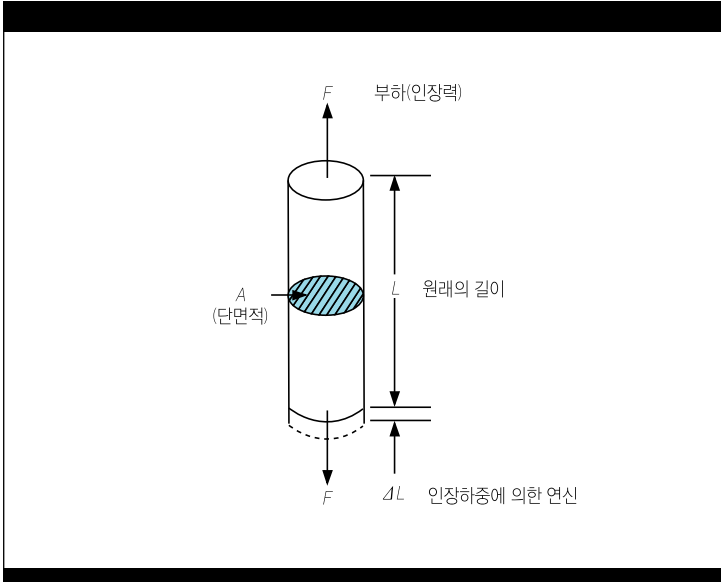
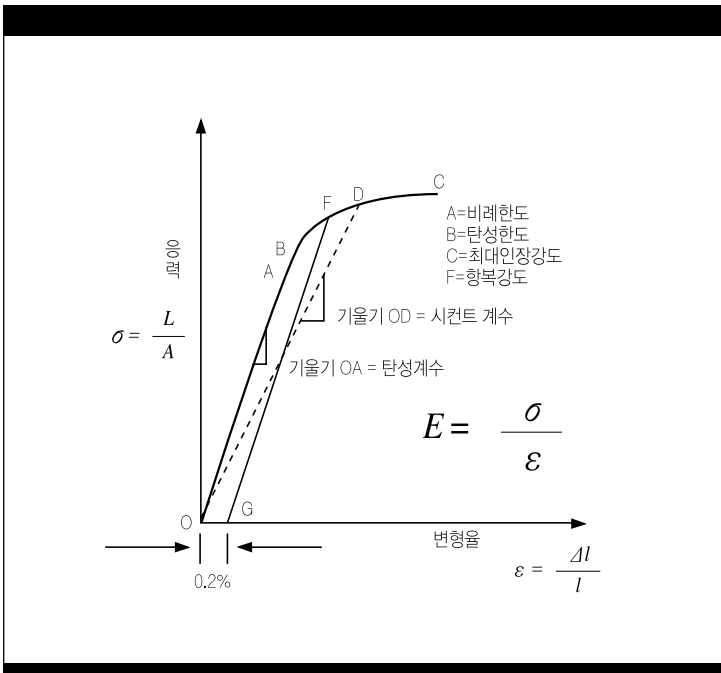


그림 10. 응력-변형률 곡선



#### 4.2.1.2 변형률(Strain)

재료의 변형 측정량을 말하며 단위가 없다(그림9 참조).

$$\text{변형률}(\varepsilon) = \frac{\text{길이변화량}}{\text{본래의 길이}} = \frac{\Delta L}{L}$$

그림10은 전형적인 인장시험의 결과를 나타낸 응력-변형 곡선이다. 인장력에 대한 재료의 기계적 변화 양상을 보여 준다.

#### 4.2.1.3 탄성계수 (Modulus Of Elasticity)

금속 변형은 일정 범위의 하중 범위에서는 가해진 하중에 비례한다. 응력은 하중에 비례하고 변형율은 변형량에 비례하기 때문에 이는 응력이 변형율에 비례한다는 것을 의미한다. 훅의 법칙(Hooke's Law)이 그 비례법칙을 설명하고 있다.

$$\frac{\text{응력}}{\text{변형율}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E$$

그 상수(E)가 탄성계수, 영률(Young's Modulus) 또는 인장계수이며, 재료의 뻣뻣함(Stiffness)을 나타낸다. 대표적인 영률 값은  $10^6$  psi 또는  $10^8$  kg/mm<sup>2</sup>의 크기이다. 영률은 응력-변형률 곡선에서 처음 직선부분(OA)의 기울기이다. 어떤 재료가 훅의 법칙을 따른다면 그 재료는 탄성적이라고 할 수 있다. 탄성계수는 재료의 온도에는 영향을 받지 않는다. 직각 스프링력(Normal Force)은 탄성계수에 직접적으로 의존한다.

#### 4.2.1.4 비례한도 (Proportional Limit)

응력과 변형율의 비례관계를 벗어나지 않는 최대 응력(점A)을 말하며, 단위

는  $\text{psi}(\text{kg}/\text{mm}^2)$ 이다.

#### 4.2.1.5 최대인장강도 (Ultimate Tensile Strength)

하중을 견딜 수 있는 최대 응력(점C)을 말한다. 단위는  $\text{psi}(\text{kg}/\text{mm}^2)$ . 파괴시 하중을 본래의 단면적으로 나눈 값이다.

#### 4.2.1.6 탄성한도(Elastic Limit)

하중을 제거한 후에 본래 위치로 오지 못하고 재료가 영구적으로 변하기 시작하는 응력-변형 곡선상의 점(점B)을 말한다.

#### 4.2.1.7 시컨트계수 (Secant Modulus)

비례한도를 벗어난 응력-변형 곡선상의 어느 점에 대하여 그 점에 상응하는 응력과 변형율과의 비율을 말한다. 따라서 점D에서의 시컨트계수는 직선 OD의 기울기이다.

#### 4.2.1.8 항복강도(Yield Strength)

일정한 변형율을 미리 정하고 그 점(점G)에서 선OA와 평행선을 그릴 때, 그 직선이 응력-변형율 곡선과 교차하는 점(점F)의 응력이 일정 변형율 전제하의 항복강도이다. 그림에서 변형율 전제는 0.2%이다. 단위는  $\text{psi}(\text{kg}/\text{mm}^2)$ 로 표시한다.

#### 4.2.1.9 포아송비(Poisson's Ratio)

길이 방향 변형율에 대한 측면방향 변형율의 비율을 말한다(그림 11 참조).

$$\nu = \frac{\text{측면 변형율}}{\text{길이 변형율}}$$

그림 11. 포아송비 (POISSON'S RATIO)

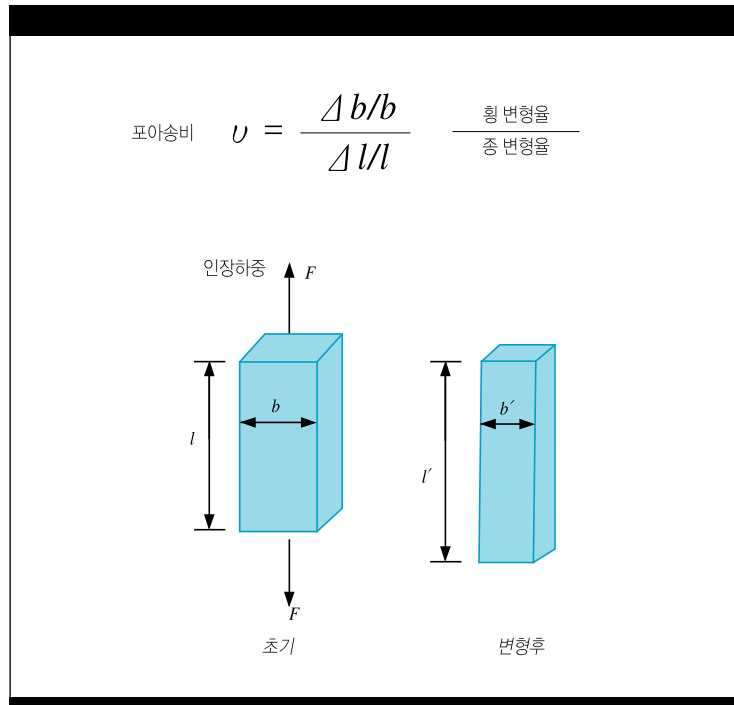


그림 12. 보의 굽힘

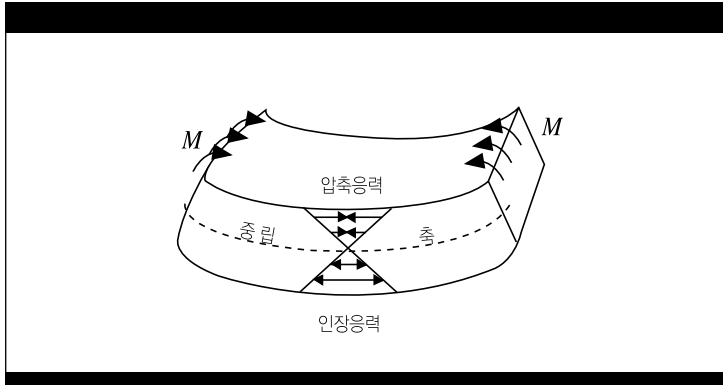
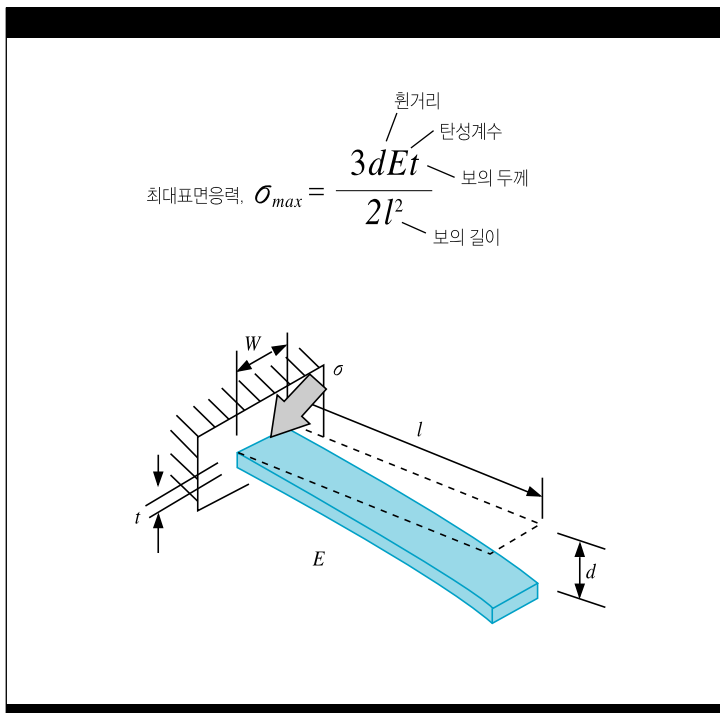


그림 13. 최대표면응력



포아송비는 보(Beam), 판(Plate), 원주 및 회전 디스크와 같은 구조물의 응력과 휨 분석에 사용되는 무차원 상수이다. 콘넥터 스프링 합금에 있어 전형적인 포아송비는 0.30-0.35의 범위를 가진다. 이 비율은 평면응력 조건에서 두께대폭(w/t) 비율이 감소할 때 중요하다. 원하는 결정조직을 만들려면 고수준의 냉간 가공이 필요하기 때문에, 이 비율은 공정에 크게 민감하지 않다.

#### 4.2.1.10 굽힘응력 (Bending Stress)

금속을 굽힐 경우, 그 재료의 한쪽 표면은 인장력으로 늘어나고 반대 표면은 압축된다(그림 12 참조). 이 때, 양쪽 표면의 사이에 응력이 0 (Zero)인 중립축 또는 구역이 만들어 진다. 단순한 굽힘 이론을 위하여 다음의 가설을 상정한다:

1. 처음에 보는 곧고, 응력이 없으며 대칭이다.
2. 보의 재질은 직선적으로 탄성적이며 균일하고 등방성이다.
3. 비례한도를 초과하지 않는다.
4. 그 재료의 영률은 인장력과 압축력에서 같다.
5. 평면의 단면이 굽힘 전후 변화가 없다고 볼 만큼 힘의 크기는 작다.

전통적인 보 방정식과 단면 특성을 사용하여 다음의 관계를 끌어 낼 수 있다:

$$\text{굽힘응력}(\sigma_b) = \frac{6PL}{wt^2}$$

$$\text{굽힘계수}(E_b) = \frac{4Pl^3}{wt^3y}$$

이 때:  $P =$  작용력(Normal Force)

$l =$  보의 길이

$w =$  보의 폭

$t =$  보의 두께

$y =$  하중점에서의 휨량

공표되어 있는 굽힘계수는 대개 인장력의 응력-변형을 곡선의 초기 탄성계수이다. 가능하면, 4 점 굽힘시험으로부터 그 값을 구할 수 있다.

최대 응력은 중립표면축으로부터 가장 멀리 있는 표면에서 발생하며, 이것은:

$$\text{최대표면응력}(\sigma_{max}) = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{Z}$$

이 때,  $M =$  굽힘 모멘트(Bending Moment)

$c =$  중립축에서 최대응력이 발생하는 바깥 표면까지의 거리

$I =$  관성 모멘트(제5장 설계와 분석 참조)

$Z = I/c =$  단면계수(제5장 설계와 분석 참조)

한쪽 끝에 하중이 집중된 직사각형의 외팔보(그림 13 참조)에서의 최대 표면응력은:

$$\sigma_{max} = \frac{3dEt}{2l^2}$$

이 때,  $d =$  보의 휨 거리

$E =$  탄성계수

$t =$  보의 두께

$l =$  보의 길이

최대응력을 줄일 수 있는 방법중 하나는 보의 외형이 변하는 동안 보 속에 있는 변형에너지를 일정하게 유지시키는 것이다. 추가적으로 보의 외형에는 사다리꼴형, 사면형(Tapered) 및 비틀림형이 있다.

#### 4.2.1.11 항복(Yielding)

항복은 설계 응력이 재료의 항복강도를 초과할 때 일어난다. 설계 응력은 보통 최대 표면응력(단순하중시)이거나 Von Mises 응력(복잡한 하중시)이다. Von Mises 항복기준에 의하면 항복이 생기는 것은 Von Mises 응력( $\sigma_v$ )이 인장 항복강도를 초과할 때이다. 유한요소법(FEA)의 분석결과는 Von Mises 응력을 사용한다. Von Mises 응력은:

$$\text{응력}(\sigma_v) = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

이 때,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  는 기본적인 응력들이다.

안전율은 설계 응력과 사용 재료의 항복강도의 함수이다. 안전율(fs)은 다음과 같다:

$$f_s = \frac{YS}{DS}$$

이 때, YS는 사용 재료의 항복강도이고 DS는 설계응력이다.

표5는 주요 재료들의 기계적 성질들을 보여 준다.

표5-동합금 스트립재의 기계적 성질

합금번호	템퍼	열처리	탄성계수		항복 강도 0.2% Offset		인장 강도		연신율 (%) min
			(10 <sup>6</sup> psi)	(10 <sup>3</sup> kg/mm <sup>2</sup> )	ksi	kg/mm <sup>2</sup>	ksi	kg/mm <sup>2</sup>	
25	A	-	19	13.5	30-55	21-39	60-78	42-55	35
	1/4 H	-			60-80	42-57	75-88	52-62	20
	1/2 H	-			75-95	52-67	85-100	59-71	12
	H	-			90-115	63-81	100-120	70-85	2
	AT	3 hr at 600F			140-175	98-124	165-195	116-138	3
	1/4 HT	2 hr at 600F			150-185	105-130	175-205	123-145	3
	1/2 HT	2 hr at 600F			160-195	112-138	185-215	130-152	1
	HT	2 hr at 600F			165-205	116-145	190-220	133-155	1
190	AM	Mill	19	13.5	70-95	49-67	100-110	70-78	16
	1/4 HM	Hardened			80-110	56-78	110-120	77-85	15
	1/2 HM				95-125	66-88	120-135	84-95	12
	HM				110-135	77-95	135-150	94-106	9
	SHM				125-140	87-99	150-160	105-113	9
	XHM				135-170	94-120	155-175	108-124	4
	XHMS				150-180	105-127	175-190	123-134	3
290	TM00	Mill	19	13.5	75-95	52-67	100 min	70 min	19
	TM02	Hardened			95-115	66-81	120 min	84 min	14
	TM04				115-135	80-95	140 min	98 min	9
	TM06				135-155	94-109	155 min	109 min	6
	TM08				155-175	108-124	175 min	123 min	3
165	A	-	19	13.5	28-55	19-39	60-78	42-54	35
	1/4 H	-			60-80	42-57	75-88	52-62	20
	1/2 H	-			75-95	52-67	85-100	59-71	12
	H	-			90-115	63-81	100-120	70-85	2
	AT	3 hr at 600 F			130-165	91-117	150-180	105-127	3
	1/4 HT	2 hr at 600 F			135-175	94-124	160-190	112-134	3
	1/2 HT	2 hr at 600 F			150-180	105-127	170-200	119-141	1
	HT	2 hr at 600 F			155-180	108-127	180-210	126-148	1
	AM	Mill			70-95	49-67	100-110	70-78	18
	1/4 HM	Hardened			80-110	56-78	110-120	77-85	15
	1/2 HM				95-125	66-88	120-135	84-95	12
	HM				110-135	77-95	135-150	95-106	9
	SHM				125-140	87-99	150-160	106-113	9
	XHM				135-165	94-117	155-175	108-124	3
3, 10	A	-	20	14	20-45	19-39	35-55	25-39	20
	H	-			55-80	42-57	70-85	49-60	2
	AT	3 hr at 900 F			80-100	56-71	100-130	70-92	10
	HT	2 hr at 900 F			95-120	66-85	110-135	77-95	8
	HTR	Mill Hard			110-140	77-99	120-150	84-106	1
	HTC	Mill Hard			50-75	35-53	75-85	52-60	8
	1/2 HT	Mill Hard			80-100	56-70	95-115	67-80	10
HT		100-120	70-84	110-130	77-91	7			
260	H	경화열처리불가	16	11.3	60-75	42-53	71-81	50-57	6
194	S	경화열처리불가	17.5	12.3	67-74	47-52	70-76	49-53	1
510	1/2 H	경화열처리불가	16	11	47-68	33-48	58-73	41-51	16
	H	74-88			52-62	76-91	53-64	10	
	S	92-108			65-76	95-110	67-77	4	
521	1/2 H	경화열처리불가	16	11	51-75	36-53	69-84	49-59	25
	H	78-95			55-67	85-100	60-70	12	
	S	100-113			70-79	105-119	74-84	3	
654	1/2 H	경화열처리불가	17	12	66-92	46-65	86-101	60-71	11
	H	94-109			108-120	108-120	76-84	4	
	S	112-123			80-86	124-133	87-94	2	
	XS	118-131			83-92	131-140	92-98	1	
688	1/2 H	경화열처리불가	17	12	82-102	58-72	97-112	68-79	9
	H	95-108			67-76	106-120	75-84	4	
	S	111-117			78-82	123-133	86-94	1	
	XS	117 min			78 min	130 min	91 min	2 max	
	7025	TM02			Mill Hard	19	13.5	85-110	60-77
TM03		95-120	67-84	100-125	70-88			5	
725	1/2 H	경화열처리불가	20	14	59-78	41-55	65-80	46-56	6
	H	73-88			51-62	75-90	53-63	3	
	S	83-97			58-68	85-100	60-70	1	

#### 4.2.1.12 경도(Hardness)

경도는 소성변형(대개 뽀족한 것에 부딪혀 생긴 변형)에 대한 재료의 저항성이다. 경도시험으로 냉간가공, 용융소둔 및 시효경화같은 공정들의 정도를 점검할 수 있다. 경도시험은 재료의 기계적 성질을 일일이 알게하여 주지 못하지만 유용한 근사치를 제공한다. 일상적으로 여러 가지 다른 시험 방법들이 사용되고 있다. 각 시험 결과치는 서로 일정한 방법으로 경도환산이 안된다. 그러므로 경도치 환산은 피하는 것이 좋다. **Diamond Pyramid(DPH)** 와 **비커스** 경도치는 연속적인 수치로 금속의 경도 범위를 다 망라할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이런 경도시험으로 서로 다른 경도시험법의 결과치를 참고적으로 비교하여 보는 것이 가능하다(표6 참조).

표6-경도종합표 (베릴륨동)

합금명	템퍼	경 도			
		Diamond Pyramid DPH	Rockwell B or C	Rockwell Superficial	
25	A	90-144	B45-78	30T46-67	
	1/4 H	121-185	B68-90	30T62-75	
	1/2 H	176-216	B88-96	30T74-79	
	H	216-287	B96-102	30T79-83	
	AT	353-413	C36-42	30N56-62	
	1/4 HT	353-424	C36-43	30N56-63	
	1/2 HT	373-435	C38-44	30N58-63	
	HT	373-446	C38-45	30N58-65	
190	AM	210-251	B95-C23	30N37-44	
	1/4 HM	230-271	C20-26	30N41-47	
	1/2 HM	250-301	C23-30	30N44-51	
	HM	285-343	C28-35	30N48-55	
	SHM	309-363	C31-37	30N52-56	
	XHM	317-378	C32-38	30N52-58	
	XHMS	325-413	C33-42	30N53-62	
	290	TM00	225-309	B98-C31	30T81-30N52
TM02		255-339	C25-34	30N46-54	
TM04		285-369	C28-38	30N48-58	
TM06		317-393	C32-40	30N52-60	
TM08		345-429	C35-43	30N55-62	
165		A	90-144	B45-78	30T46-67
	1/4 H	121-185	B68-90	30T62-75	
	1/2 H	176-216	B88-96	30T74-79	
	H	216-287	B96-102	30T79-83	
	AT	325-373	C33-38	30N53-58	
	1/4 HT	343-393	C35-40	30N55-59	
	1/2 HT	363-413	C37-42	30N57-60	
	HT	372-435	C38-44	30N58-63	
	AM	225-251	B98-C23	30N37-44	
	1/4 HM	230-271	C20-26	30N41-47	
	1/2 HM	257-301	C24-30	30N45-51	
	HM	285-343	C28-35	30N48-55	
	SHM	309-363	C31-37	30N52-56	
	XHM	317-378	C32-38	30N52-58	
	3, 10	A	65-125	B20-45	30T28-45
		H	144-176	B78-88	30T69-75
AT		195-275	B92-100	30T77-82	
HT		216-287	B95-102	30T79-83	
HTR		216-287	B98-103	30T80-84	
HTC		147-176	B79-88	30T69-75	
174		1/2 HT	180-230	B89-98	30T75.5-81.9
	HT	210-278	B95-C27	30T79-30N48	

그림 14. 응력이완 비교에 쓰이는 요소

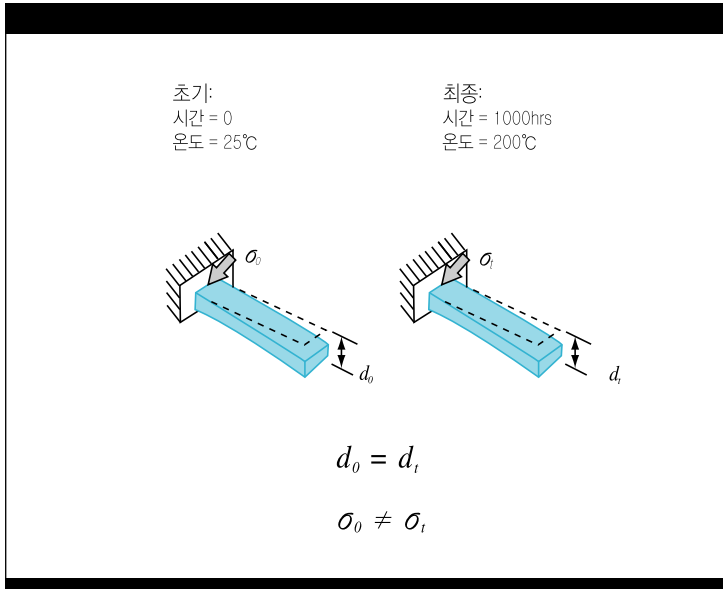
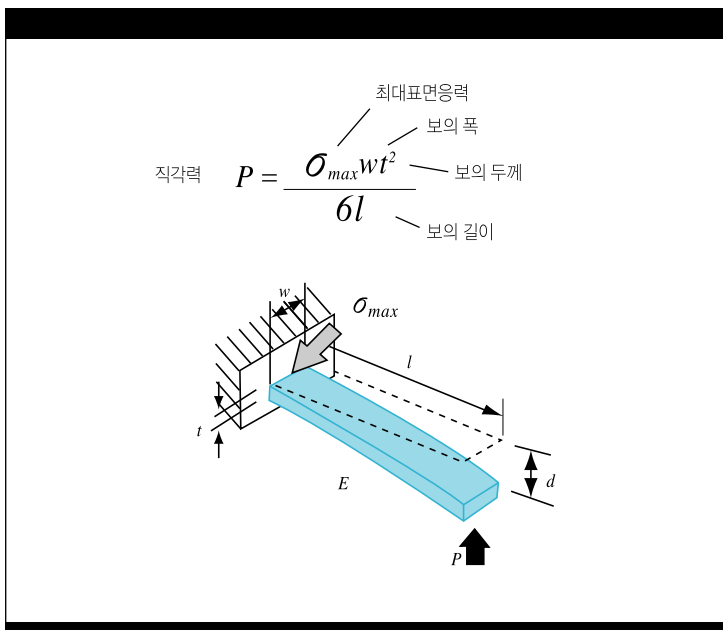


그림 15. 응력이완과 직각스프링력



#### 4.2.2 2차 요소(시간과 관계되는 것)

##### 4.2.2.1 응력이완

##### (Stress Relaxation)

응력이완은 같은 변형율에서 응력의 크기가 점차적으로 줄어드는 것이다. 시편의 변형율을 고정시킨 후 시간별로 하중을 측정하여 자료들을 수집할 수 있다. 일련의 자료곡선으로 시간과 온도의 함수로써의 잔류응력 백분율을 알 수 있다 (Larson-Miller Technique). 응력이완에 있어 온도는 시간보다 더 영향이 크다. 온도가 높을수록 이완속도가 빠르다. 실제 콘넥터에 있어 온도는 주위온도와 콘넥터 내에서 발생된 열로 생긴 온도의 합이다. 콘넥터 재료의 전기전도도와 열전도도 여하가 접촉자의 최대 온도를 결정짓는다. 전도도가 높을수록 발생 온도가 낮아지므로 응력이완 저항성에 유리하다.

대부분의 콘넥터는 절대 용점 온도의 1/2보다 낮은 온도에서 작동한다. 그러므로 응력이완을 주도하는 것은 전위 이동(Dislocation Gliding), 결정입계의 유동, 공공 확산 및 쌍정(Twinning)을 포함한 비확산 제어 메카니즘이다. 그림14는 외팔보의 최대 표면응력 등 응력이완 조건들을 보여주고 있다. 최대 표면응력과 직각력의 관계로부터 응력이완으로 작용력의 크기가 떨어지는 것을 알 수 있다(그림15 참조).

