

GOVP1199904353

631.3  
2932

최 종  
연구보고서

# 첨단유리온실용 알루미늄구조재의 규격표준화 및 적합소재 개발

The Development of Standardization for Aluminium Profiles  
and Proper Aluminium Alloys in Modern Glasshouse

연구기관 : 농업기계화연구소

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “첨단유리온실용 알루미늄구조재의 규격표준화 및 적합소재 개발에 관한 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998 . 12 .

주관연구기관명 : 농업기계화연구소

총괄연구책임자 : 윤 진 하

연구 원 : 김 경 원

연구 원 : 김 장 현

연구 원 : 장 유 섭

연구 원 : 김 승 환

연구 원 : 이 상 하

연구 원 : 성 진 경

연구 원 : 전 종 길

연구 원 : 한 길 수

연구 원 : 오 병 기

연구 원 : 홍 성 기

연구 원 : 이 성 현

연구 원 : 정 성 립

연구 원 : 김 기 홍

협동연구기관명 : 포항산업과학연구원

협동연구책임자 : 이 규 창

협동연구기관명 : 세명코레스부설연구소

협동연구책임자 : 이 명 복

# 요 약 문

## I. 제목

첨단 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격표준화 및 적합소재 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

WTO체제 출범 등 농산물 시장 개방에 대응하여 우리 농업을 국제경쟁력을 갖춘 수출농업으로 발전시키기 위해서는 자본기술 집약형의 시설농업이 절실히 요구되고 있으며 그에 따라 유리온실 면적도 점차 증가하고 있으나 국내에 설치되는 유리온실의 약 70%이상을 점유하고 있는 와이드스판형 온실의 핵심구조재인 용마루, 서까래, 창회전재 등 알루미늄 구조재의 형상, 구조 등이 규격표준화 되어 있지 않아 대량 규격생산을 통한 품질 향상 및 생산비 절감의 제약요인이 되고 있으며 온실의 시공표준화도 곤란한 실정이다. 현재 유리온실에는 6000계열의 알루미늄 소재를 사용하고 있으나 강도 및 내식성이 미흡하고 적합소재 개발 및 압출생산 기술도 정립되지 않은 실정이다. 따라서 국내 유리온실산업의 국제경쟁력 제고를 위하여 유리온실 구조재의 20~30%에 달하는 알루미늄 구조재의 규격 표준화와 경량 고강도의 합금소재 및 생산기술의 개발이 요구되고 있다.

이 연구에서는 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격 표준화로 대량 규격생산에 의한 품질향상 및 생산원가 절감과 안전성, 기밀성, 수광성 등 구조재의 기능성을 증대시키고 기존 알루미늄 압출구조재보다 기계역학적 특성이 우수한 합금소재를 개발하고 압출성을 향상시키고자 하였다.

유리온실용 알루미늄 구조재의 규격표준화 대상은 용마루, 서까래, 천창회전재 등 3종으로 하였고 알루미늄합금 소재는 인장강도 28kg/㎟, 연신을 12%이상이고 압출성이 80이상인 소재개발을 목표로 하였다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

첨단 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격표준화 및 적합소재 개발의 연구 내용과 범위를 요약하면 다음과 같다.

구 분	연구개발 목표	연구개발내용 및 범위
1차 년도 (1996년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유리온실용 알루미늄 구조재의 조사분석 및 설계 기준설정</li>   <li>○ 첨단유리온실용 알루미늄 합금 개발</li>   <li>○ 유리온실재의 금형설계에 따른 압출성 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유리온실용 구조재의 특성 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대상 : 용마루 등 3종</li> <li>- 평가내용                   <ul style="list-style-type: none"> <li>· 변형, 인장, 항절충력 등 기계 역학적 특성</li> <li>· 알루미늄 성분, 미세조직, 열처리조건 등</li> <li>· 알루미늄 구조재별 압출성 평가</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 구조재의 설계요인별 설계기준 조사분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 허용응력, 변형, 부재형상, 치수 등</li> </ul> </li>   <li>○ 고강도의 압출성이 뛰어난 합금설계               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미량원소가 압출성에 미치는 영향 평가</li> <li>- 열처리방법에 따른 기계적 특성 구명</li> <li>- 열처리에 따른 미세조직 변화 및 최적 주조조건 도출</li> </ul> </li>   <li>○ 경제적인 금형 설계 기술 확립               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 금형의 수명, 최적압출비 등 고려</li> </ul> </li> <li>○ 유리온실재 형상별 최적 압출조건 구명</li> </ul>

구 분	연구개발 목표	연구개발내용 및 범위
2차 년도 (1997년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 구조재별 모델최적화 연구</li> <li>○ 특수알루미늄합금 용해 및 주조기술 개발</li> <li>○ 유리온실용 AI합금 구조재의 대량연속 주조 및 압출금형 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 알루미늄 부재의 기능별 구조 및 형상 최적화 연구 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 압축, 인장, 회전력, 결합성 등 기계역학적 특성</li> </ul> </li> <li>○ 규격화 모델 설계 제작 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 용마루, 서까래, 천창회전재 등 3종</li> <li>- 형상, 크기, 단면치수 등</li> </ul> </li> <li>○ 규격화 모델의 검증 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유한요소법에 의한 2차원 및 3차원 단면 응력 분석</li> <li>- 제작모델의 응력시험 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인장, 압축, 항절, 유리접합성 등</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 경량 고강도의 압출성이 뛰어난 합금 선정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 인장강도 : 280MPa이상, 연신율 : 12%이상</li> </ul> </li> <li>○ 압출용 빌레트 연속주조조건 확립 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 빌레트 표면 형상제어</li> <li>- 주입온도 및 주조속도에 따른 미세조직제어</li> <li>- 용탕처리 기술 개발(탈가스)</li> <li>- 균질화 열처리 조건 확립</li> </ul> </li> <li>○ 용탕의 클린화 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탈가스, 개재물, 편석 제거기술</li> </ul> </li> <li>○ 유리온실 구조재의 연속주조 기술확립 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연속주조속도, 냉각속도</li> <li>- 주조후 연주재의 macro, micro조직</li> <li>- EPMA, SEM</li> </ul> </li> <li>○ 금형설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 금형설계 및 Metal flow제어기술</li> <li>- 압출금형 제작</li> </ul> </li> </ul>

구 분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
3차 년도 (1998년)	○ 유리온실 알루미늄 구조재의 규격표준화 모델 개발	○ 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격 표준화 모델 정립 - 용마루, 서까래, 천창회전재, 결합재 등 ○ 규격표준화 시제품 제작 및 기계 역학적 특성 검정 - 압축, 항절응력, 변형등 ○ 규격표준화 도면 제작
	○ 유리온실 알루미늄 합금의 표준화	○ 알루미늄 합금의 압출조건 확립 - 재질, 압출비에 따른 압출압력 예측 ○ 알루미늄합금의 표준화 - 합금성분조성 - 열처리방법 등 - 기계적 및 이화학적 특성
	○ 유리온실 알루미늄 압출 구 조재의 특성평가 및 생산가 공기술 표준화	○ 압출가공재의 특성평가 - 압출형재의 정밀도, 기계적특성 등 ○ 알루미늄 구조재의 생산가공기술 확립 - 압출금형 규격 표준화 - 치수, 허용오차 표준화

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발 결과

첨단 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격표준화 및 적합소재 개발의 연구 내용과 범위를 요약하면 다음과 같다.

#### 가. 첨단유리온실용 알루미늄구조재의 규격표준화

1) 유리온실용 알루미늄구조재의 적정 설계를 위하여 먼저 유리온실에 작용하는 설계하중을 내구년수 20년, 재현기간 57년, 안전율을 70%로 하여 산정한 결과, 천창이 열린상태에서 서까래에 작용하는 풍하중은 174.2kg, 곡부의 적설하중은 84.2kg으로 나타났으며 용마루 및 천창회전재의 힌지부에 작용하는 수평하중은  $4.57 \times 10^2 \text{kg/mm}$ , 수직하중은  $-9.16 \times 10^2 \text{kg/mm}$ 였다.

2) 유리온실용 알루미늄구조재의 규격표준화를 위하여 기존의 유리온실에 사용되고 있는 용마루(5종), 천창회전재(3종), 서까래(3종) 등 주요 알루미늄 구조재의 단면형상 및 기계역학적 특성을 조사분석한 결과

- 용마루는 웹(web)의 수가 한개인 것과 두개인 것이 사용되고 있었으며 전체 크기는 폭이 60~98mm, 높이가 110~130mm였으며 단면적은 612~848  $\text{mm}^2$ 였고 단면분석결과 단면2차모멘트는 90.5~193.9  $\text{cm}^4$ 이었으며 단면계수비와 휨 강성비는 용마루 ①과 ⑤에서 높게 나타났다.
- 천창회전재의 횡단면적은 187~256  $\text{mm}^2$ 이었으며 단면2차모멘트는 9.4~12.2  $\text{cm}^4$ 였고, 단면계수비와 휨강성비는 모두 창문이 열렸을 때가 높게 나타났다.
- 서까래의 횡단면적은 151~201  $\text{mm}^2$ 이었고 단면2차모멘트는 0.9~1.4  $\text{cm}^4$ 였으며, 휨강성비는 서까래 ①과 ③에서 높게 나타났다.
- ANSYS를 사용하여 천창이 열린상태에서 설계풍하중 작용시 단면검증을 실시한 결과, 용마루 ②의 Von Mises 최대응력이 6.54  $\text{kg/mm}^2$ , 최대변형은

1.  $25 \times 10^{-3}$ 으로 가장 높았으며, 천창회전재 ②의 Von Mises 최대응력 2.11kg/㎡, 최대변형  $0.403 \times 10^3$ 으로 용마루, 천창회전재 모두 설계허용 범위 내에 있었다.

○ 80mm 길이의 용마루와 서까래를 UTM으로 압축시험한 결과, 압축하중은 용마루 ⑤가 838kg으로 가장 높았고 항복응력은 ③이 2.72kg/㎡으로 가장 높았으며 서까래의 경우는 ①과 ②가 8.75~12.6kg/㎡으로 높게 나타났다.

○ 지간 625mm로 항절시험한 결과, 용마루의 경우 굽힘항복하중은 450~991kg, 굽힘항복응력은 4.61~6.58kg/㎡, 서까래의 굽힘항복하중은 63~105kg, 굽힘항복응력은 17.5~20.7kg/㎡으로 나타났으며 용마루는 ①, ④, ⑤가 서까래는 ①, ③이 응력면에서 유리하였다.

3) 기존의 알루미늄구조재에 대한 조사분석결과와 기능성 등을 고려하여 용마루 4종, 천창회전재 3종, 서까래 2종을 설계 제작하여 시험한 결과,

○ 설계풍하중 및 설하중에 대한 용마루의 Von Mises 최대응력은 모두 허용응력보다 작았으나 ⑥-1, ⑥-2가 특히 안전하였고, 압축항복응력 및 굽힘응력도 같은 경향으로 나타났으나 천창회전재와 결합시 회전 안전성이 높고 간섭이 적은 ⑥-2를 선정하였다.

○ 풍하중 및 설하중에 대한 천창회전재의 Von Mises 응력은 모두 허용응력보다 작았으며, ④-1과 ④-2가 특히 안전하였으나 용마루에서 이탈 위험성이 적은 ④-2를 선정하고 여기에 반중공형의 연결재 삽입부를 추가하여 연결성을 향상시켰다.

○ 서까래의 경우는 모두 굽힘항복하중이 설계허용기준을 만족시키지 못하여 단면 보강이 필요하였다. 따라서 중공이 하나로 되어 압출성이 우수한 ④-2를 선정하여 ANSYS 유한요소법으로 최적화설계를 수행하여 서까래의 하단 두께를 1.21~1.5mm로 하고 폭과 높이를 각각 0.24mm 및 1.9mm 증가



시켜 단면적을 144㎢으로 설계 보강하였다.

4) 위의 시험결과를 기준으로 용마루, 천창회전재, 서까래 등 3종의 구조재와 8종의 마감재 및 6종의 연결재, 고정구를 표준화하고 이들을 새로 개발한 합금으로 압출하여 기계역학적 특성과 기능성을 평가한 결과,

○ 용마루의 단면2차모멘트는 35.2cm<sup>4</sup>이었으며 압축항복응력은 5.16kg/㎢, 항복변위는 0.42mm였고 굽힘항복하중은 825kg, 굽힘항복응력은 13.4kg/㎢으로 안전성이 높게 나타났다.

○ 서까래의 단면2차모멘트는 1.09cm<sup>4</sup>이었으며 압축항복응력은 7.06kg/㎢, 항복변위는 0.63mm였고, 1,000mm지간에서의 굽힘항복하중은 59.9kg, 굽힘항복응력은 20.1kg/㎢으로 안전한 것으로 판단되었다.

○ 용마루와 용마루의 연결은 알루미늄 연결바의 삽입에 의하여 천창회전재의 연결은 이음판 및 연결바 삽입에 의하여 이루어지도록 하였고, 서까래의 고정은 덮개와 서까래를 고정나사로 조립되도록 설계하였다.

#### 나. 적합알루미늄 소재개발

1) 유리온실용 알루미늄구조재에 적합한 합금소재를 개발하기 위하여 국내외에서 사용되는 유리온실용 알루미늄구조재를 조사분석한 결과

○ 국내외에서 사용되는 유리온실의 알루미늄구조재는 모두 A6063 알루미늄 합금인 Al-Mg-Si 계열에 속하는 것으로 나타났으며

○ 기계역학적 특성평가결과 인장강도는 190~264MPa, 연신율은 6.6~11.8%, 항복강도는 161~238MPa로 대체로 KS기준을 만족시키고 있는 것으로 나타났다.

2) A6063 알루미늄합금을 기준으로 인장강도 280MPa, 연신율 12% 이상되는 알루미늄 합금소재를 개발하기 위하여 Cu, Mg, Zn 등 미량성분의 조성을 변화시켜 합금을 조성하고 DC주조방식으로 빌레트를 제작하여 압출성 및 기계

#### 적 특성을 시험 분석한 결과

- 목표로 하는 인장강도 및 연신율을 얻을 수 있는 Al-Mg-Si-Cu계의 새로운 합금을 개발하였으며, 이 합금의 화학조성은 Si 0.65%, Mg 0.5%, Cu 0.5%, Mn 0.3%, Zn 0.15%이고 나머지는 알루미늄이었다.
- 실험실 빌레트의 최적 주조조건은 용해온도  $750\pm 10^{\circ}\text{C}$ , 용탕 주입온도  $720^{\circ}\text{C}$ , 주조속도 80mm/min이었으며, 균질화 열처리 온도는  $470\pm 10^{\circ}\text{C}\times 12$ 시간, 시효처리 온도는  $175\pm 10^{\circ}\text{C}\times 8$ 시간이었다.
- 개발 합금의 인장강도는 30.9kg/mm<sup>2</sup>, 항복강도는 26.4kg/mm<sup>2</sup>이었고 연신율 11.6%, 압출성지수는 80으로 당초 목표로 했던 목표치를 달성할 수 있었다.

#### 다. 알루미늄 구조재 생산기술 개발

##### 1) 개발된 합금의 대량생산 가공기술을 개발하기 위하여 시험한 결과

- 빌레트를 제조하기 위한 주괴투입, 합금첨가, 조직미세화제, 탈가스제 투입 등 11단계의 빌레트 제조공정기술을 확립하였다. 합금원소의 첨가 온도는  $760\pm 10^{\circ}\text{C}$ , Mg의 첨가온도는  $720^{\circ}\text{C}$ 가 적절하였으며, 입자 미세화제는 TIBOR를, 탈가스제는  $\text{N}_2+\text{RFF100}$ 을 사용하였고 용탕 진정온도는  $710\pm 10^{\circ}\text{C}$ , 용탕배출온도  $690\pm 10^{\circ}\text{C}$ , 주조속도는 100mm/min가 좋은 것으로 나타났다.
- 주조된 빌레트의 균질화 열처리 조건은 평다이의 경우  $460\sim 470^{\circ}\text{C}$ , 중공다이의 경우는  $480\sim 490^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 12시간씩 하는 것이 최상의 압출성을 나타내었으며 이때 개발합금의 압출성은 A6063의 약 80% 정도였다.
- 압출된 압출재의 시효처리는  $165^{\circ}\text{C}$ 에서 9시간 처리하는 것이 가장 좋은 것으로 판명되었다.

##### 2) 알루미늄 구조재의 압출에 사용되는 금형의 경제적인 설계기준 및 표준화

를 실시한 결과

- 금형에 사용되는 재료는 열간 금형용 SKD61로 하였으며 그 성분은 C 4.0%, Mn0.2%, Cr 4.8%, Mo1.5%, V0.9% 였다.
- 압출금형의 열처리 조건은 1050℃에서 퀴칭하고, 550℃에서 템퍼링 하는 것이 좋았으며,
- 압출금형의 질화처리는 560℃에서 6시간 처리하는 것이 가장 좋게 나타났다.

라. 규격표준화 알루미늄구조재의 시공성 및 시험용 온실 검증

1) 규격표준화한 알루미늄구조재 11종과 서까래 덮개를 비롯한 6종의 연결재 및 고정재를 새로 개발된 합금소재로 압출하고 또한 시공용 고무가스켓 2종을 규격표준화하여 EPDM 소재로 압출한 뒤 시험용 온실을 제작 시공하여 시험 평가한 결과

- 알루미늄구조재의 시공에 앞서 유리온실의 도리재로 사용되는 C형강의 설치는 대체로 농가보급형 유리온실과 같게 하였으나 천창하부 받침대가 설치되는 상중도리는 C형강의 개구를 지면쪽으로 향하도록 하였으며 곡부의 도리는 개구를 윗방향으로 하여 곡부 중심에서 250~300mm 떨어진 위치에 설치하고 처마마감재가 설치되는 측면의 상부횡대는 측고로부터 60mm 떨어진 곳에 개구를 지면방향으로 설치되도록 수정하였다.
- 용마루의 연결은 중공부에 연결재를 삽입하여 연결하였고 천창회전재 및 곡부마감재의 연결은 연결판으로 두개의 부재를 리벳으로 고정 연결하였으며 기타 부재의 고정은 피스로 고정하였다.
- 개발된 알루미늄구조재의 온실 시공에 필요한 각 구조재와 마감재 등의 조립과정을 도시하여 시공조립도를 작성하였다.

- 2) 규격표준화된 알루미늄구조재로 온실을 시공하여 기계역학적 특성 및 방수성 등의 기능을 평가하였다.
- 집중하중 및 등분포하중을 작용시켜 시험한 결과, 집중하중의 경우 유리의 파괴하중은 87kg, 이때의 서까래의 처짐량은 6.96mm였으며 등분포하중의 경우는 유리의 파괴하중은 304.5kg, 서까래의 처짐량은 9.49mm로 나타나 등분포하중의 경우가 집중하중보다 3배 정도 높았다.
  - 실제 구조재에 가력되는 등분하중으로 환산한 파괴하중은 152.3kg으로 안전율을 고려한 곡부의 설계허용 적설하중 137.7kg과 비교할 때 규격표준화 온실의 3차원 내력이 1.1배 정도 높아 적설하중에 대하여는 충분히 안전하다고 판단되었으며 천창이 닫혔을 때의 설계허용 풍하중에 대하여도 1.2~2배 정도의 안전성이 있는 것으로 나타났다.
  - 온실의 방수성 시험결과, 유리받이부에서 물고임현상이 나타나 천창하부 마감재와 연결되는 부재에 775mm 간격으로  $\phi 4\text{mm}$ 의 구멍을 뚫어 해결하였으며 기타 다른 부위에서는 누수현상이 나타나지 않았다.

# SUMMARY

## (영문요약문)

This study is for developing aluminum structural materials for modernized glasshouse where prototype aluminum structural members were designed and manufactured through standardization in member's cross sectional shape, studying aluminum alloy and extrusion processing. And, prototype structural members were installed and tested to define the waterproofing performance and safety property. Followings are the results of this study.

1. Based on durability period of 20 years, recurrence year of 57years, safety rate of 70%, snow depth of 100cm and wind speed of 50m/sec, design load of 1000mm span rafter was 174.2kg and uniform load between ridge and hinged bar of top light was  $4.57 \times 10^{-2}$  kg/mm of horizontal force and  $-9.16 \times 10^{-2}$  kg/mm of vertical force. maximum stress, strain and deflection of the designed aluminum member were 13.2kg/mm<sup>2</sup> of Von Mises maximum stress and  $1.89 \times 10^{-3}$  of Von Mises maximum strain and 6.3mm, respectively.

2. With dynamics and mechanical properties including functional properties of aluminum structural members, twelve different cross sectional shapes of aluminum member and seven connecting members were standardized.

3. Of the mechanical property of the standardized aluminum members, the yield load, compression yield stress and yield displacement of the 80mm ridge were 825kg, 5.16kg/mm<sup>2</sup> and 0.42mm., respectively, while, the bending yield load, bending yield stress and yield displacement of 1m rafter were 59.90kg, 5.16kg/mm<sup>2</sup> and 0.42mm, respectively, which satisfied the design criteria.

4. The designed aluminum alloy was Al-Mg-Si-Cu series and its fraction was 0.65% of Si, 0.5% of Mg, 0.5% of Mn, and 0.15% of Zn. The tensile strength, yield strength and elongation rate of the designed aluminum were 30.9kg/mm<sup>2</sup>, 26.4kg/mm<sup>2</sup> and 11.6%, each, which satisfied the objective of this research, and extrusion index was 80 which based on the value of A6063 alloy, 100.

5. The proper furnace temperature when manufacturing the alloy was 720~760±10°C, grain refining and degassing materials were TIBOR and N<sub>2</sub>.RFF100, respectively. The best pouring temperature was 690±10°C and casting speed was 100mm/min, which was the best condition of billet production. The proper temperature for homogenization treatment of the billet was 470±10°C, and the best aging temperature and period were 165°C and nine hours, each.

6. The material of extrusion die was SKD61, and the proper quenching and tempering temperature were 1,050 and 550°C, respectively.

7. Evaluating the mechanical property, waterproof performance, workability of the aluminum member in the modernized glasshouse construction, the uniform load was 304.5kg which satisfied the design criteria of accumulated snow depth and wind load, and the functional property was great in workability and waterproofness of the aluminum members.

# CONTENTS

## (영문목차)

Chapter I. Introduction .....	1
Chapter II. Standardization for aluminium glazing profiles .....	3
Section 1. Defining design criteria of aluminium profiles .....	5
1.1 Design load .....	5
1.2 Allowable stress and strain .....	5
1.3 Allowable deflection .....	20
Section 2. Survey of cross-sectional aluminium profiles for glasshouse .....	21
2.1. Analysis of aluminium profiles .....	21
2.2 Examination of section force .....	27
2.3 Evaluation of mechanical properties .....	30
Section 3. Optimization of cross-section of aluminium members for glasshouse .....	37
3.1 Defining basic cross-section in aluminium members .....	37
3.2 Evaluation of mechanical properties for basic cross-section in aluminium members .....	46
3.3 Evaluation of functional properties in aluminium members .....	50
3.4 Optimal design of aluminium rafter .....	55
Section 4. Determination of standard aluminium members .....	61
4.1 standardization of cross-sectional shape in aluminium members .....	61
4.2 standardization of size of aluminium profiles .....	64
4.3 functional properties of standardized aluminium profiles .....	66



4.4 Analysis of cross-section in standardized aluminium members .....	78
4.5 Evaluation of mechanical properties in standardized aluminium members .....	78
Section 5. summary .....	82
Reference .....	85
Chapter III. Development of aluminium alloy for glasshouse .....	86
Section 1. Al-Mg-Si alloy .....	88
1.1 Al-Mg-Si alloy .....	88
1.2 Phase diagram and structure in Al-Mg-Si alloy .....	89
1.3 Aging hardening in Al-Mg-Si alloy .....	92
1.4 Extruding ability in Al-Mg-Si alloy .....	105
Section 2. Alloy development of aluminium for glasshouse .....	117
2.1 Materials analysis of existing aluminium alloy for glasshouse .....	117
2.2 Aluminium alloy design of high strength and good extruding ability ( I ) .....	121
2.3 Casting billet for extrusion by Direct Chill Casting ..	122
2.4 Evaluation of extruding ability of alloy I, alloy II and alloy III .....	141
2.5 Aluminium alloy design of high strength and good extruding ability. ( II ) .....	144
2.6 Selection of final alloy(R2 alloy) .....	149
Section 3. summary .....	170
Reference .....	171
Chapter IV. Development of production and process technology ..	173
Section 1. Hot extrusion of aluminium alloy .....	173
1.1 The history of hot extrusion .....	173
1.2 Principle of extrusion .....	174
1.3 Fundamental method of extrusion .....	176

1.4 Technology of aluminium extrusion .....	180
Section 2. Mass production application of developed alloy ....	187
2.1 Melting and casting of developed alloy .....	187
2.2 Mass extrusion of developed alloy .....	190
Section 3. Establishment of economical design	
technology of casting die .....	198
3.1 Enhancement of die durability .....	198
3.2 Establishment of die design technology .....	204
3.3 Design and build of extrusion dies .....	212
3.4 Extrusion of developed materials with standardized dies .....	212
Section 4. summary .....	213
Reference .....	214
Chapter V. Construction of glasshouse model with standardized aluminium profiles, and waterproof & 3D-mechanical test .....	216
Section 1. Construction of glasshouse model with standardized aluminium profiles .....	216
1.1 Construction of steel structure of glasshouse model for standardized aluminium profiles setting .....	216
1.2 Construction standardization of aluminium profiles ....	218
Section 2. Test of glasshouse model .....	237
2.1 waterproof test .....	237
2.2 mechanical test .....	239
Section 3. summary .....	244
Reference .....	246
Appendix .....	247
I. Standardization of aluminium profiles .....	247
II. Standardization of rubber gasket cross-section .....	265
III. Standardization of aluminium dies for extrusion .....	268

# 목 차

제1장 서 론 .....	1
제2장 첨단유리온실용 알루미늄구조재의 규격 표준화 .....	3
제1절 알루미늄 구조재의 설계기준 설정 .....	5
1.1 설계하중 .....	5
1.2 허용응력 및 변형 .....	5
1.3 허용변위 .....	20
제2절 유리온실용 알루미늄 구조재의 조사 분석 .....	21
2.1 구조재의 형상 분석 .....	21
2.2 구조재의 단면검정 .....	27
2.3 기계역학적 특성평가 .....	30
제3절 유리온실용 알루미늄구조재의 단면 최적화 연구 .....	37
3.1 유리온실 알루미늄 구조재의 기본단면 설정 .....	37
3.2 기본 단면 알루미늄 구조재의 기계역학적 특성 평가 .....	46
3.3 알루미늄 구조재 기본단면의 기능성 평가 .....	50
3.4 알루미늄 서까래의 최적화 설계 .....	55
제4절 유리온실용 알루미늄구조재의 규격표준화 모델 정립 .....	61
4.1 알루미늄 구조재의 규격표준화 단면 형상 .....	61
4.2 알루미늄 구조재의 단면규격화 .....	64
4.3 규격표준화 알루미늄 구조재의 기능성 .....	66
4.4 단면 분석 .....	78
4.5 규격표준화 알루미늄 구조재의 기계역학특성 평가 .....	78

제5절 결과요약 .....	82
참고문헌 .....	85
제3장 유리온실용 알루미늄합금 개발 .....	86
제1절 Al-Mg-Si계 합금 .....	88
1.1 Al-Mg-Si계 합금 .....	88
1.2 Al-Mg-Si계 상태도, 조직과 구성상 .....	89
1.3 Al-Mg-Si계 합금의 시효경화 .....	92
1.4 Al-Mg-Si계 합금의 압출가공성 .....	105
제2절 유리온실용 합금개발 .....	117
2.1 기존 유리온실용 알루미늄 합금의 소재 분석 .....	117
2.2 고강도/고압출성의 알루미늄합금 설계(I) .....	121
2.3 Direct Chill Casting에 의한 압출용 빌레트의 구조 .....	122
2.4 합금I, 합금II, 합금III의 압출성평가 .....	141
2.5 고강도/고압출성의 알루미늄합금 설계(II) .....	144
2.6 최종합금 선정(R2합금) .....	149
제3절 결과요약 .....	170
참고문헌 .....	171
제4장 생산 가공기술 개발 .....	173
제1절 알루미늄합금의 열간압출 .....	173
1.1 열간 압출 역사 .....	173
1.2 압출가공의 원리 .....	174
1.3 압출의 기초와 이론 .....	176
1.4 알루미늄합금의 압출 고유 기술 .....	180
제2절 개발 소재의 양산 적용 .....	187

2.1 개발 소재의 용해 . 구조 .....	187
2.2 개발 소재의 양산 압출 .....	190
제3절 경제적인 금형 설계 기술 확립 .....	198
3.1 금형의 내구성 향상 .....	198
3.2 금형 설계 기술 확립 .....	204
3.3 압출 금형 설계 제작 .....	212
3.4 시작용 온실재 압출 .....	212
제4절 결과요약 .....	213
참고문헌 .....	214
제5장 규격표준화 알루미늄구조재의 시공 및 시험용 온실 검증 .....	216
제1절 규격표준화 알루미늄 구조재의 시공 .....	216
1.1 규격 표준화한 알루미늄 구조재 시공용 강구조물 .....	216
1.2 알루미늄 구조재 시공표준화 .....	218
제2절 시험용 온실의 검증 .....	237
2.1 방수성 시험 .....	237
2.2 시험용 온실의 기계역학적 특성 검증 .....	239
제3절 결과요약 .....	244
참고문헌 .....	246

## 부록

I. 알루미늄 구조재 및 결합재의 표준화 단면 규격 .....	247
II. 고무 가스켓 표준화 단면 규격 .....	265
III. 알루미늄 압출용 금형 표준화 단면 규격 .....	268

## 제1장 서론

WTO체제 출범 등 농산물 시장개방에 대응하여 우리 농업을 국제경쟁력을 갖춘 수출농업으로 발전시키기 위해서는 자본기술 집약형의 시설농업이 절실히 요구되고 있으며 그에 따라 유리온실 면적도 점차 증가하고 있으나 국내에 설치되는 유리온실의 약 70%이상을 점유하고 있는 와이드스판형 온실의 핵심구조재인 용마루, 서까래, 천창회전재 등 알루미늄 구조재의 형상, 구조 등이 규격 표준화 되어 있지 않아 대량 규격생산을 통한 품질 향상 및 생산비 절감의 제약 요인이 되고 있으며 온실의 시공표준화도 곤란한 실정이다. 한편, 현재 유리온실에는 6000계열의 알루미늄 합금인 A6063이 사용되고 있으나 강도, 내식성 등이 미흡하며 압출생산 기술도 확립되지 않는 실정이다.

따라서, 국내 유리온실 산업의 국제경쟁력 제고를 위하여 유리온실 구조재의 20~30%에 달하는 알루미늄 구조재의 규격 표준화와 경량 고강도의 합금소재 및 생산기술의 개발이 요구되고 있다.

이 연구에서는 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격 표준화로 대량 규격생산에 의한 품질향상 및 생산원가의 절감과 안전성, 기밀성, 수광성 등 구조재의 기능성을 증대시키고 기존의 알루미늄 압출구조재보다 기계적 특성이 우수한 합금소재를 개발하고 압출성을 향상시키고자 하였다.

유리온실용 알루미늄 구조재의 규격표준화 대상은 용마루, 서까래, 천창회전재 등 3종으로 하였고 알루미늄합금 소재는 인장강도 28kg/㎡, 연신율 12%이상이고 압출성이 80이상인 소재개발을 목표로 하였다.

제2장에서는 알루미늄 구조재의 설계기준을 설정하고 기존의 유리온실에 사용되는 알루미늄 구조재의 단면을 조사하여 조사결과와 허용설계하중을 고려한 최적단면 형상 및 규격을 표준화하였다. 당초 계획하였던 용마루 등 3종의 주요 구조재 외에 유리온실 설치에 필요한 마감재, 연결재 등을 추가로 표준화하였다.

제3장에서는 유리온실용 알루미늄 합금 개발을 위하여 기존에 사용되고 있는 유리온실용 알루미늄 구조재의 화학성분 및 기계적 특성을 조사분석하고 미량원소의 영향 등을 구명하여 고강도의 압출성이 우수한 유리온실용 알루미늄 합금을 개발하였으며

제4장에서는 개발된 합금의 대량 생산가공기술의 확립을, 그리고 제5장에서는 개발된 합금으로 규격표준화된 알루미늄 구조재를 압출하여 시작온실을 제작시공 하여 기계역학적 특성과 시공성, 방수성 등의 기능성을 검증하였다.

## 제2장 첨단유리온실용 알루미늄구조재의 규격 표준화

유리온실은 작물이 생육하기에 적당한 환경을 인위적으로 만들어 주기 위하여 골조를 세우고 그 위에 유리 등을 피복한 작물재배용 구조물의 일종이며, 온실의 형식 및 구조는 작물의 종류 및 작형, 지역적 특성 등에 따라 여러 가지 형태로 발전하여 왔으나, 기본적으로 태양으로부터 햇볕과 열을 더 많이 받아들이고 바람, 눈 등의 기상조건에 안전하며, 또 가급적 경제적인 시설구조물이 되어야 한다.

그러므로 유리온실에 사용되는 구조재는 고온 다습한 환경에 대한 적응성이 크고, 햇볕을 되도록 많이 받아들일 수 있어야 한다. 따라서 유리온실에 사용되는 구조재는 내식성이 강하고 가벼우며 가공성이 우수한 알루미늄 합금구조재가 많이 사용되고 있으며, 현재 와이드스판형 유리온실의 경우 건축재료비 중 알루미늄 재료비가 약 17% 정도를 차지하고 있다.

그러나, 유리온실에 사용되는 알루미늄 소재의 물성기준이 없을 뿐만 아니라, 하중특성을 고려한 부재별 설계기준도 없어, 여러 온실 시공업체가 자체적으로 각 부위별 알루미늄부재의 형상을 금형제작하여 시공하고 있는 실정으로, 안전성, 경제성이 떨어지는 것은 물론 호환성이 대단히 미흡하고 복합적인 단면 설계기술이 취약하여 시공후 기밀성 저하 등의 영향으로 누수, 에너지손실 등 많은 문제를 가져오고 있다.

이 연구에서는 먼저 유리온실용 알루미늄 구조재의 외력에 따른 설계하중, 허용응력 및 변형 등에 대한 설계기준을 설정하고, 기존 유리온실에 사용되고 있



는 알루미늄 구조재인 용마루, 천창회전재, 서까래 등에 대한 형상, 단면특성, 기계역학적 특성 등을 분석하여 알루미늄 구조재의 규격표준화 및 적정 규격 단면 설계에 대한 기본단면을 제공하고, 구조재별 안전성 및 기능성을 중심으로 알루미늄 구조재의 단면을 최적화하여 규격표준화 모델을 설정하고, 규격표준화 모델에 대한 기능성 및 안정성에 대한 검토를 거쳐 알루미늄 구조재의 규격표준화 모델을 개발 하고자 하였다.

## 제1절 알루미늄 구조재의 설계기준 설정

유리온실용 알루미늄 구조재의 적정설계기준을 설정하기 위하여 알루미늄 구조재, 특히 외력의 영향을 많이 받는 구조재인 서까래, 천창회전재, 용마루 등을 중심으로 외력형태에 따른 부재별 설계하중을 산정하고 유한요소법에 의한 컴퓨터설계시 안전성 판단의 기준이 되는 허용응력, 허용변형 및 처짐변위의 한계를 설정하였다.

### 1.1 설계하중

유리온실의 주구조체인 강구조재와는 달리 알루미늄구조재는 주된 용도가 유리를 고정하는 것으로 알루미늄 구조재에 작용하는 하중은 사하중(死荷重)으로 자중과 유리하중이 있고, 활하중(活荷重)으로는 외력인 적설하중, 풍하중으로 크게 구분할 수 있으며, 기타 작물 등의 변동하중은 알루미늄 구조재에 미치는 영향이 미약하므로 설계하중산정 인자로 고려하지 않았다. 따라서 이러한 알루미늄 구조재에 미치는 모든 하중분석 결과를 토대로 각 부재별로 외력을 산출하여 알루미늄 구조재 설계시 설계하중으로 적용하는 것을 목적으로 하였다.

#### 1.1.1 유리온실 알루미늄 구조재

유리온실에 사용되는 유리고정용 알루미늄 구조재는 온실에 설치되는 위치와 기능에 따라서 크게 17~20종으로 분류되며 그림 2.1은 창호재를 제외한 12종의 알루미늄 부재의 명칭을 나타낸 것이다. 유리온실의 도리재로 사용되는 형강은 각형강관 등이 단면력에서는 유리하지만 농가보급형 유리온실의 도리재는 알루미늄 구조재를 고정하기 위해 보통 C75×45×15×2.0형강을 사용하여 알루미늄구조재 하단에 설치된다. 알루미늄부재의 설치형태에 따라 도리재인 C형

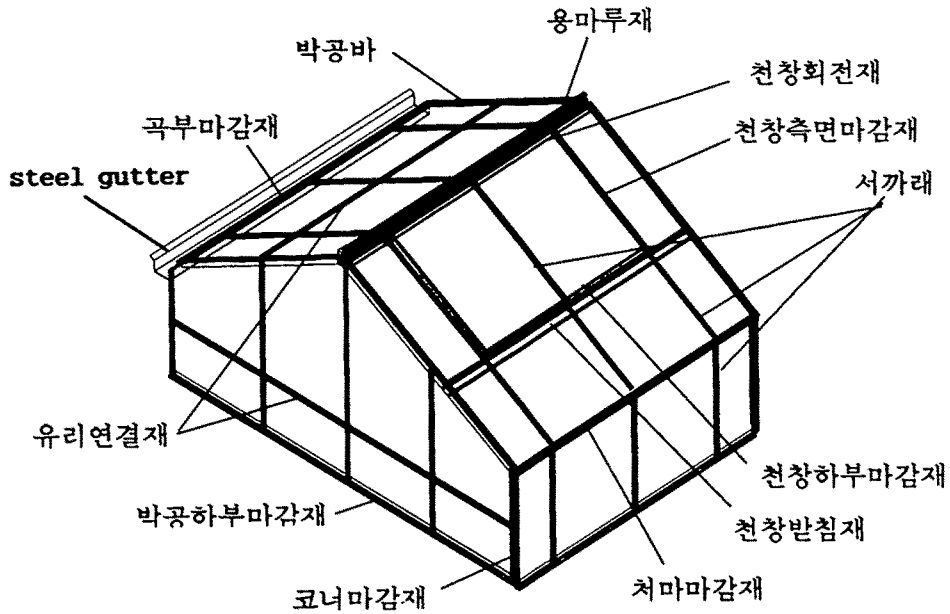


Fig. 2.1 Name of aluminium beam in glasshouse

강과 나란한 방향으로 주로 C형강 바로 위에 설치되는 용마루재 등 8종은 C형강의 충분한 강성 때문에 굽힘하중보다는 주로 횡압에 저항하는 횡압축재로 판단되므로 구조재로서의 역할은 미미하다고 본다. 그러나 용마루재 및 천창회전재는 보춤상단에 힌지가 설치되고 천창개폐각에 따라 단순횡압축만 일어나는 것이 아니므로 설계하중을 충분히 고려하여야 한다고 판단된다. 서까래 등 4종은 C형강과 직교하여 설치되는 부재임으로 적설하중 등에 대해 휨력을 받는 유리에 대하여 구조재로서 작용을 하고 또한 유리의 안전에 직접 관련되는 부재이므로 굽힘하중을 충분히 고려하여야 한다. 그러나 서까래를 제외한 박공바 등 3종은 비록 C형강과 직교 설치되지만 부재의 기능성으로 인해 서까래의 단면력보다 약 2배 이상 높아 이 부재에 대한 구조재별 설계하중의 평가는 큰 의의가 없다고 판단되었다.

### 1.1.2 고정하중

유리온실용 알루미늄 구조재에 작용하는 고정하중으로는 알루미늄 구조재의 자중과 유리의 하중이 있다. 알루미늄 부재의 자중은 적설하중 등에 비하여 매우 작으므로 부재설계시 설계하중으로 고려하지 않아도 무방할 것으로 본다. 표 2.1는 농가보급형 유리온실인 경우와 개량 와이드스판형 유리온실의 알루미늄 구조재의 단면설계시 설계하중으로 산정되는 고정하중이며 주로 서까래에 적용된다.

Table 2.1 Dead load of aluminium bar and glass in glasshouse

Item	Density ( $10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup> )	Load(kg)		Equation
		Korean wide span glasshouse	Modified-wide span glasshouse	
		L=950mm W=625mm t=3	L=1000mm W=775mm t=4	
Aluminium bar	2.69	$2.56A \times 10^{-3}$	$2.69A \times 10^{-3}$	$2.69 \times A \times L$
Glass	2.5	4.45	7.75	$2.5 \times L \times W \times t$

(주) A : cross-section area of beam, L : length between beam constraint  
W : span between rafters, t : glass thicknes

### 1.1.3 활하중

유리온실에 작용하는 활하중인 풍하중 및 적설하중에 대한 설계하중은 기본적으로 김문기(1995) 등이 연구한 “원예시설의 구조안전기준 작성” 보고서를 적용하여 유리온실의 내구년수 20년, 안전율 70%, 재현기간 57년의 지역별 설계하중을 고려하였다. 유리온실의 안전을 위해 풍하중에서는 국부풍력계수를, 적설하중에서는 곡부하중계수를 적용하였다.

#### 가. 풍하중

유리온실은 바람에 의해 항력(抗力)과 양력(揚力)이 발생되며, 항력은 수평

저항력으로 그리고 양력은 수직상승력으로 나타나며 풍하중은 두힘의 vector합성에 의한 면방향의 힘이다. 따라서 벽면이 수직한 유리온실의 풍상면에서는 온실을 압축하고, 풍하면에서는 온실을 인장시키는 dragging force의 수평력만 나타나며 연동 유리온실의 지붕에서는 풍상면의 지붕을 제외하고는 일반적으로 수직 상승력과 수평력이 동시에 일어난다.

식 (2.1)은 풍하중의 기본식이며, 식 (2.2)는 속도압으로서 바람에 의한 공기의 운동에너지를 나타낸다. 식 (2.3)은 식(2.2)를 (2.1)에 대입하여 온실의 높이, 지표면 조도와 관련된 풍속수직분포지수 등의 제 상수를 고려한 농가보급형 유리온실의 풍하중 식이고, 식(2.4)는 모서리 등 하중분포가 다른데 따른 안전율을 고려한 농가보급형 유리온실의 설계 풍하중이다.

$$P_w = C \times Q \times A \quad (2.1)$$

$$Q = \frac{1}{2} \rho \times V_0^2 \times \left( \frac{h}{h_0} \right)^{2/\alpha} \quad (2.2)$$

$$P_w \cong 0.040 C \times A \times V_0^2 \quad (2.3)$$

$$P_{wd1.5} \cong 1.5 P_w \quad (2.4)$$

여기서  $P_w$ 는 풍하중(kg),  $C$ 는 풍력계수,  $Q$ 는 속도압(kg/m<sup>2</sup>),  $A$ 는 유효수압 면적(m<sup>2</sup>)이고,  $h$ : 온실평균높이 =  $\frac{[측고(3m) + 동고(5.25m)]}{2} = 4.13(m)$ ,  $h_0$ : 기준높이(10m),  $V_0$ :  $h_0$ 에서의 기준풍속(m/s)인 설계풍속,  $\rho$ : 공기밀도 (1/8kgs<sup>2</sup>m<sup>-4</sup>: 장준호 역(1996)구조계산편람),  $\alpha = 4$  (풍속수직분포지수),  $P_{wd1.5}$ 는 알루미늄 구조재의 설계풍하중이다.

표 2.2는 풍상면의 측고와 온실폭 및 지붕경사각에 따라 풍상면의 지붕경사면에 나타나는 풍력계수(C값)를 나타낸 것이다. 일반적으로 지붕경사각이 클수록 풍상면에서의 풍압은 부압에서 정압쪽으로 작용하며 지붕경사각이 같을 때에는 최소폭에 대한 처마높이 비(h/w)가 커질수록 풍압은 정압에서 부압쪽으로 작용한다.

농가보급형 유리온실(지붕경사각 약27°, 풍상면 측고/ 최소폭비 0.33)에 대한 풍상면 지붕의 풍력계수는 Lagrange 1차식을 적용하여 산정한 결과 0.17로 나타났다.

Table 2.2 Wind pressure coefficient, C on windward roof

Degree of roof-slope h/w	10~15	20	25	27	30	35
≤ 0.3	-1.0	0.2	0.25	0.27	0.3	0.35
0.33	-1.0	0.06	0.14	0.17	0.23	0.31
0.5	-1.0	-0.75	-0.5	-0.38	-0.2	0.05
1.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.55	-0.3

(주) 허명제(1994) 건축구조실무편람 및 대한민국 건축법의 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 13조, h: 풍상측벽면 처마높이, w 최소폭

식 2.3을 사용하여 유리온실의 천창, 지붕 및 벽에 대한 풍하중을 산정한 결과를 표 2.3에 나타내었다. 지붕 및 벽면에 설치된 서까래는 설치폭 775mm, 지지간격 1,000mm로, 그리고 천창서까래는 지붕서까래와 동일한 설치기준을 적용하였다. 이때 서까래의 지지간격 및 설치간격은 유리두께가 3mm인 농가보급형의 기준보다 넓게하여 풍하중 산정시 4mm두께의 유리를 사용하는 개량형 와이드스판 온실에도 적용할 수 있도록 그 설치간격 및 지지간격을 통일하였다.

바람이 온실측면에서 불어올 때를 가정하여 풍상면 천창의 풍력계수는 독립

지붕, 즉 양벽면이 개방된 경우를 가정하여 풍력계수를 적용하였으며 (허명재(1994) 「건축구조실무편람」), 천창이 닫힌 경우는 풍상 및 풍하의 양벽면이 폐쇄된 지붕면의 풍력계수 -0.7를 적용하였다.

지붕의 풍력계수는 풍상면을 제외한 지붕면의 풍력계수(C=-0.7)가 풍상면의 지붕 풍력계수(C=0.17)보다 높아 풍하중의 산정에는 풍상면을 제외한 지붕면 풍력계수를 적용하였으며, 유리온실 측면에서는 풍상면의 풍력계수가 0.8로 풍하면의 풍력계수 0.6보다 낮아 풍상면의 풍력계수 값을 채택하였으며, 설계풍속은 내구년수 20년, 안전율 70%, 재현기간 57년, 풍속 50m/s로 하여 울릉도 등 일부를 제외하고는 우리나라 전역에 적용할 수 있도록 하였다.

농가보급형 유리온실의 모서리 등에서의 풍력계수 값이 다른 것을 고려하여 안전율을 1.5 배로 하여, 천창이 닫혔을 때는 지붕에서와 같이 -81.4kg의 하중이 천창면에 작용되는 것으로 하고, 천창이 수평으로부터 20 ° 열렸을 때는 209kg의 하중이 작용되는 것으로 하였다. 풍상 온실측면에서는 120kg의 풍하중이 작용되도록 설계하였다.

Table 2.3 Wind load on modified- glasshouse

Item	Division		C	$\sigma_w$ (kg/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{wd1.5}$ (kg/m <sup>2</sup> )	$P_w$ (kg)
Top light	Rotation degree	-27 °	-0.7	-70	-105	-81.4
		20 °	1.8	180	270	209.0
Wall & roof	Windward wall		0.8	80	180	120.0
	except windward roof		-0.7	-70	-648	-81.4

(주)  $\sigma_{wd1.5}$  : design wind pressure(kg/m<sup>2</sup>)with safety factor 1.5,  
 $\sigma_w$ :wind pressure(kg/m<sup>2</sup>),  $P_w$ : wind load(kg)

나. 적설하중

유리온실은 눈에 의해 온실지붕의 유리에 등분포 적설하중에 의한 정압이 발생되면 1차적으로 유리고정용 알루미늄 부재를 거쳐 중도리를 통해 사자보, 기둥 등으로 하중이 전달된다.

유리온실에서 지붕의 적설하중은 식 (2.5)와 같이 표시되며, 단위체적당 적설 중량은 설계풍속에서와 같이 내구년수 20년, 안전율 70%, 재현기간 57년을 적용하여 100cm로 하여, 속초, 영동 해안 일부를 제외하고는 우리나라 전지역이 포함되도록 하였다. 식 (2.6)은 설계적설심 100cm, 눈의 단위체적당 중량 1.5(kg/cm<sup>3</sup>)(표 2.4)를 적용한 농가보급형 유리온실의 적설하중 식이다. 그러나 농가보급형 유리온실 설계 적설하중은 풍하중과는 달리 모서리 등의 하중분포계수가 다르지 않고, 단지 곡부의 눈쌓임에 의한 곡부하중 증가요인만 고려하면 되므로 적설하중 안전율은 별도로 고려하지 않았다. 따라서 곡부부위는 하중 안전율을 1.5로 하여 별도의 식(2.7)로 적설하중을 산정하였다.

Table 2.4 Snow weight per volume

수직최대적설 깊이(cm)	50이하	100	150	200
눈의 평균단위 중량(kg/cm <sup>3</sup> )	1.0	1.5	2.0	3.0

(주) 허명재(1994) 건축구조실무편람 및 대한민국 건축법의 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙



$$P_s = C_s \times D \times \rho_s \times A \quad (2.5)$$

$$P_s = 227 C_s \times A \quad (2.6)$$

$$P_{sg} = 1.5 \times P_s \quad (2.7)$$

여기서  $P_s$ 는 적설하중(kg),  $C_s$ 는 지붕경사 및 형상에 따른 계수,  $\rho_s$ 는 눈의 평균단위 중량 ( $\text{kg}/\text{cm} \cdot \text{m}^2$ ),  $A$ 는 유효수압면적( $\text{m}^2$ )이고,  $D$ 는 수직최대적설 깊이, 즉 설계적설심cm,  $P_{sg}$ 는 곡부적설하중(kg)이다.

표 2.5는 서까래 설치간격, 지지간격 등은 풍하중 산정시와 동일한 조건에서 식(2.6) 및 (2.7)을 사용하여 농가보급형 유리온실 및 개량형 와이드스판 유리온실에 동시 적용할 수 있는 설계적설 하중을 산정한 결과이다.

농가보급형 유리온실의 알루미늄 구조재 설계용 천창부위의 적설하중은 87.2kg이었으며, 곡부 부위의 적설하중은 130.8kg으로 나타났다.

Table 2.5 Snow load on modified- glasshouse

구분	적설면적 ( $\text{m}^2$ )	수직 최대 적설 깊이 D(cm)	눈의 평균 단위중량 ( $\text{kg}/\text{cm} \cdot \text{m}^2$ )	지붕경사 지수 $C_s$	적설압 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	적설하중 (kg)
천 창	0.775	100	1.5	0.75	112.5	87.2
지붕곡부	0.775	100	1.5	0.75	$112.5 \times 1.5$	130.8

#### 1.1.4 알루미늄 구조재별 하중

유리온실용 알루미늄 구조재에 작용하는 하중은 주 구조재인 강구조 내력범과는 달리 단기 혹은 장기하중에서 외력인 풍하중과 적설하중을 동시에 적용하지 않아도 된다고 본다. 그 이유는 첫째, 알루미늄 구조재의 하단에 설치되는 강 구조재는 외력에 대해 충분한 강성을 가졌으며 둘째, 적설상태에서 풍하중이 작용할 때 풍상 지붕면 이외에는 부압이 작용하여 오히려 알루미늄 구조재의 적설하중을 감소시키며 또 온실 벽면은 단순 풍압만 받기 때문이다.

따라서, 유리온실 알루미늄 구조재별 하중을 산정하기 위하여 알루미늄 구조재의 설치위치 특성상 서까래의 하중을 표 2.3 및 표 2.5로부터 부위별 및 하중형태별로 먼저 산정한 후 천창회전재 및 용마루의 설계하중을 산정하였다.

##### 가. 서까래 설계하중

그림 2.2는 유리온실의 지붕(그림의 왼쪽) 및 천창의 하중 분포를 나타낸 것이다. 농가보급형 유리온실의 지붕 한쪽면에서 볼 때 알루미늄 서까래는 C형강 도리재에 의해 볼트로 고정되고, 용마루가 부착되는 상량보 C형강을 제외한 총 5개소에서 서까래가 연속고정 된다. 또한 C형강 도리재 방향으로 유리 연결고정하기 위하여 유리고정재가 놓여진다. 따라서 서까래의 총하중은 서까래 설치폭과 서까래 고정거리를 곱한 면에 작용하는 총하중(kg)에 대하여 식 (2.9)의 유리연결재 총하중을 뺀 식(2.10)으로 구하였다. 식 (2.8)은 컴퓨터를 이용한 서까래의 최적설계 등에서 등분포 line force를 적용할 때 사용한다.

$$P_l = \frac{2 \times load}{w \times l} \times x \quad (2.8)$$

$$P_g = \frac{1}{2} \times \frac{w}{l} \times load \quad (2.9)$$

$$P_r = load - P_g \quad (2.10)$$

여기서  $P_1$ 은 서까래와 유리연결재가 교차되는 부위의 서까래 단위길이당 경사 하중 (kg/mm), ( $0 \leq x(\text{mm}) \leq w/2$ ),  $L$ 는 서까래 고정거리(mm),  $\mathbb{W}$ 는 서까래 설치 간격(mm),  $P_g$ 는 유리연결재에 걸리는 총하중(kg),  $load$ 는 서까래 설치폭  $\times$  고정거리 면에 부가되는 총하중(kg)으로 유리하중+고정하중이며,  $P_r$ 은 서까래에 걸리는 총하중(kg)이다.

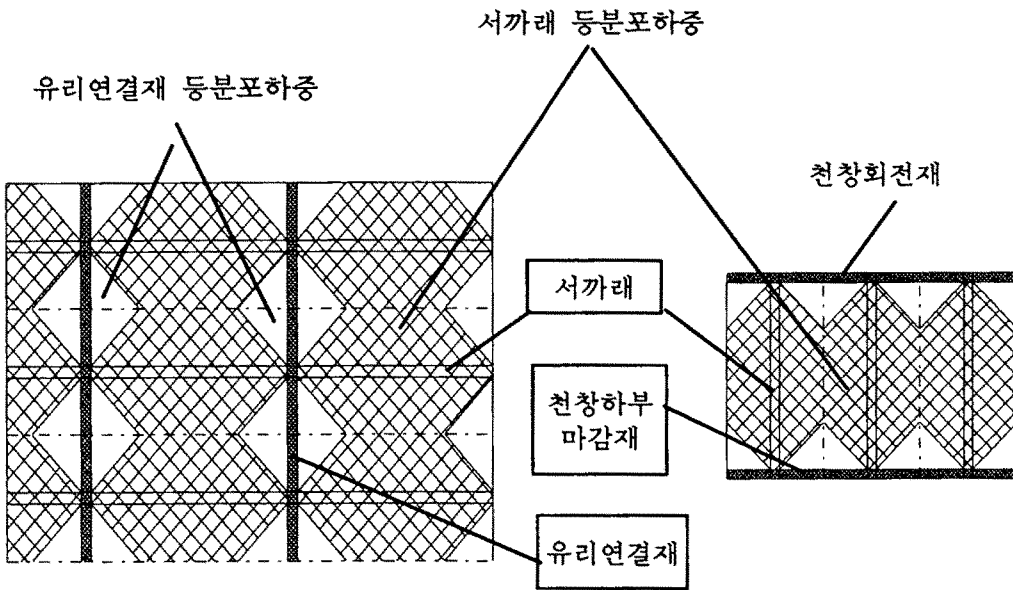


Fig. 2.2 Load distribution of roof and top-light

표 2.6은 농가보급형 유리온실의 알루미늄 서까래에 작용하는 하중형태별 설계하중을 산정한 것이다. 총하중은 표 2.3의 풍하중과 표 2.5 적설하중에 유리하중을 지붕경사각 혹은 천창회전각에 따라 벡터 합산하였다. 서까래와 수직교차하는 유리연결재 등의 하중은 지지점의 형태에 따라 부위별로 달라지므

로 천창서까래 및 온실 측벽면서까래 부위는  $0.5P_g$ 로 하여 산정하였다.

하중형태에 따라서 서까래 부위별 설계하중이 다르므로 적정 단면규격도 부위별로 달라져야 한다. 그러나 서까래는 천창 및 벽면 수직재 등으로 공통 사용되므로 서까래 단면의 규격을 통일하기 위해서는 서까래의 대표적 설계하중을 선정할 필요가 있다. 따라서 풍하중의 경우 천창회전각  $+20^\circ$ 일 때 서까래에 걸리는 하중이 174.2로 가장 높게 나타나 이것을 농가보급형 유리온실 서까래의 설계하중으로 채택하였다.

Table 2.6 Design load of rafter

구 분		풍하중+유리하중(kg)			적설하중+유리하중(kg)		
		총하중 (load)	설계하중		총하중 (load)	설계하중	
			$P_w$	$P_r$		$P_g$	$P_r$
천창 서까래	회전각 $+20^\circ$	216	41.8 ( $0.5P_g$ )	174.2	-	-	-
	회전각 $-27^\circ$	-74.7	-14.5 ( $0.5P_w$ )	-60.2	94.1	18.2 ( $0.5P_w$ )	75.9
지붕 서까래		-74.7	-28.9	-45.5	137.7 (곡부)	53.3	84.4
온실측벽면 수직재		120	23.2 ( $0.5P_g$ )	96.8	-	-	-

(주) 유리하중 :  $7.75\cos(\theta)$ ,  $\theta$ 는 지붕경사각 혹은 천창회전각

#### 나. 용마루 및 천창회전재의 설계하중

유리온실의 천창 하중에 대한 천창서까래 및 용마루의 하중을 구하여 2차원 단면 설계용 하중으로 적용시키기 위해 2차원 모델을 만들어 표 2.7의 조건으로 ANSYS를 사용하여 천창회전재의 고리부에 미치는 하중 분력을 유한요소법으로 분석하였다.

분석모델의 크기는 설치간격 775mm, 천창폭 1000mm로 3차원 모델을 가정한

2차원 모델로 하였다. 천창서까래에 가력한 하중은 표2.1의 서까래의 자중을 포함하고, 표 2.6의 천창회전각 별로 -27° 에서는 적설하중 94.1kg 및 풍하중 -74.7kg을, 천창회전각 +20° 에서는 풍하중 216kg을 적용하였다.

Table 2.7 Load analysis condition of hinged bar

Analysis model	Analysis element	Model size	Additional load	Displacement free degree	Rotation degree	Analysis content
Hinged bar + rafter	Shell-2D	l=1000mm w=775	○ self load + wind load ○ self load + snow load	U <sub>x</sub> , y=0 U <sub>z</sub> =free Rotation= x, y=0 z=free	-27° (close) +20° (open)	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> of hinged force

2차원모델인 천창회전재의 단위단면적에 나타나는 고리부의 nodal force는 표 2.8에서와 같이 풍하중 상태에서는 천창이 +20° 로 열렸을 때 천창힌지부 node 의 하중은 수평력  $4.57 \times 10^{-2}$ kg, 수직력이  $-9.16 \times 10^{-2}$ kg의 분력으로 온실을 누르는 힘이 발생하였으며, 천창이 닫힌상태의 풍하중에서는 수평력  $-0.85 \times 10^{-2}$ kg, 수직력이  $3.22 \times 10^{-2}$ kg으로 온실을 들어올리는 nodal force가 나타났다. 적설하중 상태에서는 수평력  $0.87 \times 10^{-2}$ kg, 수직력이  $-3.13 \times 10^{-2}$ kg 로써 천창 각 +20 °의 풍하중의 경우와 같이 온실을 누르는 힘이 발생되었다.

따라서, 천창회전재 및 용마루의 단면설계시 고리부에 작용하는 nodal force 는 천창각 +20 °의 풍하중 값을 사용해야 할 것으로 판단되었다.

Table 2.8 Vertical and horizontal force change by opening or closing degree of hinged bar

Item	Rotation degree and load type of top light bar		
	-27° (close)		+20° (open)
	Under wind load	Under snow load	Under wind load
Horizontal force ( $F_x : 10^{-2} \text{kgf}$ )	-0.85	0.87	4.57
Vertical force ( $F_y : 10^{-2} \text{kgf}$ )	3.22	-3.13	-9.16

## 1.2 허용응력 및 변형

알루미늄 구조재의 안전성을 판단하기 위하여는 먼저 설계기준이 되는 허용 안전응력 및 변형 설정이 필요하다.