시험절차 - 이 실험에서는 접촉설계와 근사한 치수의 단면을 가진 금속 시편을 이용한다. 그림16은 시편을 굽혀 복귀력을 발생시키고 이 상태를 고온에서 계속적으로 방치한 후 여러 시간대에서 보의 영구변위를 측정한다. 이때



재료에 가하는 췌트 응력의 크기는 그 재료의 항복강도의 몇 퍼센트로 한다. 시편 보에서 측정된 영구변형으로부터 시간과 온도에 따른 스프링력의 손실을 또는 초기응력의 이완율을 알 수 있다. 주어진 온도와 시간에 대한 응력 손실율은 재료의 항복강도 미만에서는 어떠한 초기 응력에 대해서도 일정하다.

Larson-Miller 또는 응력이완 곡선은 모든 범위의 시간과 온도에 대하여 성능을 예상할 수 있는 응력이완 자료를 제공한다(그림17 참조). 잔류응력은 접촉자가 아직도 응력의 일부를 유지하는 능력을 의미한다. 잔류응력 곡선에서 주어진 고온하에 있었던 시간 후, 일정 시간 간격에 대한 잔류응력 비율을 예상할 수 있다. 표7은 100℃와 200℃에서 스프링 재료의 이완특성에 관한 자료를 제공하고 있다. 추가적인 응력이완 곡선은 Brush Wellman 社의 자료인 “Atlas of Stress Relaxation Curves for Beryllium Copper and Selected Copper Alloy Spring Materials” 에서 볼 수 있다.

그림 16. 응력이완 시험기구

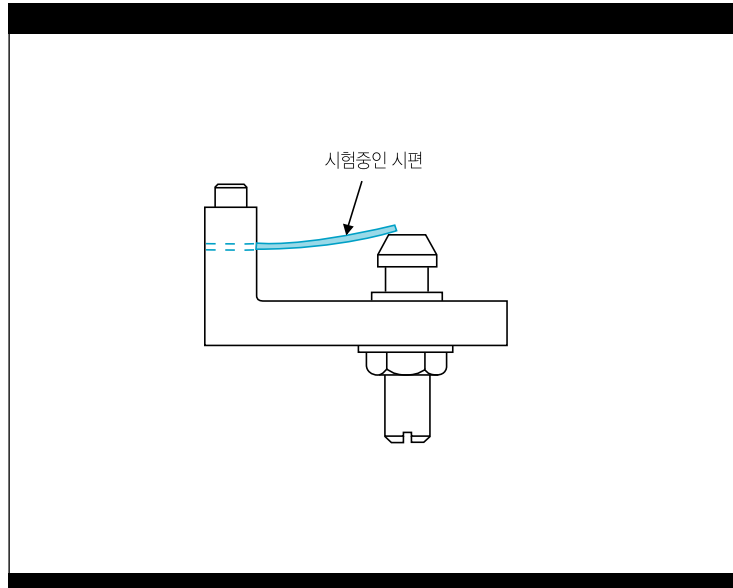


그림 17. 응력이완 곡선

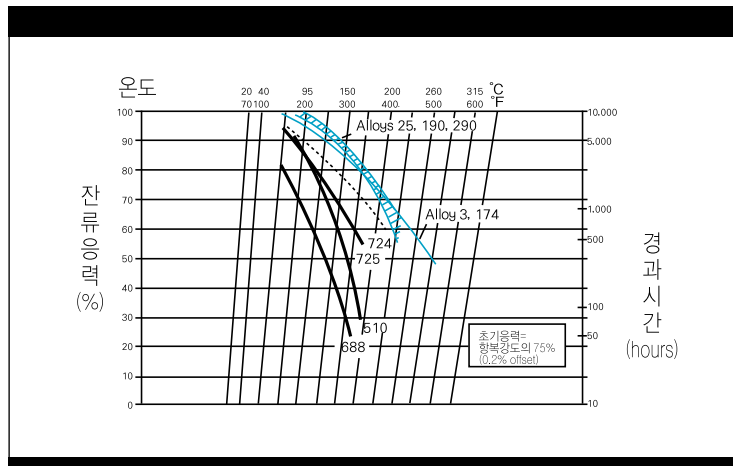
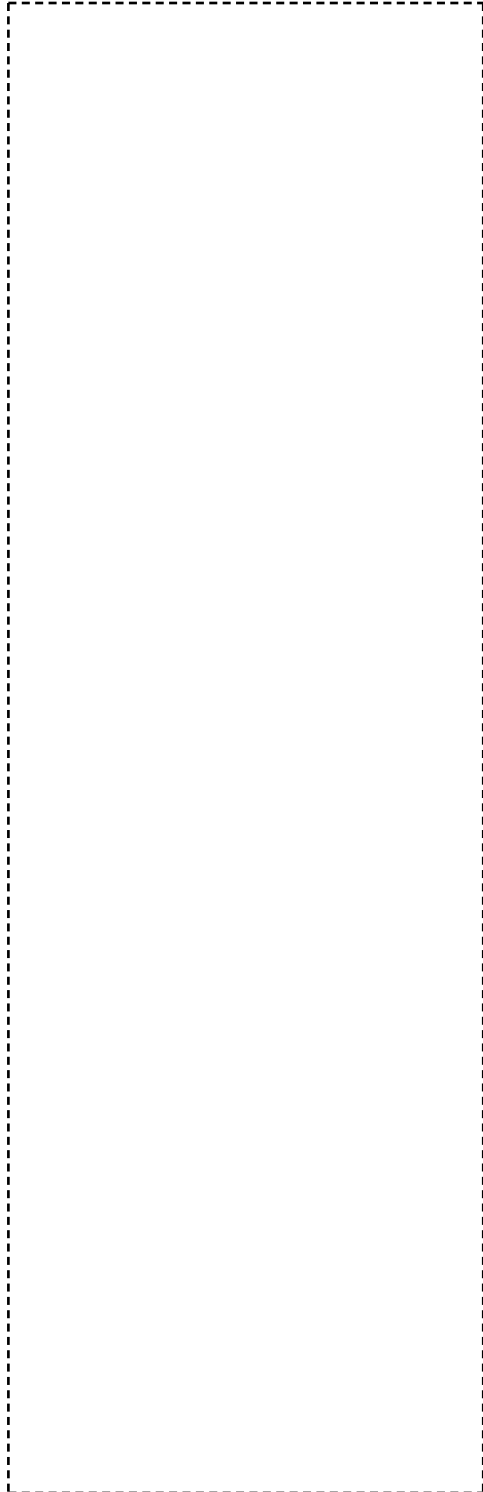


표7-응력이완 종합비교표

합금명	템퍼	잔류응력% (75% of 0.2% Yield Strength) 1000 hours at 100°C	잔류응력% (75% of 0.2% Yield Strength) 1000 hours at 200°C
25	AT	96	70
	1/4 HT	96	70
	1/2 HT	97	73
	HT	98	74
190	AM	97	67
	1/4 HM	97	67
	1/2 HM	97	67
	HM	98	68
	SHM	98	68
	XHM	98	69
	XHMS	98	69
290	TM00	97	76
	TM02	97	76
	TM04	98	77
	TM06	99	78
	TM08	99	78
165	AT	96	70
	1/4 HT	97	71
	1/2 HT	97	72
	HT	98	75
	AM	97	66
	1/4 HM	97	67
	1/2 HM	98	67
	HM	98	68
	SHM	98	68
	XHM	98	69
3	AT	94	72
	HT	96	75
	HTR	96	75
	HTC	94	72
174	1/2 HT	94	70
	HT	95	76
260	H	41	8
194	S	-	-
510	1/2 H	85	-
	H	83	-
	S	77	20
521	1/2 H	88	-
	H	83	-
	S	77	-
654	S	72	-
688	S	72	10
725	S	89	40



유한요소분석법의 모델링은 종종 경험적인 수식으로 얻을 수 있는 응력이완 자료들을 요구한다. 이 수식은 다음과 같다.

$$\text{잔류응력 비율(\%)} = A - B[\ln(t)]^2$$

이 때, A와 B는 초기 응력과 시간에 무관하고 재료, 템퍼 및 온도에 따라 달라지는 상수이고 t는 시간(Hour)이다. 표8은 몇몇의 고성능 동합금에 대한 상수 A와 B를 정리한 것이다.

표8-응력이완 계산용 계수표

합금 및 템퍼	시험 온도		계산용 계수	
	°F	(°C)	A	B
25 1/4 HT	257	125	97.83	0.0789
	302	150	96.61	0.1390
	392	200	98.22	0.7492
25 1/2 HT	257	125	98.33	0.0908
	302	150	97.67	0.2017
	392	200	94.36	0.7562
190 1/2 HM	257	125	99.03	0.2789
	302	150	97.04	0.6298
	392	200	62.48	0.8414
190 XHM	257	125	97.62	0.1039
	302	150	97.47	0.2417
	392	200	93.51	0.8184
290 HM	257	125	100.86	0.1590
	302	150	97.77	0.2333
	392	200	97.10	1.3106
174 1/2 HT	257	125	94.49	0.1855
	302	150	91.17	0.2394
	392	200	79.18	0.2597
174 HT	257	125	97.84	0.1448
	302	150	94.78	0.1934
	392	200	89.68	0.2730
197 XH	257	125	90.36	0.2647
	302	150	83.77	0.3601
	392	200	62.93	0.5111
510 S	257	125	99.42	0.4227
	302	150	94.02	0.8491
	392	200	53.73	0.7616

그림 18. 피로시험 기준

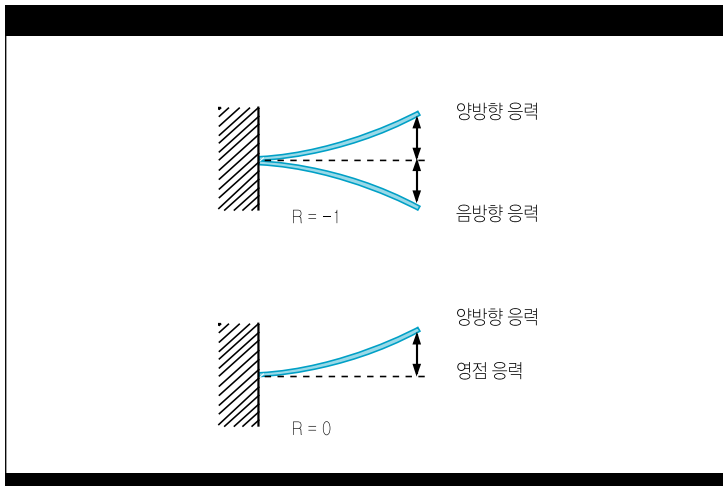
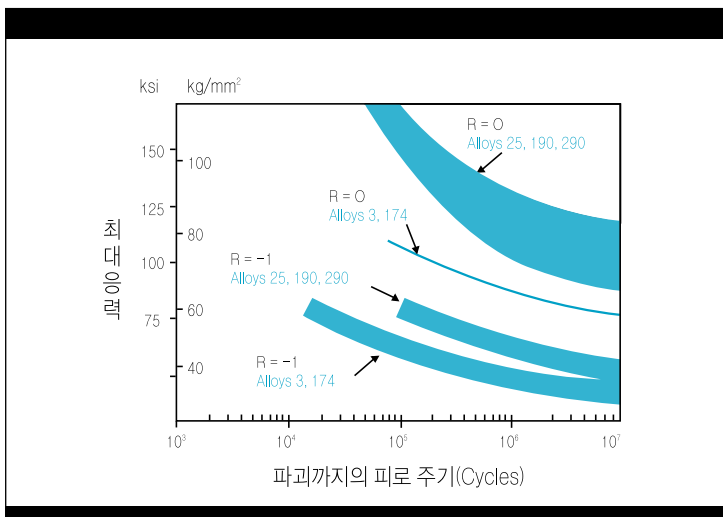


그림 19. 피로 곡선



#### 4.2.2.2 피로(Fatigue)

피로는 재료가 인장강도 미만의 응력임에도 힘을 반복적으로 또는 변동적으로 계속 받는 과정에서 파괴되는 현상이다. 대표적 콘넥터의 주기 수는 한 방향 굽힘( $R=0$ )에서 일반적으로 1K-10K회이다. 스위치와 릴레이에서는 역 굽힘( $R=-1$ )이 피로의 양식이다. 피로수명은 정해진 시험조건에 대해 파괴진 응력주기의 수이다. 그림18은 피로 시험 조건들을 정의하고 있다. 피로한도 (Fatigue Limit)는 지정된 주기 수에서 피로파괴를 유발하는 최대 응력이다. 피로는 표면의 품질과 모서리의 상태로부터 영향을 받는 일종의 표면현상이다. 피로 특성을 개선시키기 위해서는 스템핑에 의한 표면 손상을 없애고 표면의 변형을 바꿔 볼 필요가 있다.

응력주기, 표면상태 및 환경조건과 같은 조건들은 피로시험 결과치와 피로 성능에 많은 영향을 미친다. 표9는 응력주기 108회에 대한 콘넥터 스프링 합금들의 피로강도를 보여 주고 있다. 그림 19는 피로곡선(S-N Curve)이다.

표9-피로강도 종합표

합금명	템 퍼	피로강도 (R=-1, 10 <sup>6</sup> 회)	
		Ksi	kg/mm <sup>2</sup>
25	A	30-35	21-25
	1/4 H	31-36	22-25
	1/2 H	32-38	23-27
	H	35-39	25-27
	AT	40-45	28-32
	1/4 HT	40-45	28-32
	1/2 HT	42-47	30-33
190	HT	45-50	32-35
	AM	40-45	28-32
	1/4 HM	41-47	29-33
	1/2 HM	42-48	30-34
	HM	45-52	32-36
	SHM	47-55	33-39
	XHM	50-57	35-40
290	XHMS	50-60	35-40
	TM00	40-45	28-32
	TM02	42-48	30-34
	TM04	44-50	31-35
	TM06	47-57	33-40
165	TM08	50-60	35-42
	A	28-33	20-23
	1/4 H	29-34	20-24
	1/2 H	32-38	23-27
	H	35-39	25-27
	AT	37-42	26-30
	1/4 HT	38-44	27-31
	1/2 HT	40-45	28-32
	HT	42-47	30-33
	AM	40-45	28-32
	1/4 HM	40-45	28-32
	1/2 HM	42-48	30-34
	HM	45-52	32-37
	SHM	47-55	33-39
XHM	50-57	35-40	
3, 10	A	20-30	14-21
	H	25-35	18-25
	AT	38-44	27-31
	HT	42-47	30-33
	HTR	43-48	30-34
	HTC	30-35	21-25
	1/2 HT	45-50	32-35
174	HT	45-50	32-35
	H	21	15
194	S	21	15
510	S	30	21
521	S	33	23
654	S	37	26
688	S	37	26
725	S	38	27

그림 20. 외팔보의 끝에 부하가 걸린 모양

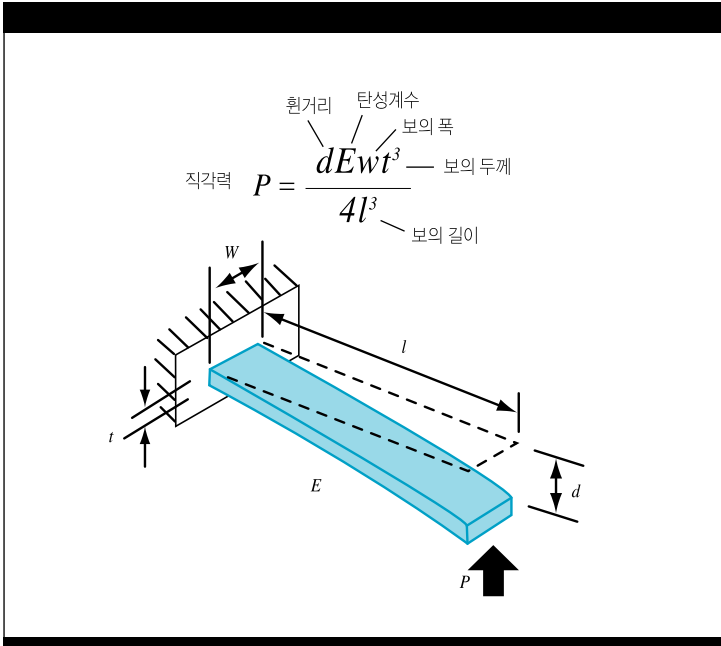
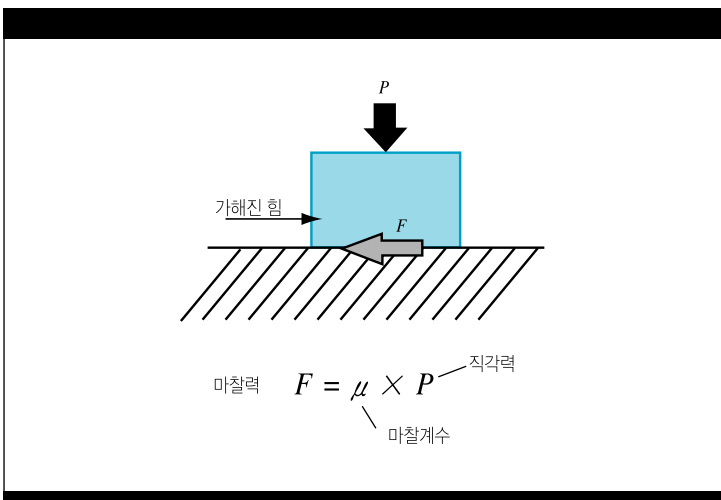


그림 21a. 마찰력



#### 4.2.3 3차 요소(물성간 상호관계)

##### 4.2.3.1 직각스프링력

직각력 또는 접촉력은 접촉 신뢰성이 중요한 접촉시스템에서 가장 중요한 요소이다. 직각력은 상호 접촉하고 있는 평면 부품에 의해 발생하며, 그 표면에 직각인 힘이다. 외팔보 형식의 콘넥터에 있어 직각력은 다음과 같다(그림 20참조):

$$\text{직각력}(P) = \frac{dEwt^3}{4l^3}$$

- 이 때,  $d$  = 보의 휨량
- $E$  = 탄성계수
- $w$  = 보의 폭
- $t$  = 보의 두께
- $l$  = 보의 길이

직각력은 또한 최대 표면응력의 함수이다.

$$\text{직각력}(P) = \frac{\sigma_{max}wt^2}{6l}$$

마찰력은 마찰계수와 직각력에 의존하며, 경계면의 상태에 매우 민감하다. 삽입력과 인출력은 마찰력의 일종이다. 삽입력은 마찰력과 접촉부위의 도입각도에 따른다(그림 21a와 21b 참조).

$$\text{마찰력}(F) = \mu P$$

- 이 때,  $F$  = 마찰력
- $\mu$  = 마찰계수  
(Coefficient Of Friction)

$$P = \text{직각력}$$

표10은 접촉 시스템과 직각력과의

상호관계를 보여준다.

힘량이 작을 때, 접촉자의 모양이 같고 힘 변형율이 같으면 접촉력은 재료의 탄성계수만의 함수이다.

힘량이 클 때, 항복강도를 넘으면 더 휘더라도 힘의 증가율은 감소된다. 이렇게 힘의 증가율이 감소하는 것(힘의 수평화)은 보의 굽혀진 부분에 소성변형 또는 영구변위가 발생하기 때문이다. 힘량이 아주 커진 이후에는 접촉자는 응력이 없던 초기의 위치로 돌아오지 않는다.

항복강도 이상의 소성변형 구역에서는 응력과 변형은 이미 직선적으로 변하지 않는다(그림 22 참조). 이 구역에서 재료는 변형경화를 일으키며, 다음의 방정식으로 주어진 변형 정도에 대한 진응력(True Stress,  $\sigma$ )을 예측할 수 있다.

$$\text{진응력}(\sigma) = K\varepsilon^n$$

- 이 때,  $\varepsilon$  = 진 소성 변형율
- $K$  = 상수
- $n$  = 변형경화 지수 (Exponent)

$n$  값은 화학조성, 냉간 압연의 정도, 재료의 제조공정 이력에 따라 달라진다. 표11은 베릴륨동 합금에 대한 대표적인 변형경화 지수를 나타내고 있다.

그림 21b. 삽입력과 인출력

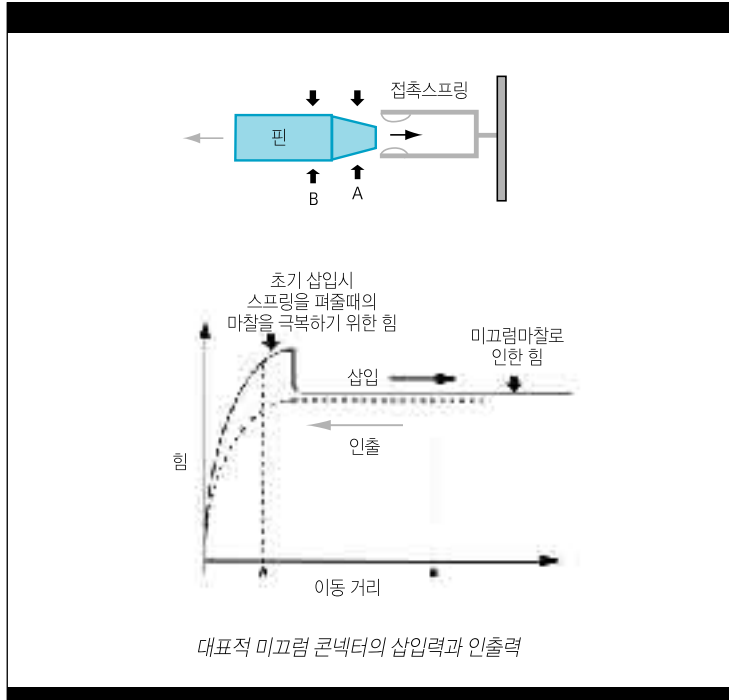


표10-직각력과 관계있는 것

직각력에 영향을 받는 것	직각력에 영향을 주는 것
마찰력(삽입/인출)	접촉 스프링력
마모특징	접촉예비부하
접촉스프링 응력	접촉보의 변형
접촉하우징 응력	영구변위
접촉저항	응력이완

그림 22. 변형 경화

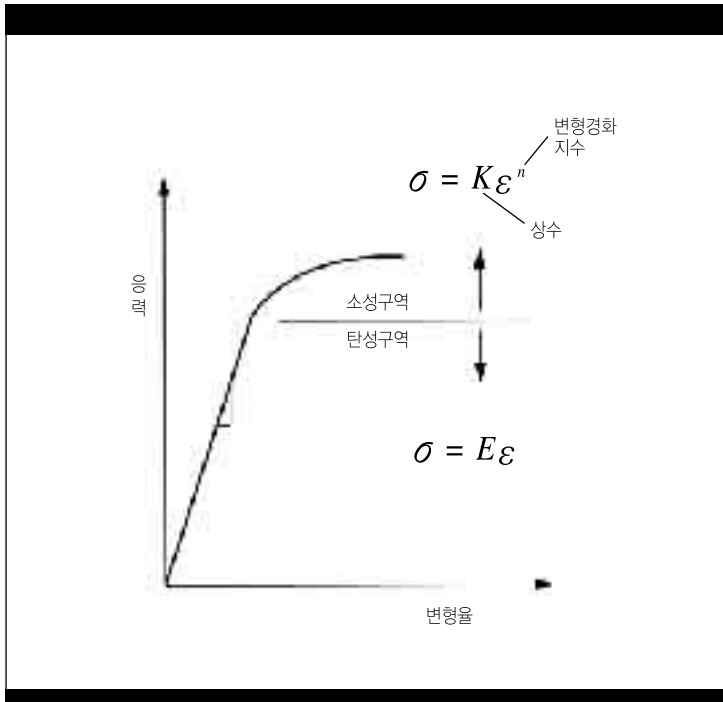


표 11-변형경화 지수(베릴륨동)

Brush Alloy	n	K (ksi)	K (kg/mm <sup>2</sup> )
25A	0.49	176	124
25 1/4 H	0.17	137	96
25 H	0.07	170	120
190 HM	0.06	198	139
3 AT	0.13	167	117
174 HT	0.07	153	108



#### 4.2.3.2 영구변위(Permanent Set)

영구변위는 변형 응력이 풀어진 후에 남는 소성변형이다(그림 23 참조). 이것은 부품의 반복되는 접촉, 비스듬한 삽입 또는 너무 큰 탐침봉의 삽입에 의하여 생긴다. 영구변위로 인한 접촉 성능의 저하로 유효 휨 량이 줄어들어 핀에 미치는 직각력은 줄어든다. 중요한 재료 특성은 항복강도로써 재료의 인성(Toughness) 및 탄성에너지(Resilience)에 직접적인 영향을 준다.

재료의 인성은 소성범위에서 에너지를 흡수하는 능력이다. 항복강도보다 높은 힘을 때때로 받으면서 파괴를 일으키지 않는 것이 바람직한 능력이다. 인성은 최대응력까지의 응력-변형을 곡선 아래의 면적이다(그림 24a 와 b 참조). 다음은 인성의 근사 계산식이다:

$$\text{인성} = (YS \times US) + 1/2(TS - YS)US$$

이 때,  $YS = 0.2\%$  항복강도  
 $TS =$  최대 인장강도  
 $US =$  균일한 변형을

이 면적은 파괴를 일으키지 않으며 재료에 가해진 단위 체적당 일(Work)의 크기를 표시한다. 인성은 강도와 연성(Ductility)을 포함하는 매개이다.

**탄성에너지(Resilience)**는 탄성적으로 변형되었을 때는 에너지를 흡수하고 하중이 제거될 때에는 에너지를 되돌려주는 재료의 능력이다. **탄성에너지 계수(Modulus of Resilience; U)**의 크기는 재료에 응력을 제로(0)에서 항복강도까지 가하는데 요구되는 단위 체적당 변형 에너지이다. 다음 방정식은 탄성에너지의 정의이다:

그림 23. 영구변위

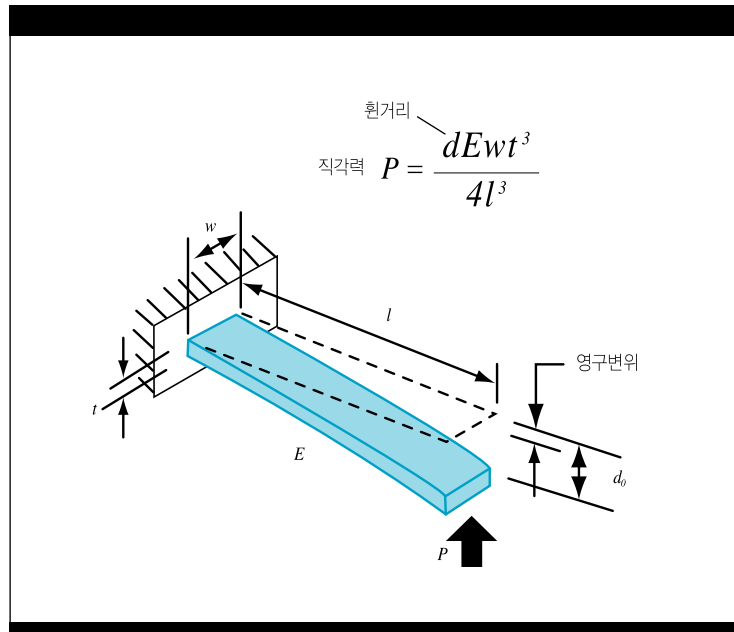


그림 24a. 인성의 정의

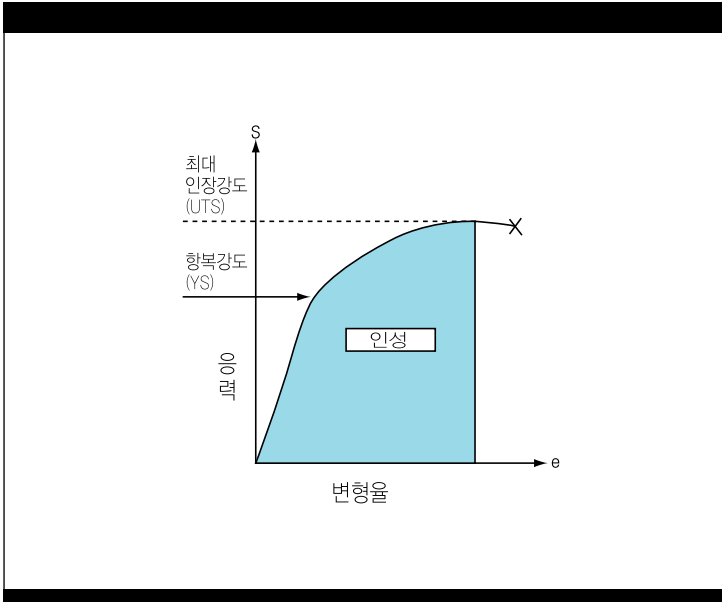
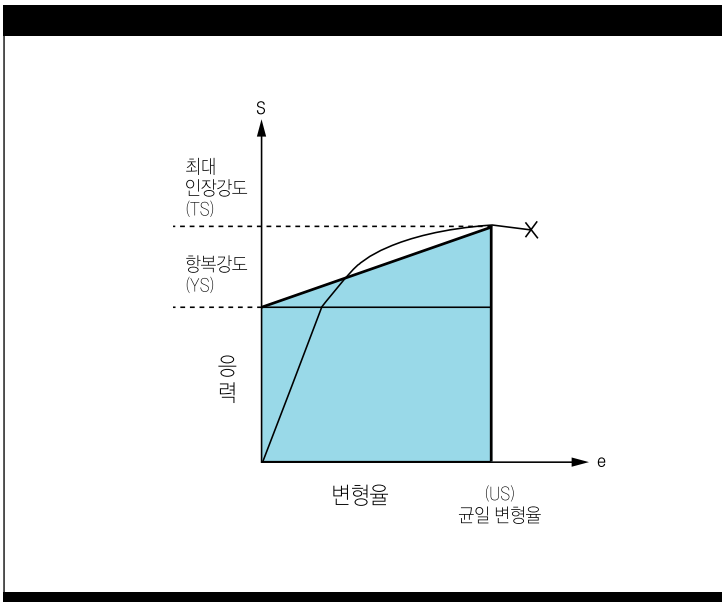


그림 24b. 인성의 근사치 계산법



$$U_R = \frac{(YS)^2}{2E}$$

이 때,  $YS = 0.2\%$  항복강도  
 $E =$  탄성계수

이 방정식은 부품이 영구변위를 일으키지 않고, 에너지 부하에 잘 저항하는 이상적인 재료가 항복응력은 높고 탄성계수는 낮은 재료라는 것을 가리킨다. 탄성에너지와 인성은 내구성의 개략치이다.

#### 바우싱어 효과(Bauschinger Effect)

는 응력을 역방향으로 가할 때, 같은 변형율에 대하여 응력이 감소하는 현상을 말한다. 성형방향의 반대 방향으로 하중을 가하면 직각력이 감소되고 접촉자 설계에서 허용된 것보다 낮은 하중에도 영구변형이 생긴다. 성형 방향으로의 힘은 설계시 예상된 직각력과 영구변형을 보여 준다. 소성변형은 소성 방향으로는 항복강도를 증가시키고 반대 방향으로는 감소시킨다. 이 효과는 항복강도가 클수록 역하중 응력손실이 적어지는 점에서 항복강도의 함수이다. 응력제거는 성형 후 바우싱어 효과를 최소화시킨다.

#### 4.2.4 환경 요소

정상적인 작동 환경에서 접촉자는 기계적 응력만 잘 견디면 된다. 그런데 접촉자가 상승된 온도와 응력, 그 밖의 가혹한 환경 조건에 노출되면 추가적으로 환경적인 응력을 경험하게 된다. 상승된 온도 상태는 주위 환경이나 저항열로부터 발생될 수 있다. 인장 특성은 온도의 영향을 받는다(매 56°C에 대해 약 10%). 많은 요인들이 응력이 설계치 수준 이상이 되게 작용한다. 접촉자의 재료와 기하학적 모양, 온도 수준, 잔류응

력 및 기능에 따른 응력 등이 모두 그러한 작용을 한다. 가혹한 환경 노출에 대해서 내식성은 중요하다.

### 4.3 전기 및 열적 특성

#### 4.3.1 열팽창 계수(CTE)

열팽창계수는 기준 온도(보통 0°C)에서의 단위 길이를 기준하여 단위 온도 변화에 대한 재료의 미소한 길이 변화를 말한다. 열팽창계수의 차이는 두 부품간에 Thermal Mismatch를 초래한다. 베릴륨동의 열팽창계수는 일반 사용 온도범위에 있어 합금 함량과 관계 없다. 표12는 각 합금의 열팽창계수들을 나타내고 있다.

#### 4.3.2 전기전도율

전기전도율( $\gamma$ )은 재료 몸체 전기저항의 역수이다. 그 재료의 고유저항( $\rho$ )은 단위 길이당 재료의 전기저항과 단면적의 곱수이다.

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

이 때,  $R$  = 전기 저항(ohm)

$A$  = 단면적(in<sup>2</sup> 또는 cm<sup>2</sup>)

$l$  = 길이(in 또는 cm)

동합금 전기전도율은 %IACS 단위로 나타낸다. IACS는 International Annealed Copper Standard의 머리글자이다. 순수한 동의 표준 전기전도율인  $1.72 \times 10^6$  ohm-cm ( $6.79 \times 10^7$  ohm-in)를 100%로 한다.

#### 4.3.3 열전도율

열전도율( $k$ )은 어떤 재료가 얼마나 쉽게 열을 내부 분산시키는가를 나타낸

표12-동합금의 열팽창계수

합금명	열팽창계수 (in/in/°F, 70°F to 400°F) (21°C to 204°C)
25	$9.7 \times 10^{-6}$
M25	
165	
3	$9.8 \times 10^{-6}$
10	
174	
260	$11.1 \times 10^{-6}$
194	$9.8 \times 10^{-6}$
510	$9.9 \times 10^{-6}$
521	$10.1 \times 10^{-6}$
688	
654	$9.7 \times 10^{-6}$
725	$9.2 \times 10^{-6}$

표13-동합금의 전기전도율과 열전도율

합금명	템퍼	전기전도도 (% IACS min)	열전도도		전도도곱 (% IACS × BTU/ft-hr-F)
			(BTU/ft-hr-F)	W/m · K	
25	AT	22	60	105	1320
	1/4 HT				
	1/2 HT				
	HT				
190, 290	All Tempers	17	60	105	1020
165	AT	22	60	105	1320
	1/4 HT				
	1/2 HT				
	HT				
	AM	18	60	1080	
	1/4 HM				
	1/2 HM				
	HM				
	SHM				
	XHM				
3	AT	45	140	240	6300
	HT	48			
	HTR	48			
	HTC	60			
174	1/2 HT	50	135	230	6750
	HT	48			
260	H	28	70	120	
194	S	60	150	260	
510	1/2 H	15	40	70	600
	H	15			
	S	15			
521	1/2 H	13	36	62	468
	H	13			
	S	13			
654	1/2 H, H X, XS	7	21	36	147
688	1/2 H, H	17	40	69	680
	S				
	XS				
725	1/2 H, H	11	31	54	341
	S				
7025	TM02	40	98		3920
	TM03	35			3430

다. 공식적으로는 안정된 상태하의 균질한 재료에 있어 면적에 수직인 방향으로 단위 시간, 단위 면적, 단위 온도변화당 흐르는 열에너지의 비율이다. 하기 방정식은 실온 이상의 온도에서 열전도율(k)을 근사치로 나타낸다:

$$k = \frac{7.1 \times 10^{-6}}{\rho} + 0.1$$

이 때, k = 열전도율(W/cm°C)

ρ = 20°C에서의 고유저항(ohm-cm)

표13은 여러 가지 접점재료의 열전도율, 전기전도율 및 두전도율을 곱한 값을 나타내고 있다.

#### 4.3.4 온도상승

온도상승은 재료의 몸체저항의 함수이다. 몸체저항은 재료의 전기저항과 접촉자의 크기와 모양으로 결정된다. 접촉자의 온도상승은 발생된 열의 열전도에 따라 다르다. 접촉자의 온도상승은 열의 축적에 의하여 일어난다. 열의 축적은 스프링 재료의 열전도율, 전류의 크기 및 콘넥터의 열 방출성 즉, 열대류성에 따른다.

저항열과 열전달의 효과로 인한 접촉자의 안정상태에서의 최대 온도상승은 하기 방정식으로 예상할 수 있다.

$$\Delta T = \frac{J^2 L^2}{2\gamma k A^2}$$

이 때, ΔT = 온도상승 (°F)

J = 전류 (Amps)

L = 보의 길이 (in)

A = 단면적 (in<sup>2</sup>)

γ = 전기전도율 (% IACS)

$k$  = 열전도율 (BTU/ft · hr · F)

두개의 전도율은 다같이 콘넥터의 온도 상승에 영향을 미치는 재료 특성이다. 이 방정식은 대류나 복사를 통한 열방출을 할 수 없는 시스템에서 온도 상승의 보수적 근사치를 제공한다.

온도 상승은 재료의 전기전도율과 열전도율의 곱에 반비례한다. 콘넥터 재료는 전기전도율이 좋아서 저항열을 최소로 발생하게 하는 것도 중요하지만 그 재료의 열전도율이 좋아서 쉽게 분산 방출되게 하는 것도 중요하다.

#### 4.3.5 전력 특성

접촉저항의 크기와 안정성은 전력 송배전의 요구사항을 위해 중요하다. 콘넥터 저항에 비례하는 주울열(Joule) 또는 저항열은 콘넥터의 작동온도를 상승시킨다. 온도상승에 대한 기준(일반적으로 30℃)이 있는데 이는 전류 용량 또는 등급을 결정한다. 전력은 하나의 전용 접속자 또는 다수의 병렬 접속자들을 통해 연결된다.

#### 4.3.6 신호 특성

신호 분배에 있어 요구사항되는 것은 신호 파형을 일관되게 유지하는 것이다. 몸체저항, 임피던스, 전파지연, 혼신(Crosstalk) 및 회로저항이 낮게 하는 것은 중요한 특성들이다. 일반적인 동스트립 재료의 콘넥터는 전기설계가 적절히 고려되었을 때 작동주파수 1 GHz 까지 유효하다.



## 제5장 설계와 분석

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인



품 질 인 증



생 산

## 제5장 설계와 분석

일반적으로 콘넥터와 접속 시스템은 전기전자 장치에서 데이터와 전력신호를 운반한다. 잘 못 설계된 연결부는 다른 잘 설계된 모든 부분의 성능을 망친다. 그러므로 전체 시스템이 일체로 잘 성능을 발휘하게 하기 위해서는 도선, 단말, 콘넥터, 소켓 등이 중요하다.

### 5.1 설계와 분석 방법

#### 5.1.1 CAD 설계

요즈음에는 CAD 소프트웨어가 잘 되어 있어 2차원 도면 대신 수식적 입체 모델로 콘넥터 설계를 많이 한다. 이 모델은 질량을 갖는 3차원으로 부품의 모양을 표현한다.

입체모델 방법으로 설계 경향이 바뀌는 주 이유는 같이 설계에 임하고 있는 다른 부품의 설계자들에게 부품의 실물 모양을 초상할 수 있는 수단을 제공하기 때문이다. 이 수단은 분석용 데이터를 제공할 뿐 아니라 수치제어(NC) 기계가공을 할 수 있게 한다.

#### 5.1.2 제조 편의를 고려한 설계

산업에서 양산의 필요성, 그에 따른 호환성 증가, 원가 절감 필요성은 소위 통계적 공차 분석법이라고 하는 것을 개발 시켰다. 이의 일차적 목적은 제작 사양 한계를 초과해서 생산되는 것의 확률 계산을 하여 지속적인 분석을 시행하고자 하는 것이다. 이렇게 하는 근본적인 취지는 고객 만족과 생산비 최소화라는 두 가지 명제를 어떻게 하면 동시에 살릴 수 있는가 하는 것이다. 이것은 공차와 제작성의 결합을 이야기한다. 조립시의 공차와 생산성을 함께 검토함으로써 회사는 보다 높은 생산 효율과 낮은 비용을 실현할 수 있다.



### 5.1.3 공차 분석

공차 분석이란 부품을 조립하여 끼웠을 때 사이가 뜨는 것의 누적을 최소화하여 제품의 품질을 높이는 것이다.

#### 5.1.3.1 AWC 방법 (Arithmetic Worse Case)

이것은 보다 불량한 조건일 때의 허용도를 단순히 가감하여 나오는 숫자이다. 이 방법은 맞춤의 통계적 확율을 고려하지 않으므로 지나치게 보수적인 설계를 하게 한다. 이 방법은 생산성에 대한 고려면에서 사양의 극단적인 경우만 고려하는 점이 있다. 이 방법은 조립 부품이 4개 이하인 경우에 적합하다(그림 25).

#### 5.1.3.2 RSS 방법 (Root Sum of Squares)

이것은 AWC 공차 분석 방법보다 덜 보수적이다. 이 방법은 Print Tolerance 가 표준 편차( $\sigma$ ) 한계의  $\pm 3$  배와 같다고 가정한다. 이 분석법은 제조에 있어 부품이 항상 최대치 또는 최소치로만 들어지지 않는 확율을 이용한다. 이것은 공구 마모 등 공정상의 평균 공차변화를 감안하지 않고 공정상에 작업물이 항상 중앙에 놓인다고 가정한다.

#### 5.1.3.3 DRSS 방법 (Dynamic Root Sum of Squares)

이 방법은 RSS 분석법보다 덜 보수적이다. 이 방법은 계산식에 실제 공차내 생산가능지수(Cpk)를 추가함으로써 공정에서 발생하는 작업물의 평균공차변화를 포함시킨다. 한 부품에 대하여 공차내 생산능력이 저하하면 조립이 잘 될 확율이 그 만큼 저하한다. 이 방법은 조립 표준 편차를 부풀리지만 무작위 공정솔림평균치(Random Process Mean Shift) 에

그림 25. 공차분석

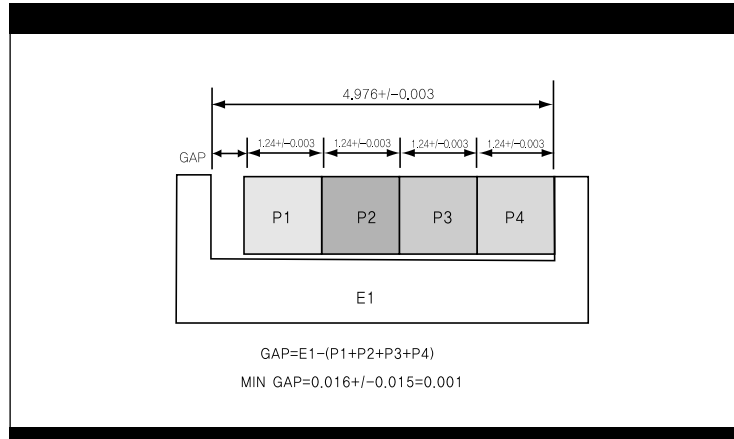


그림 26. 두께공차로 인한 접촉력의 과소과다율

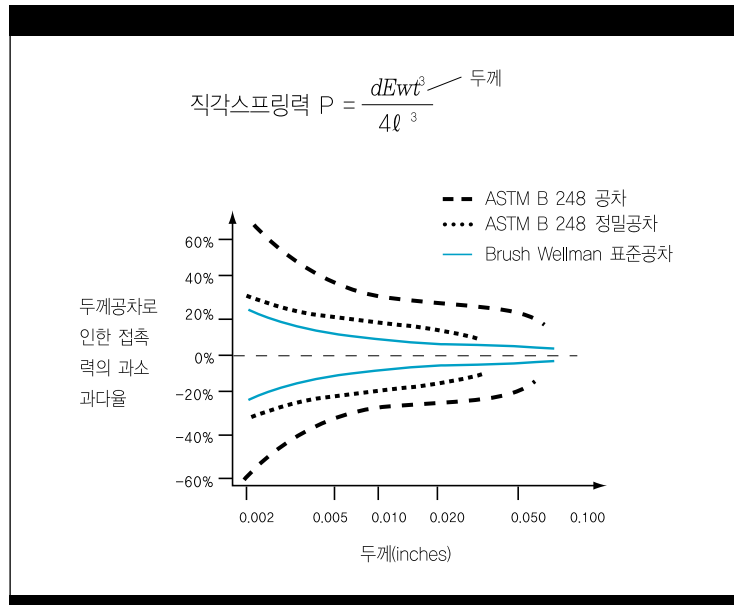


표 14a-스트립의 두께공차

스트립 두께 (inches)	BRUSH 표준공차 (+/-inches)	ASTM B 248 정밀공차 (+/-inches)	ASTM B 248 표준공차 (+/-inches)
초과 - 이하			
0.0020-0.0040	0.00015	0.0002	0.0004
0.0040-0.0060	0.00020	0.0003	0.0006
0.0060-0.0090	0.00025	0.0004	0.0008
0.0090-0.0130	0.00030	0.0005	0.0010
0.0130-0.0170	0.00040	0.0007	0.0013
0.0170-0.0210	0.00040	0.0008	0.0015
0.0210-0.0260	0.00040	0.0010	0.0020
0.0260-0.0370	0.00060	0.0013	0.0025
0.0370-0.0500	0.00080	0.0015	0.0030
0.0500-0.0730	0.00100		0.0035

표 14b-스트립의 두께공차 (METRIC)

스트립 두께 (mm)	BRUSH 표준공차 (+/-mm)
0.05-0.10	0.0038
0.10-0.20	0.006
0.20-0.30	0.008
0.30-0.70	0.010
0.70-1.0	0.016
1.0-1.3	0.020
1.3-2.0	0.025

표 15a-선재의 직경공차

선재 직경 (inches)	Brush 표준공차*	
	냉간인발(+/-inches)	어니링재(+/-inches)
0.0500-0.0800	0.0003	0.001
0.0800-0.1250	0.0004	0.002
0.1250-0.2500	0.0006	0.002
0.2500-0.3125	0.0007	0.002
0.3125-0.4060	0.0010	0.002
0.4060-0.5000	0.0010	0.002

\* 진원도 공차는 직경공차의 1/2임

표 15b-선재의 직경공차 (METRIC)

선재 직경 (mm)	Brush 표준공차*	
	냉간인발(+/-mm)	어니링재(+/-mm)
1.2 - 1.5	0.01	0.03
1.5 - 2.0	0.01	0.03
2.0 - 3.8	0.02	0.05
3.8 - 12	0.03	0.05

\* 진원도 공차는 직경공차의 1/2임

는 거의 영향을 미치지 않는다.

조립공차에 부가하여 스트립재를 정밀 스탬핑하여 스프링 제조할 때에는 접촉력(직각력)이 스트립 두께의 3승에 비례하므로 두께 공차 범위를 엄격하게 규제하여야 한다. 그림 26은 두께 공차가 접촉력(직각력)에 에러를 발생시킬 수 있는 가능성을 보여준다. 표 14와 표 15는 스트립재와 선재의 제조 치수공차를 보여 준다. Brush Wellman社は 더 좁은 공차의 제품도 특별 주문에 따라 제작한다.

#### 5.1.4 치수 공차

##### 5.1.4.1 스트립재 (Heat Treatable, Mill Hardened 스트립재에 한함) (표 14a와 14b 참조)

##### 5.1.4.2 선재

(표 15a와 15b 참조)

#### 5.1.5 구조 해석

어떤 콘넥터이든지 그 설계와 결과분석에 있어서는 체계적 접근이 필요하다. 콘넥터설계를 처음하는 설계엔지니어는 흔히 조립, 취급, 운반, 제조과정중에 발생하는 문제나 온도도 기타 환경변화 때문에 생기는 응력에 대한 영향을 무시한다. 여기에 소개하는 간단한 해석기법은 설계엔지니어로 하여금 응력과 변형율을 허용범위 안에 있게 하면서 예상되는 부하를 견딜 수 있도록 새로운 설계를 하는데 도움이 될 것이다. 본 절에서는 간단한 고전적 응력-힘 수식을 콘넥터 설계에 적용하여 본다. 대단히 정확한 결과를 요구하는 더 복잡한 구조의 설계는 보다 더 정확한 고전적 방법 또는 유한요소분석법 (Finite Element Analysis : FEA) 에 의한 컴퓨터해석이 요망된다.

### 5.1.5.1 부하

어느 부품이든지 검토 첫 단계는 그 부품에 걸리는 부하를 결정하는 일이다. 이 부하는 대개 두가지 종류로 구분된다:

**직접부하** - 그 부품의 어느 지정된 부위에 걸리는 부하. 그 부위의 어느 한 점에 집중될 수도 있고, 선, 윤곽선에, 또는 면적 전체에 고르게 퍼질 수도 있다. 작동조건에 따라 이들 부하의 크기와 방향이 결정된다.

**변형을 유발부하** - 때때로 부하가 힘의 결과로 생기는 경우가 있다. 이 부하는 주어진 변형율에 대한 그 부품의 구조적 반응의 결과이다. 직접 부하와 달리 스트레인 유발부하는 그 재료의 탄성계수에 따른다.

### 5.1.5.2 지지조건

부품이 평형상태에 있으려면 부하가 걸려 있는 동안 똑같은 크기로 반대 방향에서 작용하는 힘이 있어야 한다. 이 평형력은 지지물에서 생긴 반발력이다. **그림 27**에 몇 가지 지지물 형태가 보여진다:

**무지지** - 부재의 끝이 어느 방향으로든 지움, 연신, 회전이 된다.

**유도지지** - 무지지와 비슷하나 단 회전이 될 수 없다.

**단순지지** - 연신, 회전은 되나 휨 수 없다.

**핀 고정** - 단순지지와 같은 상태에서 회전이 허용된다.

**고정지지** - 휨, 회전, 길이방향 어느 쪽으로도 움직일 수 없다. 끝이 고정된 벽속에 박혀 있다.

고전적 수식으로 한 특정한 설계를 해석할 때 그 결과의 정확성은 계산시 사용한 가정에 따른다.

그림 27. 지지조건

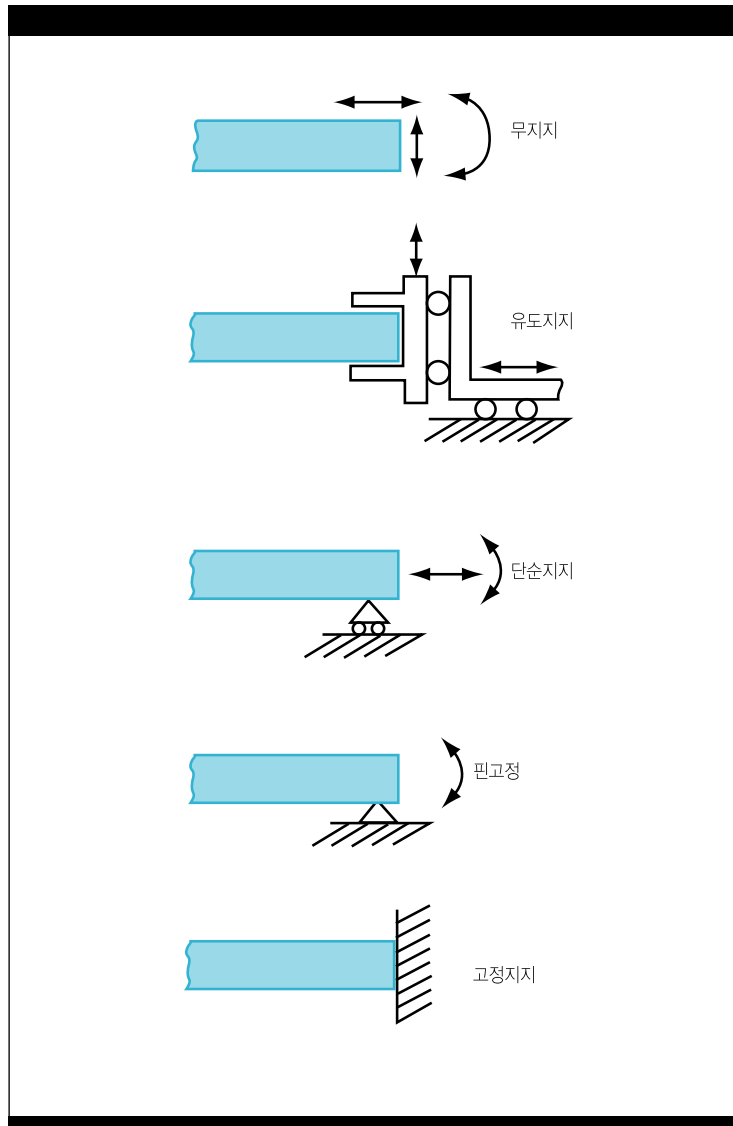


그림 28. 흔히보는 단면의 치수

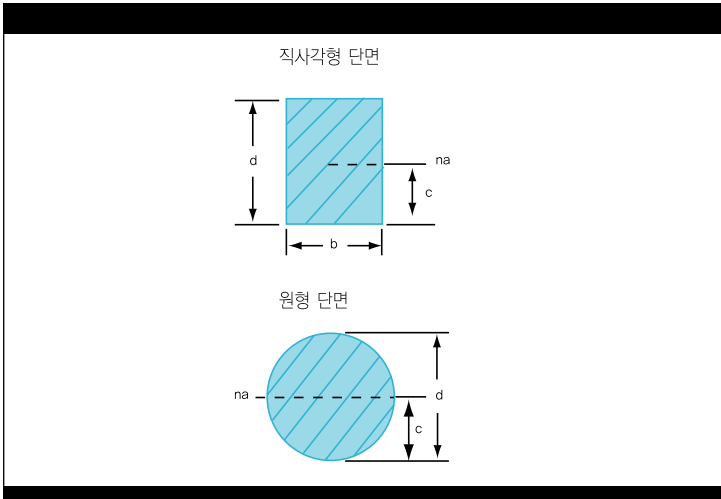
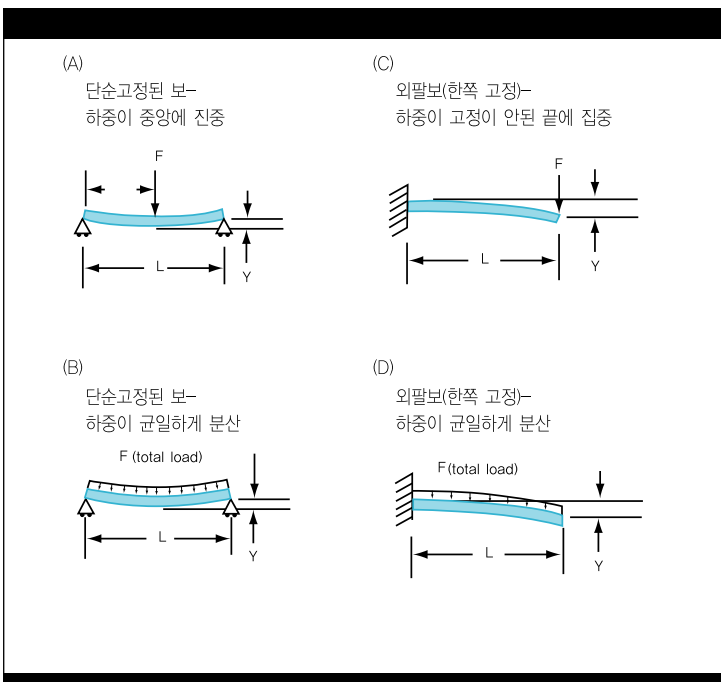


그림 29. 최대응력과 휨 공식



5.1.5.3 단순화와 가정:

1. 부하를 받고 있는 부품은 해석편의상 한 개 또는 여러개의 간단한 구조, 보, 판으로 쪼갤 수 있다.
2. 해석대상부품의 재료는 탄성계수가 일정하고, 균질하며 등방성(Isotropic)이다.
3. 수식은 부하가 한 개의 집중 또는 분산 정부하(Static Load)이며 짧은 시간동안 점차적으로 걸렸다가 없어지는 부하로 가정한다. 그러나 같은 수식으로 이완(Relaxation)과 피로부하를 해석함에 있어서는 탄성계수를 사용한다.
4. 해석 대상부품은 잔류응력이 없다.
5. 수식에서 다루는 곳은 부하가 걸리는 곳, 턱이 있는 곳, 구멍이 있는 곳, 단면의 크기가 변하는 곳으로부터 멀리 떨어져 있다.
6. 수식은 적절한 집중응력계수를 사용하면 턱이 있는 곳이나 구멍, 기타 급격한 단면변화가 있는 곳에도 적용될 수 있다.