따라서, 이 응력은 알루미늄 부재가 인장, 압축, 굽힘 혹은 복합응력을 받고 있더라도 탄성한계를 벗어나 항복을 일으키는 소재에 대한 컴퓨터 설계시 항복 판단 기준으로서 탄성한계 내에서 일반화된 항복이론인 Von Mises 항복 응력 및 변형(strain)을 사용하였다. 이러한 근거는 유리온실용 알루미늄 구조재는 유리를 고정하기 위한 부재이기 때문에 서까래를 제외하고는 대부분의 부재가 강성이 높은 강구조재와 같은 방향으로 조립되고, 부재축을 압축하는 정도의 단순하고 작은 힘이며 부재를 축방향으로 압축하는 압축좌굴은 무시할 수 있기 때문이다. 그리고 서까래는 그 설치간격 및 지지폭이 좁고, 또한 유리 4 변 지지방식에 의해 하중이 등분포로 작용하며, 서까래의 단면형상도 대부분 박스형이어서 lateral Buckling 등의 영향은 미약하다고 판단되기 때문이다.

### 1.2.1 물성 기준별 허용안전응력 및 변형

표 2.9는 물성 기준별 임계설계응력과 변형을 산정하기 위하여 국내 및 화란에서 사용되는 유리온실용 알루미늄 구조재를 대상으로 인장강도를 측정한 결과(제3장 참조)와 개발소재의 물성실험을 통하여 최종적으로 적용할 유리온실용 알루미늄 구조재의 물성에 대한 분석결과 및 미국알루미늄 협회 기준, KS기준 등의 자료를 통하여 허용안전응력 및 변형을 분석한 값이다.

구조재의 허용안전응력도는 인장시험결과 얻어진 항복강도 및 변형에서 소재의 안전을 2.0으로 적용하여 산출하였으며, 그 결과 국내생산 알루미늄(A6063-T5)구조재의 허용안전응력은 9.2kg/mm<sup>2</sup>, 허용안전변형은 1.32×10<sup>-3</sup>로 나타났다. 그리고 개발소재의 경우는 허용안전응력이 13.2kg/mm<sup>2</sup>, 허용안전변형이 1.89×10<sup>-3</sup>로 기존의 알루미늄에 비하여 약 1.4배 정도 크게 나타나 구조재 단면적을 크게 감소시키는 요인이 되었다.

Table 2.9 Mechanical properties classified by aluminum materials

Item	Young's modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength $\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Yielding strength $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Yielding strain ( $\epsilon = \sigma_y/E$ )	Poisson's ratio	Critical design stress $\sigma_{d2.0}$	Critical design strain $\epsilon_{d2.0}$
개발소재	6970	30.9	26.4	3.78×10 <sup>-3</sup>	0.33	13.2	1.89×10 <sup>-3</sup>
국내생산	6970	21.0	18.4	2.64×10 <sup>-3</sup>	0.33	9.2	1.32×10 <sup>-3</sup>
화란	6970	22.5	19.4	2.78×10 <sup>-3</sup>	0.33	9.7	1.39×10 <sup>-3</sup>
K S	6970	15이상	11이상	1.58×10 <sup>-3</sup>	0.33	5.5이상	0.79×10 <sup>-3</sup>
미국알루미늄협회	6970	18.5	14.5	2.08×10 <sup>-3</sup>	0.33	7.25	1.04×10 <sup>-3</sup>

(주) \* Material : A6063-T5

\* Critical Material Safety Factor : 2.0

\* Critical Design Stress  $\sigma_{d2.0} = \sigma_y / 2.0$

\* Critical Design Strain  $\epsilon_{d2.0} = \epsilon / 2.0$

### 1.2.2 안정성 판단 기준

유리온실용 알루미늄 구조재의 설계시 기준응력 및 변형은 Von Mises 항복 응력 및 변형(yielding strain)을 적용하여 각각 식 (2.11), 식(2.12)로 나타내었으며, 구조재의 안전성 판단기준은 허용안전응력 및 변형을 기준으로 그 이하면 안전성이 있는 것으로 판단하였다.

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]^{1/2} / \sqrt{2} \leq \sigma_{\text{allow}} \quad (2.11)$$

$$[(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2]^{1/2} / \sqrt{2} \leq \epsilon_{\text{allow}} \quad (2.12)$$

여기서,

$\sigma_{1,2,3}$  : Principal Stress

$\epsilon_{1,2,3}$  : Principal Strain



### 1.3 허용변위

유리온실용 알루미늄 구조재 중 서까래의 허용처짐변위를 구하고 서까래 단면설계시 유리 받침부의 최소폭을 산정하기 위하여 서까래와 유리를 결합하여 유리압축시험을 실시 하였다.

서까래에 위에 두께4mm의 유리를 4번지지 방식으로 (가로 625mm× 세로 900mm)설치하고 만능시험기(UTM)로 유리판 중앙에 집중하중을 주어 시험하였다.

그림 1-7에서 보는 바와 같이 유리의 최대 파괴하중은 78kg, 이때의 수직 변위는 7.1mm 수평변위는 0.69mm로 나타났다.

따라서, 서까래의 유리받침부 접촉면적은 0.69mm의 안적폭을 더 고려해야 하며, 서까래 단면설계에 있어서 서까래의 처짐은 7.1mm의 20%이내인 5.7mm로 하고 서까래 스팬이 1000mm인 경우는 6.3mm로 설정하였다. 이값은 기존에 인정 되고 있는 '유리온실 서까래 스팬거리/150mm' 보다 작은 값으로 안전성을 높일 수 있었다.

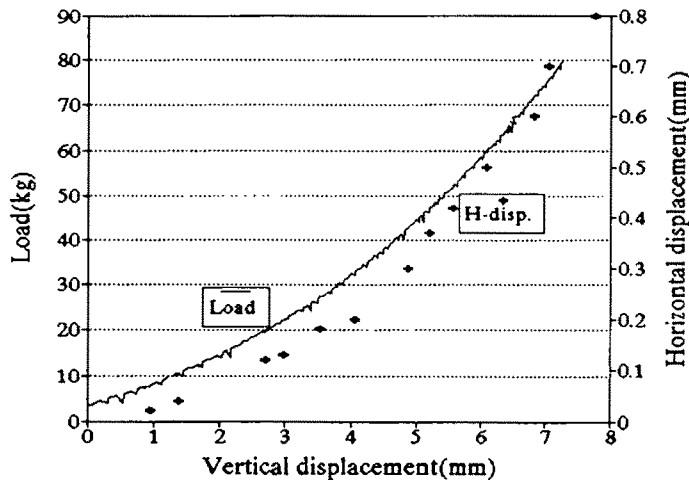


Fig. 2.3 Vertical and horizontal displacement of glass by concentrated load

## 제2절 유리온실용 알루미늄 구조재의 조사 분석

기존에 사용되고 있는 알루미늄 구조재의 단면 및 역학적 특성을 조사 분석하여 유리온실 알루미늄 구조재의 규격표준화 및 적정 규격단면 설계를 위한 정보 제공, 즉 구조재 기본단면 틀을 설계하기 위하여 현재 유리온실에 사용되고 있는 용마루 5종, 천창회전재 3종, 서까래 3종 등 각각의 형상이 다른 알루미늄 구조재를 선정하여 구조재 단면의 모양, 크기를 조사하고 이들에 대한 단면력 분석 및 유한요소법에 의한 이론적 단면검정, 그리고 압축 및 항절 등의 기계적 특성평가 시험을 실시하였다.

### 2.1. 구조재의 형상 분석

#### 2.1.1 단면 모양 분석

유리온실 알루미늄 구조재인 용마루는 그림 2.4에서 보는 바와 같이 C형강 상량보 위에 볼트로 결합되는 용마루 받침부(a), 천창회전재가 부착되는 용마루 힌지부(c), 서까래가 부착되는 (b)부로 구성되어 있다.

5종의 용마루 단면의 웨브(web) 형태는 더블웨브 3종(①, ②, ③형), 싱글웨브 2종(④, ⑤형)으로 되어 있었다. 용마루①은 3개의 중공형으로 되어있어 구조적으로 안정하지만, 다중공(多中空)구조이고 또한 힌지부를 만들기 위한 상부 첫 번째 중공부위가 복잡하여 압출성을 저하시키는 요인으로 나타날 수 있다. 용마루②는 1개의 중공으로 되어 있고, 기능적으로는 다른 용마루와는 달리 지붕서까래가 부착되는 부위(b)에 유리를 부착할 수 있는 판이 없었으며, 용마루③은 용마루①과 같이 3개의 중공으로 되어 있으나 힌지부위 중공이 박스형이었고, 힌지의 외부지지 면이 스트레이트로 되어 있어(용마루 ②~⑤ 동일) 천창이 회전할 때 회전 안정성이 약할 것으로 판단되었다. 용마루 ④와 ⑤는 용마루 머리부위에 차광망 등을 설치하기 위한 끼움장치가 있고 싱글웨브

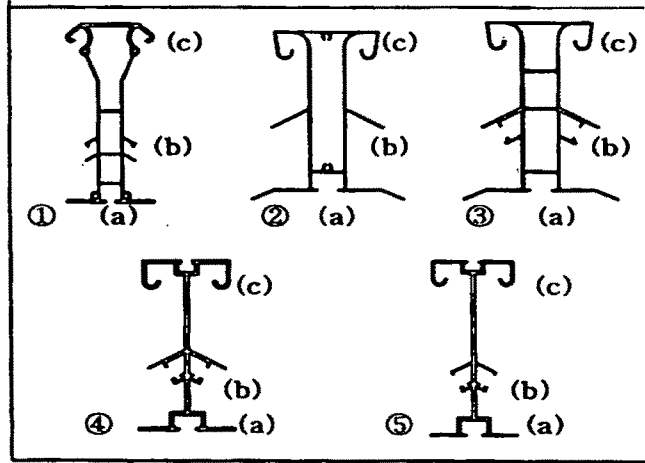
형태로 되어 있어 기능 및 형상이 비슷하지만, 용마루④는 (b)부위의 유리가 끼워지는 상부판의 폭이 넓은 것이 특징이다.

서까래는 기능적으로 C형강 중도리에 볼트로 부착되는 하부체 연결 부위(a), 유리가 부착되는 (b)부위, 유리를 고정하기 위한 유리덮개 설치부위(c)로 구성되어 있으며, 유리부착부위의 형태는 □형(①), H형(②) 및 V형(③)의 3종류가 사용되고 있었다. 서까래 ①은 유리부착부의 형상이 □형인 1개소의 중공으로 구성되어 있으며, 알루미늄 서까래 덮개를 (c)부위에 볼트로 체결하도록 되어 있으나 피스의 체결홈 깊이가 깊어 서까래 유리를 고정하는 피스의 고정력이 약하다고 판단되었다. 서까래 ②는 유리부착부의 형상이 H형이며, 서까래 덮개를 서까래①과 같이 피스로 고정하지만 피스체결부위의 홈안에 여러개의 요철단을 설치하여 피스를 안정적으로 고정할 수 있도록 하였으나, 피스의 체결 깊이가 얇아 체결력의 약화를 초래할 수도 있을 것으로 생각된다.

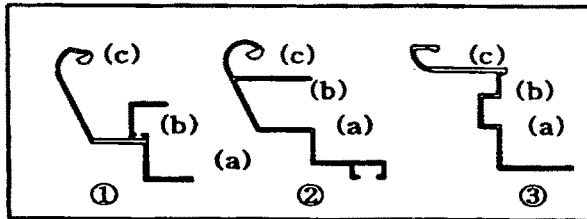
서까래 ③은 유리부착부 형상이 V형으로 되어 있었으며, 서까래와 유리를 고정하는 방식은 알루미늄덮개에 의한 피스고정이 아니라 고무 가스켓으로 고정하는 방식이었다.

천창회전재는 천창서까래가 부착되는 부위(a), 유리가 부착되는 부위(b), 용마루에 천창을 부착하여 천창을 회전하기 위한 힌지부 (c)로 구성되며, 천창회전재는 일반적으로 누수를 방지하기 위하여 천창 유리부착부(b) 위에 누수방지판이 설치된다. 천창회전재 ①은 ②와 달리 누수방지판이 “┌”모양이어서 천창회전재 위에 물고임 현상을 가져와 천창에서 온실 내부로 물이 누수될 우려가 클 것으로 보이며, 천창회전재 ③의 누수방지부는 판형태가 아닌 천창 몸체로 함몰부를 형성한 것으로 실링이 곤란하여 누수의 위험성이 크다고 판단된다. 천창회전재 ②와 ③은 천창 유리를 안정적으로 지지하기 위한 고무 시트의 설치부위가 없었다

○ 용마루(5종)



○ 천창회전제(3종)



○ 서까래(3종)

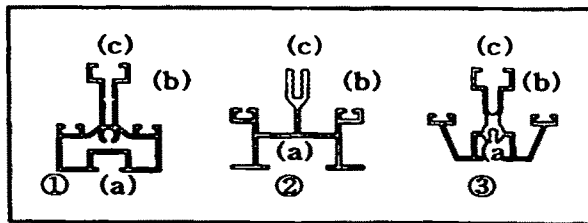


Fig. 2.4 Cross-section shape of aluminium bar for glazing in glasshouse

### 2.1.2 단면크기

조사된 기존유리온실용 알루미늄 구조재의 단면치수를 측정한 결과는 표 2.10에서 보는 바와 같다. 용마루의 최대폭은 60~98mm, 전체높이는 110~130mm, 두께는 1.2~2.5mm 범위에 있었으며, 천창회전재의 최대폭은 28~38mm, 전체높이는 50~56mm이고, 서까래의 높이는 23~40mm 범위에 있는 것으로 나타났다.

Table 2.10 Specification of aluminium glazing bar (unit :mm)

Division		(a)		(b)		(c)		Total height	Transverse area (mm <sup>2</sup> )
		Width	Thick-ness	Height (width)	Thick-ness	Radius	Thickness (width)		
Ridge	①	60	2.5	36	1.0	3.5	2.0	130	848
	②	98	1.2	37	1.2	4.7	1.2	110	612
	③	93	1.8	37	1.3	5.3	1.8	117	813
	④	60	1.8	40	1.2	5.3	1.8	110	723
	⑤	60	1.5	40	1.0	5.0	1.5	127	703
Hinged bar	①	38	1.5	(7)	1.0	10	1.5	50	256
	②	28	1.1	-	-	10	1.1	52	187
	③	30	1.3	(12)	1.3	9.5	1.6	56	205
Rafter	①	40	1.0	(13)8	1.0	-	1.0(13)	30	188
	②	36	1.0	(17)7	1.0	-	1.0 (6)	28	151
	③	23	1.2	(15)8	1.2	-	1.5(13)	30	201

### 2.1.3 단면성능 분석

그림 2.4에서 도시된 유리온실용 알루미늄 구조재의 단면 특성과 단면성능을 분석한 결과를 표 2.11에 나타내었다.

알루미늄 구조재의 단면적은 ANSYS를 이용하여 산정하였는데 용마루의 경우, 612~848mm<sup>2</sup>, 천창회전재 187~256mm<sup>2</sup>, 서까래 151~188mm<sup>2</sup>로 나타났다. 용마루는 서까래와 천창회전재가 조립되는 부재이므로 다른 부재와는 달리 단면구조가 복잡하며, 단면적도 서까래나 천창회전재에 비하여 4배정도 더 크게 나타났다.

굽힘력에 저항하는 용마루의 단면2차모멘트  $I_x$ 는 90.5~193.9cm<sup>4</sup>, 천창회전재의 단면2차모멘트( $I_x$ )는 천창이 닫힌상태에서는 9.4~12.2cm<sup>4</sup>, 열린상태에서는 5.6~7.2cm<sup>4</sup>로 차이가 있었는데, 이는 빔구조상 천창회전각이 달라진 것으로 판단된다. 서까래의 단면2차모멘트( $I_x$ )는 0.9~1.4cm<sup>4</sup>로 천창회전재의 1/5~1/9 수준이었고, 용마루의 1/90~1/138 정도로 나타나 각 부재에 대한 휨저항력을 추정할 수 있었다.

동일 단면적에 대하여 부재별 휨강성을 비교한 결과, 표 2.12에서 보는바와 같이 용마루는 ① 및 ⑤, 천창회전재는 ③, 서까래는 ① 및 ③부재가 가장 높게 나타났다.

Table 2.11 Analysis of cross-section property

Division		Cross section area (mm <sup>2</sup> )	Second moment of area (cm <sup>4</sup> )		Radius of inertia gyration (cm)		Modulus of section (cm <sup>3</sup> )		Center (mm)	
			I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>	Z <sub>x</sub>	Z <sub>y</sub>		
Ridge	①	848	193.9	17.1	4.78	1.42	29.2	5.7	65.9	
	②	612	90.5	25.8	3.85	2.05	15.3	5.3	59.0	
	③	813	138.2	24.9	4.12	1.75	21.7	5.3	63.6	
	④	723	109.5	13.5	3.89	1.37	19.0	4.5	57.6	
	⑤	703	149.1	10.9	4.60	1.25	22.9	5.0	65.1	
Hinged bar	①	close	256	12.2	4.5	2.18	1.33	3.08	1.14	39.6
		open		6.6	10.2	1.61	1.99	3.14	4.86	21.0
	②	close	187	9.4	2.1	2.24	1.10	2.35	0.53	40.0
		open		5.6	6.0	1.73	1.79	2.13	2.28	26.3
	③	close	205	11.0	1.7	2.32	0.91	2.58	0.40	42.7
		open		7.2	5.5	1.87	1.64	2.52	1.92	28.6
Rafter	①	188	1.3	2.3	0.83	1.10	0.67	1.13	11.0	
	②	151	0.9	1.6	0.75	1.04	0.56	0.91	12.6	
	③	201	1.4	1.6	0.83	0.91	0.79	0.84	12.6	

Table 2.12 Comparisons of cross-section performance for aluminium glazing bar

Item		Ratio of cross section area	Ratio of modulus of section	Flexural rigidity ratio	
Ridge	①	1.00	1.00	1.00	
	②	0.72	0.73	0.65	
	③	0.96	0.77	0.74	
	④	0.85	0.77	0.67	
	⑤	0.83	0.95	0.93	
Hinged bar	①	close	1.00	1.00	
		open		1.02	0.54
	②	close	0.73	1.05	1.06
		open		0.94	0.63
	③	close	0.80	1.05	1.13
		open		1.02	0.74
Rafter	①	1.00	1.00	1.00	
	②	0.80	1.04	0.87	
	③	1.07	1.10	1.01	

## 2.2 구조재의 단면검증

Solid-2D를 사용하여 유한요소법으로 천창회전재 1종(천창회전재②) 및 용마루 5종에 대한 단면검증을 실시하였다. 천창회전재 및 용마루의 고리부를 표 2.8의 수평 및 수직 nodal force를 적용하여 가력하였고, 안전성 판단은 표 2.9 및 식(2.11~2.12)에 의거 판단하였다.

표 2.13 및 표 2.14은 가력시 국부최대응력, 변형, 변위를 분석한 결과로서 표에서 보는 바와같이 최대응력 및 변형, 변위 등은 모두 천창이 완전히 열린 상태에서 나타났다.



풍하중의 경우, 천창이 +20 ° 열린상태에서 천창회전재가 받는 국부최대 Von Mises응력은 2.11 kg/mm<sup>2</sup>, 최대 Von Mises 변형은 0.403 ×10<sup>-3</sup>, 최대변위는 0.277mm로 나타나 국내에서 생산되는 유리온실용 알루미늄 구조재의 허용안전 응력 9.2 kg/mm<sup>2</sup> 및 변형 1.32×10<sup>-3</sup> 과 비교할 때, Von Mises응력은 4배, 변형은 3배 낮게 나타났다. 따라서 안전성은 뛰어나다고 보지만 경제적으로 볼 때 너무 과다설계 되었다고도 볼 수 있다.

Table 2.13 Cross-section verification result of hinged bar for top-light

Division	Degree of top-light rotation		
	-27° (close)		+20° (open)
	Wind load state	Snow load state	Wind load state
Von Mises stress (kg/mm <sup>2</sup> )	0.744	0.723	2.110
maximum stress position	회전재고리부	회전재고리부	유리부착 상부곡부
Von Mises maximum strain ×10 <sup>-3</sup>	0.142	0.138	0.403
Maximum displacement (mm)	0.092	0.108	0.277
Maximum displacement position	유리부착 상부곡부	서까래 부착하부	유리부착 상부곡부

외력이 가장 클 때인 천창이 +20 ° 열린상태에서 풍하중에 의한 용마루 5 종의 단면검증 결과를 보면, 용마루 ②가 Von Mises 최대응력 6.542kg/mm<sup>2</sup>, Von Mises 최대변형 1.249×10<sup>-3</sup>, 최대 변위는 0.622로 다른 용마루와 비교하여 가장 높게 나타났으나 허용한계 이내에 있었다.

풍하중시 천창이 열린상태에서 최대응력 및 변형값이 가장 낮은 용마루, 즉 외력에 가장 안전한 것으로 평가되는 용마루 ①은 최대응력 1.166kg/mm<sup>2</sup> , 변형이 0.728×10<sup>-3</sup>로 나타났다.

Table 2.14 Cross-section verification result of ridge

Item		Degree of top-light rotation		
		-27° (close)		+20° (open)
		Wind load state	Snow load state	Wind load state
Von Mises maximum stress (kg/mm <sup>2</sup> )	①	0.322	0.316	1.166
	②	1.267	1.259	6.542
	③	0.555	0.551	3.059
	④	1.031	0.998	4.530
	⑤	0.869	0.841	3.817
Von Mises maximum strain ×10 <sup>-3</sup>	①	0.061	0.060	0.222
	②	0.242	0.240	1.249
	③	0.106	0.105	0.584
	④	0.197	0.190	0.864
	⑤	0.166	0.160	0.728
Maximum displacement (mm)	①	0.008	0.008	0.024
	②	0.077	0.076	0.622
	③	0.019	0.019	0.151
	④	0.055	0.052	0.335
	⑤	0.046	0.044	0.282

### 2.3 기계역학적 특성평가

알루미늄 구조재의 압축 및 항절시험을 위하여 그림 2.5에서 보는 바와 같이 압축 및 항절 가력부, 제어부, 데이터수집부로 구성된 압축 및 항절 시험장치를 설계제작하였다.

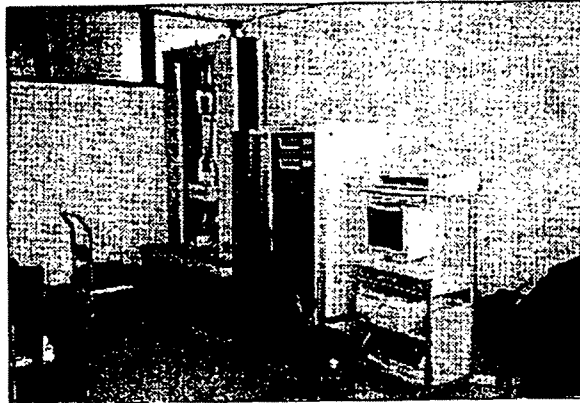


Fig.2.5 Compression & transverse test equipment

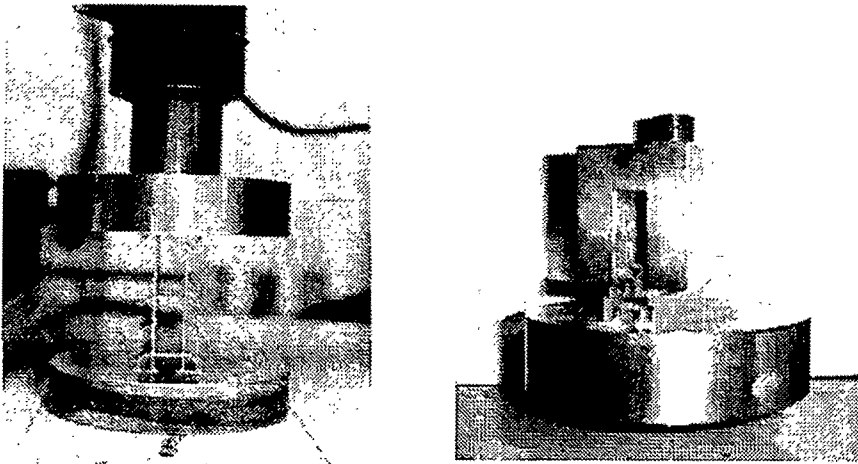


Fig. 2.6 Compression test for ridge & rafter

그림 2.6은 알루미늄 서까래 및 용마루의 압축시험용 시편의 시험자세 및 시험대를 나타낸 것으로 용마루 및 서까래의 압축시험용 시편의 길이는 80mm로 하였으며, 열변형이 일어나지 않도록 절단한 뒤 절단면을 밀링처리하였다. 용마루 시험편 상부를 가력하는 가력부판은  $\phi 20\text{mm}$ 의 가압판을 제작 설치하여 압축하였으며, 서까래의 경우는 유리가 올려지는 부위를 압축하기 위해 가압판을 평판이 아닌 “ $\sqcap$ ”형으로 하고 두께는 20mm로 제작하여 압축 시험하였다.

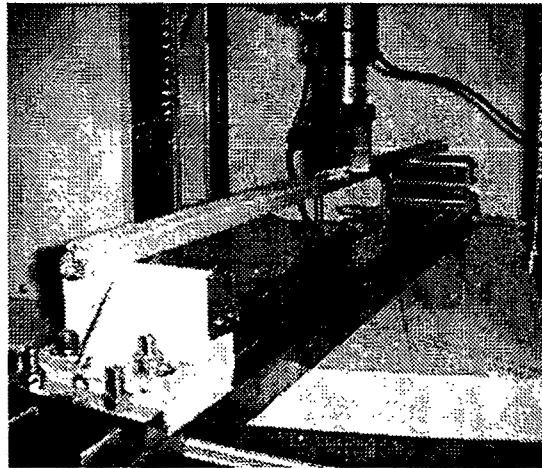


Fig. 2.7 transverse test for rafter

용마루 항절시험용 가력부는 기존의 벤딩시험용 가력부를 사용하였으며, 서까래의 항절시험용 가력부는 그림 2.7에서 보는 바와 같이 서까래위에 유리가 놓여지는 위치에서 가력이 되도록 가력부를 특수 제작하여 사용하였다.

항절시험은 시험편의 양끝단을 단순보로 하여 지간 625mm의 중앙에 집중하중이 작용하도록 하였다.

용마루 및 서까래의 압축, 항절시험 결과 항복하중과 변위와의 관계는 그림 2.8~2.9에서 보는 바와 같다.

그림에서 보는 바와 같이, 용마루의 항복하중은 213~838kg, 서까래의 항복하중은 303~2180kg으로 나타났으며, 이때의 항복변위는 용마루의 경우 0.70~0.98mm, 서까래는 0.5~0.94mm였다.

압축항복응력은 표 2.15에서와 같이 용마루의 경우 1.09~2.72kg/㎠, 서까래의 경우 3.15~13.5kg/㎠으로 나타났다. KS6063에서 항복강도는 11kg/㎠이상으로 규정되어 있어 서까래 ①을 제외한 모든 부재는 KS기준 이하에서 항복이 나타났는데 이는 압축좌굴에 의한 압축항복내력저하로 판단되었다.

표 2.16에서와 같이 항절시험결과 용마루의 항복하중은 450~991kgf, 서까래의 항복하중은 63~105kgf 이었으며, 굽힘모멘트는 용마루의 경우 70.3~154.8kgf-m, 서까래의 경우 9.8~16.4kgf-m로 나타났고 굽힘응력은 용마루가 4.61~6.58kgf/㎠, 서까래 17.5~20.7kgf/㎠의 범위에 있었다. 굽힘응력은 용마루 ④, ⑤이 가장 높았고, 서까래는 ①, ③ 이 가장 높은 것으로 분석되었다.

위 시험결과에서 하중과 모멘트는 안전과 관련된 단순내력으로 그리고 굽힘 항복응력은 탄성응력내에서 단면의 효율성으로 본다면, 용마루는 압축하중에서 ⑤번이 가장 큰 내력을 나타내지만, ③이 가장 항복응력이 높아 경제적으로 설계가 잘 되어 있다고 판단되고, 굽힘력에 대하여는 ①이 가장 큰 내력을 나타내지만 ④번 단면이 가장 굽힘 항복응력이 커서 경제적으로 잘 설계되었다고 판단되었다.

또한 서까래 경우는 압축하중에서는 ①이 내력 및 응력이 가장 높았으며, 그리고 굽힘하중에서는 ③이 가장 내력이 크고 응력도 높아 단면도 가장 경제적으로 설계되었다고 판단된다.