5.1.5.4 흔히 보는 단면의 성질 (그림 28):

사각형

면적,  $A = bd$

관성모멘트,  $I = \frac{bd^3}{12}$

단면계수,  $Z = \frac{bd^2}{6}$

원

면적,  $A = \frac{\pi d^2}{4}$

관성모멘트,  $I = \frac{\pi d^4}{64}$

단면계수,  $Z = \frac{\pi d^3}{32}$

### 5.1.5.5 보의 최대 응력과 휨 공식

(그림 29):

(A) 단순지지 보, 중앙에 부하가 집중함:

부하지점 $\text{응력, } \sigma = \frac{Fl}{4Z}$	부하지점 $\text{휨, } y = \frac{Fl^3}{48EI}$
--	--

(B) 단순지지 보, 부하가 고르게 분포:

중앙 $\text{응력, } \sigma = \frac{Fl}{8Z}$	중앙 $\text{휨, } y = \frac{5Fl^3}{384EI}$
--	--

(C) 한쪽이 고정된 외팔보, 무지지인 끝에 부하가 집중:

고정부 $\text{응력, } \sigma = \frac{Fl}{Z}$	부하지점 $\text{휨, } y = \frac{Fl^3}{3EI}$
--	---

(D) 한쪽이 고정된 외팔보, 부하가 고르게 분포:

고정부 $\text{응력, } \sigma = \frac{Fl}{2Z}$	무지지쪽 끝 $\text{휨, } y = \frac{Fl^3}{8EI}$
---	---

위에 보인 바와 같이 간단한 구조와 부하 조건에 대하여는 알려진 공식에 의하여 답을 얻을 수 있다. 부록에 이 공식에서 도출 한 각각의 경우에 사용할 수 있는 수식들이 실려 있다. 복잡한 모양과 부하의 경우에는 표준공식보다 정확한 방법이 요구 된다. 유한요소분석법(FEA; Finite Element Analysis) 은 그러한 방법의 하나이다.

### 5.1.6 유한요소분석법

이것은 구조물이 부하조건에 따라 응력과 휨이 어떻게 되는지 컴퓨터로 알아 보는 방법이다. 이 방법은 일련의 미분방

정식에 근거하여 구조를 응력과 휨을 쉽게 알 수 있는 작은 단순 요소로 분해한다. 이 방정식은 컴퓨터 프로그래밍에 의하여 포괄적 행렬식으로 풀어진다. FEA 법은 다음의 순서로 기계적, 열역학적 문제를 풀며 정적 및 동적 하중 상태의 복잡한 모델을 제공한다:

1) **기하학적 정의의 결정** - FEA법의 첫단계는 통상적이 좌표 시스템에 의하여 구조물을 단순한 표준형태나 요소로 쪼개어 모델을 만드는 것이다. 노드(Node)라고 불리는 좌표의 점은 출력 데이터 제공을 위한 모델 내의 위치이다(그림 30a와 b). CAD는 앞에 기술한 바와 같이 제품의 기하학적 모양을 3차원으로 생성한다. 요소의 선택은 제품의 기하학적 형상과 부하조건에의 함수이다. 선택된 요소는 각기 특성을 가지므로 결과에 영향을 준다. 모델은 한 형태의 요소보다 더 많은 형태의 요소를 사용할 수 있다. 아래에 요소의 형태와 그의 성질을 보인다:

- 2D 요소 = 모든 힘과 변위가 평면상에서 작용한다.
- 동축요소 (2D) = 노드의 변위가 원심력방향과 축방향으로 일어난다.
- 3D 요소 = 힘의 작용과 변위가 3차원 또는 복잡한 기하학적 형태로 생긴다.
- 특이 요소 = 원통, 판재와 빔

2) **재료물성의 부여** - 탄성계수 또는 강성율과 포아송비는 각 요소에 대한 재료성질이다. 응력-변형률 곡선은 재료의 비직선형 탄성소성 관계를 보여준다. 제6장의 시험방법과 데이터에서 이 곡선의 예를 본다.

3) **Mesh의 생성** - 선정된 요소의 형태에 따라 Mesh 가 자동적으로 생성되어 부품의 형상을 미세 요소로 다시 쪼갬다. 부품의 각 부분 요소의 밀도는 정해 주든가 자동적으로 결정된다. 구조물의 기하학적 형상을 정의하는 Node 와 요소는 Mesh를 구성시킨다. 미세요소 프로그램은 각 요소의 Node의 불굴성(Nodal Stiffness)을 계산하고 그 결과를 행렬수식화 한다. 행렬화가 적절하게 되면 이미 있는 요소 행렬식으로부터 Global Stiffness Matrix를 생성한다.

4) **외부조건** - 고정지지인가 단순지지인가 등 조건에 따라 모델에 적용되는 제한사항들이 달라진다.

5) **부하를 실음** - 힘, 압력, 온도 등 부하를 모델에 건다.

6) **부하시험해석** - 프로그램은 주어진 부하와 지지조건으로 행렬식을 풀어서 변형, 스트레인, 고유진동수 및 기타 데이터를 계산한다. 이로써 모형 각부에 대한 응력 분포상태를 알게된다.

그림 30a. 유한요소모형

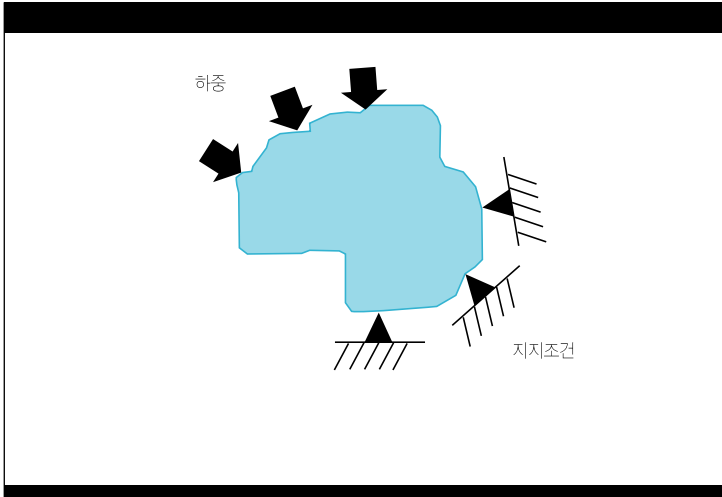
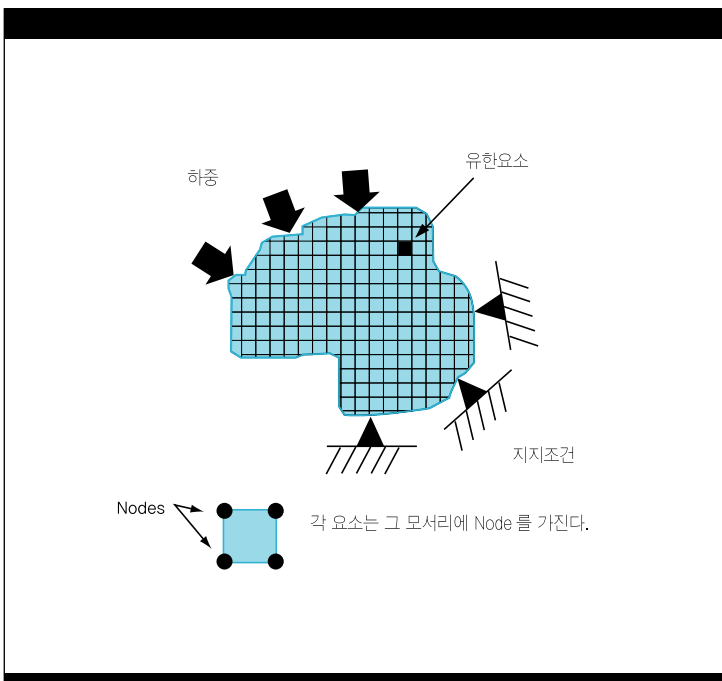


그림 30b. 유한요소모형



력이 높은 부분에는 요소 밀도가 높다. 각 요소는 인접요소와 작은 응력차이를 갖는다. Mesh를 작게 하면 작게 할수록 모델의 정확도가 높아진다. 그러나 컴퓨터의 계산 작동시간은 길어진다. 여러 가지 다른 방법을 통하여 그 모형의 위험 부분을 발견하고 오류를 감소시키기 위하여 필요한 Mesh 조정과정을 거친다.

일련의 힘이 가해진 상태에서의 힘, 응력, 변형율과 같은 정역학적 해석이 가장 흔히 행해지는 해석이다. 재료에 대한 가정으로는 직선형 탄성변화이지만 소성변화, 크리프(Creep), 큰 변형 등과 같은 비직선형 변화에 대한 해석도 가능하다.

유한요소분석법(FEA법)은 힘과 응력의 상대적 변화를 보다 더 잘 예측하여 주기 때문에 절대 계산치 보다 유리한 점이 있다. 두가지 구조의 비례하는 부분의 비교로부터 보다 정확한 값을 얻을 수 있기 때문이다.

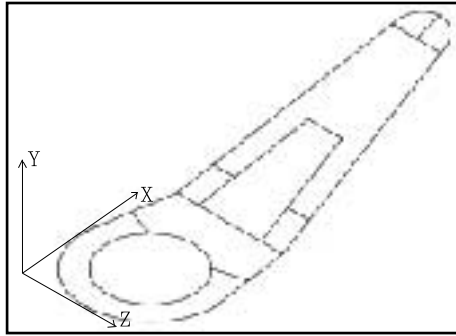
7) **결과물** - 결과물은 대개 해답을 그래픽으로 나타낸 것, 수치 파일, 이들의 인쇄 복사물이다(그림 31).

대표적 콘벡터 FEA 결과물의 내용을 열거하면:

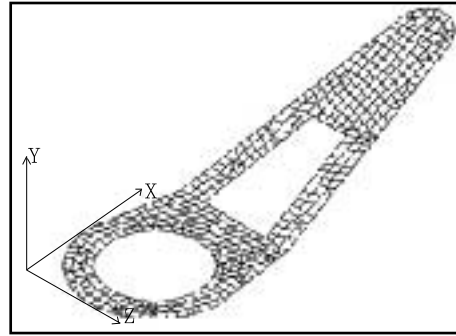
- 결합되어 있는 동안과 후의 접촉자의 흰 모양
- 보와 접촉 응력
- 간섭
- 직각력
- 결합시의 접촉력 대 힘 곡선
- 열의 영향
- 충격과 진동하의 움직임

8) **데이터간의 비교검토** - FEA 모델 시험 결과와 실제 실험 데이터를 서로 비교하여 공식화 할 수 있는 어떤 기준을 찾는다.

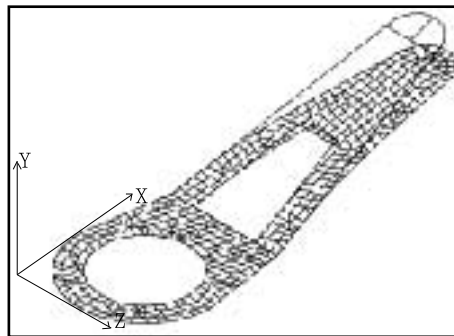
그림31. 유한요소분석 모형의 보기



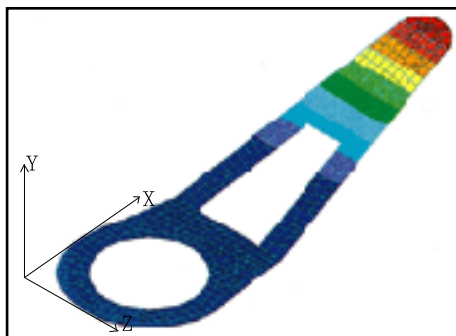
와이어프레임 모형



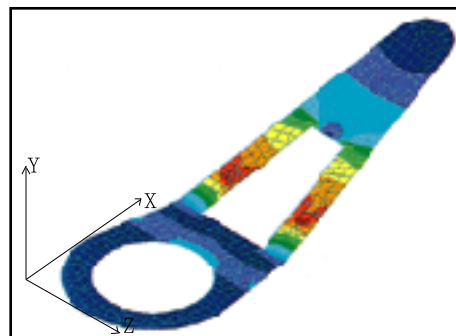
유한요소분석 Mesh



변형된 형태



대체 모형도



VON MISES 응력모형도

9) 최적 설계화 - 실험 결과의 비교가 끝나면 설계 수정과 모델의 수정이 따른다. 이러한 반복과정이 설계 최적화이다. 설계 최적화는 기술적 요구 조건, 모양과 크기에 대한 고려사항, CAD 모델, 최종성능을 모두 컴퓨터 시뮬레이션에 넣어 이루어 진다.

### 5.1.6.1 유한요소분석법(FEA법)의 위험성

전통적 FEA 분석 프로그램은 직선적 탄성 변화와 전체 크기에 비하여 변형이 적다는 것, 경계 조건이 불변이라는 점을 가정하여 문제를 직선적으로 분석한다. 직선적 변화를 가정할 때 요구되는 또 하나의 가정은 가역성이다. 대개의 하중 변형 분석에서 이 조건들은 그대로 만족되지만 접촉자를 스탬핑할 때는 재료에 영구 변형 즉, 불가역 변형을 주는 것이 목적이다. 접촉자를 스탬핑할 때 만나는 비직선적 내용은 다음 세가지 카테고리로 분류된다:

- 재료 : 탄소성(Elastoplastic) 재료, 압연에 의한 비일방성(Anisotropic) 성질 및 변형을 민감도의 불균일
- 경계조건 : 도구(Tool)와 재료간의 접촉이 일정하지 않고 계속적으로 변화함에 따른 비직선성의 개재
- 기하학적 모양 : 재료가 크게 굴곡되는 변형을 받는다. (Coiling, Uncoiling시)

성형이력 - 콘넥터 접촉자의 스탬핑 이력에 따른 잔류 응력을 감안하기 위하여 성형후 FEA 경계 조건을 다음과 같이 재 정의한다:

1. 성형을 위한 경계조건을 입력함.
2. 재료의 응력-변형을 곡선을 입력시킨 후 그 "부품"을 "성형"함.
3. 성형 "Tooling"을 탄성적으로 제거하고 응력이 재 배분 되도록 허용함.
4. 그 "부품" 모델의 경계조건을 재 정의함.
5. FEA 분석 "부품"에 굴곡을 주어 성능을 평가.

Node 좌표체계가 Shift 되어 오류를 발생시킬 만큼 성형변형이 아주 크면 적당히 Remesh 될 수 있도록 비직선 코드를 사용하여야 한다. 심한 비직선 요인이 많이 있을 때에는 이것을 여러개의 직선형 요소로 나누어서 많은 단계를 거쳐 시뮬레이션하는 방법을 쓴다. 성형과정에서 가공경화가 생기는 것을 포함시키려면 탄성-소성 재료 모델을 사용한다.

### 5.1.7 전기 분석 (Electrical Analysis)

시스템 전체의 회로 속도를 50MHz 이상으로 하려면 전기분석 또는 모델 시험(Modeling)을 해야 한다. 이런 속도에서는 접속부문에서 아날로그 효과가 더욱 증가하므로 적절한 분석도구를 써서 확인하여야 한다.

기계적 분석에서 FEA법이 쓰인 것과 유사하게 전기 모델에서는 경계요소분석법(Boundary Element Method : BEM)으로 접속자의 크기와 기하학적 형태에 따른 저항과 단위길이당 캐파시턴스와 인덕턴스를 구한다. 시간관계 분석법인 SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 법은 신호의 일관성에 대한 접속기의 영향을 알기 위하여 BEM 결과를 사용한다. 여기에는 송신지연(Propagation Delay), Ringing과 반향, Cross Talk Effect 등이 포함 된다. 이를 수행하기 위하여 전기 측정을 위한 도전체의 길이와 가장 빠른 신호의 파장을 알아야 한다. 도전체의 폭과 두께, 유전도(Dielectric Height), 기타 상수도 입력하여야 한다.

### 5.2 설계검토

설계검토는 실물 제작전에 소기의 콘넥터 요구조건이 모두 충족되었는지를 확인하는 것이다. 설계검토 자료로서 Brush Wellman社의 설계기술 서비스와 도서류 활용을 권장한다.

#### 5.2.1 Brush Wellman社의 서비스 안내

합금재료의 선택 지원 - CDA(Copper Development Association)에 의하면



통합금은 200종이 넘는다. 설계자는 이 중에서 물성을 기준으로 대상재료를 몇 가지로 압축하여 선택하는 것이다.

**설계지원** - Brush Wellman 사는 예비적으로 간단한 응력시험을 할 수 있는 기술자료는 물론 FEA 모형 시험을 위한 자체 능력을 갖고 있다.

**무료전화 서비스** - 전화 1-800-375-4205번은 기술지원 요원과 연결된다.

**기술전문 요원** - 응용 전문요원이 설계와 생산에 관해 조력할 수 있다.

**도서류** - 각 제품(재료)에 대한 최신간 자료비치.

**도서관** - 각종 기술자료가 데이터 베이스화 됨.

**교육 세미나** - 베릴륨동 Update 세미나와 기타 사내 세미나가 있음.

**주문제조** - Elmore 공장에서 가능함.

**실패분석** - Reading과 Cleveland에 있는 시험실에서 재료의 일상적 실패 분석이 가능함.

**전세계 공급망** - 적기 공급을 위하여 전세계에 다음과 같이 물류센터와 판매망을 운영함:

- 서비스 센터 (제품창고)
  - 국내 : New Jersey, Michigan, Illinois, California
  - 국외 :

독일-Brush Wellman GmbH, Stuttgart

영국-Brush Wellman Ltd, Berkshire

일본-Brush Wellman (Japan) Ltd, Tokyo

- 개인 도매업자
- 계약 대리점 업체 (Authorized Agents)

한국 - (주)도일코리아, 서울

**재가공 계약자** - 다음 재료들은 재가공 계약에 의하여 특정 고객이 재가공 공

급하는 것으로서 Brush Wellman社가 소재를 공급하고 있다:

- 재압연재 : 두께 0.08mm 미만 Foil 용
- 재인발 선재 : 직경 Ø1.27mm 미만 세선(Wire) 용
- 재인발 관재 : 직경 Ø19.05mm 미만 튜브용

연관 산업체 - 재가공 계약업체외에 서비스를 받을 수 있는 콘넥터 재료 관련업체는 다음과 같이 많다:

- 도금업체
- 스템핑업체
- 용접 및 브레이징 업체
- 스프링 설계업체
- 단조업체
- 압출업체(대,소형)
- 옛칭업체(광화학적 기계가공)
- 열처리업체
- 주물업체
- 후렉시블 회로/라미네이션(Lamination) 업체

## 업 계 동 향



컨넥터 요구조건



설 계 와 분 석



원형제작 및 확인



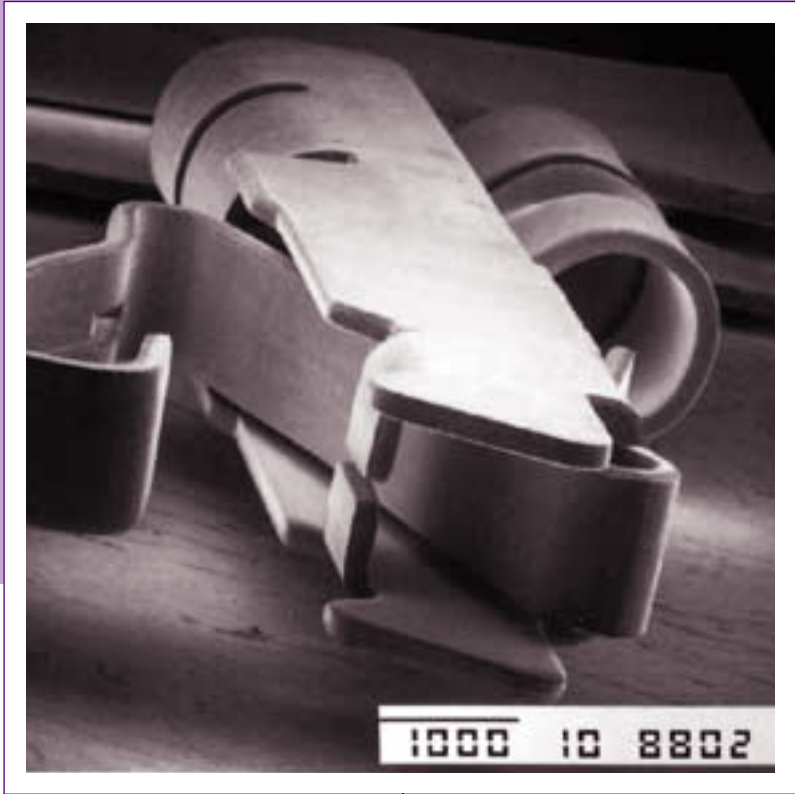
품 질 인 증



생 산



BRUSH  
WELLMAN社의  
부가서비스



## 제6장 원형제작 및 확인

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인

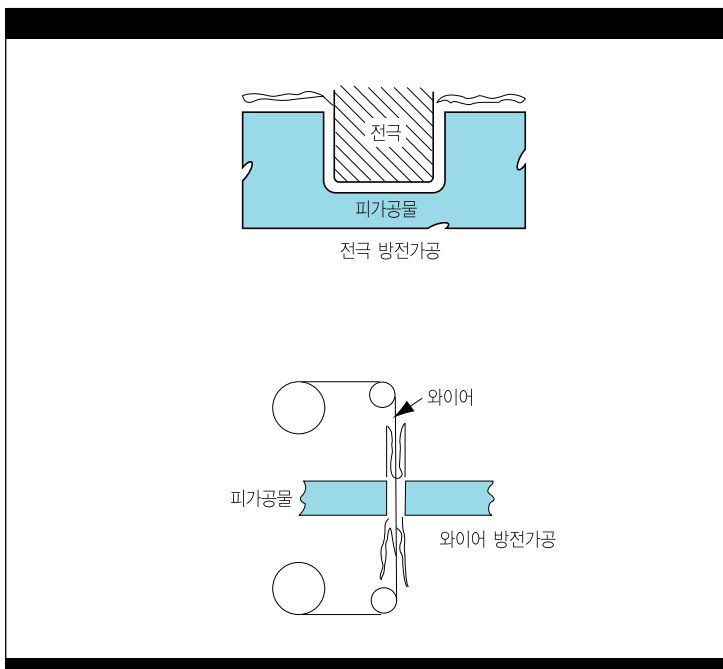


품 질 인 중



생 산

그림 32. 방전가공(Electrical Discharge Machining) 개념도



## 제6장 원형제작 및 확인

스텝핑은 비교적 고액의 초기 투자와 Tooling에 긴 Lead Time 이 요구되는 고속, 대량, 저비용 제조공정이다. 개발 주기가 단축됨에 따라 실물 제작과 확인을 빨리하는 것이 요구된다. 여기서는 몇가지 원형제작 실험법에 대하여 검토하여 보고자 한다.

### 6.1 방법

#### 6.1.1 EDM 방전기계가공법

실물 시험용 접촉자를 필요한 수량을 EDM을 사용하여 제작한다. EDM에는 재래식(Ram)과 와이어식(Traveling Wire)의 두가지가 있다(그림 32). Ram 식은 동이나 흑연 전극을 작업물에 만들 동공(Cavity)에 맞게 만들어 사용한다. 부품의 면적, 재료의 종류, 기계 가공조건에 따라 가공 속도가 다르다. 모든 EDM 가공에서는 스파크도체로서 Dielectric Fluid, 냉각제, Swarf를 씻어내기 위한 Flushing제가 필요하다. 가장 흔히 쓰이는 Dielectric Fluid는 경유계 오일이다.

Traveling Wire(TW)식 EDM은 재래식 EDM과 원리는 같으나 곧 바른 측면을 Wire 전극으로 절단 가공하는 점이 다르다. 황동선이나 동선이 흔히 Wire 전극으로 쓰인다. 직경은 0.05-0.39mm이다. 전극과 피가공물의 Dielectric 냉각에는 탈이온수(Deionized Water)가 사용된다.

두가지 EDM법 어느 것에서나 베릴륨동은 전기전도도가 높기 때문에 강재(Steel)를 가공할 때보다 속도가 약 20% 느리다. EDM 가공재의 모서리(Edge) 상태는 그 재료의 전도도에 따른

다. 어떤 EDM 가공재의 모서리는 “Burning”이 되거나 소둔이 되어 실제 스탬핑하여 만든 것에 비해 성능이 다르게 될 수 있다. 두께 대 폭비(w/t)가 작은 샘플에서는 이 점이 특히 중요하다.

### 6.1.2 광화학적 에칭가공 (Photo Chemical Etching)

동의 에칭은 모두 연속식으로 Reel-To-Reel식 또는 판재(Sheet) 육조에 의한다. 에칭될 재료는 먼저 양면에 뜨겁게 덥힌 롤(Hot Roll)로 광저항막을 적층도포(Lamination Coating) 한다. 재료의 종류에 따라 도포 하기 전에 세정 처리와 활성화 처리를 한다. 적층 도포가 된 후 미리 정밀 제작한 형(Pattern) 또는 필름을 통하여 자외선(UV)을 쏘인다. 현상을 하고 나면 금속이 남아야 할 곳은 저항막이 남아 있고 금속이 없어져야 할 곳은 막이 없다. 재료가 다음 공정인 에칭 용액이 여러 노즐을 통해 뿌려지는 곳을 지나간다. 에칭 용액은 대개 동염화물(Cupric Chloride) 아니면 철염화물(Ferric Chloride)이다. 최종 공정은 남아 있는 금속으로부터 보호막(광저항제)을 씻어 내는 것이다. 에칭 속도는 재료의 Isotrophy에 따라 다르다.

### 6.1.3 삼차원 가공 (Stereo Lithography)

SL법은 설계자로 하여금 CAD 시스템에 저장된 삼차원의 모형을 신속하게 실물 제작하여 볼 수 있게 하는 컴퓨터 지원 실물 제작법(Computer Aided Prototyping: CAP)이다. 이 방법에 의하면 부품의 단면을 액상 플라스틱(Photopolymer)으로 계속적으로 중첩 인쇄하는 방법에 의하여 복잡한 구조의

플라스틱 모형이 자동제작 된다. 이 제작법은 설계 아이디어를 빨리 실제 모양으로 보게하고 실물 검토할 수 있게 하는 대단히 강력한 수단이다. 이 부품모형은 물론 접촉자의 기계적 성질을 보고자 하는 목적에는 맞지 않는다.

표 16-설계 평가 내용과 대상

평가내용	대 상
구조	접촉력 삽입력과 인출력 도금 부착성 도금기공
치수	접촉여유 하우징 치수 접촉자 치수 도금두께 접촉자 모양과 크기
전기적 특징	접촉저항 정격전류 또는 전류용량 유도전기의 세기
조립 공정	공정열응력 절연저항 용매저항
안전	UL 인화성

### 6.2 설계 평가(Design Evaluation)

설계 평가는 품질인증시험(Qualification Test)에서 성능 합격될 가능성이 잘 있겠는지에 대한 절차이다. 설계 평가는 표 16에 보인 시험 검사로 이루어진다.

### 6.3 시험 방법과 데이터

제5장 설계와 분석에서 언급된 것과 같이 FEA 모형은 실험데이터와 함께 재료물성에 대한 제 데이터의 입력을 요구한다. 다음의 데이터들은 Brush Wellman社의 도서인 “Beryllium Copper Tensile Test Results”로부터 얻을 수 있다.

FEA 데이터 - 다음 각각의 합금에 대한 종방향, 횡방향의 압연방향별 항복 곡선(Paired Data)과 템퍼자료:

- 3 AT, HT
- 10 AT, HT
- 25 AT, 1/4HT, 1/2HT, HT, H
- 190 AM, 1/4HM, 1/2HM, HM, SHM, XHM, XHMS
- 165 AM, 1/4HM, 1/2HM, HM, XHM
- 290 1/2HM, HM, XHM
- 174 1/2HT, HT

표17은 Paired Data의 한 보기를 보여 준다. 인장 시험편은 0.20×6.3mm이다.

표18은 여러 종류의 데이터를 얻기 위하여 사용된 시험 방법을 수록하고 있다.

인장 시험과 경도 시험에 대한 추가 정보는 Brush Wellman社의 TechBriefs 자료중 “Tensile Testing Beryllium Copper”와 “Hardness Testing Beryllium Copper” 참조 바람.

표17-Alloy 25 1/2HT의 인장시험 데이터

Alloy 25 1/2 HT 종방향압연	응력 (psi)	변형율 ( $\mu$ inch/inch)	소성변형율 ( $\mu$ inch/inch)	탄성계수(E) ( $10^6$ psi)
1	0	0	0	0
2	7730	394	0	19.62
3	12822	660	0	19.43
4	17915	920	0	19.47
5	25044	1286	0	19.47
6	32173	1648	0	19.52
7	40320	2060	0	19.57
8	48468	2474	0	19.59
9	56616	2888	0	19.60
10	64763	3308	0	19.57
11	72911	3726	0	19.57
12	81059	4146	0	19.55
13	85132	4356	1	19.54
14	89206	4570	2.5	19.52
15	94298	4836	4.5	19.50
16	99391	5100	7.5	19.48
17	104483	5368	12.5	19.46
18	109575	5642	18.5	19.42
19	114668	5920	26	19.37
20	119760	6196	39	19.33
21	124852	6480	53	19.27
22	129944	6764	71	19.21
23	135037	7066	102	19.11
24	140129	7380	146.5	18.99
25	147258	7862	242	18.73
26	154387	8392	379	18.40
27	161516	9008	596	17.93
28	168646	9740	923	17.28
29	172719	10186	1142	16.96
30	176793	10802	1505	16.37
31	179848	11210	1736	16.04
32	181885	11532	1938	15.77
33	182904	11784	2129	15.52

표18-시험종류와 관계규격

시험종류	관계규격
인장시험 성질	ASTM E 8
경도(Vickers or DPH)	ASTM E 384
입자 크기	ASTM E 112
전기저항	ASTM B 193
성형성	ASTM E 290
응력이완	ASTM E 328 Part C-3
납땜성(Solderability)	MIL. STD 202 Method 208





## 제7장 품질 인증

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인



품 질 인 증



생 산

## 제7장 품질인증(Qualification)

콘넥터 규격은 콘넥터 품질인증을 위한 시험과 이를 위한 요구조건을 규정한다. 이것은 시험용 샘플의 수량도 지정한다. 이 규격의 목적은 콘넥터의 품질인증을 위한 기준을 일차적으로 정하고, 양산중 제품질 확인 또는 주기적 응력시험 실시에 의한 중간확인 및 설계 변경이나 조립공정 변경에 따른 변화결과를 평가하기 위한 것이다. 전자산업, 자동차산업, 군수산업은 모두 품질확인 시험과정에 대한 규격을 서류화하고 있다.

### 7.1 전자산업

#### 7.1.1 일반 요구조건

여기에는 환경에 따른 품질인증 시험이 있다. 포장(Packaging)과 청정(Clean-liness)에 대한 요구조건도 있는데 이것은 출하 운반 중 기계적 손상과 오염으로부터 콘넥터가 잘 보호받을 수 있게 하기 위한 것이다. 작동환경은 부식성 가스, 분진, 온도, 습도 조건을 다룬다. 제3장의 환경 요구조건은 이에 대해 기술하고 있다. 출하와 보관 조건은 장착하기 전까지의 취급에 대한 것이다.

#### 7.1.2 환경시험

환경시험은 대개 콘넥터나 시스템 수명을 모의시험(Simulation)하기 위하여 조건을 보다 악화시켜 실시하며 그 결과는 시스템 신뢰성의 척도이다. 콘넥터가 신뢰성이 있는지 없는지는 접촉저항의 변화로 나타난다. 4선검침법(4 Wire Probe Method)은 몸채저항을 무시하면서 접촉저항을 측정하는 한 방법이다. 사용전, 도중, 후 각각의 상태에 대하여 처음의 양호했던 저항치가 어떻게 변하는지 최대저항차(CR)를 구한다. 이 실험

결과에 대한 통계분석방법을 통하여 콘넥터 실패율 즉 신뢰성을 결정한다(그림 33).

위의 요구조건외에 콘넥터는 최소 삽입 횟수에 대한 사양을 만족시키지 않으면 안된다. 콘넥터 시험장치는 콘넥터의 실제 작동을 흉내내게 되어 있다. 콘넥터의 조립 시험장치도 실제 공정을 나타내도록 하여야 한다. 환경응력시험은 반복적 온도변화 시험, 열에 의한 열화시험, 가스 시험, 분진 민감도시험, 진동 및 충격시험 등이다.

#### 7.1.2.1 반복적 온도변화시험 (Thermal Cycling)

이 시험은 열을 주기적으로 받는 장기간의 실제 상황을 짧은 기간내에 모의시험(Simulation) 하는 것이다. 금속 피로에 대한 Coffin-Manson 관계는 실제 온도의 승강주기와 같게 하기 위한 시험온도와 횟수를 정해준다. 이 시험은 사용환경이 뒤따르는 출하환경 모의화로 구성된다.

대표적 조건 :

출하 = 5번 열변화, -40℃에서 +65℃

사용 = 100번 열변화, 0℃에서 75℃

중요한 재료의 성질은 열로 미스매치를 일으키는 열팽창계수(CTE)이다.

#### 7.1.2.2 열에 의한 열화시험 (Thermal Aging)

이 시험은 온도가 상승된 환경에 장기간 노출되어 있을 때의 영향을 단기간에 모의 사용시험하는 것이다.

대표적 조건 : 100℃에서 700시간

그림 33. 응력시험 평가 흐름도

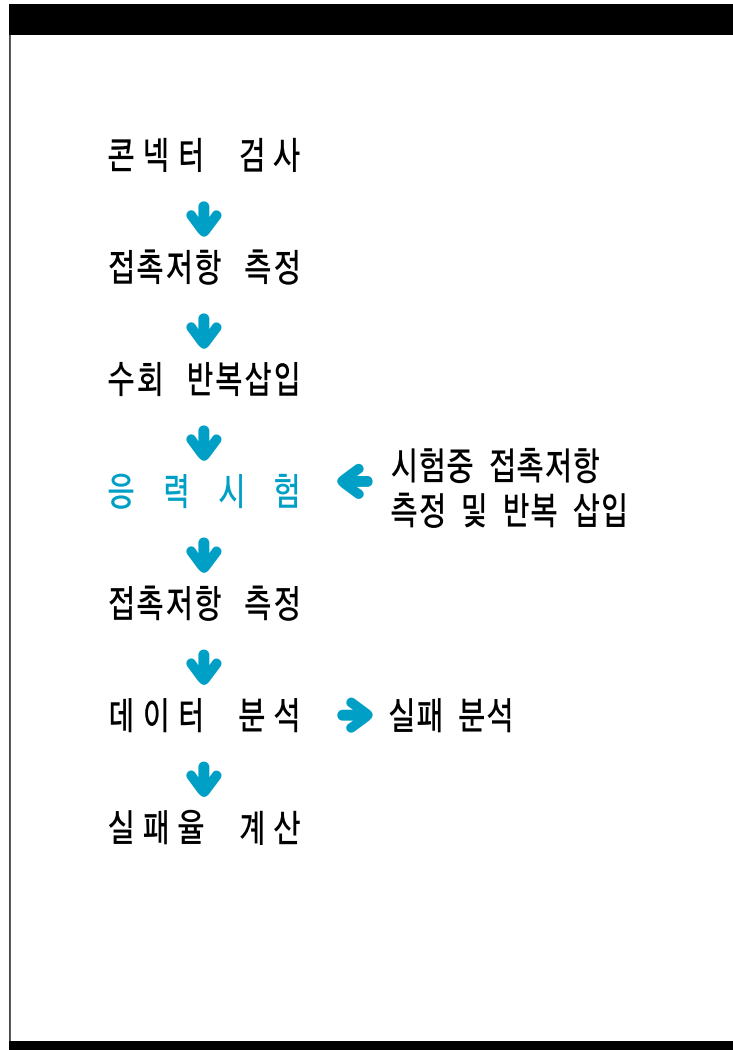
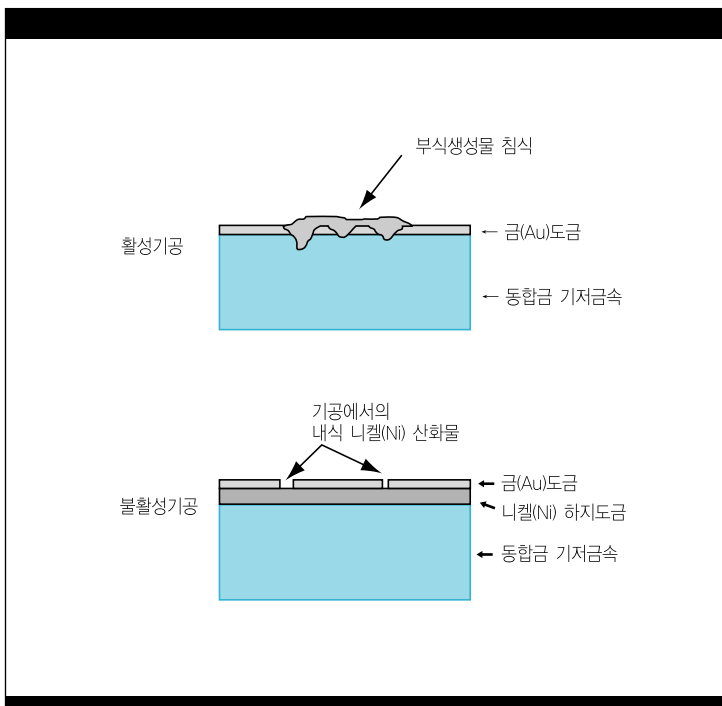


그림 34. 기공 부식 (PORE CORROSION)



주요 재료성질은 건조상태 산화성과 열에 의한 응력이완성이다.

### 7.1.2.3 가스시험

가스시험은 접촉자 기저금속이 특정 가스 분위기에 장기적으로 노출되어 있을 때 받는 영향을 알기 위하여 단기 모의 사용시험을 하는 것이다. 부식 생성물이 있는 곳에는 금도금이 잘 안된다. MFG(Battelle Memorial Institute 's Mixed Flowing Gas)법은 가스시험법의 하나이다. 부식물 침식과 기공부식(Pore Corrosion)은 도금이 잘 안되게 하는 분해 메카니즘의 두가지이다. 가스시험은 접촉자를 부식성 가스에 노출시킨 상태에서 반복적 열변화 또는 열열화를 갖게하는 방법으로 한다.

대표적 조건 : 100억분의 수개에 상당하는 가스분위기에서 열의 가감을 25회함(가스는 H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, CL<sub>2</sub>).

#### 7.1.2.3.1 기공부식 (Pore Corrosion)

부식지점에 기공이 있었을 때의 부식 메카니즘이다. 기공은 접촉자 표면처리의 연속성을 단절시키며 부식생성의 시점이 된다(그림34).

#### 7.1.2.3.2 부식생성물이동 (Corrosion Migration)

부식생성물이동이란 접촉지점이 아닌 곳에서 생긴 부식 생성물이 접촉점으로 이동하여 오는 것을 말한다. 부식이 생기는 곳은 접촉자의 끝, 모서리 부분일 수 있고 표면처리시 결함이 있던 곳일 수도 있다. 부식물이동은 특히 황과 염소가 존재하는 환경에서 우려된다.

#### 7.1.2.4 온도와 습도시험

이것은 온도와 습도가 높은 곳에서 오랜 기간 사용되는 결과를 단기 모의 사용시험으로 예측하는 시험이다. 습기는 갈바니 전기부식 (Galvanic Corrosion)에 영향을 준다. 후레팅부식 (Fretting Corrosion)은 분해 메카니즘 (Degradation Mechanism)으로 생긴다.

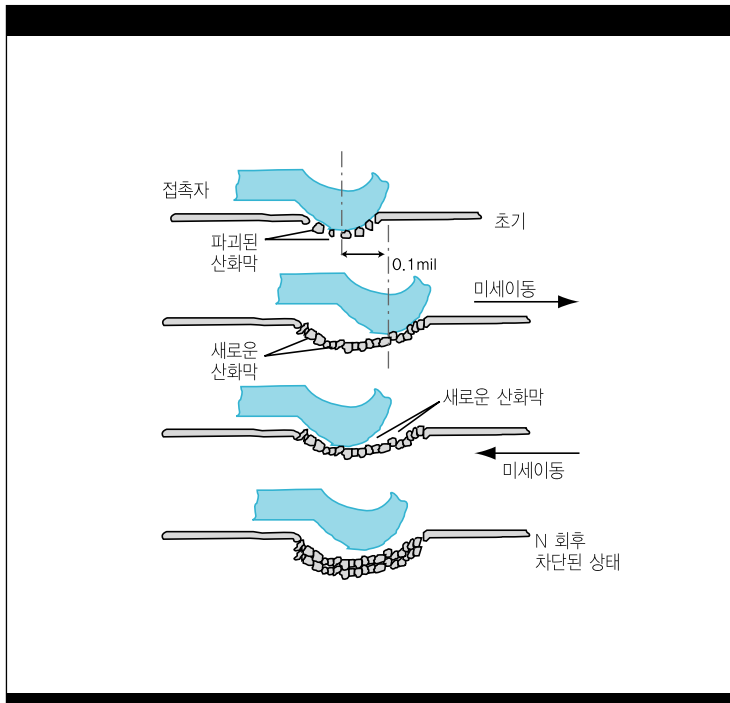
대표적 조건 : 50℃, 상대습도 80%에서 300시간

주요 재료 성질은 습한 상태하의 도금 금속과 기저금속의 산화성이다.

##### 7.1.2.4.1. 후레팅부식 (Fretting Corrosion)

주석(Tin)이 후레팅부식의 대상이다. 주석은 표면에 보호성 산화피막을 형성하여 더 이상의 부식을 막는 방법으로 표면 내식성이 있는 금속이다. 이 주석 산화피막은 접촉자가 접촉될 때에는 깨져서 접촉저항에 영향을 주지 않는다. 주석산화물은 얇고 딱딱하고 잘 부서지기 때문에 접촉자의 직각력에 의한 접촉력만으로도 잘 부서진다. 연성의 질긴 주석은 부서진 산화피막 사이를 비집고 표면으로 압출되어 소기의 금속접촉을 이룬다. 불행히도 주석의 산화피막 형성 성질은 여전하므로 접촉점이 열변화 등으로 인하여 먼저 산화되었던 피막이 있는 곳으로 움직이면 저항이 높아진다. 이렇게 저항이 나빠지게 되는 것을 후레팅부식(Fretting Corrosion)이라 한다. Fretting이란 기계적 문제 또는 열팽창 차이 등으로 무작위적으로 생기는 미크론 단위의 작은 움직임을 말한다. Fretting이 생기면 먼저 자리의 주석이

그림 35. 후레팅부식 (FRETTING CORROSION)



다시 산화되고 Fretting 과정에서 결국 접촉저항의 증가가 초래된다(그림35). 접촉부에 윤활제를 쓰고 접촉력(직각력)을 높이면 접촉자의 미세 움직임이 방지되어 후레팅부식을 최소화 할 수 있다.

#### 7.1.2.5 분진민감도 시험

분진이 많이 있는 곳에서 콘넥터의 성능이 저하하기 시작하는 점이 어디인지를 알고자 하는 시험이다. 접촉저항 변동 또는 회로단락의 발생횟수로 성능 상태를 모니터링한다.

대표적 조건 : 단위면적당 수 마이크로그램의 분진 투여

주요 재료성질은 직각력 유지능력과 Wipe성(먼지가 잘 붙지 않거나 털리는 성질)이다.

#### 7.1.2.6 진동과 충격시험

콘넥터의 진동과 충격시험은 조립 장착이 잘 못 되면 입력신호 전달이 불안정하게 되므로 일차 조립후 실시한다. 시험을 위해 주어지는 진동은 Random, Sine-On-Random, Sine Dwells, Sine Sweep의 네가지가 있다. 작동 및 출하시에 대한 시험조건은 콘넥터의 등급 수준과 포장 여하에 따라 다르다. 충격과 진동시험을 어떤 평면에서 어떤 크기로 할 것인가는 콘넥터 설계시부터 고려되어야 한다. 어떤 부품이 공진을 일으킨다면 간헐적으로 전기 연결을 방해할 것이다. 진동시험은 있는 그대로의 상태에서 콘넥터 접촉자의 공진 진동수가 얼마인지 알려준다. 충격부하는 콘넥터가 어느 정도의 충격에서 분해되는지 알게 해준다. 충격부하는 g(중력)의 수준과 시간으로 정의된다.

## 7.2 자동차산업

자동차산업의 여러 규격은 12V DC 전류 사용을 위한 자동차 접속 시스템에 쓰이는 전기단자, 콘넥터, 기타 접속 부품에 대한 설계 확인 시험을 규제한다. 열충격, 온도와 습도의 주기적 변화, 고온 노출시험에 부가하여, 이 규격들은 소금물 안개시험, 비누물 샤워시험, 유체 저항시험, 침적시험에 대하여도 조건을 규제한다.

## 7.3 군수산업

콘넥터에서 가장 잘 사용되는 군수규격은 MIL-STD-1344A “Test Methods for Electrical Connectors ”이다. 여기에는 다음 세가지의 시험 등급이 있다: 환경(1000 Class), 기계(2000 Class), 전기(3000 Class). 국방성 산하의 모든 기관은 이 규격에 의한 승인을 요구한다. MIL-STD-1344A 규격은 자동차산업과 전자산업의 각종 규격에 있어 많은 시험 방법의 기준이 된다.





# 제8장 생산

업 계 동 향



콘넥터 요구조건



설 계 와 분 석 ← 재료물성



원형제작 및 확인

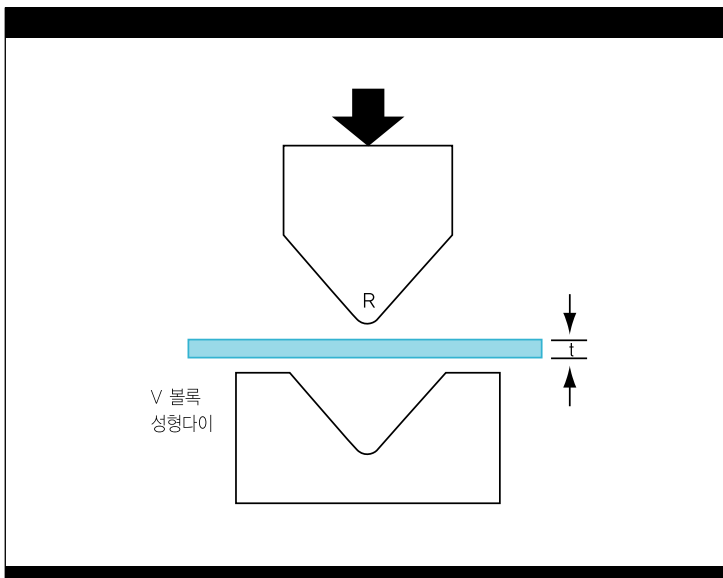


품 질 인 중



생 산

그림 36. V블록 성형성 시험다이



## 제8장 생산

동합금 스트립재의 생산은 잉곳의 주조로부터 주조된 잉곳을 12.7mm 두께로 열간압연하는 것, 다음 최종 두께까지 냉간압연하는 것, 그리고 필요한 폭으로 슬리팅(Slitting)하는 공정으로 구성된다. 냉간압연중에는 여러번, 흔히 냉간압연 후에, 어떤 때에는 최종 두께의 제품을 슬리팅한 후에 열처리를 한다. 열처리를 하면 재질이 소둔되어 다시 더 냉간 압연하는 것이 가능하다. 후 단계의 여러가지 공정처리에 의하여 재료는 소기의 템퍼(Temper)와 강도, 성형성을 갖게 된다. 슬리팅한 후 열처리를 하면 잔류응력이 제거 된다. 재료는 각 공정의 중간 중간 표면 세정공정을 거친다. Benzotriazole(BTA)은 최종공정 후에 발라주는 표면보호 코팅제이다.

스탬핑은 분당 1,000 스트록 또는 보다 빠른 고속 정밀 특징을 지닌 Reel-To-Reel Line 작업이다. 프레스에는 텅스텐 카바이드 펀치와 다이를 갖는 Progressive Stamping Die 가 이용된다. 스트립은 양쪽 가장자리에 구멍이 뚫리면서 Feeding 된다. 이 구멍들은 프레스가 한 스트록 움직일 때마다 스트립이 한 단위 만큼씩 전진하면서 위치를 정확하게 맞추게 한다. Tool 의 각 위치에서 한꺼번에 몇 개씩 천공(Piercing)이 이루어지면서 최종 형태에 이르게 된다. 도금도 Reel-To-Reel작업이다. 프라스틱 하우징에 조립하기 위하여 도금된 스트립은 일정한 길이로 구분할 필요가 있다.

### 8.1 제조 기술면에서 고려되어야 할 사항

#### 8.1.1 성형성

성형성비 또는  $R/t$ 는 그 스트립 재료의 두께( $t$ )에 대한 곡률반경( $R$ )의 비이다.

그 수치는 재료가 파괴되지 않으면서 굽을 수 있는 최소반경을 알게 한다. 성형성비 산출에는 90도 각도의 “V” Block 이 사용된다(그림36). R/t=0 이면 그 재료는 아주 예리하게 굽힐 수 있다는 뜻이다. R/t의 값이 커지면 성형성 저하를 뜻한다. 성형성은 재료의 항복강도와 관계가 있는데 강도가 커지고 보다 경한(Hard) Temper가 되면 성형성은 떨어진다.

같은 두께에서는 폭이 좁아지면 보다 예리하게 스트립을 굽힐 수 있다. 두께에 대한 폭의 비율이 클 때( $\geq 8$ )에는 평면변형(Plane Strain) 상태로 되어 성형성이 보수적인 값을 나타낸다. 두께에 대한 폭의 비율이 8보다 작아지면 변형모드가 평면변형에서 평면응력(Plane Stress)으로 바뀐다(그림37). 후자의 경우에 보다 많은 국부변형(또는 Necking Strain이라고도 함)이 허용된다. 얇은 스트립은 공급자가 제시한 최소 성형비보다 더 예리하게 성형할 수 있다. 그러나 이렇게 낮은 성형비로 성형된 부품은 모서리의 상태와 스탬핑시 받은 손상에 더 민감하다. Brush Wellman 社의 Tech Brief 도서 “Formability of Beryllium Copper Strip”를 참조하면 추가 정보를 알 수 있다.

### 8.1.1.1 종방향성형과 횡방향성형

스트립이 방향성을 갖는 것은 냉간 압연의 결과이다. 성형성은 압연 방향에 비하여 어떤 방향으로 성형하느냐에 따라 다르다. 종방향의 성형성(Good Way Bend)은 대개 횡방향의 성형성 보다 좋다(그림38).

표19는 캔벡터 재료로 많이 쓰이는 두께에 대하여 여러 Temper별 성형성 데이터를 보여준다.