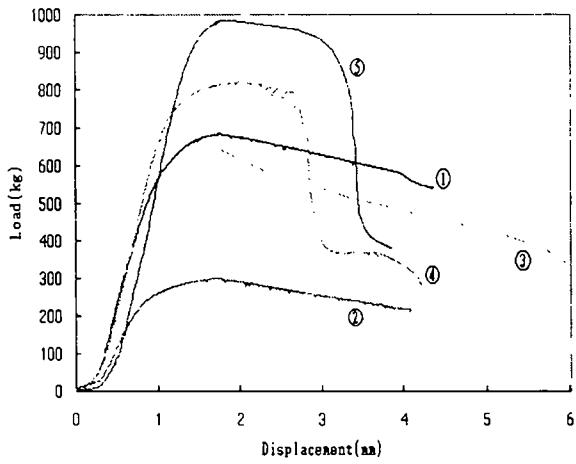


Fig. 2.8 Compression test result of ridge

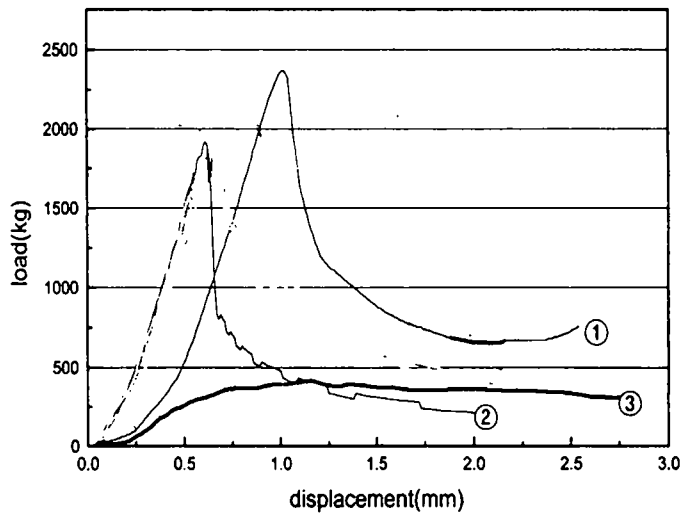


Fig. 2.9 Compression test result of rafter

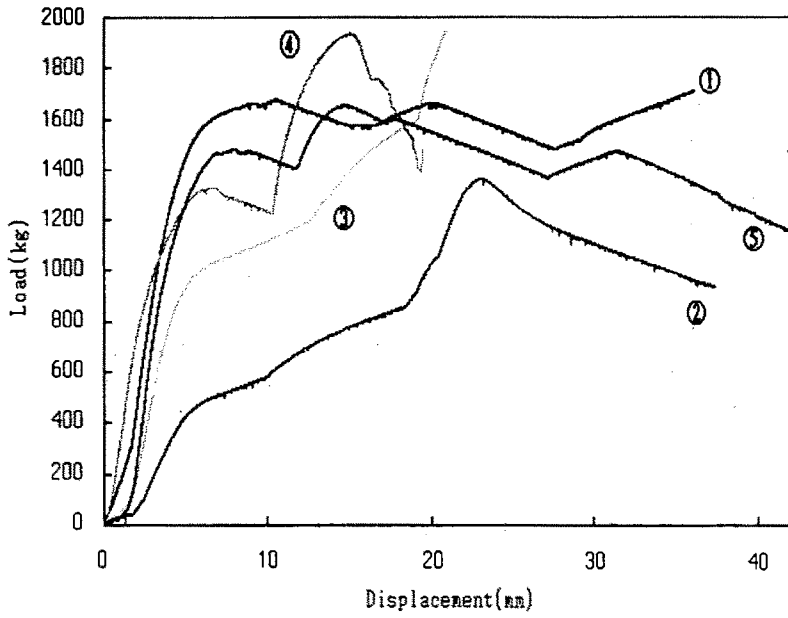


Fig. 2.10 Transverse test result of ridge

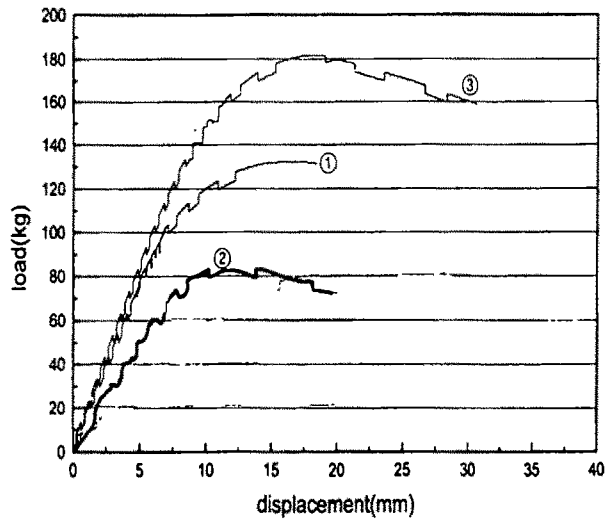


Fig. 2.11 Transverse test result of rafter

Table 2.15 Compression test analysis

Item		Yield load (kg)	Yield displacement (mm)	Yield stress (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield position (h/H)
Ridge	①	502	0.92	2.09	0.86
	②	213	0.87	1.09	0.88
	③	560	0.70	2.72	0.85
	④	702	0.98	2.44	0.1
	⑤	838	0.91	2.71	0.1
Rafter	①	2180	0.94	13.6	0.5
	②	1400	0.65	8.75	0.4
	③	303	0.5	3.15	0.0

(주) h/H : 항복지점높이/부재총

Table 2.16 Transverse test analysis

Item		Yield point		Maximum point		Bending	
		Load (kg)	Displacement (mm)	Load (kg)	Displacement (mm)	Moment (kgf-m)	Stress (kg/mm <sup>2</sup> )
Ridge	①	991	2.14	1508	4.82	154.8	5.31
	②	450	2.46	500	3.10	70.3	4.61
	③	692	1.09	940	2.82	108.1	4.98
	④	800	2.30	1233	5.61	125.0	6.58
	⑤	838	2.22	1483	5.12	130.9	5.72
Rafter	①	80	5.40	123	10.82	12.5	18.6
	②	63	6.40	84	10.25	9.8	17.5
	③	105	6.30	179	15.60	16.4	20.7



따라서 위의 기계역학적 특성에 의한 유리온실용 알루미늄 구조재별로 바람직한 단면형태를 분석해 보면, 용마루에서는 굽힘항복 응력보다 압축응력이 더 중요시되므로, 압축응력을 기준으로 고려할 때 double web인 용마루 ③의 압축 항복응력과 single web인 용마루 ⑤의 항복응력이 비슷하게 나타나 web의 형태는 큰 영향을 미치지 않으며 단, 형상에 따른 국부 비정상 좌굴을 방지하기 위하여 용마루 ①~③에서는 web와 flange의 연결을 곡면처리 없이 직선화로 할 것과 single web인 용마루④, ⑤인 경우는 용마루 상하부의 국부굽힘변형을 최소화 하도록 설계함이 바람직하다고 판단되었다.

한편, 서까래의 경우에는 굽힘항복응력이 압축항복응력보다 중요하나 압축응력도 어느 정도 고려해야 하므로, 압축항복응력은 서까래 ③보다 서까래①이 약 4배 이상 높고 서까래 ①과 서까래 ③의 굽힘항복응력의 차이는 근소하므로 서까래 ①의 단면형태가 유리할 것으로 판단되었다.

## 제3절 유리온실용 알루미늄구조재의 단면 최적화 연구

유리온실용 알루미늄 구조재의 조사 분석결과 바탕으로 단면 규격표준화 전 단계인 용마루, 천창회전재, 서까래 등에 대한 기본단면을 설정하고, 이 단면에 대한 단면분석 및 기계역학적 특성 등을 분석함과 동시에 회전부의 회전간섭, 치수안전성 및 연결조립성 등을 평가한 후 규격표준화 단면을 도출하고자 하였다.

### 3.1 유리온실 알루미늄 구조재의 기본단면 설정

#### 3.1.1 기본 단면의 형상 및 크기

유리온실용 알루미늄 구조재는 그 조립특성상 서까래의 치수에 의하여 천창회전재 및 용마루 등의 높이가 결정되고, 또한 천창회전재는 용마루의 힌지부와 상호 결합하여 천창회전운동을 일으키는 작용을 하므로 유리온실 알루미늄 구조재의 단면은 부재별로 독립하여 설계될 수 없다.

그림 2.12에서 보는 바와 같이 용마루 4종, 천창회전재 3종 및 서까래 2종에 대한 기본단면형상을 구조재가 갖추어야 할 특성을 고려하여 설계하였고, 두께는 모두 압출상 필요한 최소두께인 1mm로 하였다.

#### 가. 용마루의 기본 단면

유리온실 알루미늄 구조재의 하나인 용마루는 용마루의 기계역학적 특성 분석 결과를 고려할 때 web의 형태보다는 flange와 web가 연결되는 형태를 우선적으로 고려 하여 이 부위를 일직선으로 하였다. 중공형태는 압출성을 고려하여 제2절의 용마루 ① 및 ③과 같이 세개의 중공이 아닌 2개의 중공을 가진 형태(⑥-1, ⑥-2)와 용마루 ④ 및 ⑤와 같은 single web 형태가 갖는 결합 즉, 용마루 상하단의 국부 비정상 굽힘이 일어나는 것을 최소화 하기 위하여 용마

루에 천창회전재 하단부가 접촉하는 용마루 높이를 기준으로 single web 및 double web를 복합처리한 형태(㉔-3, ㉔-4)로 하였으며, 여기서 ㉔-3은 상단부에 ㉔-4는 하단부에 single web가 위치하도록 설계하였다.

힌지부위의 곡면은 2개 유형으로 하여 제2절의 용마루 ①의 형태를 용마루 ㉔-2 및 ㉔-3에 적용하였고 용마루 ㉔-1 및 ㉔-4의 힌지부는 개량 벤로형의 힌지형태를 적용하였다.

용마루 전체 높이는 서까래 및 천창회전재가 동시에 조립되는 높이와 용마루 하단부에 용마루를 고정하기 위하여 설치되는  $\phi 10\text{mm}$  육각볼트의 설치 높이를 고려하여 표 2.17에서 보는 바와 같이 86mm 및 87mm로 되게 하였으며, 고리부의 반경은 1.0mm로 하여 서까래 힌지 끝단이 걸리도록 하였고, 용마루의 폭은 용마루를 고정하는 육각볼트 머리 폭을 고려하여 40mm로 설정하였다.

#### 나. 천창회전재의 기본 단면

유리온실 알루미늄 구조재인 천창회전재는 일반적으로 용마루와 연결되는 힌지부를 가지고 있으며 천창 서까래가 조립되도록 되어 있어 기하학적으로 비대칭 구조재이다. 제2절에서 유한요소법으로 분석한 결과에 의하면 천창회전재의 형태에 따른 안전성은 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 안전성 외에 중요한 요인으로는 천창이 용마루에 삽입되어 회전할 때 회전간섭이 일어나지 않으며 허용 회전각 범위 내에서 용마루로부터 이탈되지 않아야 한다. 또 누수를 방지하도록 설계하는 것이 중요하다.

천창회전재 ④-1은 용마루 ㉔-1 및 ㉔-4에 적용되도록 힌지부를 설계하였고, 천창회전재 ④-2 및 ④-3은 용마루 ㉔-2 및 ㉔-3에 공통으로 적용되도록 설계하였다. 한편 천창회전재 ④-3은 유리온실에서 고무가스킷 없이 온실을 시공할 수 있도록 고려하여 설계하였으며, 반대로 천창회전재 ④-1 및 ④-2는 고무가

스킷이 적용되는 형태이다. 모든 천창회전재의 유리부착부 상부의 물받이 판은 제2절의 천창회전재 ②를 적용하였다.

표 2.18에서 보는 바와 같이 천창회전재는 서까래 유리부착부의 높이 (b)와 같은 규격인 13~14mm로 하고, 높이는 서까래 조립높이를 고려하여 34mm~37mm로 하였다.

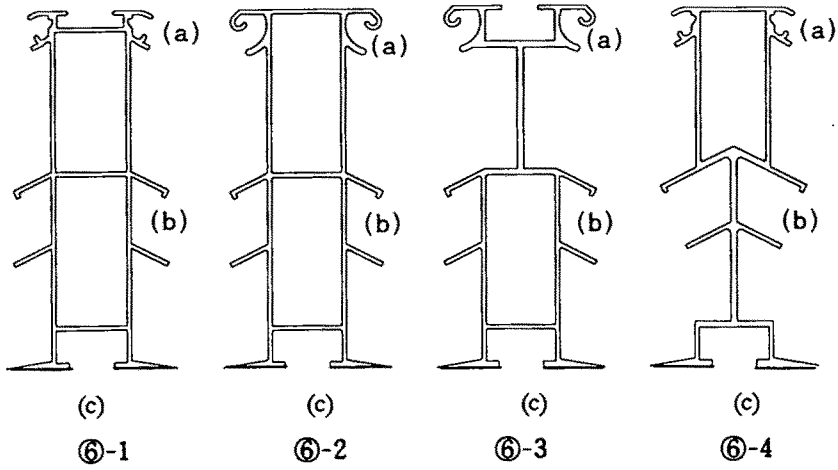
#### 다. 서까래 기본 단면

유리온실 알루미늄 구조재인 서까래의 기본단면은 제2절의 기계적 특성평가 및 분석기준을 적용하여 서까래 ①의 유리받침부를 “ㄇ” 모양으로 선정하였고, 서까래 ④-1은 두개의 중공형태, 서까래 ④-2는 하나의 중공형태를 갖도록 설계하였다. 특히 서까래 ④-2는 중공을 하나로 하여 압출성의 향상을 꾀하고, 또한 내측에 0.5mm 크기의 걸림돌기를 두어 알루미늄 서까래 덮개 조립시 물림 고정정도를 증가시키도록 하였다.

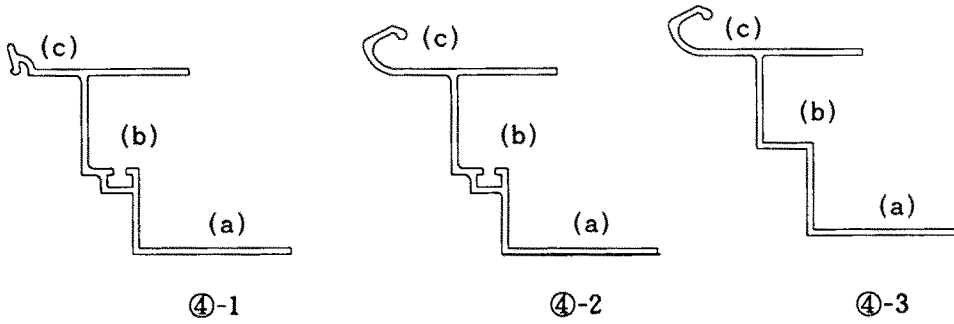
알루미늄 덮개와 고무덮개의 겸용화를 위하여 서까래 ①의 상부모양을 경사지게 설계하여  $\phi 4\text{mm}$  피스를 관통시켜 고정할 때 탄력을 받아 물림정도를 강화하도록 하였고, 또한 고무덮개 고정시 고무덮개 걸림고리의 삽입이 용이하도록 하는 것은 물론 삽입후 서까래 탄발걸림편에 걸림작용이 잘 되도록 하였다.

표 2.19에서 보는 바와 같이 서까래 ④-1은 총 높이 24mm, 유리부착부의 높이를 14mm, 서까래 ④-2는 총 높이 23mm, 유리부착부의 높이를 13mm로 하였으며, 유리가 설치되는 폭은 두 유형 모두 8mm로 하였다. 서까래의 폭은 서까래 하단의  $\phi 6\text{mm}$ 의 볼트고정에 필요한 폭과 유리설치 폭을 고려하여 22mm로 하였다.

○ 용마루(4종)



○ 천창회전재(3종)



○ 서까래(2종)

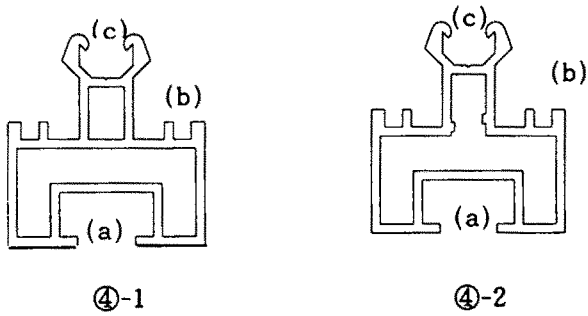


Fig. 2.12 Basic cross-section shape of aluminum profiles

Table 2.17 Specifications of ridge profile

(Unit : mm)

Division	Position						Total height	Cross section area(mm <sup>2</sup> )
	(a)		(b)		(c)			
	Width	Thick-ness	Height	Wing thickness	Radius	Thick-ness		
⑥-1	40	1.5	45	1.0	-	1.0	86	333
⑥-2	"	"	51	"	1.0	1.0	86	345
⑥-3	"	"	45	"	1.0	1.0	87	366
⑥-4	"	"	45	"	-	1.0	87	367

Table 2.18 Specification of hinged-bar profile

(Unit : mm)

Item	Position						Total height	Cross section area(mm <sup>2</sup> )
	(a)		(b)		(c)			
	Width	Thick-ness	Width	Thick-ness	Radius	Thick-ness		
④-1	24	1.0	8	1.0	-	1.5	34	108
④-2	"	"	"	"	6.0	1.0	37	111
④-3	"	"	"	"	"	"	37	102

Table 2.19 Specification of rafter profile

(Unit : mm)

Item	Position							Total height	Cross section area(mm <sup>2</sup> )
	(a)		(b)			(c)			
	Width	Thick-ness	Width	Thick-ness	Height	Width	Thick-ness		
④-1	22	1.5	8	1.0	14	9.9	1.0	24	127
④-2	"	"	"	"	13	"	"	23	116

### 3.1.2 기본단면 분석

#### 가. 단면분석

그림 2.12에서 도시된 유리온실용 알루미늄 구조재의 기본 단면 특성과 단면성능을 유한요소법(FEM)으로 분석한 결과를 표 2.20 및 표 2.21에 나타내었다.

굽힘력에 저항하는 용마루의 단면2차모멘트  $I_x$ 는  $26.7 \sim 31.3\text{cm}^4$ , 천창회전재의 단면2차모멘트  $I_x$ 는 천창이 열린상태에서  $1.6 \sim 1.7\text{cm}^4$ , 서까래의 단면2차모멘트  $I_x$ 는  $0.6 \sim 0.5\text{cm}^4$ 로 나타났으며, 용마루의 경우, ⑥-3, ⑥-4가 경우가 가장 높게 나타났으나 천창회전재 및 서까래의 경우는 단면2차모멘트가 부재별로 큰 차이가 나지 않았다.

표 2.21에서 보는 바와 같이 동일한 단면적에 대한 부재별 휨강성을 비교한 결과, 용마루는 ⑥-4, 천창회전재는 ④-3, 서까래는 ④-1이 부재별로 가장 높게 나타났으나 부재별로는 최대치와 최소치의 차이가 약 10%이내로 그 차이가 크지 않아서 부재별로 허용 안전응력 한계내에만 존재 한다면 기능성이 보다 중요시 되어야 할 것으로 판단되었다.

Table 2.20 Analysis of cross-section property

Division		Cross-section property						
		Section area (mm <sup>2</sup> )	Moment of Inertia (cm <sup>4</sup> )	Radius of inertia gyration (cm)	Modulus of section (cm <sup>3</sup> )		Geometric center (mm)	
					Ix	ix	Z1	Z2
Ridge	㉖-1	333	26.7	2.83	6.25	6.17	42.7	43.3
	㉖-2	345	27.3	2.81	6.39	6.30	42.7	43.3
	㉖-3	366	30.7	2.89	7.33	6.81	41.9	45.1
	㉖-4	367	31.3	2.92	7.58	6.85	41.3	45.7
Hinged bar	㉗-1 open	108	1.6	1.22	0.95	0.93	16.8	17.2
	㉗-2 open	111	1.8	1.27	1.01	0.94	17.9	19.1
	㉗-3 open	102	1.7	1.29	0.97	0.88	17.6	19.4
Rafter	㉘-1	127	0.6	0.69	0.59	0.43	10.1	13.9
	㉘-2	116	0.5	0.66	0.52	0.37	9.6	13.4

Table 2.21 Cross-section performance comparison

Division		Cross-section performance index		
		Section area ratio	Ratio of section modulus (z1)	Flexural rigidity ratio
Ridge	㉖-1	1.00	1.00	1.00
	㉖-2	1.04	0.98	0.98
	㉖-3	1.10	1.07	1.05
	㉖-4	1.10	1.10	1.07
Hinged bar	㉗-1 open	1.00	1.00	1.00
	㉗-2 open	1.03	1.03	1.09
	㉗-3 open	0.94	1.09	1.13
Rafter	㉘-1	1.00	1.00	1.00
	㉘-2	0.91	0.97	0.92

(주) 단면성능지수 부재별 기준 : 용마루㉖-1, 천창회전재 및 서까래 ㉗-1



### 3.1.3 기본단면 검증

Solid-2D를 사용하여 유한요소법으로 그림 2.12에 도시된 천창회전재 3종 및 용마루 4종에 대한 단면검증을 실시 하였다. 천창회전재 및 용마루의 고리부를 표 2.8의 수평 및 수직 nodal force를 적용하여 가력하였고, 안전성 판단은 표 2.9 및 식 (2.11)과 식 (2.12)로 하였다.

국부최대응력, 변형, 변위를 분석한 결과, 표 2.22 및 표 2.23에서 보는 바와 같이 최대응력, 변형, 변위 등은 모두 천창이 완전히 열린상태에서 나타났으며, 모두 허용안전치 이내로 나타났다.

VonMises 최대응력은 용마루의 경우, 0.456~2.946kgmm<sup>2</sup>, 천창회전재는 3.599~4.402kgmm<sup>2</sup>으로 허용안전응력과 비교할 때 용마루 및 서까래의 경우 최소 2배이상 안전한 것으로 판단되었다.

풍하중을 받는 경우, 천창이 +20 ° 열린상태에서 천창회전재가 받는 국부 최대허용응력 및 변형, 변위는 용마루의 경우는 용마루⑥-1 및 ⑥-2가 가장 낮게 나타나 ⑥-3 및 ⑥-4용마루 보다 안전성이 높았으며, 천창회전재 중에서는 ④-1 및 ④-2가 ④-3보다 낮게 나타났다.

최소단면을 적용한 기본단면 검증결과를 종합하여 볼때 설계된 모든 부재가 허용범위 내에 존재하였다. 그러나 효율적인 설계를 위하여 용마루에서는 ⑥-1 및 ⑥-2를, 천창회전재에서는 ④-1 및 ④-2가 유리한 것으로 판단되어 이들 단면을 기준으로 하여 기능성을 갖추어 나가야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.22 Cross-section verification result of ridge

Division		Top- light close-open angle		
		-27° (close)		+20° (open)
		Wind load state	Snow load state	Wind load state
Von Mises maximum stress (kg/mm <sup>2</sup> )	㉔-1	0.197	0.189	0.456
	㉔-2	0.414	0.405	0.977
	㉔-3	0.829	0.800	1.929
	㉔-4	1.254	1.221	2.946
Reference stress(kg/mm <sup>2</sup> )		9.20이하		
Von Mises maximum strain ×10 <sup>-3</sup>	㉔-1	0.038	0.036	0.087
	㉔-2	0.079	0.078	0.187
	㉔-3	0.158	0.153	0.368
	㉔-4	0.239	0.233	0.562
Reference strain ×10 <sup>-3</sup>		1.321이하		
maximum Displacement (mm)	㉔-1	0.003	0.003	0.007
	㉔-2	0.007	0.007	0.016
	㉔-3	0.019	0.018	0.043
	㉔-4	0.047	0.046	0.110

Table 2.23 Cross-section verification result of hinged bar

Division		Top- light close-open angle		
		-27° (close)		+20° (open)
		Wind load state	Snow load state	Wind load state
Von Mises maximum stress (kg/mm <sup>2</sup> )	㉔-1	1.550	1.492	3.599
	㉔-2	2.020	1.729	4.171
	㉔-3	1.777	1.825	4.402
Reference stress(kg/mm <sup>2</sup> )		9.20이하		
Von Mises maximum strain ×10 <sup>-3</sup>	㉔-1	0.297	0.286	0.690
	㉔-2	0.388	0.332	0.802
	㉔-3	0.342	0.351	0.847
Reference strain ×10 <sup>-3</sup>		1.321이하		
Maximum displacement (mm)	㉔-1	0.036	0.040	0.097
	㉔-2	0.398	0.332	0.802
	㉔-3	0.304	0.316	0.761

### 3.2 기본 단면 알루미늄 구조재의 기계역학적 특성 평가

그림 2.12의 용마루와 서까래를 압축 제작하여 제2절에서 서술한 압축 및 항절시험 방법을 사용하여 시험한 결과를 그림 2.13 및 14에 나타내었고, 부재별 압축시험 분석결과를 표2.24, 부재별 항절시험 결과를 표 2.25에 각각 나타내었다.

압축시험 결과, 용마루는 좌굴 또는 굽힘에 의해서 밑부분이 항복되는 것으로 나타났으며, 이때의 항복응력은  $1.69\sim 4.14\text{kg}/\text{mm}^2$ , 변위는  $0.55\sim 1.26\text{mm}$  였으며 항복하중은  $271\sim 662\text{kg}$ 으로 나타났다. 부재별로는 ⑥-1 및 ⑥-2의 경우가 가장 우수한 것으로 판명되어 단면검증결과와 일치함을 알 수 있었다. 서까래의 경우는 모두 굽힘에 의해 항복현상이 일어났으며, 이때 항복응력은  $11.44\text{kg}/\text{mm}^2$ , 항복하중은  $1830\text{kg}$  이었고, ④-1, ④-2는 큰 차이가 없었다.

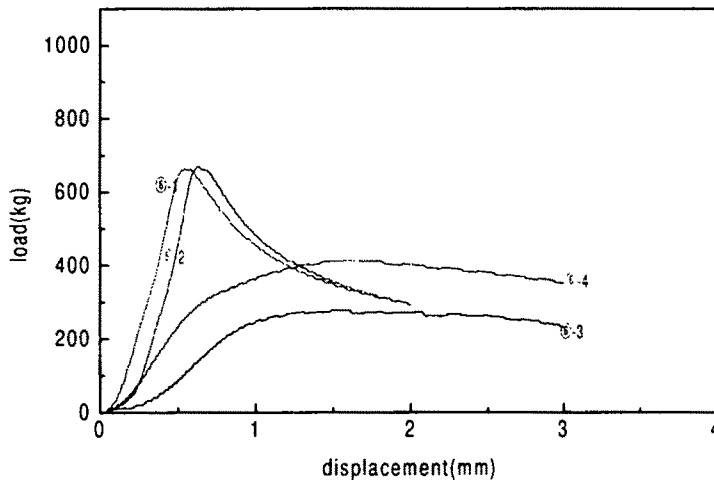


Fig.2.13 Relation between load and displacement of ridge by compression test

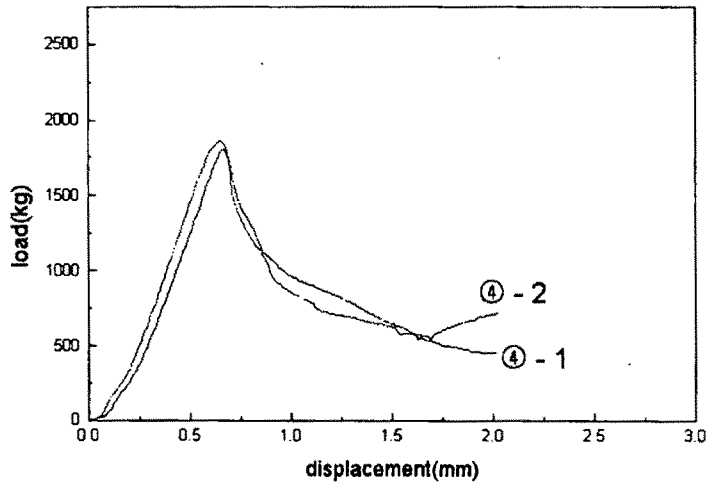


Fig.2.14 Relation between load and displacement of rafter b by compression test

Table 2.24 Result of compression test for rafter and ridge

Division		Yield load (kg)	Yield displacement (mm)	Yield stress (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield appearance and position (h/H)
Ridge	⑥-1	662	0.55	4.14	좌 굴(0.55)
	⑥-2	630	0.63	3.94	좌 굴(0.55)
	⑥-3	271	1.26	1.69	굽 힘(0.12)
	⑥-4	351	0.91	2.19	굽 힘(0.55)
Rafter	④-1	1830	0.67	11.44	굽 힘(0.5)
	④-2	1830	0.66	11.44	굽 힘(0.5)

(주) h/H : 항복지점높이/보춤높이

용마루의 항절시험결과, 항복하중은 363~591kg, 항복변위는 1.77~2.62mm로 나타났으며 굽힘응력은 7.5~13.8kg/㎡ 범위에 있었다.

압축시험에서와 같이 용마루의 항절시험에서는 용마루 ⑥-1 및 ⑥-2의 굽힘항복응력이 높아 다른 용마루에 비하여 우수한 것으로 판명되었다.

서까래의 항절시험 결과, 항복하중은 40~51kg, 항복응력은 17.0~18.4kg/㎡로 ④-1과 ④-2는 큰 차이가 없었다.

서까래인 경우는 서까래의 설치형태 및 기능상 압축응력 보다 굽힘응력이 많이 작용하므로 굽힘응력이 보다 더 중시 되어야 한다. 제1절 표 2.6과 같이 천창이 열린상태에서 풍하중을 받을 때 양단이 고정된 경우에 천창서까래가 받는 등분포 하중은 174.2kg이므로 이를 단순지지보에 작용하는 집중하중으로 환산하면 174kg/3의 집중하중이 된다고 볼 수 있다. 이를 지간조건 625mm인 서까래에 작용하는 집중하중으로 생각하여 분석한 결과, 항복하중은 92.9kg이상 되어야 한다고 판단되므로 서까래의 기본단면 치수로는 유리온실의 안전성을 기대하기 어려웠다.

따라서 부재별 기본단면에 대한 기계역학특성을 고려할 때 용마루는 기본단면을 설계변경 없이 용마루 ⑥-1 혹은 ⑥-2를 그대로 적용함이 바람직하고, 서까래의 경우에는 서까래의 기능성을 검토한 뒤 기본단면치수를 변경하여 서까래의 설계하중에 적합하도록 단면치수를 수정할 필요성이 있었다.

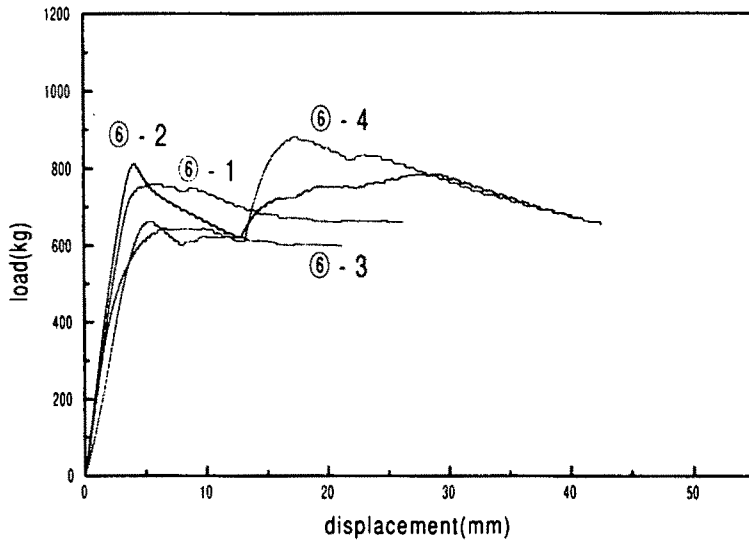


Fig.2.15 Relation between load and displacement of ridge by transverse test(span 625mm)

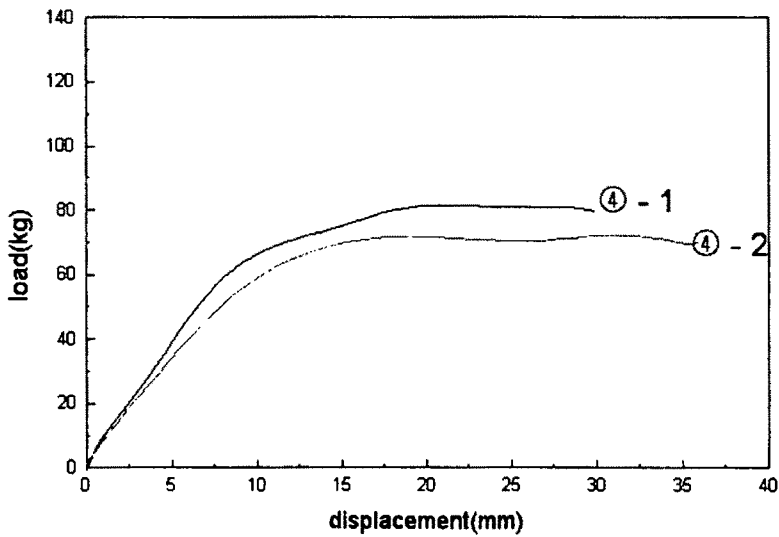


Fig.2.16 Relation between load and displacement of rafter by transverse test(span 625mm)

Table 2.25 Result of transverse test

Division		Modulus of section (cm <sup>4</sup> )	Yield // maximum load (kg)	Yield // maximum displacement (mm)	Bending moment (kgf-m)	Bending stress (kgf/mm <sup>2</sup> )
Ridge	㉖-1	6.25	553//752	2.61//4.58	86.4	13.8
	㉖-2	7.33	591//811	2.50//4.19	92.3	12.6
	㉖-3	6.39	402//661	2.62//5.24	62.8	9.8
	㉖-4	7.58	363//639	1.77//6.13	56.7	7.5
Rafter	㉗-1	0.43	51//78	6.43//15.64	7.9	18.4
	㉗-2	0.37	40//73	5.71//17.58	6.3	17.0

### 3.3 알루미늄 구조재 기본단면의 기능성 평가

#### 3.3.1 구조재의 회전간섭

구조재의 회전간섭 기능에 대한 평가는 용마루와 천창회전재를 조립한 후 회전간섭현상을 분석하여 적합한 힌지부의 형상을 도출하기 위하여 실시 하였다.