그림 37. 성형성과 폭 관계

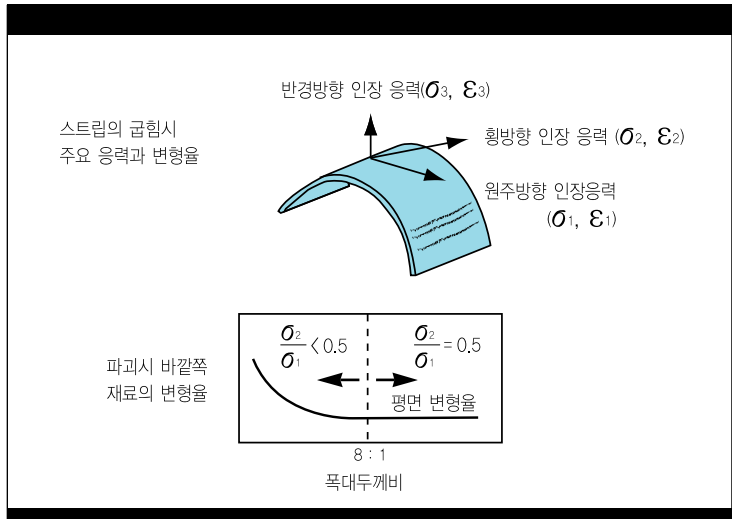


그림 38. 굽힘방향

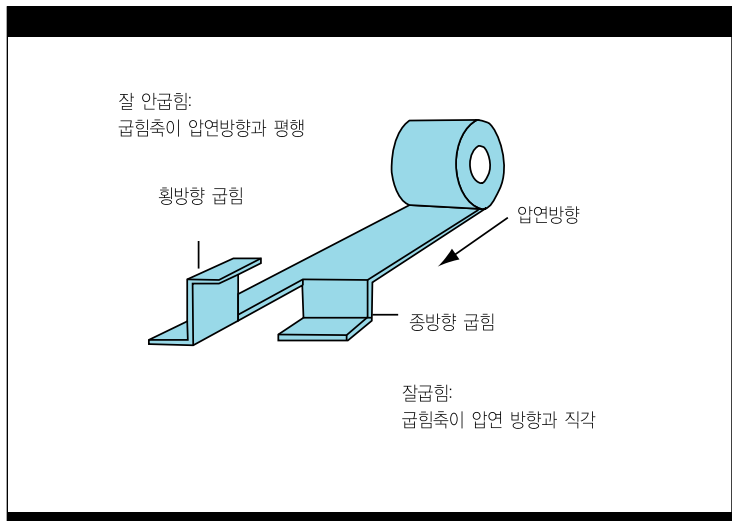


표19-동합금의 템퍼별 성형성 일람표

합금명	템 퍼	성형성(Min R/t for 90° bend)	
		중방향	횡방향
25	A	0	0
	1/4H	0	0
	1/2H	0.5	1.0
	H	1.0	2.9
	1/4HT	-	-
	1/2HT	-	-
	H	-	-
190	AM	0.0	0
	1/4HM	0.5	0.5
	1/2HM	0.5	1.0
	HM	2.0	2.0
	SHM	2.8	3.2
	XHM	4.0	5.0
	XHMS	5.0	10.0
290	TM00	0	0
	TM02	0	0
	TM04	1.0	1.0
	TM06	2.5	2.0
	TM08	3.5	3.0
165	A	0	0
	1/4H	0	0
	1/2H	0.5	1.0
	H	1.0	2.9
	AM	1.0	1.0
	1/4HM	1.5	1.7
	1/2HM	1.9	2.2
	HM	3.8	5.1
	SHM	5.0	7.7
	XHM	6.1	10.4
3	A	0	0
	H	0.5	0.5
	AT	1.0	1.0
	HT	2.0	2.0
	HTR	2.8	3.5
	HTC	1.0	1.0
174	1/2HT	0.5	0.5
	HT	1.2	5.0
260	H	1.0	1.5
194	S	-	-
510	1/2H	0	2
	H	0.5	3
	S	3	8
521	1/2H	0	2
	H	0.5	3
	S	2	7
654	1/2H	1	1
	H	2	3
	S	4	7
	XS	5	8
688	1/2H	1	1
	H	2.5	3
	S	5	6
	XS	6	9
7025	TM02	2.5	1.5
	TM03	2.5	2
725	1/2H	2	2
	H	3	3
	S	4	6

### 8.1.2 열처리

베릴륨동 열처리는 고용화소둔 (Solution Annealing) 과 시효경화(Age Hardening) 두 가지가 있다. Brush Wellman社は 모든 압연 및 단조재 (Wrought Products : 주조물이 아닌 것들)에 대하여 출하 전에 필요한 고용화소둔(Solution Annealing)을 하므로 대개 고객의 관심은 부품의 성형후 시효경화 열처리이다. “MH”로 표시되는 공장 열처리(Mill Hardened)재는 공장에서 출하전에 시효경화까지 한 것이다. 따라서 이것은 수요자가 열처리를 할 필요가 없는 재료이다. 시효경화가 진행되는 동안에는 금속 Matrix안에 베릴륨이 풍부한 미세  $\gamma$ -입자가 형성된다. 이것은 확산 제어 반응이며 시효시간과 온도에 따라 강도를 변화시킨다.

권장 “표준” 시효경화 시간과 온도는 베릴륨동 종류별로 다르다. 표준시간과 온도로 2-3시간 지나면 열 받음에 따른 강도 저하없이 강도가 최대치에 달한다. 그림39로 예를 들면 Brush Alloy25의 반응곡선은 시효경화 열처리 온도를 낮게한 때와 표준온도로 할 때, 높은 온도로 할 때 얻어지는 최대강도와 소요시간이 어떻게 다른지를 보여준다.

그림39를 보면 290℃에서 Brush Alloy 25의 강도는 완만하게 상승하여 대략 30시간 정도가 경과될 때 최대강도에 이른다. 표준 열처리 온도인 315℃에서는 3시간이 지나면 강도가 거의 더 이상 변화하지 않는다. 370℃에서는 Alloy 25의 강도는 30분만에 최대치에 이르며 그 이상이 되면 즉시 강도가 떨어진다. 요약하면, 시효온도를 증가시키면 최대강도에 이르는 시간은 짧아 지는데 동시에 얻을 수 있는 최고강도도 낮아진다.

이러한 반응현상은 표준 열처리 온도는 각기 다르지만 모든 베릴륨동 합금에서 비슷하게 나타난다.

베릴륨동은 여러 단계의 강도로 시효 경화 열처리 할 수 있다. **최대시효 (Peak Aged)** 되었다 라는 것은 베릴륨 동을 최대 강도까지 열처리 한 것을 이른다. **미달시효(Underaged)**라 함은 최대 열처리 강도에 미치지 못한 열처리를 이른다. **과시효(Overaged)**란 최대 강도를 지나도록 열처리 한 것을 말한다. 미달시효는 베릴륨동의 인성 (Toughness)를 좋게하고 연성을 균일하게 하며 피로강도를 높여 준다. 과시효는 합금의 전기전도도와 열전도도를 좋게 하여 주며 치수 변화를 적게 하여 준다. 베릴륨동은 상온에서는 아무리 오래 보관하여도 시효경화 되지 않는다.

시효경화 열처리에 있어 허용할 수 있는 시간적 가감 여유는 로(Furnace)의 온도와 최종 물성 요구조건에 따른다. 표준온도에서 최대 시효가 되게 할 때 로에 두는 시간은 전형적으로 +/-30분이다. 고온 열처리시 과시효 되는 것을 피하려면 좀 더 세밀하고 정확하게 시간관리 하여야한다.

예를 들면 370℃에서 Alloy 25의 시효 시간은 최대 물성을 확보하기 위해서는 +/-3분으로 관리하여야 한다. 유사하게 미달시효시에도 초기에 시효 반응이 빨리 일어나므로 제공정 변수를 세밀하게 관리할 것이 요구된다. 표준시효 곡선에서 가열이나 냉각율은 중요하지 않다. 부품의 온도가 올라가야 시효경화가 시작되는 것이므로 부품에 열전대 (Thermocouple)를 설치하면 부품의 온도를 확인할 수 있다.

그림 39. 시효경화 온도와 시간이 인장강도에 주는 영향(Alloy25)

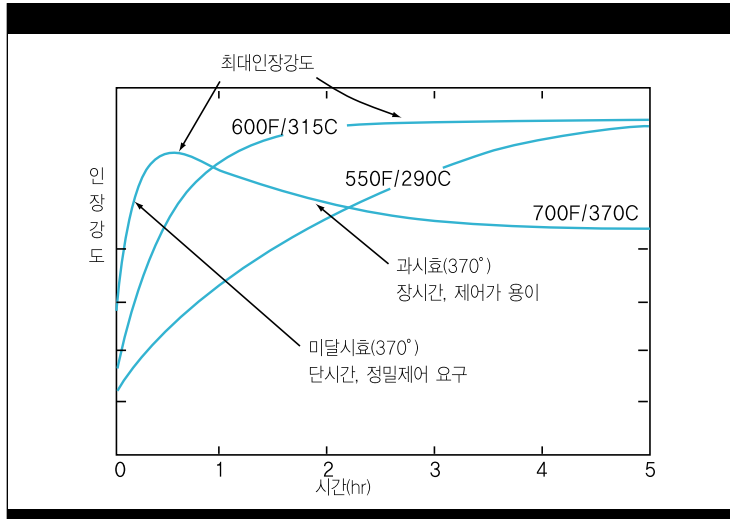


그림 40. 시효경화로 인한 부피수축

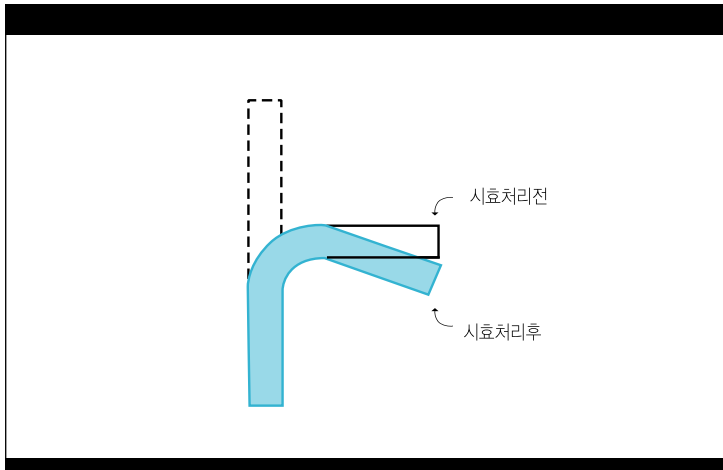
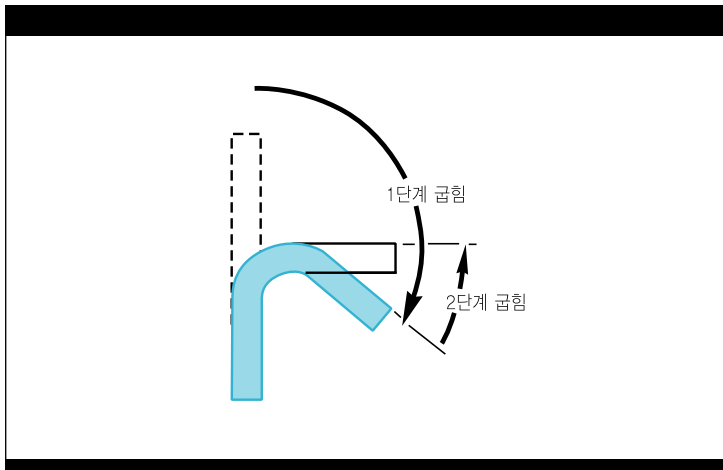


그림 41. 2단계 굽힘



Brush Wellman社의 기술도서인 “Guide to Beryllium Copper”에 보면 한 셋트의 열처리곡선이 실려 있다.

### 8.1.2.1 스탬핑후 열처리

수요가열처리(Heat Treatable) 재 템퍼의 스트립을 스탬핑한 후 시효경화 열처리를 하면 도중에 **모양 비틀림현상 (Shape Distortion)**이 생긴다. 공장열처리(Mill Hardened)재는 모양 비틀림 문제가 없다. 작은 부품이 열처리 중 비틀리게 되는 이유는 기계적 성형과정에서 불균일한 잔류응력이 생기기 때문이다(그림 40). 압축응력은 시효경화 반응을 촉진시키고 인장응력은 시효경화 반응을 억제 시킨다. 다음과 같은 조치로 비틀림 발생을 감소 또는 안 생기게 할 수 있다:

- 공장열처리(Mill Hardened) 템퍼재로 바꾼다.
- 성형성 요구조건이 만족되는 한 제일 높은 템퍼를 선택한다.
- 시효경화중 움직이지 못하게 고정시킨다.
- 부품의 응력을 제거한다.
- 굽힘을 2단계로 하여 응력을 균일하게 한다(그림41).
- 열처리 온도를 높이고 시간을 짧게 한다.
- 부품설계시 모양 비틀림을 미리 고려하여 열처리 한후 소기의 모양과 치수가 되게 한다.

스탬핑 부품 열처리시 알아두면 편리한 사항 :

- 부품 손상 및 비틀림을 방지하고 수축할 때에도 같이 움직이도록 스테인레스 강이나 열 팽창 계수가 비슷한 재료의 Interleaf를 쓴다.

- 재료는 열처리 중에 반복 가능하고 예측 가능한 움직임을 갖을 수 있도록 굴곡부에 코이닝 (Coining)을 필요로 할 수 있다.
- 열처리 중에 재료가 수축하는 것에 대하여 스탬핑 연속 다이 설계에 미리 반영한다.
- 스트립 수축으로 릴(Reel)의 장력 (Tension) 조정이 필요할 수도 있다. 스페이서 (Spacer)를 사용하여 장력 (Winding Tension)을 조절한다.
- 스트립(Carrier Strip)의 직선도 확보를 위하여 열처리용 Reel의 직경을 고려할 필요가 있다. 릴(Reel)의 직경을 키우면 코일 안쪽에 있는 스트립의 굽힘을 방지할 수 있다.

더 자세한 자료를 Brush Wellman社의 TechBrief “Shape Distorsion During Age Hardening of Beryllium Copper Parts”에서 볼 수 있다.

### 8.1.2.2 수요가열처리(Heat Treatable 재)와 공장열처리(Mill Hardened)재

베릴륨동은 가공후 열처리하는 재료 (Heat Treatable)와 공장에서 이미 열처리한 후 출하되는 재료(Mill Hardened) 두 가지로 공급된다. 표20은 적절한 템퍼를 선택하기 전에 검토해야 할 차이점을 보여준다.

### 8.1.3 형상효과(Shape effects)

**다이출측캠버(Die Exit Camber)** : 옆모서리 방향으로 휘는 것은 스트립이 다이에서 나오면서 직선도를 벗어나서 옆으로 휘는 현상에서 생긴다. 이것은 무방향성 또는 반대일수도 있다. 스트립의 Edge 처리, Tension Leveling 또는 응력제거로 캠버를 줄일 수 있다.

표20-수요가열처리(HEAT TREATABLE) 재와 공장열처리 (MILL HARDENED)재의 비교

물성	HEAT TREATABLE 재	MILL HARDENED 재
공정	압연, 성형, 열처리	열처리, 압연, 성형
성형성	성형후 열처리 최적의 성형성	열처리후 성형
입자방향	열처리시 응력제거로 거의 등방성	높은 템퍼에 대해 횡방향의 성형성이 제한적
잔류응력	방향에 상관없이 가해진 변형률에 똑같이 반응	압연잔류응력보유 (그림42) 굽힘 반대의 펴는방법으로는 부하용량 제한적
안정성	높은온도에서 최소의 응력이완	잔류응력에 의한 응력이완 가능성
열처리 변형	열처리시 수축	열처리후 성형하므로 수축이 없다.
도금	열처리후 도금	성형전후에 도금가능

그림 42. 수요가열처리(Heat Treated) 재와 공장열처리 (Hardened)재의 접착자로서의 사용례

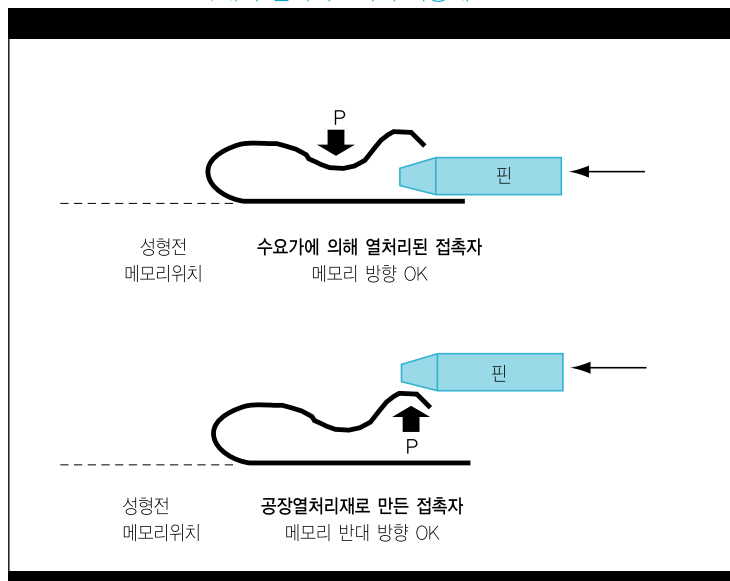
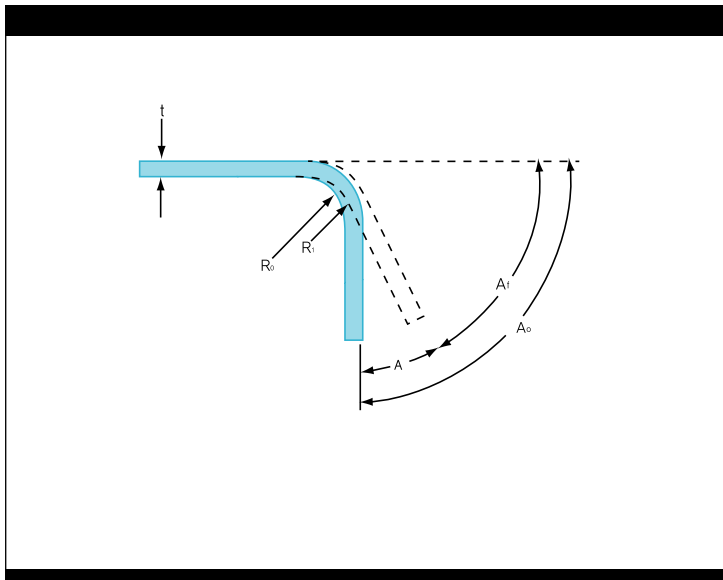


그림 43. 성형된 스트립의 되퍼짐(Springback) 현상



**평탄도(Flatness)**는 평탄한 재료가 완전평면에 놓일 때 닿는 정도를 말한다. 스트립은 크라운이나 오일캔(Oil Can)이나 파형 Edge가 없이 평탄한 것이 좋다. 평탄도와 진직도는 스트립의 Feeding과 자동기계에서의 위치 관리를 위하여 중요하다.

**열비틀림시험(Heat Distortion Test)**은 내부응력 때문에 생기는 평탄도 변화를 측정하는 방법이다. 샘플을 열처리전에 압연 방향에 평행한 방향과 수직인 방향으로 준비한다. 열처리후 샘플이 평면에서 벗어나는 변화정도가 어떻게 생겼는지 측정한다. **코일셋(Coil Set** : 두루말이 방향으로 말려 퍼지지 않는 것)은 길이방향의 평탄도에 대한 것으로 무방향성이다. **크라운(Crown)**이란 스트립의 가장자리와 중앙부 사이의 두께 변화, 가장자리와 가장자리사이의 두께 변화를 말한다.

**버(Burr) 또는 가장자리 손상은** 슬리팅, 절단, 블랭킹, 톱질(Sawing)로 재료를 잘랐을 때 끝에 생기는 날 또는 거친 것을 말한다. 이것은 극히 국부적으로 생긴 소성변화 즉, 절단파괴의 결과이다. 슬리팅된 끝의 기하학적 특징(날이 넘는 것, 절단/파괴 비, 버)은 재료의 강도, 절단공구의 설정간격, 칼날의 예리도(Sharpness)에 따른다. 슬리팅된 곳의 변형은 슬리팅 단면과 직각으로 스트립 두께의 50-100% 깊이로 가공경화와 잔류응력이 침투하게 한다. 슬리팅 된 끝은 경도가 DPH 스케일로 10-15% 증가한다.

**절단부처리(Edge Conditioning)**는 슬리팅 절단부의 응력을 제거하는데는 효과적이지만 스트립 두께만큼 절단부를 제거함으로써만 가능하다. 간격이 촘촘



한 콘넥터는 접촉자의 표면으로 스탬핑 시 거칠게 절단된 단면을 사용하기도 한다. 절단부가 가급적 깨끗하게 되게 하려면 공구를 예리하게 하여 사용하고 펀치와 다이 사이의 간격을 표준두께의 3%만 큼 두는 것이 필요하다. 또 끝을 25-50% 전단하는 것이 필요하다.

**코이닝(Coining)**은 한편 고강도가 필요하고 또한 편 좋은 성형성이 요구될 때 유용하다. 기본 물성에 대한 코이닝 효과는 가공경화로 항복강도는 높아지되, 연성은 저하되고, 굽힘 성형성이 낮아지고, 응력이완 저항성이 떨어 지는 것이다. 응력제거 열처리하면 원래의 성질을 회복한다.

**잔류응력(Residual Stresses)**은 접촉자의 스탬핑 중 X-Y 좌표 이동을 일으킬 수 있는 슬리팅응력(Slitting Stress)이다. 이 응력은 두께 대 폭비(w/t)가 작아질수록 중요해진다. 슬리핑 절단부는 기저금속의 0.2% 항복강도의 20%에 상당하는 잔류응력이 있다. 스탬핑다이에서 발생하는 내부응력을 측정하는 방법으로 **각도비틀림시험(Angular Distortion test)**이 있다. 열처리후 비틀어진 각도를 재어 내부응력의 정도를 아는 것이다.

#### 8.1.4 기타 영향

##### 8.1.4.1 스프링백(Springback)

스프링백 현상은 성형 하중을 제거한 후에 성형 부품의 모양이 성형량이 감소하는 쪽으로 달라지는 것이다. 미리 성형 정도를 더 해주는 것에 의하여 스프링백을 보상함으로써 소기의 성형 형상을 얻을 수 있다. 스프링백 현상은 항복강도와 성형펀치 곡면 반경이 커질 때와 재료의 탄성계수와 두께가 작아질 때 증가한다 (**그림 43**). 스프링백에 맞추어 금형(Tooling)이 한번 정해지면 템퍼 변경을 해서는 안된다.

스트립의 90° 평면변형 굽힘후 스프링백의 양을 알기 위한 경험식에서 상수 K는 다음과 같이 계산된다.

$$K = \frac{A_r}{A_0} = 25.54X^3 + 17.91X^2 - 5.85X + 1.08$$

여기서, X는 단위가 없는 변수이며:

$$X = \left( \frac{YS}{E} \right) \left( \frac{R}{t} \right)$$

그리고,  $A_r$  = 변형각도

$A_0$  = 굽힘 또는 다이 각도(90°)

YS = 0.2% Offset 항복강도

E = 탄성계수

R = 펀치면 반경

t = 스트립의 두께

##### 8.1.4.2 공차의 영향

공차는 공구 치수, 설치, 재료, 사용자, 환경등 여러 제작 관련 사항에 따라 달라진다. 또 설계 관련사항으로써 재료의 폭, 두께, 길이, 접촉간격, 배열 같은 것에 의해서도 달라진다.

##### 8.1.4.3 표면조도

표면의 불균일성에 대한 측정 단위로 RMS(Root Mean Square)가 있다. 일반 스트립재료의 도금 전 대표적 조도값은 4-8 RMS이다.

##### 8.1.5 세정(Cleaning)

시효경화열처리 도중 베릴륨동 표면에는 산화 베릴륨성분의 산화물이 생긴다. 이 산화피막의 두께와 조성은 합금종류와 로분 위기에 따라 다르나 대개 투명하다. 불활성가스 분위기의 한 대표적 시효경화 열처리 조건(316°C에서 2시간)하에서 C17200 합금은 300 옴스트롬 정도의 막을 형성한다. 고용화소둔(Solution Annealing)의 경우(788°C)에는 이 막의 두께가 1000-1200 룡스트롬까지 될 수 있다.

순 수소분위기 또는 높은 진공도하에서도 시효경화 열처리 과정에서 베릴륨 산화막이 생기는 것을 억제할 수 없다. 다만 어떤 분위기에서는 이의 발생을 최소화 할 수 있다. 대기 분위기에서는 산화피막이 제일 많이 생기고 환원성 분위기에서는 덜 생긴다. 부품을 도금, 브레이징, 솔러링 하기위해서는 산화막을 제거하여야 한다.

베릴륨산화물을 포함하는 막을 제거하는데는 여러 가지 산혼합물(Acid Combinations)이 있으나 가장 효과적인 것은 Sulfuric

/Peroxide(20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 52 °C)와 Phosphoric/Nitric/Acetic(PNA; 38% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 2% HNO<sub>3</sub>, 60% Acetic Acid, 71 °C)로 확인되고 있다. 질산만으로도 베릴륨산화막을 제거할 수는 있으나 농도가 짙은 뜨거운 가성소다용액(50-60% NaOH, 129°C)에서 예열 하여야한다.

다음은 합금 M25(C17300)과 같이 납을 포함하는 동합금을 취급할 때의 주의 사항이다. 유화납(Lead Sulfate)은 용해되지 않기 때문에 도금시에는 산화피막 제거에 황산계보다는 질산 또는 PNA를 쓰는 것이 좋다. 알칼리성 용액으로 세정한 후 도금 전 처리로 붕산(Fluoboric Acid: 10-25%, 상온)을 사용한다. 시안동용액 처리(Cyanide Copper Strike)는 납을 함유한 합금의 도금에는 세정 및 활성화로 꼭 필요하다.

추가적으로 보다 자세한 자료는 Brush Wellman 社의 TechBrief “Cleaning Beryllium Copper”에서 볼 수 있다.

### 8.1.6 납땀(Soldering)

대개의 동합금과 마찬가지로 베릴륨동도 흔히 있는 납땀 재료로 쉽게 납땀된다. 그런데 납땀을 완전하고 신뢰할 수 있게 하려면 표면 준비처리, 재료 선택, 납땀 공법, 납땀후 세정등에 있어 적합한 기술을 필요로 한다. 납땀은 베릴륨동의 성질을 변화시키지 않는다.

기름, 그리스, 먼지, 오염방지제, 녹, 산화물과 같은 표면의 불순물들은 납땀에 있어 문제를 일으키는 주요 원인이 된다. 용제(Flux)는 표면 준비처리의 적절한 대안이 아니다. 용제는 모든 표면 오염물질을 제거하지 못한다. 유기용매, 증기 탈지제, 알칼리 세정제와 같은 보통의 세정방법은 먼지, 기름, 그리스를 제거하는 적절한 방법이다. 초음파 교반(Ultrasonic Agitation)은 이러한 세정제의 효과를 증진시킨다. 사용 후 표면에 묻어 있는 세정제는 철저히 씻어내야 한다.

동의 검은색 또는 붉은색 산화물을 제거하는데는 보통 쓰이는 기술로 족하다. 그러나 두께 500옹스트롬 정도의 얇은 투명한 산화베릴륨은 잘 용해되지 않고, 잘 떨어지지 않아 납땀에 어려움을 줄 수 있다. 산세척으로 열처리시 생긴 산화피막을 제거해야 한다.