회전간섭기능 평가에 사용된 모형은 기본단면 분석 및 기계역학적 특성 평가 결과를 기초로 그림 2.17과 같이 용마루 ㉖-1과 천창회전재 ㉗-1, 그리고 용마루 ㉖-2와 천창회전재 ㉗-2를 조합한 2가지 유형이었다.

회전간섭의 정량분석은 AUTO CAD를 이용하여 표 2.26에서와 같이 천창회전재의 회전각도별로 힌지부에서 발생하는 두 조립부재사이의 최대공극 발생부의 갭(gap)의 크기를 x 및 y 축의 길이로 측정하였다.

용마루 ㉖-1과 천창회전재 ㉗-1로 구성된 1-1형은 용마루 ㉖-2와 천창회전재

④-2 구성된 2-2형에 비하여 전 회전구간에서 갭이 큰 것으로 나타났다. 그리고 1-1형은 천창이 +20°를 초과하여 열릴 때에는 용마루로부터 천창회전재가 쉽게 이탈되어 많은 위험이 있는 것으로 나타났다.

따라서, 위의 실험 결과로부터 용마루 및 천창회전재의 고리부는 2-2형의 고리형태를 선정하였으며 용마루는 기본단면 ⑥-2를 선정 하였다.

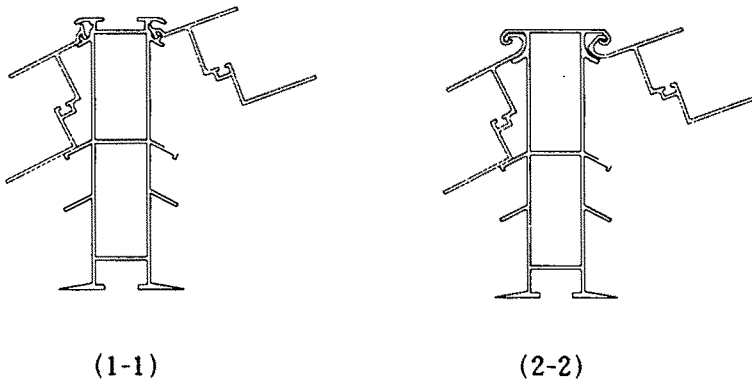


Fig.2.17 Model for Analysis of rotational interaction

Table 2.26 Analysis result of rotating interaction.

Division	Maximum tolerance (mm)					
	-27°		0°		20°	
	x	y	x	y	x	y
1-1형	0.437	0.722	0.769	0.879	1.058	1.015
2-2형	0.258	0.296	0.574	0.814	0.210	0.390

(주) x : 수평 방향 y : 수직 방향



### 3.3.2 구조재의 연결 기능

#### 가. 용마루의 연결

용마루의 연결은 그림 2.18에서 보는 바와 같이 용마루 연결삽입재를 사용하여 연결되도록 하므로써 기존 방법인 맞대기 겹판을 사용하는 것보다 연결이 용이하고 누수의 위험성을 줄일 수 있도록 하였다.

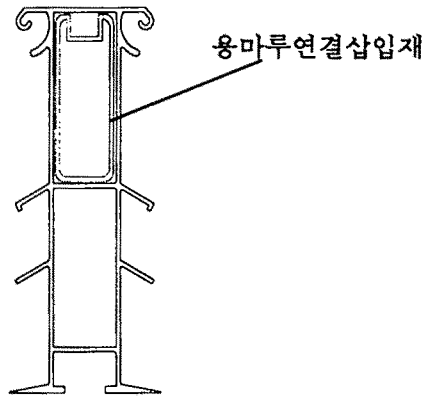


Fig. 2.18 Connection method of ridge

#### 나. 천창회전재의 연결 단면

천창회전재의 기본단면은 유한요소법에 의한 천창회전재의 이론적 검증 및 회전간섭성 시험 결과와 천창유리가 파괴되는 위험을 줄이기 위하여 천창유리 조립시 천창회전재에 고무 가스킷의 설치가 요구되는 점 등을 고려하여 천창회전재의 기본단면으로 ④-2를 선정하였다.

천창회전재의 연결 기능성을 고려하여 단면의 변경을 검토하고자 그림 2.19에서와 같이 상하결합판을 사용하여 천창회전재를 맞대기 리벳연결하는 방법과 결합판을 사용하지 않고 연결 삽입재를 사용하는 방법을 사용하여 연결성을 검

토하였다.

검토결과 ④-2형에서는 천창회전재 연결시 천창회전재의 기하학적 비대칭으로 인하여 중심잡기가 곤란하였고, ④-2-1형은 천창의 연결성은 좋으나 압출성이 나쁘고 천창 상부의 연결이 미흡하게되어 누수의 위험성을 일으킬 수 있는 것으로 판단되었다.

따라서, 천창회전재의 기본단면은 ④-2형을 기본으로 하여 ④-2-1형과 같이 연결 삽입부를 반중공형으로 개량 보완하였다.

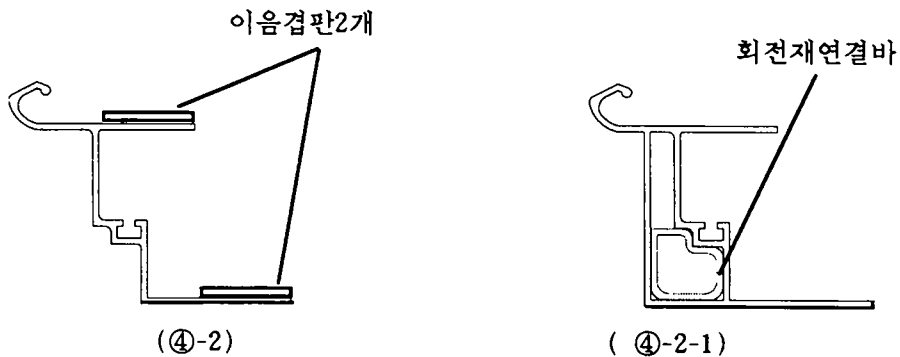


Fig. 2.19 Cross-section of ceiling member connection

다. 서까래와 서까래덮개 조립 기능

서까래의 조립은 서까래 위에 유리 및 고무 패킹을 설치하고, 알루미늄 덮개 또는 고무가스켓 덮개로 검용 조립되도록 기본 단면을 설계하였다.

그림 2.20에서 보는 바와 같이 알루미늄 덮개에 피스가 관통되어 조립되는 경우는 피스의 결합력이 중요하다. ④-1, ④-2형의 서까래(그림 2.17)를 대상

으로 압출형재를 사용하여  $\phi 4\text{mm}$  피스로 5회에 걸쳐 반복 이탈착 실험을 실시한 결과, 2유형 모두 피스결합 종료후 추가적인 피스회전력에 의한 공회전이 일어나지 않아 안전한 것으로 판단되었다.

기본단면에 대한 기계역학적 평가 및 피스고정력 등을 고려할 때 기본단면의 형상변경의 필요성은 없으나, 중공이 1개 있는 서까래 ④-2형이 압출성의 측면에서 유리하다고 볼 수 있다.

따라서 서까래의 설계하중에 대한 안전응력을 확보하기 위한 단면의 치수변경은 서까래 ④-2 단면 형상을 기본으로 해야 할 것으로 판단되었다.

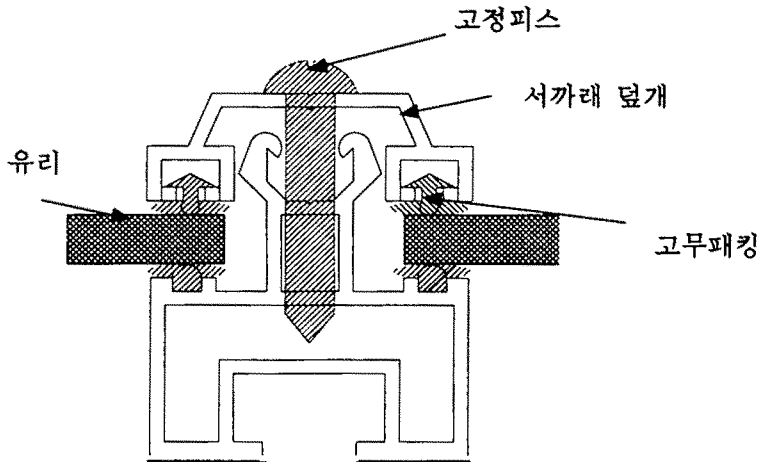


Fig. 2.20 Build-up cross-section of rafter

### 3.4 알루미늄 서까래의 최적화 설계

#### 3.4.1 최적화 설계 방법

알루미늄 구조재의 서까래 1000mm를 양단 고정하고, 천창이 +20°열린 상태에서 풍하중이 작용할 때 천창서까래가 받는 하중 174.2kg을 등분포하중으로 경사하중을 주어 분석하였다. 분석에 사용된 element는 shell 143이었고, optimization시 설계변수는 두께, 폭, 높이로 하고, 두께는 그림 2.21의 위치에 있는 t3~t8을 변수로 하여 그림 2.23에서 보는 바와 같이 1.0~1.5mm범위까지를, 폭은 기본치수 0mm부터 5mm까지, 높이는 서까래의 높이가 커지면 천창 회전재, 용마루 등의 높이가 변화하여야 하기 때문에 0~2mm로 변화를 한정하였다. 상태 변수는 표 2.9의 개발소재를 기준으로 13.2kg/mm을 적용하고, 목적 함수는 단면적을 사용하여 단면적이 최소화되도록 하여 총 20set 수렴이 되도록 하였다.

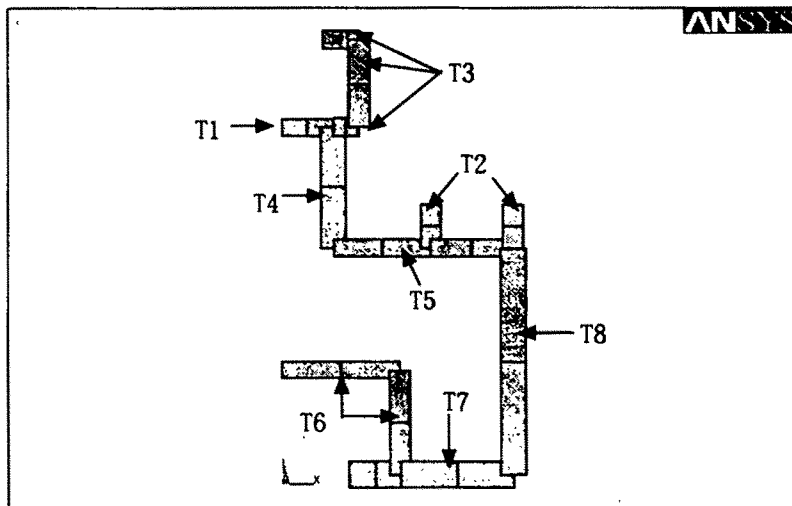


Fig. 2.21 half cross-section model of rafter with thickness numbers

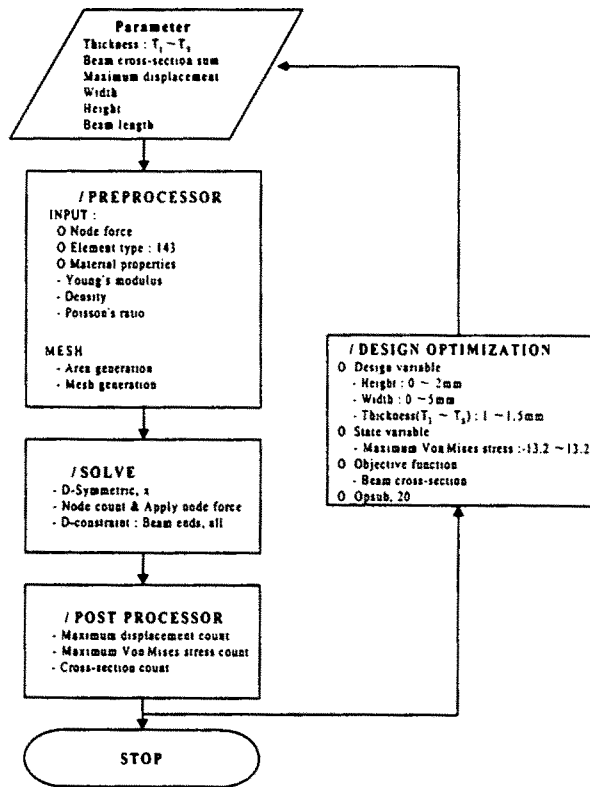


Fig. 2.22 Flow diagram for optimization of rafter

### 3.4.2 최적화 결과 분석

그림 2.23~2.26은 각 Set별 수렴과정에서 설계변수, 상태변수, 목적함수의 변화를 나타내는 것으로 Set가 1,3,7,10에서 상태변수인 Von Mises 항복응력 13.2kg/㎟를 크게 초과하는 Infeasible Set였다. Feasible set에서 목적함수가 최소가 되는 부분, 즉 최적화는 20set이며, 이때의 단면적은 약 72㎟, 그리고 폭 0.24mm, 높이 1.99mm, t3 1.05mm, t4 1.21, t5 1.00, t6 1.00, t7 1.49, t8 1.21mm 였다. 최적화 상태에서 서까래 끝단의 Von Mises 항복응력은 그림 2.27에, 서까래 중앙부의 Von Mises의 응력은 그림 2.28에 나타내었으며, 끝단에서는 t7 및 t8영역에서 최대값이 나타났고, 중앙부는 주로 t3영역에서 응력이 집중되었다. 이때의 최대처짐은 그림 2.29에서 보는 바와 같이 4.97mm로 허용처짐 한계인 6.3mm보다 작은 4.97mm로 나타났다.

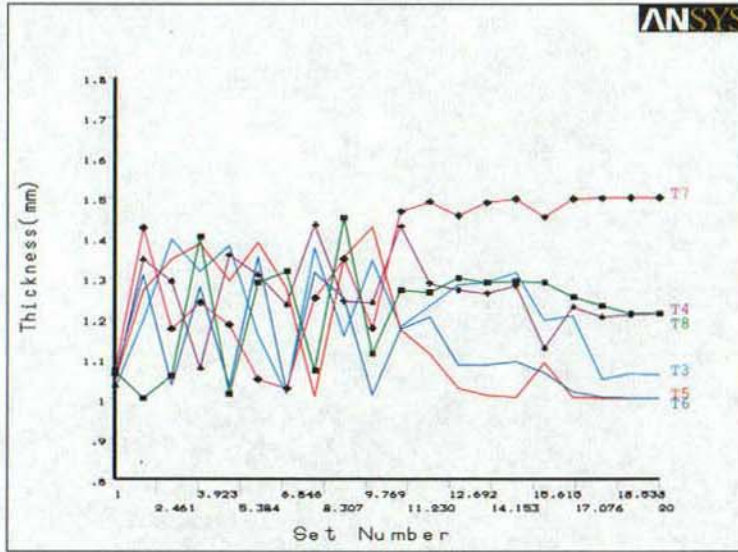


Fig.2.23 Design variables- thickness value change with set number for beam cross-section optimization

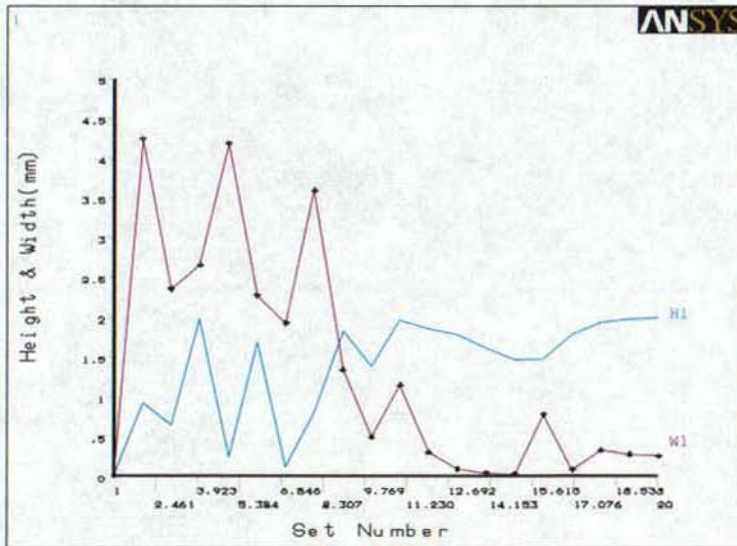


Fig.2.24 Design variables-height & width value change with set number for beam cross-section optimization

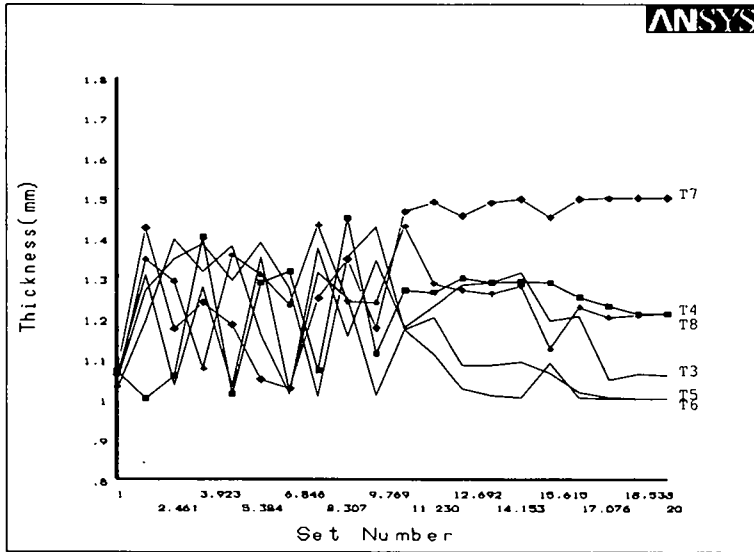


Fig.2.23 Design variables- thickness value change with set number for beam cross-section optimization

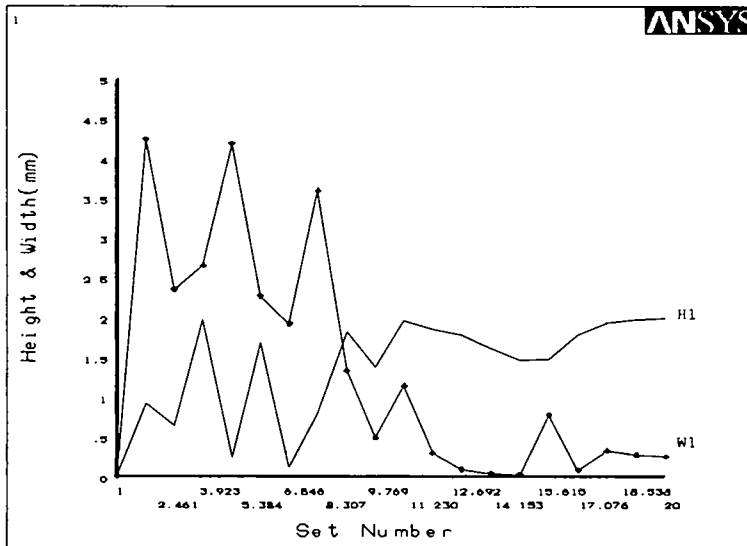


Fig.2.24 Design variables-height & width value change with set number for beam cross-section optimization

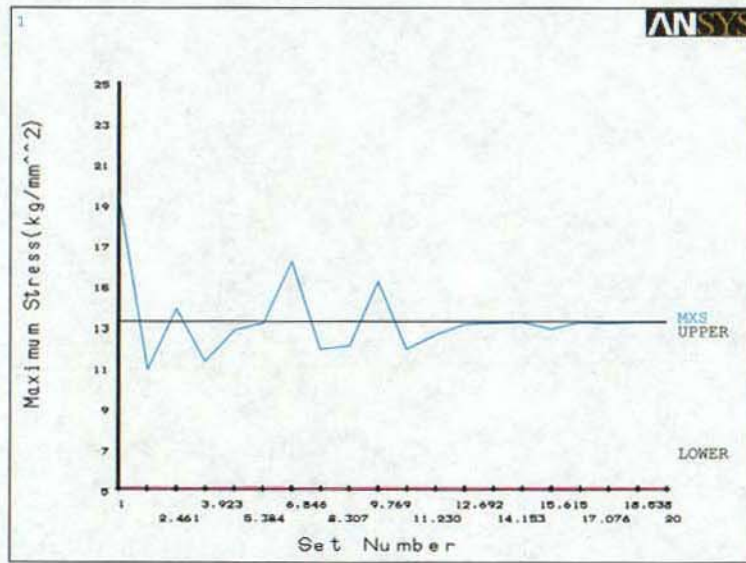


Fig.2.25 State variable-maximum Von-Mises stress change with set number for beam cross-section optimization

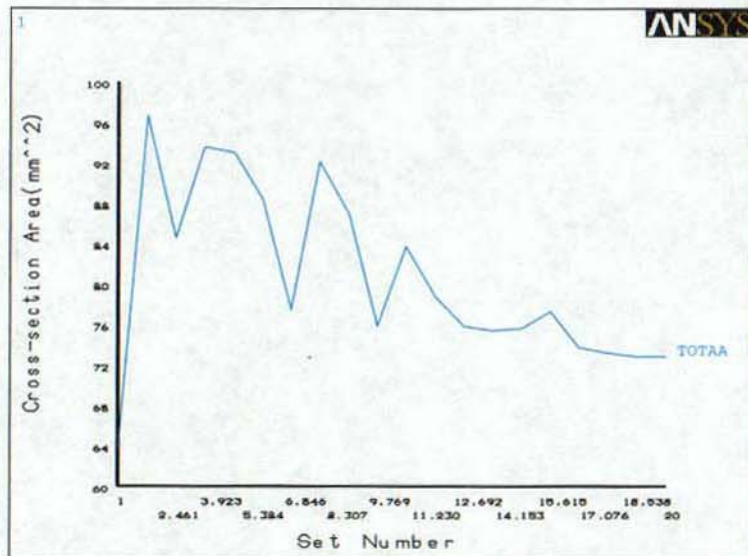


Fig.2.26 Objective value with set number during beam cross-section optimization



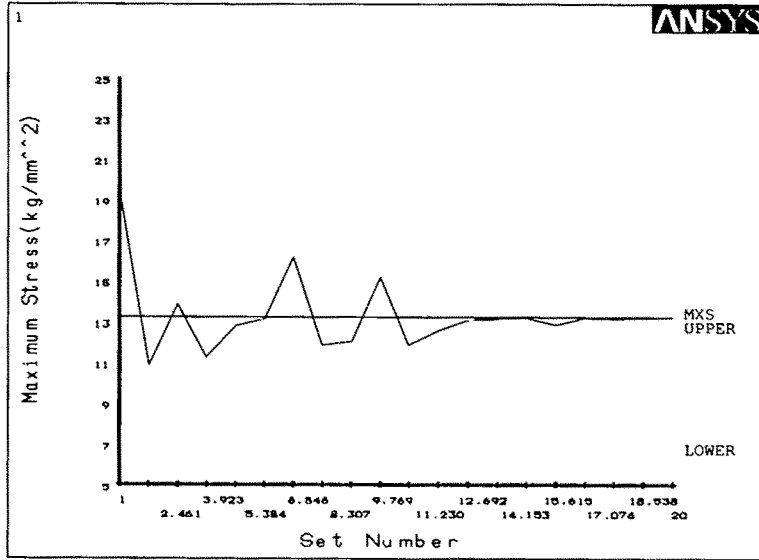


Fig.2.25 State variable-maximum Von-Mises stress change with set number for beam cross-section optimization

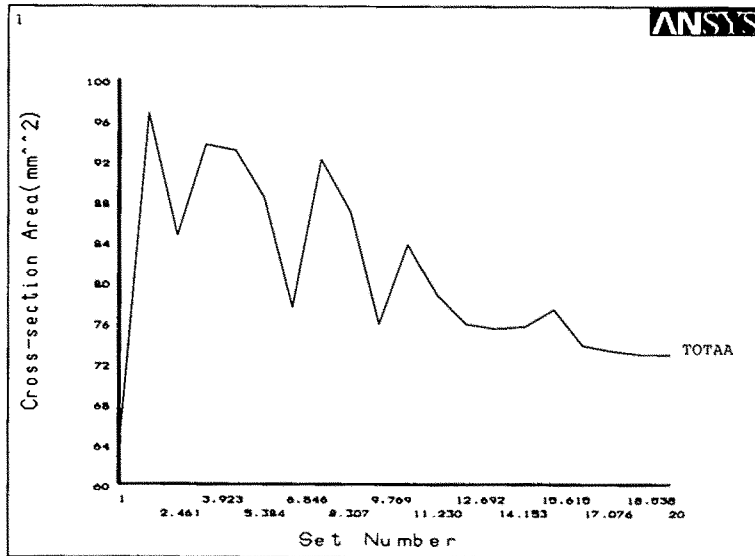


Fig.2.26 Objective value with set number during beam cross-section optimization

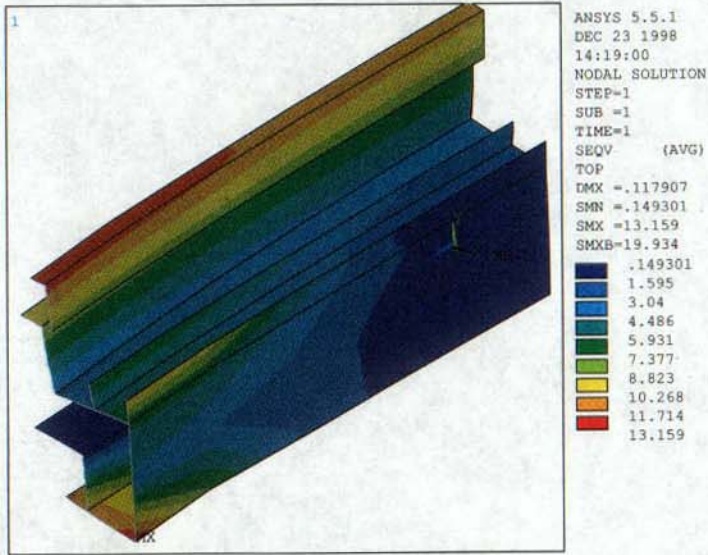


Fig. 2.27 Von-Mises Maximum stress contour in constraint zone of beam at the best design

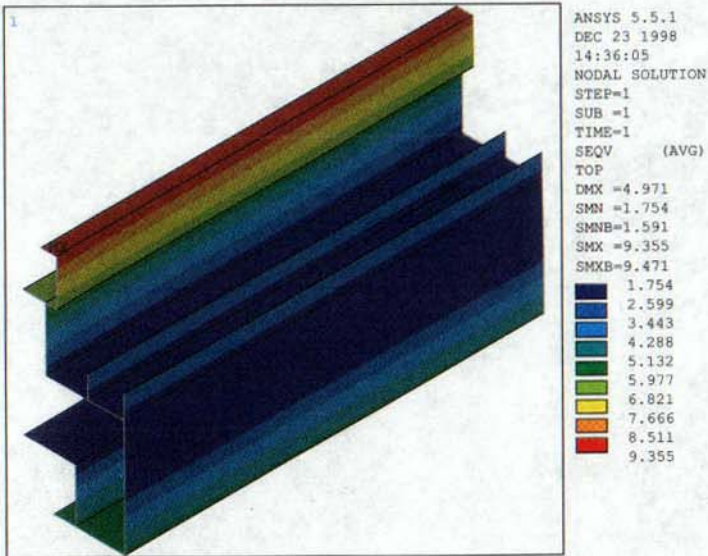


Fig.2.28 Von-Mises Maximum stress contour in central zone of beam at the best design

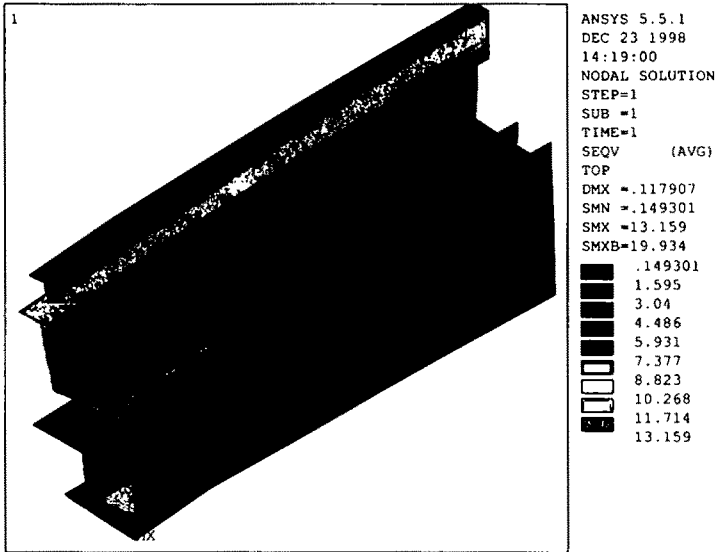


Fig. 2.27 Von-Mises Maximum stress contour in constraint zone of beam at the best design