베릴륨동을 납땀 할 때에는 세정공정 직후 가급적 빨리하는 것이 좋다. 지연이 불가피하면, 부품을 건조시켜 깨끗하게 부근의 먼지와 산, 유황, 암모니아 증기로부터 격리 보관하여야 한다.

베릴륨동 납땀은 특별히 어떤 용제(Flux)를 써야한다는 제한이 없다. 다만 하나의 규칙으로 가능한 한 가장 부드러운 용제를 쓸

것을 권장한다. 비부식성 Rosin 용제의 등급에는 비활성(R), 약활성(RMA), 완전활성(RA)이 있다. 로진(Rosin)계열 용제의 주 이점은 이것이 열을 받아야만 활성화 된다는 것이다. 베릴륨동 합금의 납땀에 가장 많이 쓰이는 용제는 RMA와 RA이다. 뜨겁거나 따뜻한 물로 헹구면 어떠한 용제의 잔류물도 씻겨 나간다.

베릴륨동을 다른 금속에 납땀할 때에는 대개 그 다른 금속의 성질에 맞추어 납땀방법을 선택하여야 한다. 베릴륨동의 높은 열전도성은 열전도성이 낮은 다른 금속과 납땀할 때 고려되어야 할 점이다. 접합점에 열을 집중시키기 위하여 열방출기(Heat Sink)가 필요할 수도 있다. Brush Wellman 社의 TechBrief “Soldering Beryllium Copper”를 참조하면 추가 정보를 알 수 있다.

#### 8.1.6.1 납땀성(Solderability)

표18에 보인 솔더 침적시험으로 납땀성의 정도를 안다. 표면의 청결도가 가장 중요한 재료의 성질이다. 동은 주석(Sn)과 금속융합하여 Cu<sub>3</sub>Sn 또는 Cu<sub>2</sub>Sn의 화합물을 만든다. 이 금속간 화합물의 생성에 앞서 동성분의 농축이 일어난다. 금속간화합물 상(Phase) 또는 그 이전의 동 농축 상(Phase)중 어느쪽이든지 표면에 도달하였을 때 그의 안정성은 주위조건이 결정할 것이다.

#### 8.1.7 기계가공성(Machinability)

주어진 합금의 기계가공성은 작업방법, 공구(Tool) 수명, 공구의 기하학적 모양에 따라 다르다. 표21은 일반적 합금에 대한 기계가공성 등급에 대하여 설계자에게 개략적 참고가 될 자료를 제시한다.

보여진 바와 같이 베릴륨동합금 Alloy

25와 Alloy M25의 기계가공성은 거의 같고 다른 경쟁적 지위에 있는 합금재료의 약 2배이다. Alloy M25는 특히 자동나사(Screw) 가공을 위하여 개발된 고강도 베릴륨동 합금(C17300)이다. 이 합금의 화학조성은 기계가공용 칩(Chip)이 잘 떨어져 나가게 납(Pb) 0.3%를 첨가한 것 외에는 Alloy 25와 동등하다. 기계적 성질도 Alloy 25와 Alloy M25는 동등하다.

Alloy 1915는 나사(Screw) 기계가공을 위하여 특별히 고안된 납 첨가 동합금으로서 수요가 열처리(Heat Treatable) 합금이다. Brush 1915 합금은 직경 1.27mm에서 12.7mm까지 봉재(Rod) 또는 선재(Wire) 형태로 공급된다.

Brush Wellman社의 기술도서인 "Machining Beryllium Copper"에서 더 자세한 정보를 얻을 수 있다.

### 8.1.8 봉재(Rod)와 선재(Wire)

소형 및 극소형 원형 콘넥터, 소켓, 동축 콘넥터가 쓰이는 곳에서도 합금재료를 어떻게 선정할 것인가에 대한 과정은 크게 다르지 않다. 설계자가 봉재 또는 선재 형태의 어느 특정 합금을 선정할 것인가는 접촉자의 요구특성으로 결정된다. 봉재와 선재의 템퍼 종류는 스트립 템퍼와 상당히 다르다는 점을 말해둔다(표4).

선재는 시효경화 후 인발하여 소기의 기계적 성질을 얻는다. 봉재는 선재를 직선화하여 일정한 길이로 자른 것이다. 선재도 원형 단면외에 다른 단면으로 공급된다. 다음에 보인 표는 직경 1.27mm보다 굵은 선재의 기계적 성질을 보여준다. 직경 1.27mm보다 가는 선재의 물성은 공급처로부터 알 수 있다.

표21-동합금의 기계가공성 등급표

합금명	기계가공성 등급 (황동의 기계가공성=100)
25	35
M25	40
3	25
510	20
521	20
534	45
654	30
1915	75

표 22-봉재의 기계적 성질 (베릴륨동)  
(봉재 직경:1.27~9.525mm)

합금명	템퍼	항복강도(0.2%)		인장강도		연신율 (%)min.
		(ksi)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(ksi)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
25, M25	A	20-35	14-25	60-85	42-60	20
	H	75-105	53-74	90-130	63-91	8
	AT	145-175	102-123	165-200	116-141	4
	HT	160-200	112-141	185-225	130-158	2
165	A	20-35	14-25	60-85	42-60	20
	H	75-105	53-74	90-130	63-91	8
	AT	125-155	88-109	150-190	105-134	4
	HT	145-185	102-130	170-210	120-148	2
3.10	A	10-30	7-21	35-55	25-39	20
	H	50-75	35-53	65-80	46-56	10
	AT	80-100	56-70	100-130	70-91	10
	HT	95-125	67-88	110-140	77-98	5
1915	A	10-40	7-28	30-50	21-35	35
	H	45-70	32-49	55-75	39-53	5
	AT	25-50	18-35	25-50	18-35	20
	HT	70-95	49-67	85-105	60-74	4

표 23-선재의 기계적 성질 (베릴륨동, 인청동, 양백동)  
(선재직경:1.27~9.525mm)

합금명	템퍼	항복강도(0.2%)		인장강도		연신율 (%)min.
		(ksi)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(ksi)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
25, M25	A	20-35	14-22	58-78	42-55	30
	1/4H	75-105	52-74	90-115	63-81	3
	1/2H	90-125	63-88	110-135	77-95	2
	3/4H	115-150	80-106	130-155	91-109	2
	H	130-160	91-113	140-165	98-117	1
	AT	145-180	101-127	160-200	112-141	3
	1/4HT	165-200	116-141	175-210	123-148	2
	1/2HT	170-210	119-148	185-215	130-152	2
	3/4HT	175-220	123-155	190-230	133-162	2
	HT	180-220	126-155	195-230	137-162	1
3,10	A	10-30	7-22	35-55	24-39	20
	H	55-75	38-53	65-80	45-57	2
	AT	80-110	56-78	100-130	70-92	10
	HT	95-125	66-88	110-140	77-99	10
174	1/2HT	80-100	56-70	95-115	67-81	10
	HT	100-120	70-84	100-130	70-91	8
510	1/2H	75-92	53-65	80-97	56-68	8
	H	103-122	72-86	108-128	76-90	5
	S	130min	91min	135min	95min	2
521	1/2H	80-105	56-74	95-115	67-81	10
	H	120-145	84-102	125-150	88-105	3
	S	135min	95min	140min	98min	2
1915	A	5-25	4-18	25-50	18-35	40
	H	35-65	25-46	50-75	35-53	4
	AT	25-50	18-35	50-70	35-49	25
	HT	75-100	53-70	85-105	60-74	4
725	H	88	62	95-110	67-77	5
	S	82	58	110-125	77-88	3

### 8.1.8.1 봉재의 성질

(표22 참조)

### 8.1.8.2 선재의 성질

(표23 참조)

표에서 알수 있는 바와 같이 같은 합금이면, 스트립이든지, 봉재이든지, 선재이든지 물성에 큰 차이가 없다. 기계적 성질에서 차이가 있는 것들은 선재 인발 공정 결과로 생기는 것이다. 설계자가 고려해야 하는 것으로서 성형성보다는 기계가공성이 맞는지 보아야 한다.

### 8.1.8.3 선재 대 스트립재의 비교

어떤 경우에는 선재 및 평선재(Flat Wire)가 스프링 접촉자 재료로서 스트립 대신 사용된다. 평선재를 원하는 두께로 만드는 공정은 원형 선재를 평탄하게 하기 위해 압연기를 통과시킨다. 서로 수직방향으로 마주보게 설치된 일련의 압연롤에 의하여 폭과 각이 나온다. 모서리는 둥근 모양, 사각, 기타 특별한 모양이 있다. 평선재는 폭(w)/두께(t) 비가 3보다 큰 선재이다.

### 8.1.8.4 선정요령

1. 폭 -대개의 선재공장은 폭이 19.1mm -22.2mm 보다 큰 평선재는 생산하지 못한다. 이는 선재로부터 넓힐 수 있는 한계 때문이다. 좀더 넓은 폭은 스트립을 슬리핑해서 쓰는 것이 보다 나은 방법이다. 선재의 가격적 이점은 폭 3.81mm 미만에서 현저하다.

2. 두께 - 스트립 압연기는 0.025mm의 극박판(Foil)까지 압연할 수 있다. 선재공장의 한계도 0.025mm이다. 더 얇은 재료가 필요할 때에는 공장에 따로 문의해야한다.

3. 공차(Tolerances) - 스트립은 1.27mm 두께까지는 두께공차가 더 정밀하다. 평선재도 1.27mm 미만의 두께에서는 공차가 정밀한 편이다. 평선재는 스트립보다 폭의 공차가 정밀하다. 대표적 선재의 폭 공차는 +/-0.008mm이다. 동근 모서리를 갖는 평선재의 폭 공차는 일반 평선재 보다 떨어진다.

4. 용접접합이 없는 길이 - 스트립에 비해 평선재는 용접접합 없는 길이가 더 길다. 평선재는 트래버스(Traverse) 권취 코일로 공급된다.

5. 양 절단부(Edges) - 슬리터에서 나오는 스트립은 양 절단부에 버(Burr)가 있다. 양절단부에 대하여 라운딩(Rounding)공정 또는 스퀘어링(Squaring)공정을 가하여 버를 없앨 수 있다. 이것은 양 절단부에 가공정확을 일으키거나 템퍼를 주지는 않지만 비용이 들고 양이 많을 때에는 시간이 많이 걸린다. 선재 압연기에서 나오는 평선재는 양 측면부가 다 매끈하고 일정하다. 직경이 작은 선재는 모서리 처리(Corner Allow-ance)가 더 중요해진다. 0.25mm보다 큰 두께에서는 모따기 사양이 0.08mm이고 0.25mm 미만의 두께에서는 모서리를 라운딩(Rounding) 처리하는 것이 표준이다.

6. 두께 대 폭 비(w/t) - 이 비율이 5 내지 6 대 1이하가 되면 캠버, 평탄도, 기타 스트립을 슬리팅할 때 주의해야 되는 형상 관련요소를 잘 유지하기가 어려워진다. 선재 압연기에서는 이 비율을 정사각형인 1 대 1까지 내릴 수 있다. 평선재인 경우에는 30:1까지 높일 수 있다.

7. 공기구(Tooling)- 슬리터용 칼날, 선재압연용 카바이드 롤은 쉽게 구할 수

있고 교환 할 수 있어야 한다. 늘 발생하는 주요 문제점은 슬리팅할 때 생기는 버(Burr)이다. 슬리팅된 양 절단부의 상태가 특별히 문제가 안 된다면 스트립을 슬리팅해서 쓰는 것이 좋은 선택이 될 것이다. 만일 그렇지 않고 양 절단부가 깨끗해야 한다면 슬리팅하고 버 제거를 위한 절단부 처리 하는 비용과 평선재를 구입하는 비용을 비교해야 할 것이다. 평선재의 가격은 스트립보다 대개 30-50% 비싸다.

Brush Wellman 社가 공급하는 선재는 직경 1.27mm에서 12.7mm까지이며 공차는 제5장-설계와 분석에 보인 바와 같다. 더 가는 선재는 재인발업체로부터 구입할 수 있다.

### 8.1.9 비용

재료비를 분석하는 옳은 방법은 재료의 가격과 물성을 콘넥터의 전체비용 및 성능과 비교 검토하는 것이다. 이의 한 방법은 접촉자 X개에 대한 콘넥터 전체 비용에 대한 접촉자 재료비를 평가하는 것이다. 대표적인 예로서 원가 항목은 기저금속비, 스탬핑비, 도금비, 하우징비, 조립비이다. 귀금속도금 경우의 예를 보면 다음과 같다.

접촉자(기저재료비, 스탬핑비) .....	10-30%
금도금 .....	20-30%
하우징/금물 .....	10-25%
인건비 .....	10-20%
간접비 .....	25-35%

제조비 전체를 계산하려면 여기에 스크랩 회수비등이 더 고려되어야 한다.

### 8.2 품질활동

콘넥터에 있어 접촉자의 안정된 성능 유지는 콘넥터 신뢰도에 절대적인 조건이다. 좋은 접촉자는 좋은 재료로부터 얻어진다. Brush Wellman 社의 베릴륨동 합금은 보다 높은 신뢰성이 요구되는 콘넥터, 접속기 및 기타 부품에 있어 이들의 핵심부분인 접촉 스프링재로 사용되고 있다.

이들 스프링 재료의 재료적 성능과 그의 균일성, 일관성은 궁극적으로 수요가 제품의 성능과 신뢰도에 그대로 옮겨지는 만큼 소재 메이커의 책임은 대단히 크다.

이 장에서는 Brush Wellman 社가 소재 메이커로서 스스로 고객을 위한 품질관리활동을 어떻게 하는가를 Brush Wellman 社 품질관리 부서로부터 직접 듣고자 한다.

### 8.2.1 품질에 대한 철학

Brush Wellman社는 우리 고객을 성공시켜야하는 책임이 있다. 따라서 우리는 고급품질의 제품과 서비스를 제공하는 것을 우리가 사업에 임하는 조건으로 인식한다. 우리가 임하고 있는 시장은 시스템의 질, 제품, 유통, 서비스의 질에 있어 세계적 최고 수준만이 견딜 수 있는 분야를 포함하고 있다. 이러한 대단히 까다로운 시장에서 우리는 오랫동안 우리의 품질, 우수성, 지도력으로 인정을 받아 왔다.

우리는 우리의 품질 활동 기반을 결함제거와 가변성(Variability) 감소를 위한 철학에 두고 있다. 우리는 지속적인 공정개선에 초점을 맞추고 광범위한 통계적 기법을 사용하고 있다. 지속적으로 개선이 추진되기 위해서는 종업원의 참여와 팀웍이 필요하다. 우리는 고품질을 유지하기 위하여 품질관리 기법에 대한 교육을 모든 종업원에게 상시 실시하고 있다.

### 8.2.2 품질선서

“우리는 우수한 제품과 서비스에 의한 완벽한 고객만족 실현을 우리의 사명으로 한다.” 오하이오주 엘모어(Elmore) 공장에서는 스트립의 일차가공을 한다. 펜실베이니아주 레딩(Reading)공장에서는 피니싱(Finishing) 가공을 한다. 고객에게 출하되기 전의 장소는 서비스 센터이다. 이들 Brush Wellman社의 모든 설비는 BRUSH PRIDE 라고 하는 지속적 개선 시스템 하에 다음과 같은 기본적인 목표를 갖고 움직인다:

- JIT(Just-In-Time) 생산
- 전 종업원 참여
- TQM(Total Quality Management)

식 품질관리

- 고객만족 실현

설계, 검토, 실행의 제과정에 BRUSH PRIDE 시스템을 적용, 그 결과로 결함 예측, 원가절감, 사이클타임 단축, 고객 만족도의 증가를 얻는다.

**8.3 SPC (Statistic Process Control ; 통계적 공정관리)**

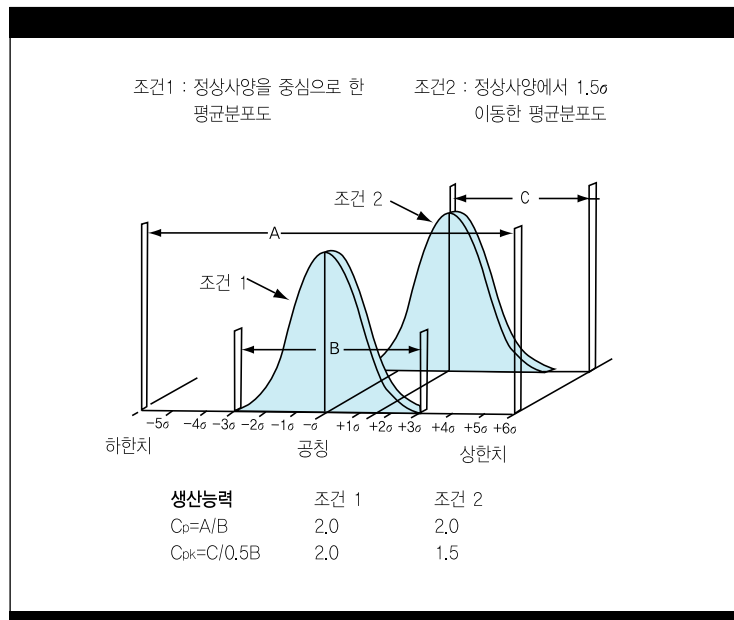
SPC는 작업자, 기계, 기타 어떤 이유로든지 생산중에 발생하는 변수 (Variations)들을 탐지하는 통계학적 방법이다. Brush Wellman社は SPC 시스템으로 중요제품과 공정특성을 철저히 관리하고 있다. SPC는 공정성격에 따라 내용이 달라지며 새로운 SPC는 결과의 완벽성에 대한 검증을 사전에 거친다. 대상에 대하여 FMEA(Failure Mode Effects Analysis) 분석을 실시한 후 SPC 계획을 수립한다. 과거 누적자료의 검토결과로 새로운 SPC가 잘 되고 있는지 알 수 있다. 제 조건이 다 만족되면 SPC 차트를 작성 관리한다.

고객사양 및 공정설계 사양에 부합하기 위해서는 로트(Lot)와 로트사이에 일관성이 있어야 한다. 용탕조성(화학적 성분), 기계적성질(인장강도, 항복강도, 연신율, 경도), 입자의 크기, 전도도, 두께, 표면조도는 모두 추적 관리된다. 각 생산공장은 전속 또는 선택적 제어차트에 의하여 모니터링 된다. 주문품은 Heat Number까지 거슬러 추적될 수 있다.

**8.3.1 공차내 분포도 (Process Potential: Cp)**

공차내 분포도란 어떤 제조 관리항목에 대하여 기술사양에 정한 허용 분포에

그림 44. Cp와 Cpk의 기초개념





에 대하여 기술사양에 정한 허용 분포에 비하여 실제 생산공정에서의 분포가 어떠한지만을 보고자 하는 것이다(그림44 참조).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (\text{쌍방향적 경우})$$

$$C_p = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (\text{일방향적 경우})$$

$$C_p = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (\text{일방향적 경우})$$

여기서,  $USL$  = 사양에서의 상한치

$LSL$  = 사양에서의 하한치

$\sigma$  = 표준편차

$\mu$  = 평균치

### 8.3.2 공차내 생산능 지수 (Process Capability Index : $C_{pk}$ )

이것은 제품을 사양범위 안에 맞게 생산할 수 있는 능력의 지수이다. 이 능력 지수는 허용분포에 비하여 실제 생산에 있어 중앙에 집중하는 정도를 보여준다.

$$C_{pk} = C_p(1 - K)$$

$$K = \frac{|Nominal - \mu|}{(USL - LSL)/2}$$

( $Nominal$ 은 관리항목의 중앙 수치임.)

## 8.4 지속적 개선관리 체제

### 8.4.1 ISO 9002 인증

Reading 공장(펜실바니아주 소재)은 1993년 중반에, Elmore 공장(오하이오주 소재)은 1994년 중반에 ISO-9002 인증을 받았다. 품질운영체제(Quality Operation System: QOS)는 품질관리 활동 자체의 감독 뿐 만이 아니라 내부 및 외부에서 제품이 어떻게 성과를 내고 있는지 모니터링 한다. 전반적 성과 추적과 월별 검토를 위해서 각 공장에 구성되어 있는 관리팀은 여러 가지 측정수단을 개발하고 자료를 제시한다.

### 8.4.2 ISO/IEC Guide 25-1990

Elmore 공장의 화학 분석실과 Reading 공장의 기계실험실은 American Association of Laboratory Accreditation(A2LA)로부터 ISO/IEC Guide 25-1990 인증을 받았다. Guide 25의 요구조건은 ISO-9002보다 더 엄격하다. 몇가지 추가적 요구조건은 다음과 같다 :

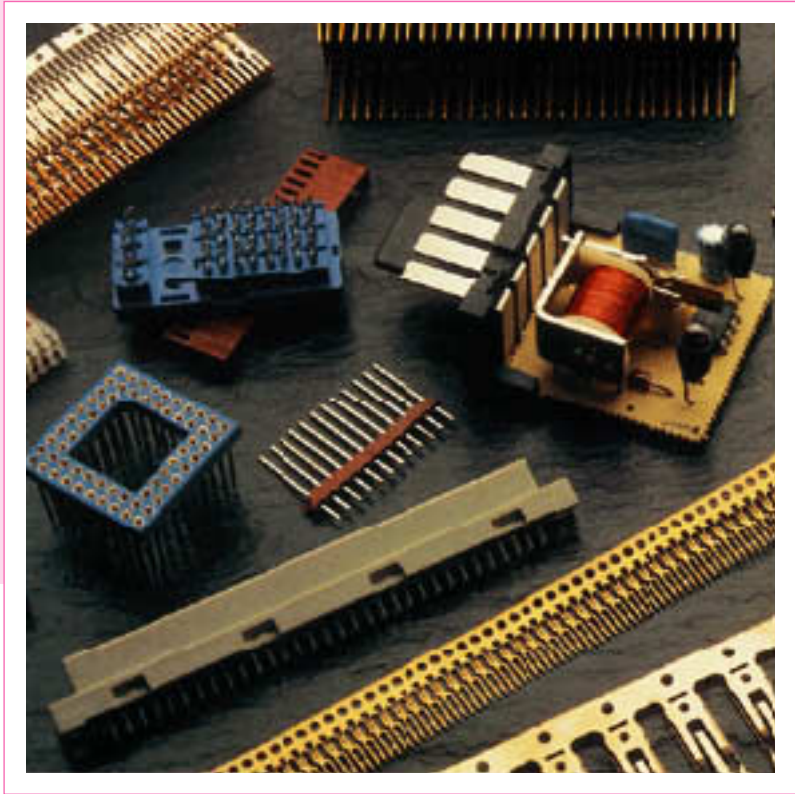
- 실험실 품질관리 매뉴얼 비치
- 최상 실험 방법의 결정
- 계기 반복성 및 재생성 측정 시스템 연구
- 검교정 관리 (Calibration Control)
- 작업자 기능도를 확보하기 위한 훈련 과정
- 장비의 주요 부품에 대한 구매 및 정비 기록

## 8.5 품질 활동 증거

우리의 품질 활동 증거로서, 우리는

1. 재료 성적서(고객 사양을 만족시킴을 보이는 실험결과치)를 제공한다.
2. 요청에 의해 통계적 공정능력과 제품품질에 대한 자세한 자료를 제공한다.
3. 우리를 방문하는 고객에게 요청에 응하여 우리의 품질관리시스템에 대한 설명을 제공한다.





# 제9장 응 응

## 베릴륨동의 강점

고 항복강도 ➔ 설계 응력

고 전도율 ➔ 전류 용량

응력 이완 ➔ 신뢰도

고 인성 ➔ 영구 변위

성형성 ➔ 제조

그림 45. 설계흐름도



## 제9장 응용

### 9.1 설계 실습

여기서는 앞서 기술된 설계 흐름도를 사용하여 대표적인 콘넥터 설계과정을 일람하여 본다. 설계에 관한 결정은 절대로 단편적일 수 없다. 첫 단계는 콘넥터의 사용처에 맞게 하기 위한 주요 설계 포인트가 무엇인지 알아 내는 것이다. 두 번째 단계는 그러한 조건에 맞는 재료선택에 대한 결정이다. 그림45에 대표적인 설계과정의 개념도를 보인다.

#### 9.1.1 기계적 조건

접촉자의 설계에 있어서 첫 번째 조건은 기계적 성질, 즉 접촉력과 설계응력이다. “가스기밀” 접촉을 실현시키려면 전기접촉을 유지시키기 위한 적당한 직각력이 있어야 한다. 접촉자가 제공하는 이 직각력은 정상 사용시에 과도한 응력을 수반하지 말아야 한다.

##### 9.1.1.1 접촉력

외팔보(Cantilever Beam) 콘넥터의 접촉력 또는 직각력은 다음 수식에 의하여 접촉자의 물리적 치수(보의 길이  $l$ , 넓이  $w$ , 두께  $t$ ), 그 접촉자의 제한된 물리적 이동거리(휨량  $d$ ), 그 재료의 탄성(탄성계수,  $E$ )으로부터 계산된다.

$$\text{직각력, } P = \frac{dEwt^3}{4l^3}$$

보의 길이와 두께는 위 수식에서 보는 바와 같이 3승으로 작용하므로 가장 중요하다. 여기서 중요한 재료성질은 탄성계수이다. 고성능 스프링재의 탄성계수는 11.3에서  $14.0 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$  이다. 탄성계수는 텀퍼와는 별도이다. 보의 치수와 휨의 크기가 같다면 탄성계수만 다르게 하여 직각력(접촉력)이 +/- 11%만큼 변할 수 있다. 만일 접촉자의 탄성계수를  $11,300 \text{ kg/mm}^2$ 로 설계하여 요구되는 접촉력을 얻을 수 있다면 더 큰 탄성계수의 재료를 사용하여 보의 부피를 작게하는 재설계가 가능하다.

차트1은 몇 가지 재료의 탄성계수를 비교하여 보여준다.

### 9.1.1.2 설계응력 대 항복강도

설계응력 또는 사용응력은 몇가지 방법으로 계산할 수 있다. 가장 간단한 방법은 외팔보 공식을 이용하는 것이며 최대 표면 응력이 설계응력 또는 사용응력과 같다고 가정한다. 이 식은 다음과 같다.

$$\sigma_{\max} = \frac{3dEt}{2l^2}$$

여기서 :  $d$  = 접촉력에 상응하는 힘량

$E$  = 탄성계수

$t$  = 보의 두께

$l$  = 보의 길이

다른 방법은 유한요소분석법(FEM) 모형의 Von Mises 응력을 경유하여 설계응력에 도달하는 것이다. 두 응력은 정상 또는 보다 불리한 경우의 힘을 상징하여 계산 가능하다. 어느 경우이나 설계응력을 재료의 항복강도 아래에 있게 하여 안전율을 고려하는 것이 바람직하다. 만일 설계응력이 항복강도를 초과하면 소성변형이 생길 것이다. 이 소성변형은 영구변위이다. 만일 재료의 소성변화 구역으로 들어가는 것이 불가피하다면 영구변위에 저항력이 있는 재료를 사용하는 것이 유리하다. 시효경화 될 수 있는 Age Hardenable 재료는 이들 재료들의 강도가 단지 냉간가공에 의해서만 얻어지는 것이 아닌 점에서 영구변위에 더 저항력이 있다.