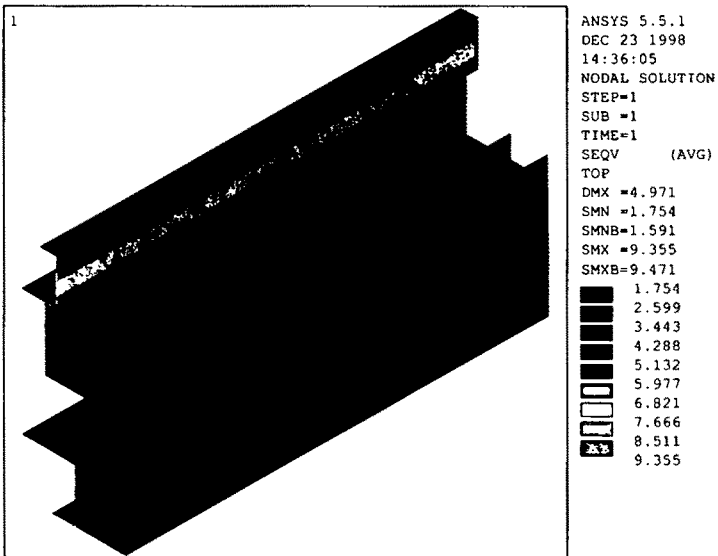


Fig.2.28 Von-Mises Maximum stress contour in central zone of beam at the best design

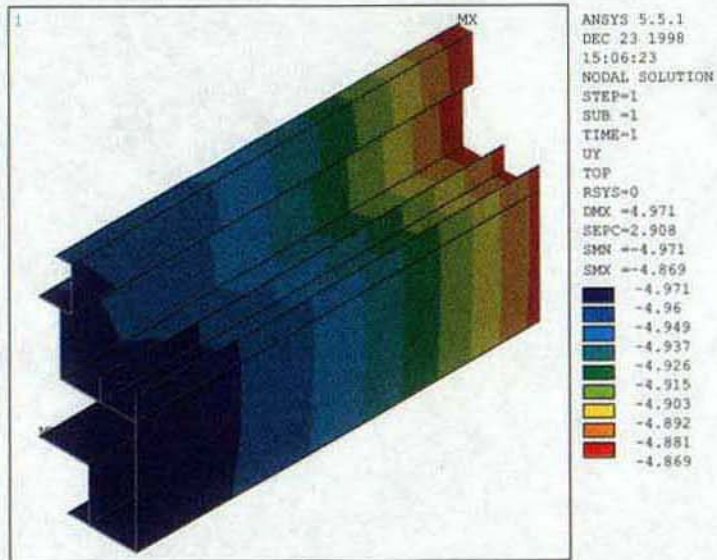


Fig.2.29 Deflection contour under uniform load in central zone of beam at the best design

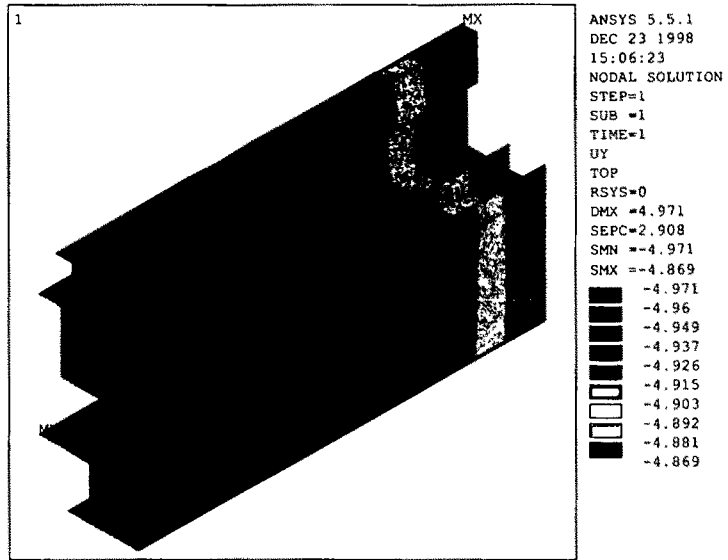


Fig.2.29 Deflection contour under uniform load in central zone of beam at the best design

## 제4절 유리온실용 알루미늄 구조재의 규격표준화 모델 정립

제3절의 유리온실용 알루미늄 구조재의 역학적 특성 및 기능성을 고려하여 연구 계획에 포함된 용마루 등 3종과 알루미늄 구조재 8종에 대해서도 추가적으로 규격표준화 단면을 설계하고 알루미늄 구조재를 조립 및 고정 설치할 수 있도록 알루미늄 압출재인 고정구 2종, 알루미늄서까래 덮개 1종, 연결삽입재 2종 그리고 고무소재인 가스켓 2종 등을 규격표준화 하였다.

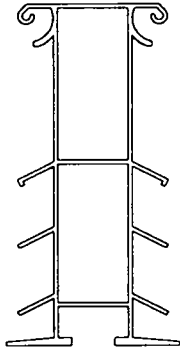
규격표준화 알루미늄 구조재에 대하여 기능적 특성을 최종적으로 점검하고 기계역학적 특성을 최종적으로 평가하였다.

### 4.1 알루미늄 구조재의 규격표준화 단면 형상

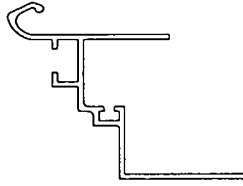
그림 2.30은 핵심 알루미늄 구조재인 용마루, 천창회전재, 서까래를 규격표준화한 설계 단면이다.

서까래의 형상은 알루미늄 유리연결재와 결합하여 누수된 물을 밖으로 유도할 수 있도록 수로단을 서까래 몸체에 추가적으로 설치하여 규격화한 형상이다.

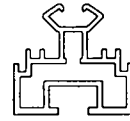
기타 유리온실에 필요한 알루미늄 구조재 8종에 대한 표준화한 단면형상을 그림 2.31에 도시하였다.



(Ridge)

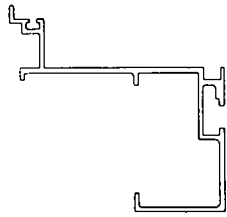


(Hinged bar)

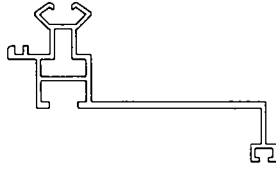


(Rafters)

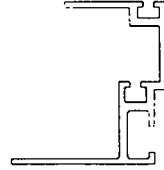
Fig. 2.30 Shape of standardized aluminium main-glazing profiles



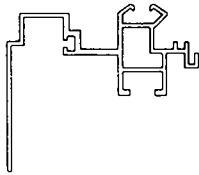
(천창하부마감재)



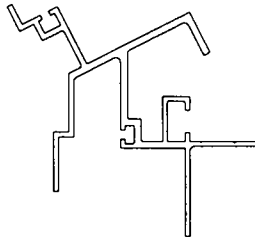
(천창측면마감재)



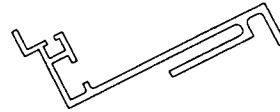
(천창받침재)



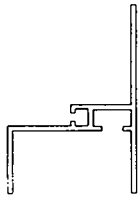
(박공바)



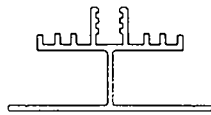
(처마마감재)



(곡부마감재)



(박공하부마감재)



(유리연결재)

Fig. 2.31 Shape of standardized aluminium profiles except main aluminium profiles



#### 4.2 알루미늄 구조재의 단면규격화

표준화된 알루미늄 구조재 11종의 규격은 표 2.27에서 보는 바와 같다.


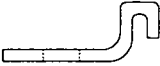
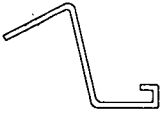





핵심알루미늄 구조재의 단면 허용공차는  $-0 \sim +0.1$ , 기타 알루미늄 구조재의 단면 허용공차는  $-0 \sim +0.2$ 로 하였다.

알루미늄 압출재인 고정구 2종, 알루미늄 서까래 덮개 1종, 연결삽입재 2종과 고무소재인 가스켓 2종 등에 대한 규격표준화 단면형상 및 제원은 표 2.28과 같다.

Table 2.27 Specification of standardized aluminum glazing member

구 분		폭 (mm)	높이 (mm)	두께 (mm)	단면적 (mm <sup>2</sup> )	허용공차 (mm)
핵심 알루미늄 구조재	ridge	42.7	87.0	1.0-2.0	387	$-0 \sim +0.1$
	hinged bar	46.8	37.55	1-1.2	141	
	rafter	25.6	24.2	1.0-1.5	149	
기타 알루미늄 구조재	천창하부마감재	61.8	59.7	1.0-2.5	250	$-0 \sim +0.2$
	천창측면마감재	46.8	36.4	1.0-1.6	158	
	천창받침재	29.0	30.2	1.0-1.5	120	
	박공바	50.5	33.3	1.0-1.5	208	
	곡부마감재	48.	29.3	1.0-1.5	166	
	처마마감재	49	52	1.0-1.5	242	
	박공하부마감재	30.5	45	1.0-1.2	123	
	유리연결재	38	19.3	1.0-1.5	100	

Table 2.28 Specifications of assembling member and fixing tool

명칭	적용 부재	단면	규격 (mm)	area (mm <sup>2</sup> )
알루미늄 서까래 덮개	서까래		25.6×7.8 ×1t	51
알루미늄 고정구 I	○ 서까래와 (중도리, 처마마감재, 곡부마감 재, 천창하부마감재) ○ 박공바와 중도리		26.5×10 ×2t	75
알루미늄 고정구 II	서까래와 C형강용마루보		43×28 ×1.5t	112
알루미늄 연결판	○ 천창회전재 상·하 ○ 곡부마감재		3×26×1.5t	54
알루미늄 연결삽입재 I	용마루, 천창하부마감재		17.1×38.6 ×1t	115
알루미늄 연결삽입재 II	천창회전재, 처마마감재, 곡부마감재, 천창받침재		3.9×8.95 ×2t	24
고무가스켓 I	3종(서까래, 용마루, 유리 연결재)을 제외한 서까래 덮개 외8종		5×5.8× 1.1~1.5t	12
고무가스켓 II	유리연결재		24×9× 1.0~5t	55

### 4.3 규격표준화 알루미늄 구조재의 기능성

#### 4.3.1 천창 회전재

천창 회전재의 구성은 그림 2.32~2.34에 도시된 바와 같이 일정 길이로 제작되는 천창회전재 몸체(20)와 이에 인접하는 회전재 몸체를 각각의 상·하판(27)(28)에 별도의 결합판(35)으로 상호 연결고정하고, 회전재몸체 상부의 힌지부(22)를 용마루재(10) 상단 외측의 힌지작동부(11)에 회전가능토록 조립하는 것으로, 회전재몸체에는 길이방향으로 연결홈(25)을 일체로 형성하여 인접하는 회전재몸체의 연결홈에 연결바(30)를 삽입하여 상호 연결 조립하게 되고, 용마루재의 힌지작동부는 내부힌지홈(12)과 이 내부힌지홈의 하부로 편심된 회전중심을 갖는 외부지지곡면(14)을 형성하여서 회전재몸체를 회전시킴에 따라 지지단과 회전라운드곡면이 용마루재의 내부힌지홈과 외부지지곡면에서 지지되며 회전하게 된다.

이 때 천창의 경우, 일반적으로 0~35° 까지 개폐 작동하도록 되어있으므로 용마루재의 외부지지곡면에 회전재 몸체의 회전라운드곡면이 0~35° 까지 지지되면서 회전하게 되어있으며, 그 지지되는 회전반경의 범위는 힌지작동부의 편심 정도에 따라 달리 형성할 수 있다.

천창 회전재의 작동은 일정 길이로 제작되어 상호 연결사용하게 되는데, 회전재몸체의 후방 길이 방향으로 형성된 연결홈과 인접하는 회전재몸체의 연결홈을 마주하게 위치한 상태로 별도의 연결바를 길이방향으로 삽입하여 상호 조립하게 된다. 회전재몸체와 인접하는 회전재몸체의 연결부위는 그 상·하판을 각각 별도의 결합판으로 덮어 씌워 상호 맞대기 방식으로 리벳(37)에 의해 체결 고정하게 되므로, 결국 연결바에 의한 1차조립후 결합판에 의한 2차 조립을 수행하므로 연결부위의 단면부위가 정확히 일치되는 상태로 간단하고 견고한 상

태로 상호 연결됨은 물론 이로 인해 회전재 몸체가 연결되는 부위로 발생하는 누수를 완전히 차단하게 되는 것이다.

회전재몸체는 용마루재와 회전 가능토록 조립 설치하게 되는데, 회전재몸체의 지지단과 회전라운드곡면을 용마루재의 내부힌지홈과 외부지지곡면의 측방에서 길이방향으로 삽입하여 조립하거나, 지지단과 회전라운드곡면의 용마루재의 외부지지곡면을 따라 측방에서 회전방향으로 조립하여 그 지지단이 내부힌지홈에 지지되도록 삽입하여 조립된다. 이 때 용마루재의 내부힌지홈과 외부지지곡면이 편심된 회전중심을 갖고 있어 회전재몸체를 회전방향으로 조립할 수 있게 되는 것이다.

그러나 천창회전재를 용마루에 조립하는 전자인 경우는 상측 연결판이 용마루힌지홈과 간섭을 일으킬 수 있으므로 상부판 설치의 조립후에 하는 것이 바람직 하다.

회전재몸체는 용마루재에서 길이방향 또는 측방향에서 작업상황에 따라 선택적으로 조립할 수 있으며 조립된 회전재몸체는 용마루에서 지지단이 내부힌지홈에 지지되고, 회전라운드곡면이 외부지지곡면에 지지되어 천창(5)의 하중을 균등 지지하므로 조립 견고성이 우수하며,

회전재몸체는 용마루에서 천창이 개폐될 때 회전재몸체의 회전에 따라 지지단은 계속적으로 용마루재의 내부힌지홈에 지지되어 있고 그 회전라운드곡면은 내부힌지홈과 하부로 편심된 회전중심을 갖는 외부지지곡면상에서 0~35° (천창의 개폐작동 각도는 일반적으로 0~35° 임)까지는 계속적으로 지지하게 되므로 천창의 개폐시에도 천창의 하중을 용마루재의 내부지지홈과 외부지지곡면이 균등하게 지지하게 되어 견고성 및 안전성이 좋게된다.

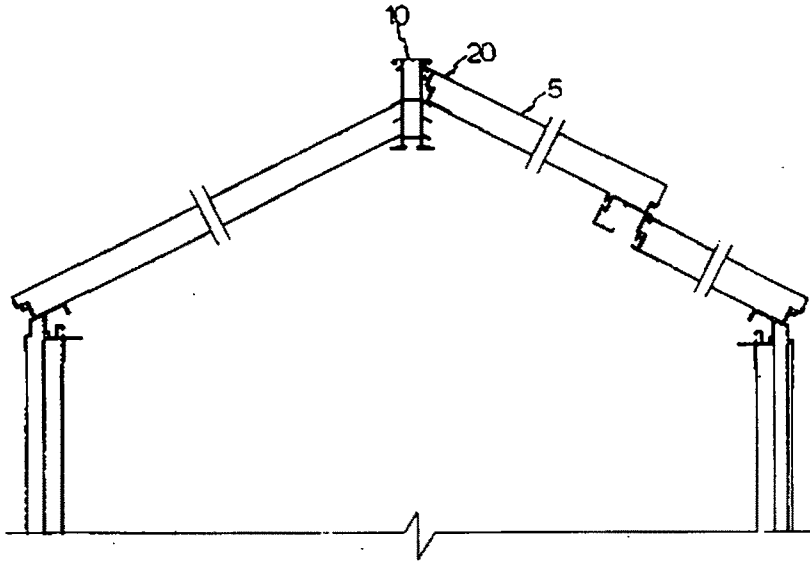


Fig. 2.32 Setting drawing of glazing members

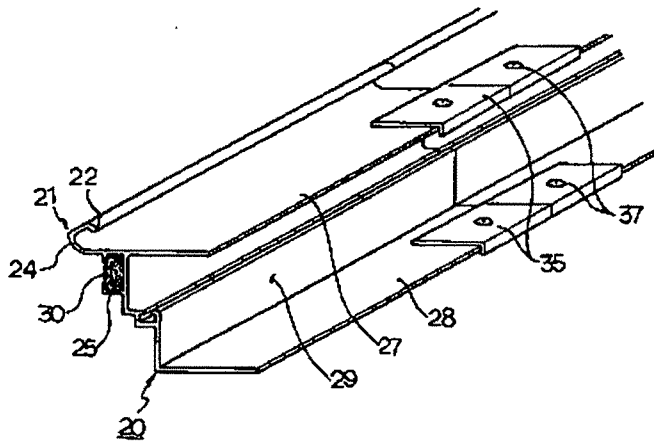


Fig. 2.33 Hinged-bar

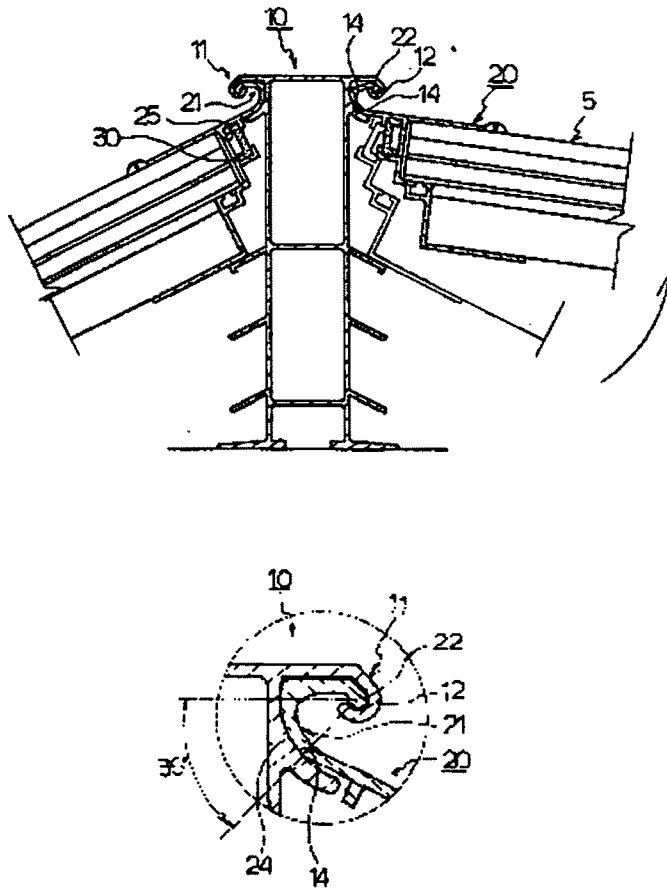


Fig 2.34 Assembly of ridge& hinged-bar for illustration of rafter function

#### 4.3.2 서까래

유리온실용 알루미늄 서까래는 그림 2.35~2.38에 도시된 바와 같이 상부중앙의 길이방향으로 체결홈을 형성하는 서까래몸체의 양측방향에 판유리를 설치

하고 그 위에서 상부커버로 고정하도록 된 것이다.

서까래몸체의 체결홈 상부에는 걸림단(16)을 형성하는 탄발걸림편(15)을 길이방향으로 형성하여, 하부에는 내향 돌출된 걸림돌기(18)를 길이방향으로 형성하여서 상부에서 알루미늄커버를 체결피스로 체결홈에 체결시킬 때 탄발걸림편과 걸림돌기가 체결피스의 나사홈(36)이 이탈 않도록 한다. 또한 서까래몸체의 상부에는 하부에 걸림고리(45)가 있는 고무소재의 커버(40)를 탄발걸림편에 압입하여 걸림고리가 탄발걸림편의 걸림단에 걸려 지지되어 판유리를 고정하도록 되어 있다.

서까래 몸체 양쪽에는 수로단(13)을 마련하여 유리연결재로부터 누수가 발생할 때 이 물을 서까래의 수로단으로 끌어들이어 마감재를 통하여 온실 외부로 배출토록 되어 있다.

서까래는 몸체하부의 하부체결홈에 체결볼트를 삽입하여 일정위치에 고정 설치하게 되고, 상부의 양측방에 가스켓을 조립한 상태로 양측방의 판유리를 지지 설치하게 된다. 이와 같은 상태에서 판유리를 고정하기 위해 알루미늄커버 또는 고무재커버를 선택적으로 사용할 수 있다.

먼저 알루미늄커버를 사용하는 경우, 서까래 몸체의 상부에 길이방향으로 알루미늄커버를 설치한 상태로 체결피스로 체결하게 된다. 이때 체결홈의 상부의 탄발걸림편이 체결피스가 들어가 체결될 때 벌어지면서 체결피스의 나사홈을 탄성적으로 지지하게 되고, 체결홈의 하부에 내측으로 돌출 형성된 걸림돌기가 체결피스의 나사홈에 지지되게 된다. 결국 체결피스는 체결홈에 체결됨과 동시에 상하부에서 탄발걸림편과 걸림돌기에 의해 2중으로 지지되는 견고한 체결 구조를 갖게 되어 판유리를 견고하게 고정하게 된다.

고무재커버를 사용하는 경우는, 서까래 몸체 상부의 탄발걸림편 사이로 고무

재커버의 하부 걸림고리를 강제 삽입하게 되면, 이때 탄발걸림편이 탄발적으로 벌어지면서 걸림고리를 삽입하게 되면서 걸림고리가 탄발걸림편의 걸림단에 걸려 고정하게 된다. 결국 고무재 커버는 그 걸림고리가 탄발걸림편의 걸림단에 걸려 지지됨과 동시에 탄발걸림편이 내측을 향해 탄발적으로 지지하는 힘에 의해 이탈이 방지되면서 판유리를 견고한 상태로 고정하게 되는 것이다.

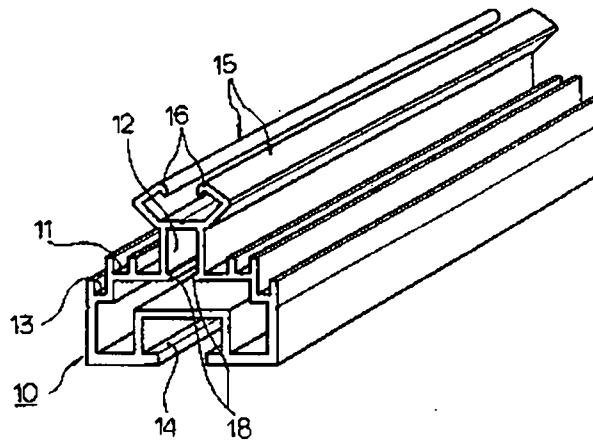


Fig. 2.35 Rafter



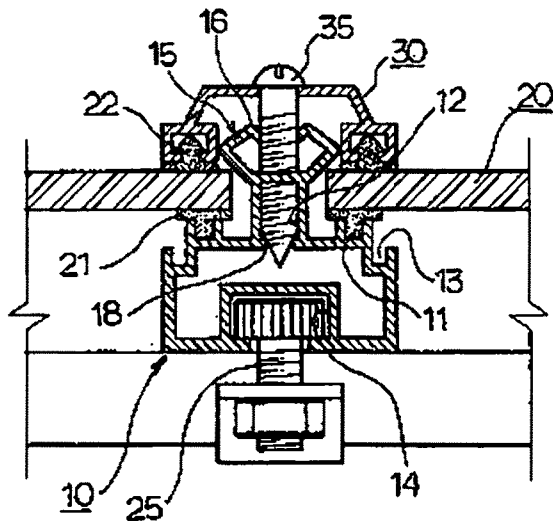


Fig. 2.36 Assembly of rafter & its aluminium cover

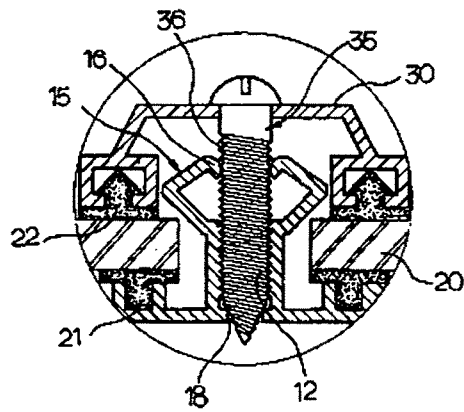


Fig. 2.37 Detail view of rafter assembly

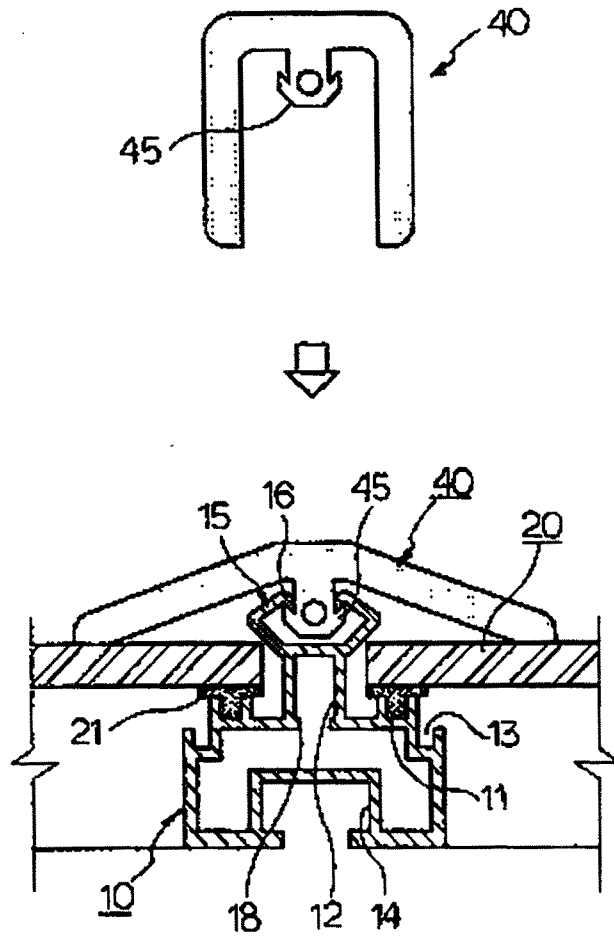


Fig.2.38 Assembly of rafter & its rubber cover

#### 4.3.3 용마루

그림 2.39~2.41에 도시한 바와 같이 용마루 본체의 상부양측으로는 힌지작동부를 형성하여 천창 회전재의 힌지부(31)가 회전할 수 있도록 조립되고, 본체의 하부 양측으로는 지붕 서까래가 고정 설치된다.

용마루 본체의 힌지작동부는 내측으로 개방부(12a)를 형성하는 내부힌지홈과, 이 내부힌지홈의 하부 외측으로 개방부(14a)를 형성하는 외부지지곡면을 일체로 형성하되 외부지지곡면은 내부힌지홈의 하방으로 편심된 회전중심을 갖도록 형성하여, 천창 회전재의 힌지부(32)가 용마루재 본체의 내부힌지홈에 지지되고, 그 회전라운드곡면(34)이 외부지지곡면(14)과 동일 회전곡면으로 설치된 상태에서 천창 회전재를 회전시킴에 따라 천창회전재의 회전라운드곡면이 편심된 회전중심에 의해 일정각도에서 힌지작동부의 외부지지곡면에 지지되며 회전작동되도록 이루어 졌다.

이 때 천창의 경우 일반적으로 0~35° 까지 개폐하여 사용하므로 힌지작동부의 외부지지곡면에 천창회전재의 회전라운드곡면이 0~35° 까지 지지되면서 회전작동하도록 되며, 그 지지되는 회전반경의 범위는 힌지작동부의 내부힌지홈과 외부지지곡면의 편심정도에 따라 달리 형성된다.

용마루 본체의 하부양측에는 일정 경사를 갖는 지지구(20)를 양측으로 돌출되게 형성하여 지붕서까래를 지지한 상태로 이를 고정설치하게 되며, 용마루 본체는 내부의 길이방향으로 연결홈을 형성하고 여기에 연결바를 삽입하므로 인접하는 용마루 본체와 연속적으로 조립하게 된다.

용마루 본체는 일정 길이로 제작되어 연결하여 사용하게 되는데, 이는 용마루 본체 내부에 길이방향으로 형성된 연결홈을 연결하려고 하는 용마루 본체의 연결홈과 마주하게 위치한 상태에서 별도의 연결바를 길이방향으로 삽입

하여 조립하게 되므로 그 연결부위의 단면이 정확히 일치되며, 간단하고 견고한 상태로 상호 연결되며 또한 이로 인해 그 연결되는 부위에서의 누수 발생을 완전히 차단하게 되는 것이다.

이와 같이 길이방향으로 연결되는 용마루 본체에는 그 상부양측의 천창 회전재가 움직일 수 있도록 조립하게 되는데, 힌지작동부의 내부힌지홈에 천창 회전재의 힌지부를 삽입하여 조립하게 된다.

이때 힌지작동부는 내부힌지홈과 그 외부지지곡면이 편심된 회전중심을 갖고 있기 때문에 천창 회전재의 힌지부를 조립할 때 그 회전라운드곡면이 힌지작동부의 외부지지곡면에 간섭이 배제되는 상태로 용이하게 조립될 수 있게 된다.

이와 같이 용마루 본체에는 천창회전재를 그 길이 방향 또는 측방향에서 작업상황에 따라 선택적으로 조립할 수 있으며, 조립된 천창 회전재는 용마루 본체상에서 힌지부가 내부힌지홈에 지지되고, 또한 그 회전라운드곡면이 동일 회전곡면을 갖는 외부지지곡면에 접한 형태로 지지되어 있기 때문에 천창의 하중을 내부힌지홈과 외부지지곡면이 균등 지지하게 되므로 회전시 힌지 결합부가 요동되지 않아 고장 발생률을 줄이며 수명을 연장시킬 수 있다. 또한 힌지부가 균등하게 지지되어 회전되므로 기밀성을 유지할 수 있어 온실 에너지 절약 측면에서도 유용할 것으로 판단되었다.

또한, 용마루 본체의 하부양측에는 지지구를 마련하여 지붕 서까래를 지지구에 지지시킨 상태로 현장에서 고정 설치시키므로 작업의 편리성을 도모할 수 있으며, 지지구에 의해 지붕 서까래가 지지되고 있어 기존 방식에 비해 견고성이 뛰어나다.

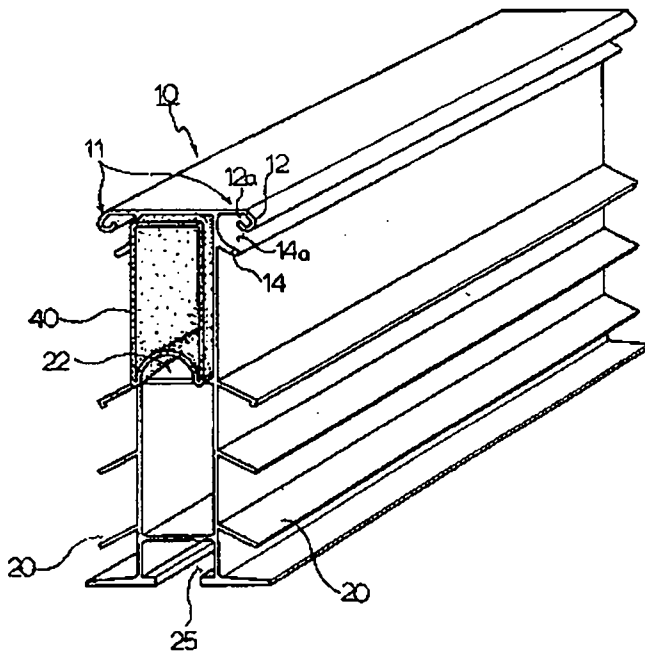


Fig. 2.39 Ridge with connector

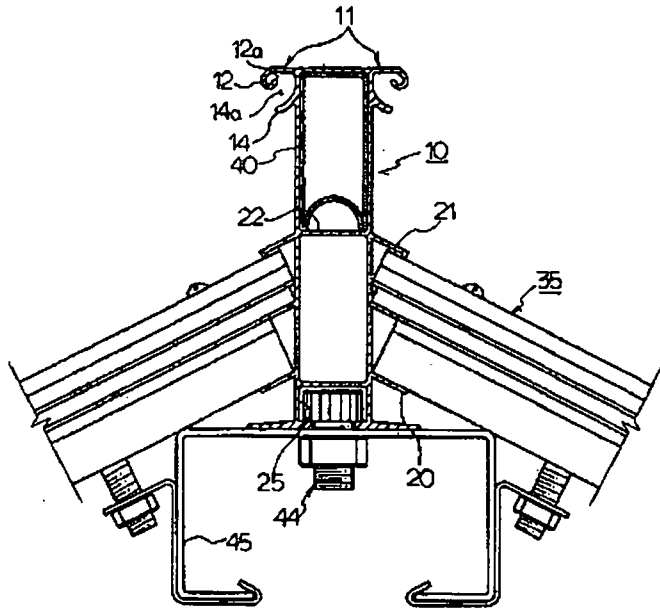


Fig. 2.40 Assembly and installation of ridge

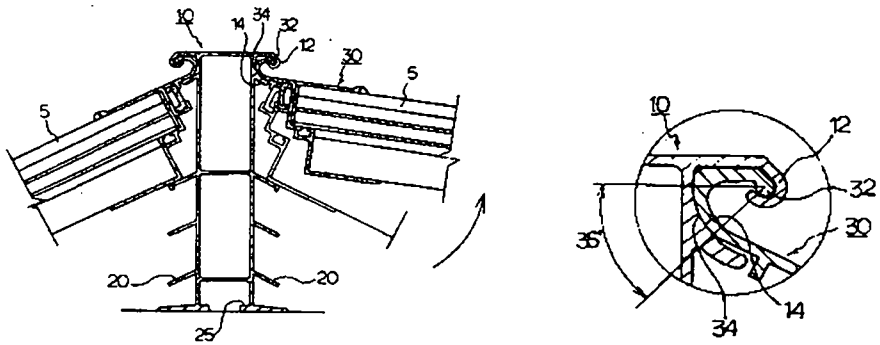


Fig 2.41 Assembly of ridge&rafter for illustration of ridge function

#### 4.4 단면 분석

규격표준화 된 알루미늄 구조재의 굽힘응력을 분석하기 위하여 용마루 및 서까래의 단면을 분석한 결과, 용마루의 단면2차모멘트는  $35.23\text{cm}^4$  서까래의 단면2차모멘트는  $1.09\text{cm}^4$ 였고, 기하학적 단면의 중심높이는 용마루의 경우 45.6mm, 서까래의 경우 14.80mm 로 나타났다.

특히, 서까래의 단면 2차모멘트는 기본단면보다 약 2배 이상 크게 나타나 이론적으로는 2배 이상의 굽힘내력을 기대할 수 있었다.

#### 4.5 규격표준화 알루미늄 구조재의 기계역학특성 평가

알루미늄 구조재로 규격표준화된 용마루 및 서까래를 새로 개발된 소재로 압출하여 압축 및 항절시험을 수행하고 항복하중, 항복변위 및 항복응력 등의 기계역학적 특성을 분석한 결과는 그림 2.42, 2.43 그리고 표 2.29, 2.30에서 보는 바와 같다.

##### 4.5.1 압축시험

규격표준화된 구조재의 압축시험은 제3절의 압축시험과 같은 방법으로 하였다.

용마루의 압축항복은 하중 825kg, 변위 0.42mm에서 항복이 나타났고, 압축 항복점에서 압축좌굴현상이 뚜렷하게 나타났다. 서까래는 항복점이 뚜렷하지 않아서 Origin프로그램을 사용하여 탄성영역을 추적  $Y=-2.1336+1776.799X$  의 회귀직선식을 도출하여 항복점을 구하였으며 그 결과 서까래의 항복하중은 1,129kg, 항복변위는 0.63mm으로 나타났다. 서까래의 압축항복은 서까래 웨브의 상부에 설치된 수로단으로 인하여 서까래 유리지지부에 가력된 힘은 웨브의 상부에서 굽힘력과 압축력 등이 복합적으로 작용하여 나타났다.

압축시험에서 용마루보다 서까래의 항복하중이 크게 나타난 것은 서까래의

세장비가 용마루보다 작기 때문에 기인된 것으로 생각된다.

표 2.29에서 보는 바와 같이 압축 항복하중에 대한 항복응력 분석결과는 용마루 5.16kgf/mm<sup>2</sup>, 서까래 7.06kgf/mm<sup>2</sup>으로 나타났다.

규격표준화된 용마루의 압축항복하중 및 항복응력은 용마루 ㉔-2보다 각각 30%이상 높게 나왔으나 서까래의 항복하중 및 항복응력은 약 38% 감소 되었는데 이의 원인은 서까래에 누수처리 기능을 부여하기 위하여 수로단을 서까래 몸체에 설치함으로써 이 부분에서 국부 굽힘력이 작용하기 때문이라고 판단된다. 그러나 규격표준화된 서까래의 압축항복 내력은 매우 높아 안전성은 충분한 것으로 나타났다.

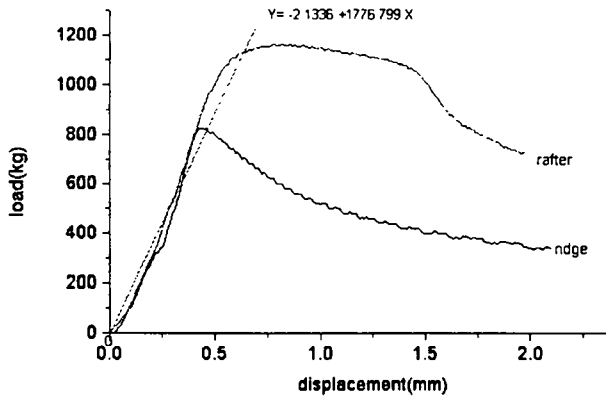


Fig.2.42 Load-displacement relation of compression test for ridge and rafter



Table 2.29 Result of compression test for aluminum profile

Item	Yield load (kgf)	Yield displacement (mm)	Yield stress (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield appearance position (h/H)
Ridge	825	0.42	5.16	0.55
Rafter	1,129	0.63	7.06	0.53

(주)h/H : 항복지점/ 부재총

#### 4.5.2 항절시험

규격표준화 알루미늄 구조재인 용마루 및 서까래의 항절시험은 지간거리 625mm(서까래 지간 1000mm), 지지 및 하중형태는 단순보 집중하중방식으로 하였으며, 설정하중의 크기는 5톤 로드셀(load cell), 시험속도는 0.5mm/min의 등속도로 하였고, 시험종료는 탄성영역을 벗어나고 최대점을 통과하여 시험편이 항절될 때까지로 하여 시험한 결과는 그림 2.43에서 보는 바와 같다.

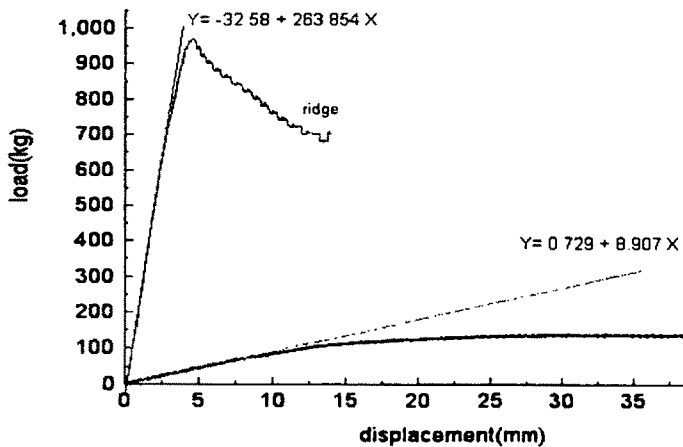


Fig.2.43 Load-displacement relation of transverse test for ridge (span 625mm) and rafter (span 1000mm)

표 2.30에서 보는 바와 같이 용마루의 경우 항복하중은 663kg 항복변위는 2.59mm, 최대하중은 968kg, 최대변위는 4.49mm로 나타났고, 서까래의 경우 항복하중은 59.9kg, 항복변위는 6.84mm, 최대하중은 110kg, 최대변위는 14.49mm로 나타났다. 또한 항복점에서 분석한 굽힘모멘트는 용마루 103.6 kg-m, 서까래 14.9kg-m로 나타났으며, 굽힘응력은 용마루 13.4kgf/mm<sup>2</sup>, 서까래 20.1kgf/mm<sup>2</sup>으로 분석되었다.

굽힘시험 결과로부터 서까래의 굽힘응력은 20.1kgf/mm<sup>2</sup>로 나타나 개발소재의 인장항복응력이 26.4kgf/mm<sup>2</sup>이므로 규격표준화된 서까래는 굽힘력에 의한 국부 좌굴 등의 현상이 나타나지 않고 비교적 정상 굽힘이 일어났다고 판단되며 또한, 서까래의 설계하중 174.2kg을 집중하중으로 환산한 하중 58.1kg보다 규격표준화된 서까래의 항복하중 59.9kg이 더 높아 서까래의 안전성이 확보하였다고 판단되었다.

Table 2.30 Result of Transverse test for aluminum profile

Item	second moment of Inertia I (cm <sup>4</sup> )	modulus section A (cm <sup>2</sup> )	yield// (maximum) load (kg)	yield// (maximum) displacement (mm)	bending moment My (kgf-m)	bending stress (kgf/mm <sup>2</sup> ) $\sigma_y$
ridge span 625	35.23	7.73	663// (968)	2.59// (4.49)	103.6	13.4
rafter span 1000	1.09	0.74	59.9// (110)	6.84// (14.49)	14.9	20.1

## 제5절 결과요약

- 1) 유리온실용 알루미늄구조재의 적정 설계를 위하여 먼저 유리온실에 작용하는 설계하중을 내구년수 20년, 재현기간 57년, 안전율을 70%로 하여 산정한 결과, 천창이 열린상태에서 서까래에 작용하는 풍하중은 174.2kg, 곡부의 적설하중은 84.2kg으로 나타났으며 용마루 및 천창회전재의 힌지부에 작용하는 수평하중은  $4.57 \times 10^{-2} \text{kg/mm}$ , 수직하중은  $-9.16 \times 10^{-2} \text{kg/mm}$ 였다.
- 2) 유리온실용 알루미늄구조재의 규격표준화를 위하여 기존의 유리온실에 사용되고 있는 용마루(5종), 천창회전재(3종), 서까래(3종) 등 주요 알루미늄구조재의 단면형상 및 기계역학적 특성을 조사분석한 결과
  - 용마루는 웨브(web)의 수가 한개인 것과 두개인 것이 사용되고 있었으며 전체 크기는 폭이 60~98mm, 높이가 110~130mm였고 단면적은 612~848mm<sup>2</sup>였으며 단면분석결과, 단면2차모멘트는 90.5~193.9cm<sup>4</sup>이었고 단면계수비와 휨 강성비는 용마루 ①과 ⑤에서 높게 나타났다.
  - 천창회전재의 횡단면적은 187~256mm<sup>2</sup>이었고 단면2차모멘트는 9.4~12.2cm<sup>4</sup>였고 단면계수비와 휨강성비는 모두 창문이 열렸을 때가 높게 나타났다.
  - 서까래의 횡단면적은 151~201mm<sup>2</sup>이었고 단면2차모멘트는 0.9~1.4cm<sup>4</sup>였으며 휨강성비는 서까래 ①과 ③에서 높게 나타났다.
  - ANSYS를 사용하여 천창이 열린상태에서 설계풍하중 작용시 단면검증을 실시한 결과, 용마루 ②의 Von Mises 최대응력이 6.54kg/mm<sup>2</sup>, 최대변형은  $1.25 \times 10^{-3}$ 으로 가장 높았으며 천창회전재 ②의 최대응력 2.11kg/mm<sup>2</sup>, 최대변형은  $0.403 \times 10^{-3}$ 으로 용마루, 천창회전재 모두 설계허용범위 내에 있었다.
  - 80mm 길이의 용마루와 서까래를 UTM으로 압축시험한 결과, 압축하중은 용

마루 ⑤가 838kg으로 가장 높았고 항복응력은 ③이 2.72kg/㎡으로 가장 높았으며 서까래의 경우는 ①과 ②가 8.75~12.6kg/㎡으로 높게 나타났다.

- 지간 625mm로 항절시험한 결과, 용마루의 경우 급힘항복하중은 450~991kg, 급힘항복응력은 4.61~6.58kg/㎡, 서까래의 급힘항복하중은 63~105kg, 급힘항복응력은 17.5~20.7kg/㎡으로 나타났으며 용마루는 ①, ④, ⑤가 서까래는 ①, ③이 응력면에서 유리하였다.

3) 기존의 알루미늄구조재에 대한 조사분석결과와 기능성 등을 고려하여 용마루 4종, 천창회전재 3종, 서까래 2종을 설계 제작하여 시험한 결과,

- 설계풍하중 및 설하중에 대한 용마루의 Von Mises 최대응력은 모두 허용응력보다 작았으나 ⑥-1, ⑥-2가 특히 안전하였고, 압축항복응력 및 급힘응력도 같은 경향으로 나타났으나 천창회전재와 결합시 회전 안전성이 높고 간섭이 적은 ⑥-2를 선정하였다.

- 풍하중 및 설하중에 대한 천창회전재의 Von Mises 응력은 모두 허용응력보다 작았고, ④-1과 ④-2가 특히 안전하였으나 용마루에서 이탈 위험성이 적은 ④-2를 선정하고 여기에 반중공형의 연결재 삽입부를 추가하여 연결성을 향상시켰다.

- 서까래의 경우는 모두 급힘항복하중이 설계허용기준을 만족시키지 못하여 단면 보강이 필요하였다. 따라서 중공이 하나로 되어 압출성이 우수한 ④-2를 선정하여 ANSYS 유한요소법으로 최적화설계를 수행하여 서까래의 하단 두께를 1.21~1.5mm로 하고 폭과 높이를 각각 0.24mm 및 1.9mm 증가시켜 단면적을 144㎡으로 설계 보강하였다.

4) 위의 시험결과를 기준으로 용마루, 천창회전재, 서까래 등 3종의 구조재와 8종의 마감재 및 6종의 연결재, 고정구를 표준화하고 이들을 새로 개발한 합금으로 압출하여 기계역학적 특성과 기능성을 평가한 결과,

- 용마루의 단면2차모멘트는  $35.2\text{cm}^4$ 이었으며 압축항복응력은  $5.16\text{kg}/\text{mm}^2$ , 항복변위는  $0.42\text{mm}$ 였고 급힘항복하중은  $825\text{kg}$ , 급힘항복응력은  $13.4\text{kg}/\text{mm}^2$ 으로 안전성이 높게 나타났다.
- 서까래의 단면2차모멘트는  $1.09\text{cm}^4$ 이었으며 압축항복응력은  $7.06\text{kg}/\text{mm}^2$ , 항복변위는  $0.63\text{mm}$ 였고,  $1,000\text{mm}$ 지간에서의 급힘항복하중  $59.9\text{kg}$ , 급힘응력은  $20.1\text{kg}/\text{mm}^2$ 으로 안전한 것으로 판단되었다.
- 용마루와 용마루의 연결은 알루미늄 연결바의 삽입에 의하여 천창회전재의 연결은 이음판 및 연결바 삽입에 의하여 이루어지도록 하였고, 서까래의 덮개는 고정나사로 서까래를 조립고정 되도록 설계제작 하였다.

## 【참고문헌】

1. 김평탁, 건축용어대사전, 기문당, 1996
2. 건축도서출판공사, 건축도서디테일 5: 알루미늄금속건축, 편집부, 1998
3. 고재근외2인, 1986. 시설하우스 안전구조설정을 위한 역학적 연구. 농시논문집(농업산학협동편). 농촌진흥청
4. 권태용, 알루미늄건축, 반도출판사, 1998
5. 농어촌진흥공사. 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종)
6. 농촌진흥청, 농가보급형 유리온실 설계도, 1994
7. 대한건축학회, 강구조 계산 기준 및 해설, 1983
8. 대한건축학회, 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설, 1982
9. 문태섭, 탄성론, 기문당, 1993
10. 장준호, 건축구조계산 편람, 1996
11. 정일영외2인, 1992. 강도설계법과 허용응력도 설계법의 부재능력에 대한 비교연구. 대한건축학회논문집 8권1호
12. 허명재, 구조실무편람, 1994
13. 小栗富士雄, 기계설계도표편람, 대광서림, 1991
14. 桑村 仁, Lateral Buckling Strength of H-Section beams, 東京大學修士論文, 1977
15. A. C. Taylor, M. Ojalvo, Torsional Restraint of Lateral Buckling, Proc. of ASCE, Vol. 92, ST2,
16. B. Kato, H. Akiyama, Lateral Buckling of Beams under Practical Loadings and Restraints, Stability of Steel Structures, 1977
17. Cornick, Tim, Computer-Integrated Building Design, E. & FN Spon, 1996
18. Frechette, L., Builder's Guide to New Materials & Techniques, McGraw-Hill, 1997
19. Join E. Bower, Ultimate Strength of Beams with Rectangular Holes, ASCE, Vol. 94, (p.1315-1337), 1968
20. Przemieniecki, J.S. 1968. Theory of matrix structural analysis. Macgraw-hill. New York

### 제3장 유리온실용 알루미늄합금 개발

현재 우리나라에서 첨단유리온실에 사용되는 구조재의 알루미늄합금소재로 6000계열의 알루미늄합금을 사용하고 있으나 유리온실 환경에 적합하도록 특별히 개발된 것도 없고 이에 대한 연구결과도 찾아볼 수 없는 실정이며 네델란드 등의 선진외국에서도 6063, 6061 등 6000계열의 알루미늄합금을 사용하고 있으나 합금의 미량성분요소 함량과 열처리 등의 압출가공기술에 대하여는 전혀 보고된 바가 없다.

유리온실용 알루미늄 구조재는 국내 알루미늄 압출업체에서 주로 6063계열의 알루미늄합금의 화학조성을 그대로 용해, 주조하여 압출재를 만들어 사용하고 있어 알루미늄 구조재의 강도, 응력 등 역학적 최적설계가 미흡하고 표면처리 등의 품질이 떨어져 구조변형 등에 따른 유리파손, 흘러내림 등의 문제점이 일어나고 있다.

따라서 우리나라의 유리온실특성에 적합하도록 강도 및 내식성이 뛰어나고 압출성이 우수한 알루미늄 합금개발이 절실히 요구되고 있다.

이 연구에서는 유리온실용 알루미늄 합금소재를 개발하기 위하여 국내외에서 사용되는 알루미늄 구조재의 합금성분 및 물리적 특성을 비교하여 강도와 압출성이 뛰어난 알루미늄 합금소재를 개발하고자 하였으며 개발합금의 목표는 다음과 같다.

구 분	현 행	최 종 목 표
○기계역학적 특성 - 인장강도 - 항복강도 - 연신율(%)	240MPa 18kg/mm <sup>2</sup> 8% (KS기준)	280MPa이상 26kg/mm <sup>2</sup> 12%이상
○압출성(6063을 100 으로할때)	90	80



## 제1절 Al-Mg-Si계 합금

연구 개발하고자 하는 합금은 Al-Mg-Si계 합금인 6000계 합금으로서 기계적 성질을 향상시키는  $Mg_2Si$ 를 형성하기 위하여 적절한 량의 Mg, Si를 함유하고 있는 합금이다. Al-Mg-Si계 합금은 2000계나 7000계에 비하여 강도가 높지는 않지만, 부식 저항성과 성형성, 용접성, 가공성 등의 기계적 특성이 우수하며 6000계 합금의 대표적인 것으로는 AA6061, AA6063, AA6005합금이 있다. Al-Mg-Si계 합금은 건설 건축, 자동차산업 등 많은 분야에서 널리 사용되고 있다.

여기서는 합금개발의 대상인 6000계열합금 즉, Al-Mg-Si합금의 상태도와 합금의 시효경화과정 및 압출 가공성 등을 분석하여 목표로 하는 기계적 성질을 얻고자 하였다.

### 1.1 Al-Mg-Si계 합금의 일반특성

알루미늄 전신재를 차지하고 있는 압출재의 비율은 압연재 보다 높으며 그 중에서도 건축용 샤시를 주체로 하는 건자재 관계의 수요가 압도적으로 많다. Al-Mg-Si계 합금은 알루미늄합금의 약 47%를 차지하며 그 중에서도 6063합금이 95%를 차지하고 있어 대부분 Al-Mg-Si계의 6063합금이 사용되고 있다.

열처리형의 Al-Mg-Si합금은 1916년에 발명되어 1922년에 송전선용 합금으로 실용화되었으며 특히 압출성, 표면처리성이 좋은 6063합금이 샤시에 이용하게 되어 많은 성장을 하였다

지금까지 Al-Mg-Si계 합금 압출형재는 건축·수송의 양분야에서 크게 발전하고 있지만, 이러한 용도의 합금은 다음과 같은 재료특성이 요구된다.

(1) 압출 가공면에서는 우수한 압출가공성(복잡한 형태를 고속으로 양산 가능할 것)과 프레스 소입성(압출시 강제공냉으로 소입이 가능) (2) 압출재의 이용면에서는 충분한 기계적 성질, 양호한 3차가공성(굽힘, punching 가공), 인성,

양호한 내식성 및 표면성장(압출 후 또는 양극산화처리 후의 표면 마무리성)등이다.

따라서, 기초적인 시효경화 특성에 위와 같은 특성이 연구개발의 대상이 되었다.

## 1.2 Al-Mg-Si계 상태도, 조직과 구성상

### 1.2.1 Al-Mg-Si 3원계 평형 상태도.

Al-Mg-Si계 합금의 상태도를 그림 3.1에 표시하였다. Mg-Si 2원계에  $Mg_2Si$  인 화합물이 존재하고, 이  $Mg_2Si$  와 Al을 잇는 선은 Al-Mg-Si의 2원계 상태도를 구성한다(그림 3.2). 따라서 Al-Mg-Si 3원계 실용합금은 Al- $Mg_2Si$ 의 2원계 합금으로 생각할 수 있다. 이 2원계에 의해서 본 3원계는 2개로 분리되어 한쪽은 Al-Si- $Mg_2Si$ 의 영역이고 다른쪽은 Al- $\beta(Al_8Mg_5)$ - $Mg_2Si$ 의 영역으로 어느 것이나 3원공정 반응이 존재하고, 3원공정점은 전자는 D, 후자는B점으로 나타내었다. (그림 3.1)

$\alpha$ (Al)중의  $Mg_2Si$ 의 최대고용도는 595℃에서 1.8%(1.14%Mg, 0.66%Si)이지만 그림 3.2에서 알 수 있듯이 이  $Mg_2Si$ 의 고용도는 온도의 하강과 함께 급격히 감소하여 상온에서는 거의 0에 가까워진다. 이 용해도의 변화에 의해서 이러한 계열의 합금에는 시효경화성이 나타난다.

또한,  $Mg_2Si$ 의 고용도는  $Mg_2Si$ 의 균형조성(Mg/Si=1.73)보다 과다한 Si 및 Mg의 존재에 의해 감소하는데 감소비율은 전자의 경우에는 적지만, 후자의 경우는 꽤 크게 나타난다. 실용합금조성은 Mg:0.25-1.5%, Si:0.20-1.5% 수준이다.

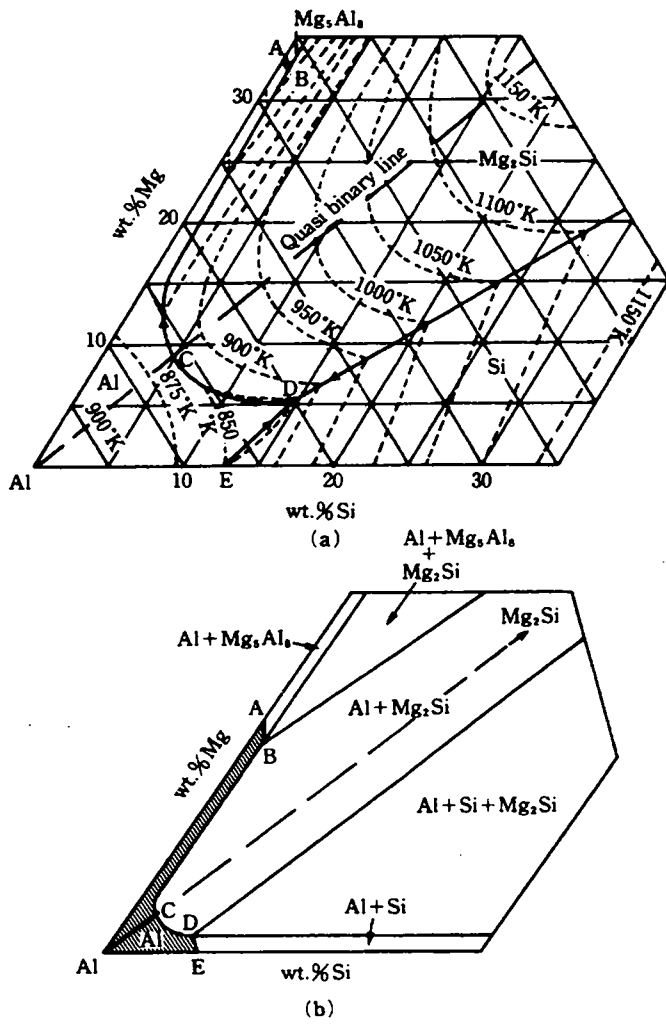


Fig. 3.1 Ternary phase diagram of Al-Mg-Si.

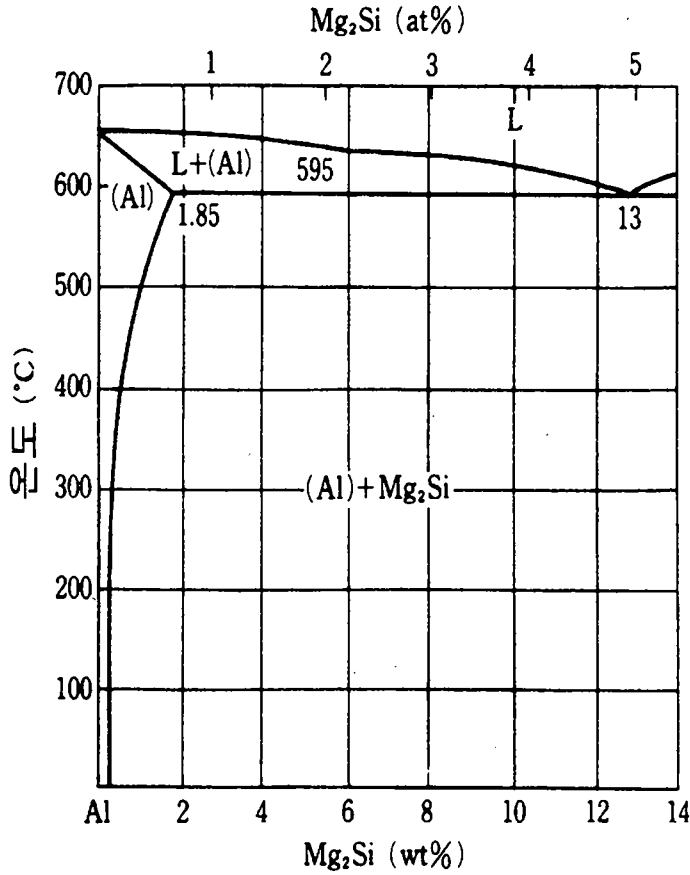


Fig. 3.2 Binary phase diagram of Al-Mg-Si.

### 1.2.2 조직과 구성상

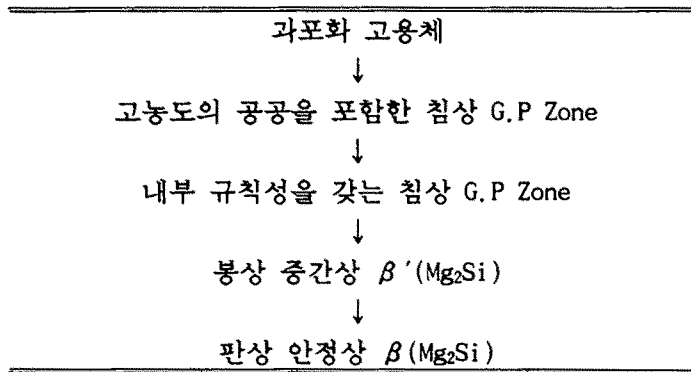
Al-Mg-Si계 실용합금에는 불순물인 Fe가 0.7% 이하 함유되어 있으며, 강도나 인성, 연성 등의 향상을 위해서 Cu:0.04~0.9%, Mn:0.05~1.0%, Cr:0.05~0.35% 등이 첨가되어 있는 것도 있다. Al-Mg-Si-Fe 4원계에서는 Al-Mg-Si 3원계에서의 2개의 포정반응, 즉  $L + Al_3Fe \rightarrow \alpha(Al) + \alpha AlFeSi$ 와  $L + \alpha AlFeSi \rightarrow \alpha(Al) + \beta AlFeSi$ 이 일어난다. 그러나 실제의 응고조건에서는 포정반응은 일어나지 않고 2차 응고반응이 진행된다.