차트2는 여러 가지 재료들의 최대항복강도를 비교하여 보여준다.

차트1. 주요 동합금의 탄성계수 비교

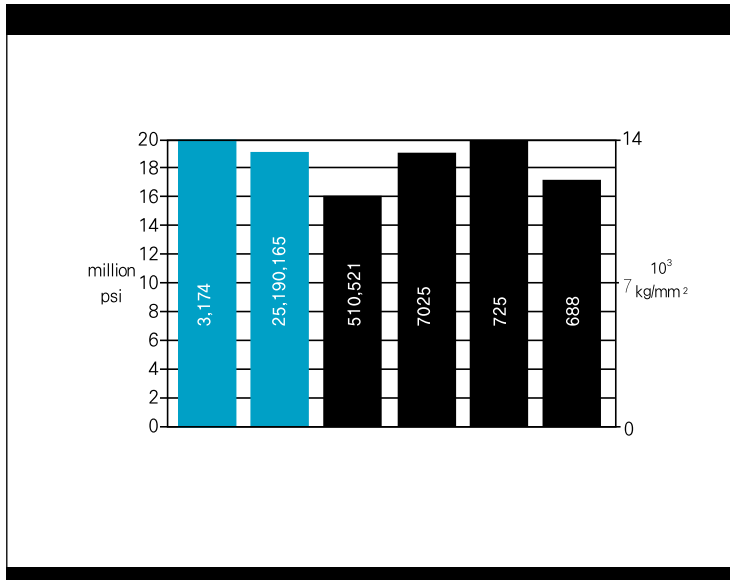


차트2. 주요 동합금의 최대 항복강도 비교

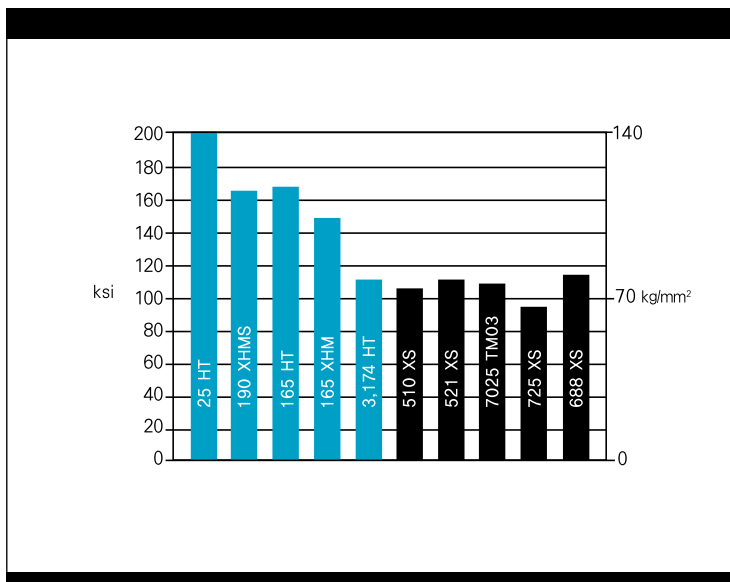
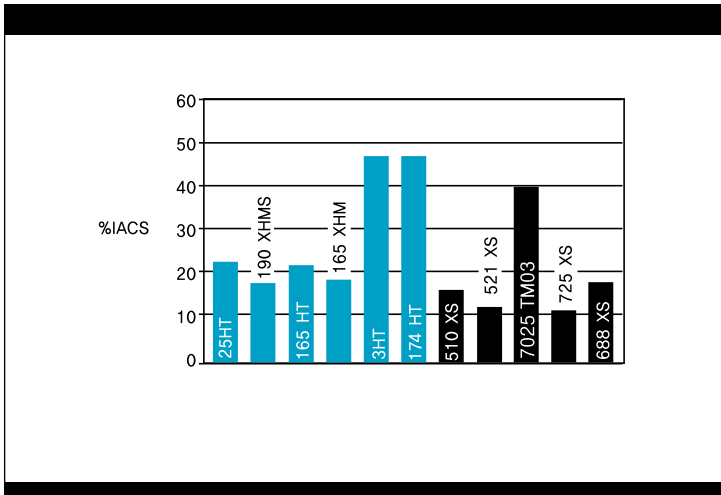


차트3. 주요동합금의 전기전도도 비교



### 9.1.2 온도-전기-환경조건

접촉력과 설계응력을 결정한 후에는 온도, 전기, 환경관계 조건에 견주어 콘넥터가 괜찮겠는지 분석하는 것이 중요하다. 여기서 가장 중요한 콘넥터 재료 조건은 전류운반 능력이다. 전기전도도는 콘넥터 저항에 따라서 콘넥터 신뢰도에 직접적인 영향을 준다.

#### 9.1.2.1 온도상승

접촉자의 온도 상승은 그 재료에 흐르는 전류, 접촉자의 치수(접촉자 보의 길이, 단면의 크기), 전기 및 열전도도에 따른다. 온도상승은 다음 공식에 의하여 예측할 수 있다:

$$\Delta T = \frac{J^2 L^2}{2\gamma_e k A^2}$$

여기서,  $\Delta T$  : 온도상승(°F)

$J$  : 전류(Amps)

$L$  : 보의 길이 (in)

$A$  : 접촉자의 단면적(in<sup>2</sup>)

$\gamma_e$  : 전기전도도

$k$  : 열전도도

전기전도도가 %IACS로 되어 있을 때에는 14,700을 곱하여 amps/volt-in 단위로 계산한다. 열전도도가 BTU/ft · hr · °F 단위일 때에는 0.0244를 곱하여 volts-amps/in-°F 단위로 바꾸어 계산한다.

이 저항열 또는 주울열은 콘넥터의 등급을 저하시킬 수 있다. 한 대표적인 조건은 주어진 전류에서 온도상승이 30 °C미만이 되도록 요구한다. 차트3은 몇 개의 접촉자 재료에 대하여 전기전도율과 열전도율을 곱한 값을 비교하여 보여준다.

### 9.1.2.2 응력이완

주위 온도에 의한 온도상승은 저항열로 인한 열과 별도이다. 이 둘을 더함으로써 콘넥터에 불리한 경우를 고려하여야 한다. 승온된 상태에서 콘넥터의 기계적 성질은 많은 영향을 받는다. 접촉력이 온도상승으로 인해 감소할 수 있다. 콘넥터의 직각 접촉력의 감소는 만일 이것이 정상수준 이하로 떨어진다면 콘넥터의 신뢰도에 직접적인 타격을 준다. 재료를 선택함에 있어 콘넥터가 그 수명을 다 하였을 때에도 적절한 접촉력을 유지할 수 있을 재료를 선택하는 것이 중요하다. **그림46**은 몇가지 재료의 열에 의한 응력 이완율을 보여준다. **차트4**는 여러가지 동계 합금을 200℃서 시험한 응력이완율을 비교하여 보여준다.

### 9.1.3 제조 조건

콘넥터의 설계는 직각력과 설계응력의 기계적 조건을 구하는 것이지만 동시에 제작측면의 고려사항도 무시하면 안된다. 두가지를 언급할 필요가 있다. 첫째는 기계적 요구조건을 만족시키기 위하여 접촉자가 도면대로 성형 되게 하는 것이다. 둘째는 접촉자를 경제적으로 제조할 수 있어야 하는 것이다.

#### 9.1.3.1 성형성

접촉자의 성형성을 결정함에 있어 몇 가지 의문을 갖게된다. 접촉자를 스탬핑하여 만드나 아니면 기계가공하여 만드나? 만일 스탬핑한다면 스탬핑 순서는 어떻게 하며, 고려사항은 무엇인가? 성형을 위해 가장 흔히 사용되는 기준은 접촉자의 두께 대 최소 곡률반경 비율 (R/t)이다.

그림46. 주요 동합금별 응력이완에 대한 온도의 영향

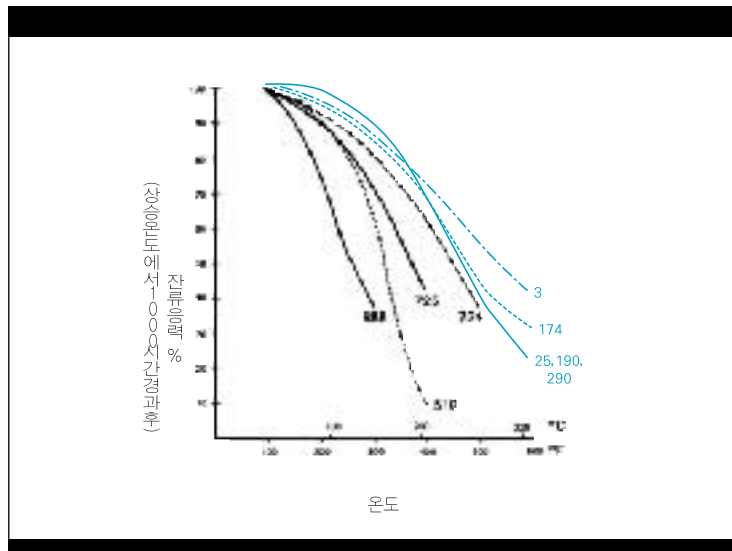


차트4. 주요 동합금의 응력이완 저항성 비교

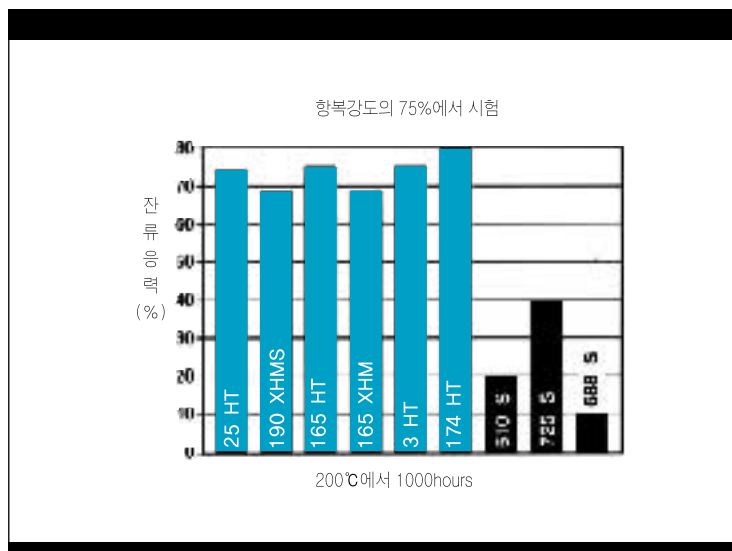


차트 5a. 주요 동합금의 종방향 성형성비교

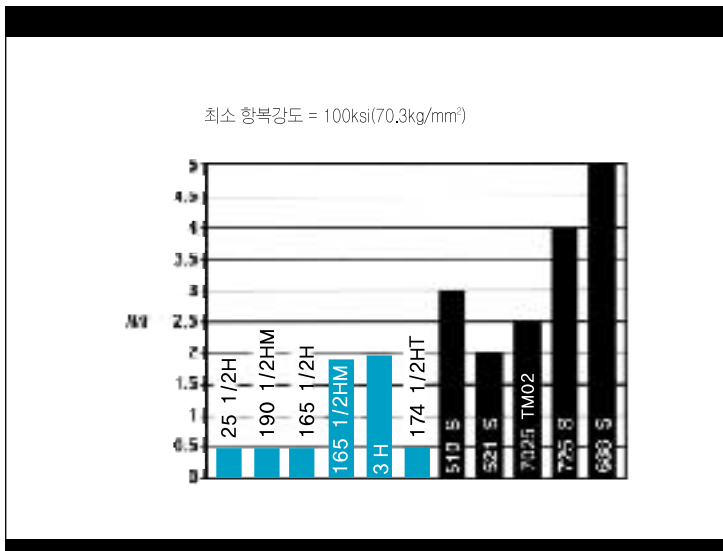
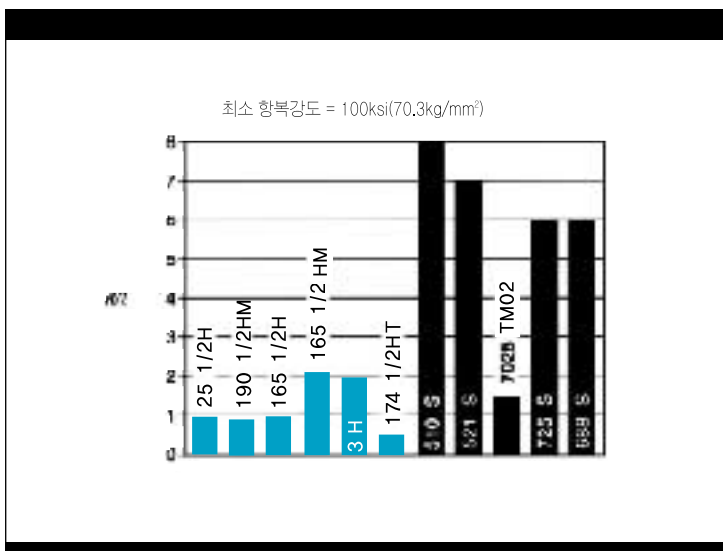


차트 5b. 주요 동합금의 횡방향 성형성비교



대부분의 재료들에 있어 이 성형성 데이터는 종방향과 횡방향의 차이가 다르다. 부품의 치수를 보면 그 부품의 최소 곡률반경을 알 수 있으며 검토 대상 재료의 적합성 여부를 알 수 있다. 차트 5a와 5b는 몇 가지 콘넥터 합금재료에 대하여 성형성비(R/t비)를 보여준다.

### 9.1.3.2 제조 원가

콘넥터의 원가는 몇가지 요소로 구성된다. 여기에는 기저금속 재료비, 스탬핑 또는 기계 가공비, 도금비, 하우징비, 그리고 조립비가 포함된다. 부차적 생산 비용으로서 열처리용 합금을 사용할 때에는 열처리비가 제조비중의 상당부분을 차지할 수 있다. 다른 한편 공장열처리(Mill Hardened) 재를 사용할 때에는 열처리와 세정공정을 요하지 않으면서 충분한 강도와 성형성을 얻을 수도 있다.

## 9.2 소형화

최근 소형화를 지향하는 업계 추세는 콘넥터 부품간의 간격을 좁게, 공차를 엄격하게, 전체 높이를 낮게 요구하고 있다(표 24). 한 일반 외팔보형 콘넥터의 크기를 베릴륨동을 사용하여 반으로 소형화시켰을 때 그의 경제적인 이점을 살펴 보기로 한다(그림 47).

현재의 설계내용은 다음과 같다.

접촉자의 재료=인칭동 A C51000  
Spring Temper

탄성계수,  $E = 11,300\text{kg/mm}^2$

항복강도,  $YS = 70.3\text{kg/mm}^2$

보의 길이,  $l = 3.8\text{mm}$

보의 폭,  $w = 1.0\text{mm}$

보의 두께,  $t = 0.25\text{mm}$

힘변형량,  $d = 0.18\text{mm}$

직각력은 다음 계산식에 의하여,

$$\text{직각력, } P = \frac{dEwt^3}{4l^3}$$

145g(1.419N)으로 계산되었다. 이것으로 이 가상 콘넥터가 역할을 잘 한다고 상정한다. 다음에 알아야 할 변수는 이에 상응하는 설계응력이다. 다음식으로 설계응력을 계산한다.

$$\sigma_{\max} = \frac{3dEt}{2l^2}$$

이 식에서 설계응력은 52.8kg/mm<sup>2</sup>으로 계산되며 0.2%항복강도 70.3kg/mm<sup>2</sup>보다 아래에 있는 것이 확인된다.

다음 새로 설계하는 것은 원래의 크기를 반으로 하는 것으로 치수는 다음과 같다 :

접촉자의 재료 = 인칭동 A C51000  
(Spring Temper)

탄성계수,  $E = 11,300 \text{ kg/mm}^2$

항복강도,  $YS = 70.3 \text{ kg/mm}^2$

보의길이,  $l = 1.9 \text{ mm}$

보의 폭,  $w = 0.5 \text{ mm}$

보의 두께,  $t = 0.2 \text{ mm}$

힘변형량,  $d = 0.09 \text{ mm}$

여기서 필요한 접촉력(직각력)은 연결신뢰도 때문에 그대로 유지하고, 각 치수를 그렇게 되게 줄이는 것으로 한다. 이를 토대로 상응응력을 계산하면 84.5kg/mm<sup>2</sup>이 된다. 이것은 재료의 항복강도보다 크므로 허용될 수 없다. 결국 항복강도가 더 높은 재료를 찾지 않으면 안 된다. 새로 선택된 재료는 Alloy25(C17200) 1/2HT 텀퍼이다 이 합금재료의 주요 물성은 다음과 같다.

표24-소형화 사례



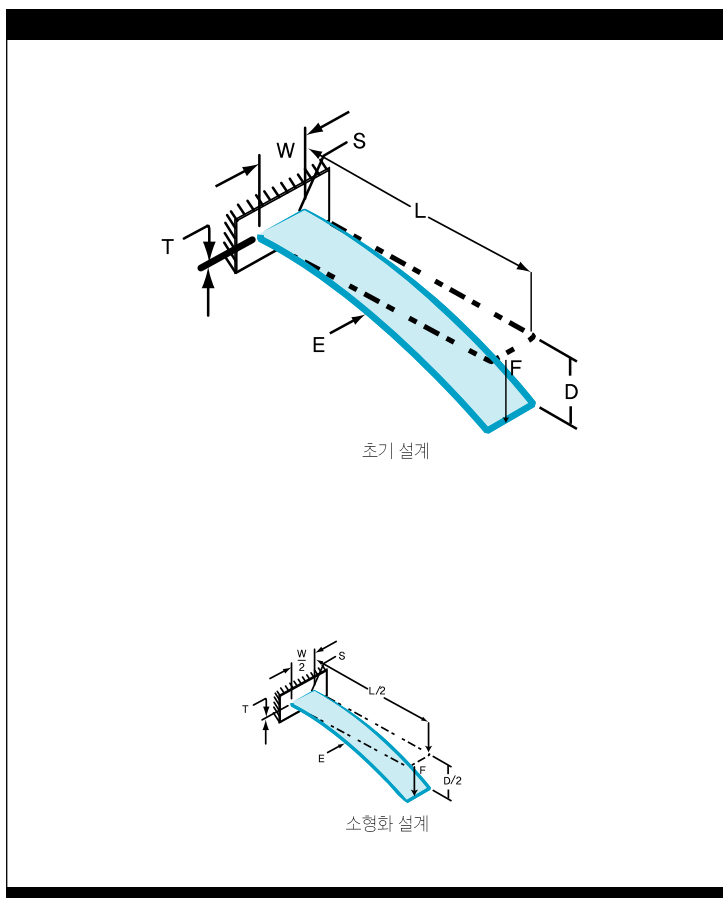
제품의 발전	초기 	현재 
입자	≥0.100"(2.54mm)	≤0.050"(1.27mm)
Post 크기	0.025"(0.635mm)	0.015"(0.381mm)
재료 두께	0.010-0.015" (0.259-0.381mm)	0.003-0.010" (0.08-0.254mm)
접촉력	≥100 grams (1 N)	≤50 grams (0.5 N)



그림 47. 소형화



재료 =

베릴륨동 Alloy25(C17200) 1/2HT

탄성계수,  $E = 13,500\text{kg/mm}^2$

항복강도,  $YS = 126.6\text{kg/mm}^2$

보의길이,  $l = 1.9\text{mm}$

보의 폭,  $w = 0.5\text{mm}$

보의 두께,  $t = 0.2\text{mm}$

힘변형량,  $d = 0.09\text{mm}$

이 베릴륨동을 사용하여 새로 계산한 결과 설계 응력은  $100.97\text{kg/mm}^2$ 로 나와 재료의 항복강도  $126.6\text{kg/mm}^2$  보다 훨씬 작으므로 합당하다. 그 접촉력(직각력)도  $177\text{grams}(1.734\text{N})$ 이 된다. 베릴륨동 사용의 경제성을 더 강조 한다면, 두께를  $0.2\text{mm}$ 로 줄이고도 접촉력을 설계수치인  $145\text{grams}(1.419\text{N})$ 으로 가져 갈 수 있으며 설계응력도  $93.5\text{kg/mm}^2$ 로 낮게 할 수 있는 것이다.



## 부 록

### (A) 베릴륨동 합금의 종류와 공급형태

#### (A.1) 고강도 합금

##### (A.1.1) C17200

- Alloy 25 - 상용 동합금중에서는 강도, 경도가 가장 높음 - 통상 성형가공후 시효경화 열처리 함.

스트립, 봉재, 각재, 판재, 선재, 튜브형태로 공급됨.

- Alloy 190 - Alloy 25와 유사하나 공장에서 이미 열처리후 공급하는 재료임. 공장열처리(Mill Hardened)재 - 스트립으로만 나옴.

- 스탬핑후 경화 열처리, 세정공정을 거칠 필요가 없으므로 경제적임.

- Alloy 290 - Alloy190과 유사하나 성형성을 좋게 개선한 것임. 스트립으로만 나옴.

##### (A.1.2) C17300

- Alloy M25 - Alloy 25를 쾌삭 기계가공용으로 만든것임 - 기계가공시 칩이 잘 떨어져 나가게 납(Pb)을 첨가함. 봉재로만 나옴.

##### (A.1.3) C17000

- Alloy 65 - Alloy25보다 Be 성분을 낮춘 것임. 강도가 보다 낮음 - 가격이 보다 싼.

- Alloy25와 같이 모든 형태로 나옴.

#### (A.2) 고전도 합금

##### (A.2.1) C17510

- Alloy 3 - 보통의 항복강도를 갖으면서 전기전도도가 40-60% IACC임. 수요가열처리(Heat Treatable)재와 공장열처리(Mill Hardened)재로 나옴. 스트립, 봉재, 각재, 판재, 선재, 튜브형태로 공급됨.

### (A.2.2) C17500

- Alloy 10 - Alloy 3과 같음. 단, 합금제로서 니켈대신 코발트를 사용함.

### (A.2.3) C17410

- Alloy 174 - 인청동의 성능을 개선시킨 성능을 갖음 - 고전도성에 응력이완저항성이 좋음 - 공장열처리 (Mill Hardened)재임 - 스트립으로만 나옴.

### (A.3) 니켈베릴륨

Brush Alloy 360(UNS No. N03360)은 약 2%의 베릴륨을 함유하며 베릴륨동과 같이 시효경화 열처리가 가능하다(Age Hardenable). 니켈베릴륨 합금은 자성을 갖는다. Alloy 360의 물리적 성질은 다음과 같다.

- 밀도 =  $8.13 \text{ g/cm}^3$
- 열팽창계수(CTE) =  $14.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- 열전도도 =  $48.0 \text{ W/m} \cdot \text{k}$   
( $28\text{BTU}/\text{ft} \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{F}$ )
- 탄성계수 =  $20 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$
- 전기전도도 = 4-6% IACS
- 공급형태 : 스트립으로만 나옴

### (A.4) 공급방법

Brush Wellman社는 세계 여러곳에 서비스센터, 판매상, 에이전트의 네트워크를 유지하고 있다. 이곳의 근무자들은 고객으로부터 오는 각종 문의에 응하고 있다. 이곳에는 여러 가지 합금을 각종 템퍼와 치수별로 광범위하게 재고로 보유하여 수요자의 주문에 신속하게 대처한다. 이곳은 고객의 주문에 따라 정밀 슬리팅, 절단(Sawing), Tension Leveling, Traverse Winding 등의 서비스를

수행 하기도 한다.

### (A.4.1) 스트립

두께는 0.05mm까지 폭은 1.27mm에서 457.2mm까지 나온다. 더 얇은 소재는 적합한 공급처를 안내할 수 있다. 대개 Flat Coil 상태로 단중은 454kg까지 공급된다. Traverse Wound Reel 로도 공급된다.

### (A.4.2) 선재

원형, 다각형, 직사각형으로 공급된다. 굵기는 1.27mm에서 6.35mm까지이다.

### (A.4.3) 봉재

길이 3.66m까지, 굵기 1.27mm에서 12.7mm까지 나온다. 요청에 따른 길이로 절단 공급 가능하다.

### (A.4.4) 튜브, 각재, 판재

이들은 Brush Wellman社의 정규 생산품목이다. 회사의 Sales Engineering Department 에서 고객의 제반 문의에 응한다.

### (A.5) 베릴륨함유 합금속의 안전취급

고체상태의 베릴륨동은 아무런 특별한 건강상의 위해가 없다. 많은 산업물질과 같이 베릴륨 함유 물질도 권장 안전취급요령을 지키지 않으면 건강상 위험할 수 있다. 공기중에 있는 베릴륨을 흡입하면 개인에 따라 심한 폐부전을 유발할 수 있기 때문이다.

OSHA(Occupational Safety and Health Administration)는 직업적 호흡기 노출에 대하여 필히 준수하여야 하는 제한 사항을 규정하고 있다. 그러므로 이 재료를 취급할 때에는 MSDS(Material Safety Data Sheet)를 읽고 준수사항을 지켜야 한다. 추가정보는 Brush Wellman社의 Cleveland 본사에 문의하면 추가정보를 얻을 수 있다(전화 216-486-4200).

(B) 외팔보의 휨 계산공식

주어진데이터	구할 데이터	계산공식	
DPL	WT	$T = \frac{2SL^2}{3DE}$	$W = \frac{6LP}{T^2S}$
WLP	DT	$T = 2\sqrt{\frac{3LP}{2WS}}$	$D = \frac{4PL^3}{WET^3}$
WTL	DP	$P = \frac{WST^2}{6L}$	$D = \frac{4PL^3}{WET^3}$
WDL	TP	$T = \frac{2SL^2}{3DE}$	$P = \frac{WST^2}{6L}$
WTP	LD	$L = \frac{WST^2}{6P}$	$D = \frac{4PL^3}{WET^3}$
WDT	LP	$L = \sqrt{\frac{3DET}{2S}}$	$P = \frac{WDET^3}{4L^3}$
DWP	TL	$H = \frac{3}{S^3}\sqrt{\frac{2DEP^2}{W^2}}$	$L = \frac{WST^2}{6P}$
DTP	LW	$L = \sqrt{\frac{3DET}{2S}}$	$W = \frac{4PL^3}{DET^3}$
TLP	WD	$W = \frac{6LP}{ST^2}$	$D = \frac{4PL^3}{WET^3}$

$E$  = 탄성계수       $D$  = 휨거리  
 $T$  = 보의 두께       $P$  = 부하 (직각력)  
 $W$  = 보의 폭         $S$  = 최대표면응력  
 $L$  = 보의 길이

3개의 변수와  $S$ (최대표면응력)를 알면 위 계산공식에 의하여 다른 2개의 변수 값을 구할 수 있다.