### 1.3 Al-Mg-Si계 합금의 시효경화 과정

#### 1.3.1 시효경화 과정

일반적으로 Al-Mg<sub>2</sub>-Si의 2원계 합금의 과포화 고용체의 상 분해 과정은 표 3.1에서 보는 바와 같다.

Table 3.1 Age hardening process of Al-Mg<sub>2</sub>-Si alloy.



보통 저온 시효의 초기에 형성된 G.P Zone의 측정은 X선 소각산란법이 이용되고 있으나 Al-Mg-Si합금에서는 Al원자 및 Si원자의 X선 산란인자가 서로 아주 가까운 값이기 때문에 X선 소각산란법에 의한 G.P Zone의 측정은 곤란하여 주로 전자선 회절 및 전자현미경 관찰에 의해 추정되고 있다.

Al-0.97%, Mg-0.61%, Si합금의 경우 70℃에서 1시간, 150℃에서 24분 또는 200℃에서 5분의 시효에 의해 침상 G.P Zone이 형성되며, 그 크기는 20~100nm, 직경은 약 6nm이고, 갯수는 약 $5 \times 10^{15}$ 개/cm<sup>3</sup>가 존재하는 것으로 전자선 회절에 의해 관찰되며 그 구조는 그림 3.3에서와 같이 [100] 방향에 대해서 Si원자가 1원자배열을 하고 그 양측에 Mg원자가 배열하여 CaF<sub>2</sub>형 구조를 갖는 안정상 β의 원자배열과 유사한 구조를 갖는 것을 나타내고 있다. 또한 X선적

연구를 용이하게 하기 위해서 Si을 Ge으로 치환한 Al-Mg-Ge합금의 침상 G.P Zone은 최초에는 내부 규칙성은 없고, 고농도의 공공을 함유한 집합체로서 시효가 진전되면 앞서 언급한 것처럼 선상의 주기성이 나타나는 것을 알 수 있다. 또, 침상 G.P Zone에 대해서는 준 안정상  $\beta'$ 라고 하는 보고가 있다.

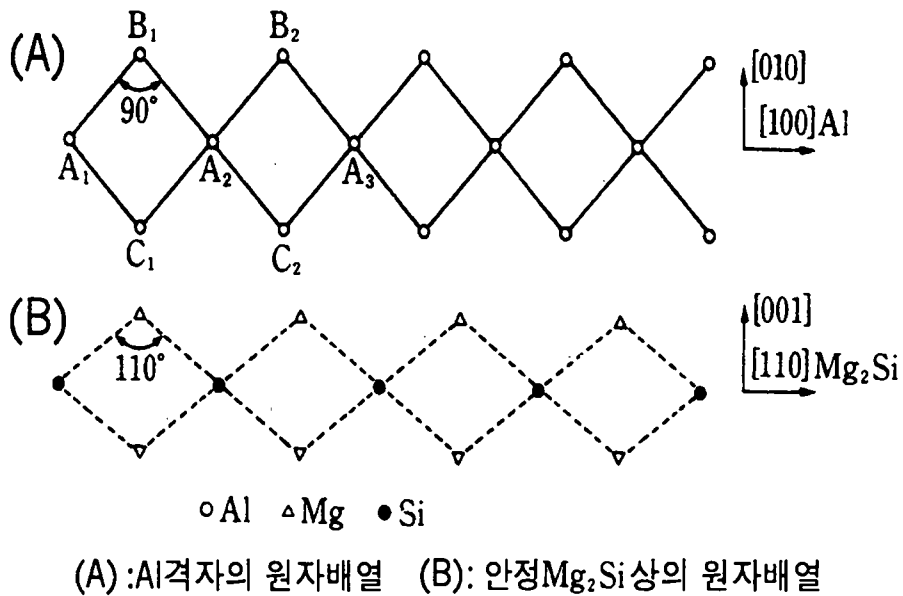


Fig. 3.3 Orientation relationship of needle-like G.P. Zone of Al-Mg-Si alloys to the lattice structure.

봉상의 중간상  $\beta'$ 는 200℃이상의 시효, 예를 들어 200℃에서 5시간의 시효에 의해 침상 G.P Zone에서 무확산 변태에 의해 형성되어 길이와 두께가 증가하며 갯수는 감소한다. 또 제한시야 회절에 의해 모재와 반정합으로 그 방위관

계는  $[100]_{\beta} // [100]_{\text{M}}$ ,  $[011]_{\beta} // [100]_{\text{M}}$  인 것을 나타낸다. 여기서 M은 모재(Matrix)를 나타낸다.

안정상  $\beta$  '는 고온시효, 예를 들어 260°C에서 3시간의 시효에 의해서 봉상 중간상  $\beta$  '의 축과 수직방향으로 판상형태로 성장하는 것이 전자 현미경에 의해 관찰되었으며 그 결정구조는  $\text{CaF}_2$ 형이고, 모재와의 방위관계는

$[100]_{\beta} // [100]_{\text{M}}$ ,  $[110]_{\beta} // [100]_{\text{M}}$  임이 X선 회절방식에 의해 밝혀졌다.

### 1.3.2 시효처리: 인공시효와 2단시효

용체화·소입처리에 의해 얻어진 과포화 고용체의 상분해는 시효처리의 온도와 시간에 지배되며, 그에 수반되어 출현하는 석출상의 종류, 양, 크기 등에 따라 기계적, 물리적 성질 등이 변화한다. 그림 3.4에 6061합금의 시효곡선을 나타내었다. 이 합금의 최고강도는 침상 G.P Zone에 의해 얻어진다.

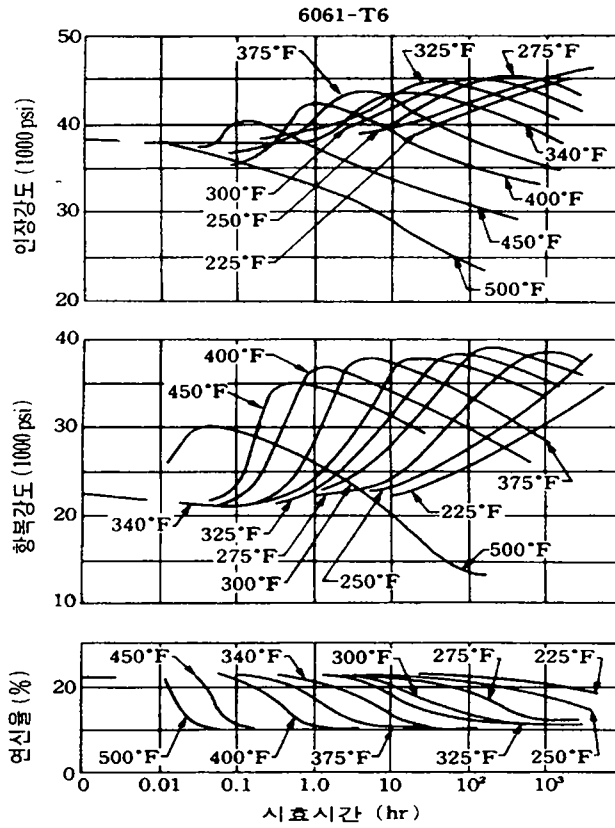


Fig.3.4 High temperature aging curves of 6061 alloys.

시효처리에는 자연시효(실온시효)와 인공시효(고온시효)가 있으며 Al-Mg-Si 계 합금은 자연시효에 의해서는 거의 경화되지 않기 때문에 일반적으로 인공시효처리를 실시한다. 표 3.2는 대표적인 Al-Mg-Si계 합금의 시효처리 조건을 나타낸 것이다.



Table 3.2 Standard heat treatment conditions of Al-Mg-Si alloys.

종 류	질 별	용체화처리	소 입	시효경화처리
A16061	T4	515~550℃	수 냉	실온 96시간 이상 170~180℃ 약8시간
	T6	515~550℃	수 냉	
A16063	T5	-	-	약205℃ 1시간
	T6	515~550℃	수 냉	약175℃ 8시간

용체화·소입 후 바로 인공시효를 행하지 않고 실온에 방치한 후에 인공시효를 행하는 것을 2단시효라고 한다. 이 2단시효에 의해서 인공시효 후의 강도는 현저히 영향을 받으며 특히 Al-Mg-Si계 합금에서는 복잡한 2단시효 거동이 알려져 있다.

그림 3.5는 Al-Mg-Si합금의 인공시효 후의 강도에 미치는 실온 예비시효의 효과를 나타낸 것이다. 실온 예비시효는 Mg<sub>2</sub>Si량이 약1% 이상인 합금에 대해서 고온시효로 마이너스 효과(최대 30N/mm<sup>2</sup>의 열화)를 주며, Mg<sub>2</sub>Si의 양이 1% 미만인 합금에 대해서는 플러스의 효과(최대 30N/mm<sup>2</sup>의 향상)를 준다. 따라서 Mg<sub>2</sub>Si의 함량이 1%이하인 6063합금에서는 실온 예비시효가 유효하다. 또한 고온시효에서 강도의 변화정도는 실온에서의 방치시간에 따라 달라진다.

2단시효의 메카니즘에 대해서는 현재까지 정설은 없으나, 저온시효에서 생성된 임계크기 이상의 G.P Zone이 고온시효에서 중간상의 핵이 된다는 Nicholson 모델(이 모델은 실온예비시효의 마이너스 효과는 설명할 수 없음), 예비시효에 의해서 형성된 G.P Zone의 속도론적 안정성으로 설명하는 Pashley 모델, 및 예비시효는 G.P Zone의 수에만 영향을 준다고 하여 그 수의 변화에 의해 설명하는 Hirano 모델 등이 제안되어 있다. 최근 예비시효에서 생성된 Cluster와 G.P Zone과 사이의 구조차를 고려하여 해석하려는 시도도 행하여지고 있다.

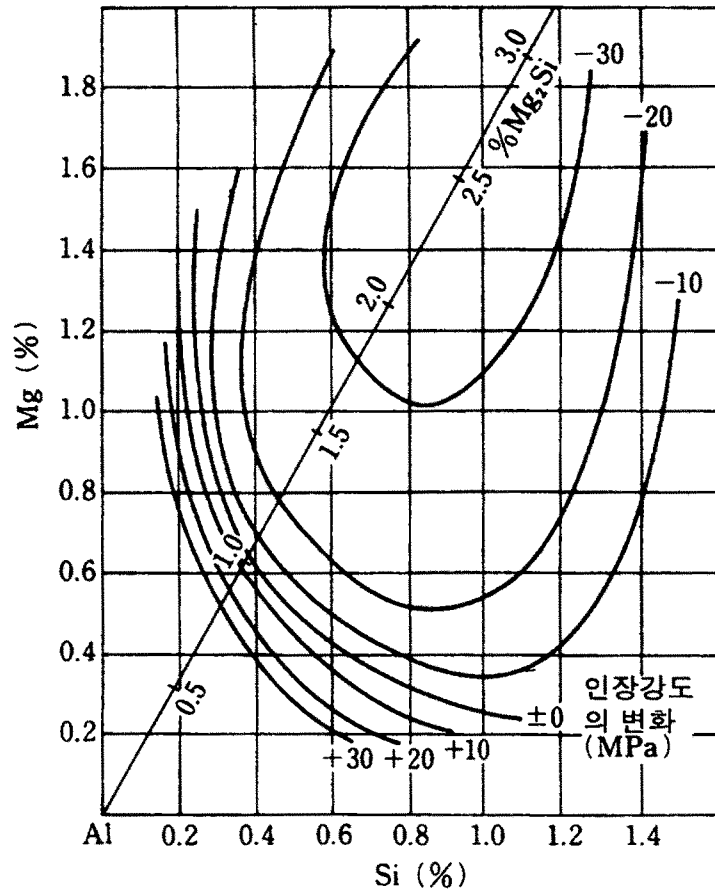


Fig.3.5 Effect of preliminary aging on tensile strength after high temperature aging of Al-Mg-Si alloys.

### 1.3.3 시효경화에 미치는 합금원소의 영향

Al-Mg-Si합금의 시효경화는  $Mg_2Si$ 양과 여분의 Si 및 Mg량에 크게 영향을 받는다. 그림 3.6은 Al-Mg-Si합금의 인장강도에 미치는 이들의 효과를 나타낸 것이다. 여기서  $Mg_2Si$ 양 및 여분의 Si양의 증가에 따라 인장강도가 현저하게 향상됨을 알 수 있다. 여분의 Mg은 낮은  $Mg_2Si$  조성에서는 강도를 증가시키지만, 반대로 높은  $Mg_2Si$  조성에서는 강도를 저하시킨다. 이러한 원인은 과량의 Mg이  $Mg_2Si$ 의 고용도를 현저하게 감소시키기 때문이다.

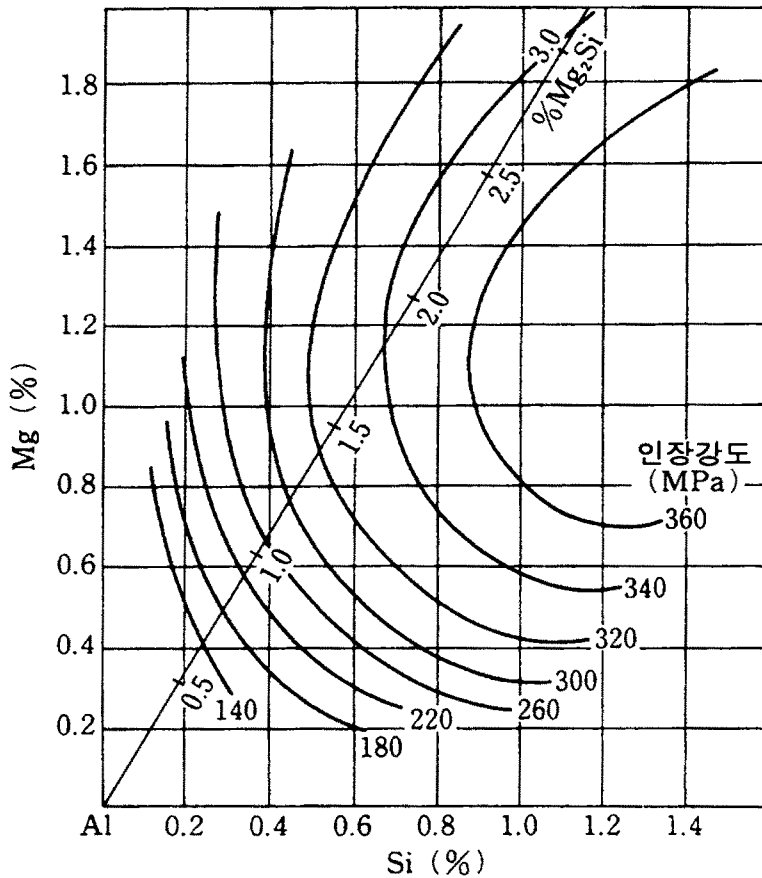


Fig. 3.6 Relation of tensile strength of Al-Mg-Si alloys with the amount of Mg and Si.

그림 3.7은 Al-0.6%Mg-0.45%Si 합금을 175°C에서 시효경화에 미치는 0.28%Cu와 0.38%Ag의 첨가영향을 나타낸 것이다. 미량의 Cu와 Ag의 첨가에 의해 시효경화 속도는 빠르게 되고 최고 경도의 값도 증가한다. 이것은 Mg<sub>2</sub>Si의 외관상 과포화량의 증가에 의한 것이라 생각할 수 있다. 1~3%Zn의 첨가도 같은 효과를 갖는다고 보고 되어있다. 한편, Mn, Cr, Zr, Fe등의 천이원소는 시효경화속도를 느리게 하고 최고 경도치를 저하시킨다. 이는 천이원소가 Si 및 Al과 화합물을 형성하여 모재(Matrix)중의 Si량을 감소시키기 때문이다.

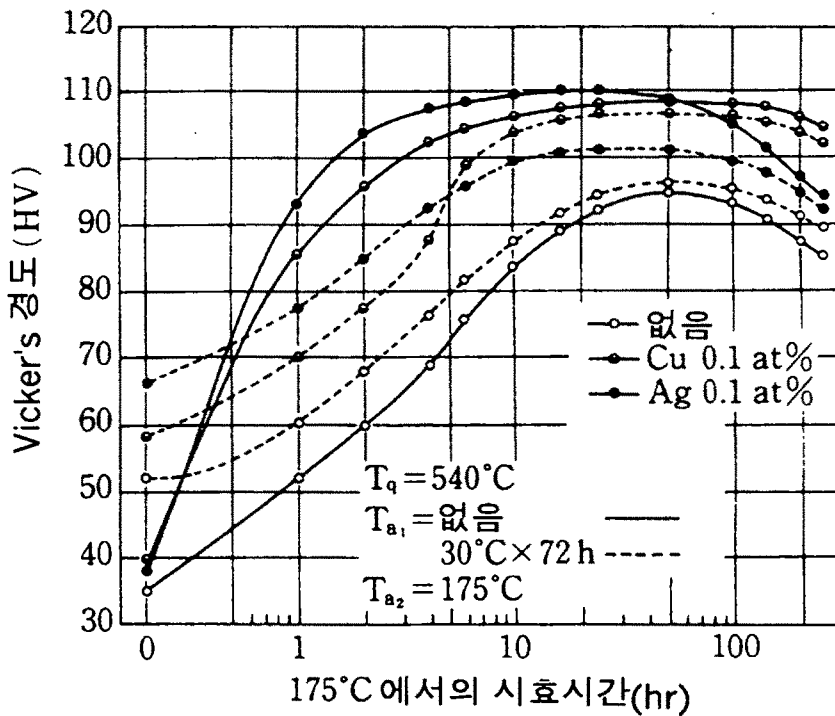


Fig. 3.7 Effect of preliminary room temperature aging and 0.1at% Cu & Ag additions on 175°C aging of Al-0.6%Mg-0.45%Si alloy.

그림 3.8은 이 효과가 가장 현저히 나타나는 Mn첨가가 시효경화에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 2단시효에 미치는 이들 미량첨가원소의 영향에 대해서는, 전자(Cu 등)는 실온예비시효에 의한 마이너스효과를 조장하지만, 후자(Mn 등)는 억제하는 것을 나타내고 있다. Sn 및 Cd의 첨가는 Al-Cu합금의 경우와 같이 저온시효를 억제하고 고온시효를 촉진한다고 보고되어 있다.

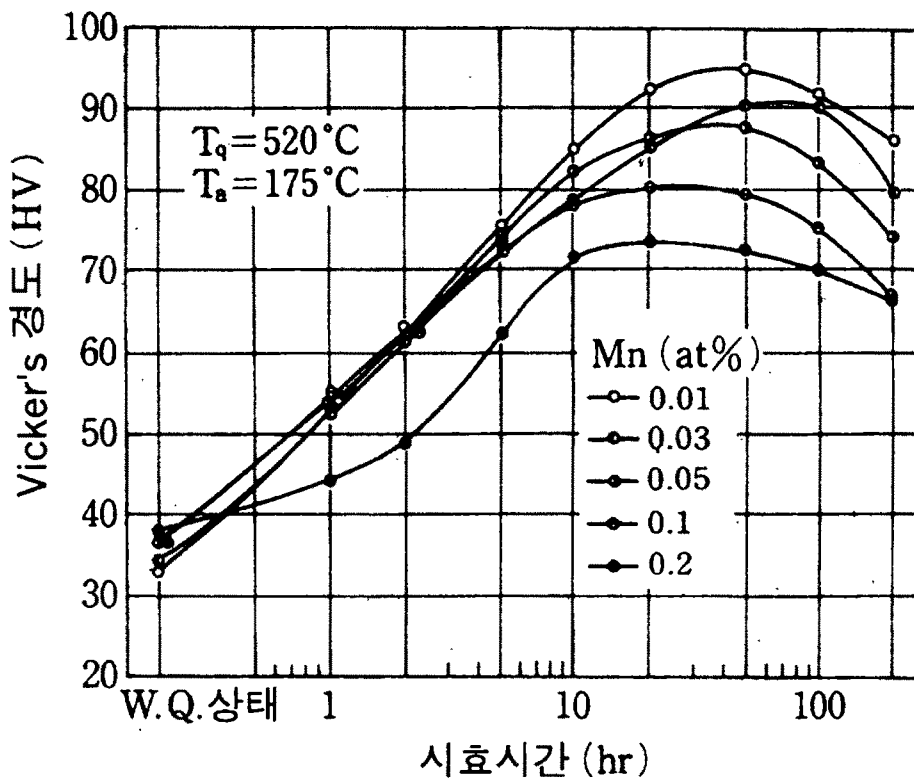


Fig. 3.8 Effect of Mn addition on 175°C aging of Al-0.7at%Mg-0.35at%Si alloy.

#### 1.3.4 가공 열처리

소성가공과 열처리를 조합하여 이들의 복합효과에 의해 재료특성을 향상시키고자 하는 처리를 가공열처리(TMT : Thermo Mechanical Treatment)라고 하며, 고력 알루미늄 합금의 강인화법으로 대별하여 중간가공열처리(ITMT)와 최종가공열처리(FTMT)의 두가지 방법이 개발되어 있다. Al-Mg-Si계합금에 있어서는 주로 6061합금에 대한 FTMT의 효과가 연구되고 있다.

열처리형 알루미늄 합금의 조질은 강화를 목적으로 열처리공정의 도중에 냉간가공을 실시하는 T8(용체화처리→냉간가공→인공시효)처리나 T9(용체화처리→인공시효→냉간가공)등도 가공열처리의 일종이나 이들은 강도의 증가에 따라 연성이 현저히 감소하는 단점이 있다. 이에 대해서 FTMT는 소입 후에 적당한 온도로 가공과 시효를 행하여 균일하게 분포한 고밀도의 전위와 균일하고 미세한 석출물을 도입하여 연성의 저하를 최대한 억제하고 강도의 향상을 피하는 방법이며 예비시효-가공-최종시효의 순서로 열처리 한다.

Al-Mg-Si계 합금의 침상 G.P Zone은 전위선상에 불균일한 핵을 생성하기 때문에 최종시효에서의 침상 G.P Zone의 밀도, 크기, 분포상태 등은 전위분포 및 예비시효에서 형성된 석출상의 안정성에 의해 결정된다. 따라서 TMT조건을 설정할 때 중요한 것은 최종시효전에 균일한 전위분포를 얻는 것과 불균일 핵생성을 제어하는 것이다. 그림 3.9에 여러가지 조건에서 예비시효시킨 6061합금의 170℃에서의 최종시효거동을 나타내었으며 표 3.3에 여러가지 처리를 행한 6061합금의 인장성질을 나타내었다.

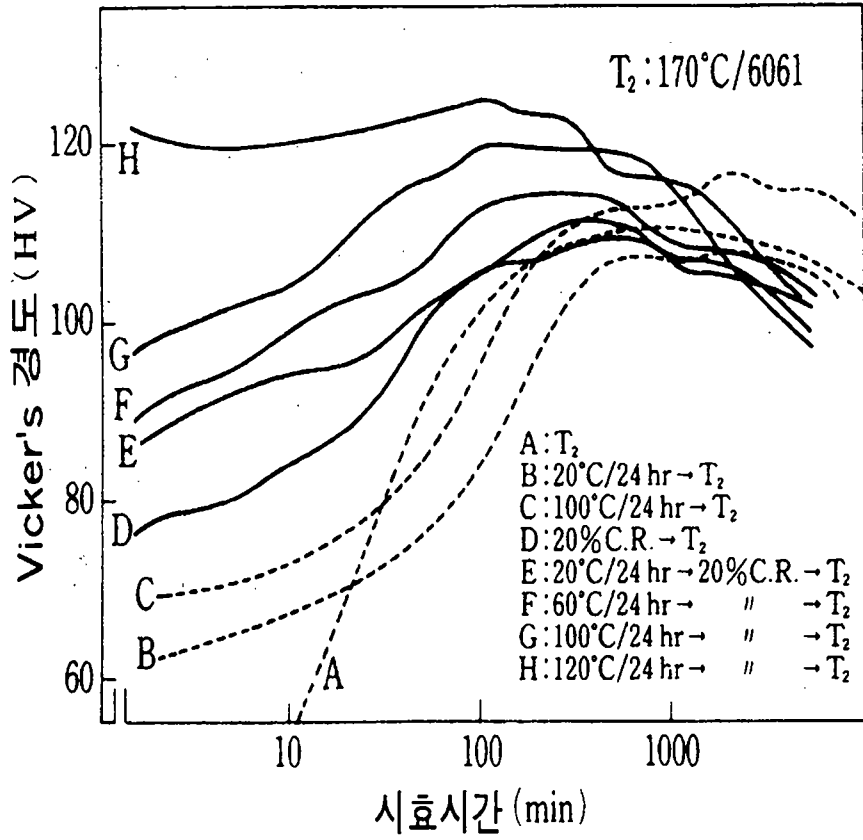


Fig. 3.9 Final aging curve at  $170^\circ\text{C}$  of 6061 alloys after various preliminary aging.

Table 3.3 Tensile properties of 6061 alloys after various treatments.

처리명칭	처리조건			인장성질		
	시효(A1)	가공	시효(A2)	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	항복강도 (N/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
T6	175℃-5h	-	-	357	309	14.4
T8	-	20%	175℃-150분	353	327	10.7
T9	175℃-5h	20%	-	398	394	3.8
TMT	145℃-1h	20%	175℃-80분	410	382	10.5

연신율의 저하를 억제하고 강도를 향상시키기 위해서는 100℃이상에서 예비시효를 행할 필요가 있다. 과도한 가공은 전위분포를 cell형태로 만들기 때문에 침상 Zone은 cell경계에 모여서 강도와 연성을 저하시킨다. 최종시효온도로는 통상 T6처리의 시효온도가 선택된다.

실용화의 예로는 송배전선용 6061합금이 있다. 송배전선용에서는 도전율의 유지와 강도, 연성, 열적 안정성에 대한 요구를 만족시키기 위해서 가공열처리가 이용되고 있다. 그림 3.10은 표 3.4의 조건으로 처리한 Al-Mg-Si합금의 인장강도와 도전율을 나타낸 것이다. 실온시효 후에 냉간가공을 행하여 최종시효를 하면 도전율과 강도가 현저히 향상된다. 이 가공 열처리는 용체화처리→수냉→예비시효→최종직경으로 가공→최종시효의 순서로 행한다.



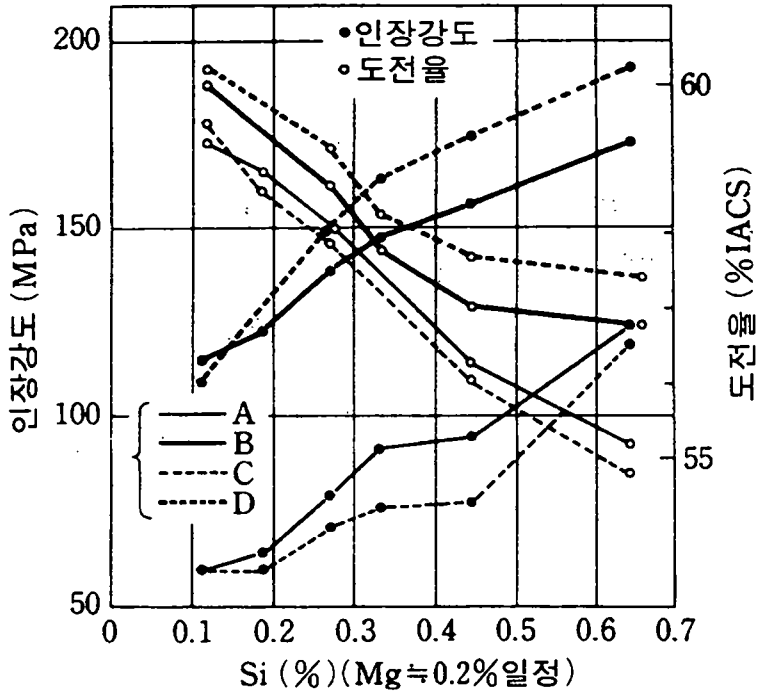


Fig. 3.10 Effect of room temperature aging and cold working on performance of Al-Mg-Si series alloys after aging process.

Table 3.4 Heat treatment conditions of Al-Mg-Si alloys.

공정	용체화 처리	실온시효	냉간가공	인공시효
A	530°C-1.5h 수냉	-	-	180°C-6h
B	530°C-1.5h 수냉	-	15%	180°C-6h
C	530°C-1.5h 수냉	48h	-	180°C-6h
D	530°C-1.5h 수냉	48h	15%	180°C-6h

#### 1.4 Al-Mg-Si계 합금의 압출가공성

일반적으로 압출성을 평가하는 방법으로는

- (1) 주괴의 변형저항에 기인하는 압출 압력
- (2) 압출재의 표면상태에 따라 규정되는 한계 압출속도
- (3) 압출재의 기계적 성질 등을 들 수 있다.

주괴의 변형저항은 합금소성, 주괴조직 및 압출가공조건에 좌우된다. 또한 압출재의 표면결함과 같은 인자도 영향을 주지만 낮은 압출압력이 그대로 높은 한계 압출속도로 연결되지는 않는다. 장식성이 강한 건축자재에 이용되는 6063 합금에서는 한계 압출속도는 pick up에 의해 제한된다

##### 1.4.1 주괴 조직의 영향

압출가공성은 동일조성이라 하더라도 주괴의 주조조건 및 균질화 처리조건에 의해 변화한다. 용탕의 청정도는 비금속 계재물(MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiB<sub>2</sub> 등)의 레벨과도 관계가 있다. 계재물은 다이스 마크 등 표면결함의 원인이 된다. 계재물은 수소가스 pore의 핵생성 자리로 작용하기 때문에 계재물이 많을수록 수소 가스량도 많게 되며 높은 가스량은 계재물의 유해효과를 조장한다. 계재물이 압출성에 미치는 영향에 대한 정량적인 데이터는 없으나 용탕의 청정도를 높이기 위하여 in-line 탈가스처리나 세라믹 필터에 의한 필터링 등 각종 알루미늄의 용탕처리 기술이 개발되어 실용화되고 있다. 주괴(빌레트)의 표면성상(평탄도)은 표면층의 조직(편석층)과 관계가 있으며, 표면이 평탄할수록 pick up의 한 원인이 되는 편석층의 두께를 얇게 할 수 있다. Hot Top에 의해 주조된 빌레트의 특징은 주조표면이 매끄러운 것이며, 그 편석층의 두께는 약100 $\mu$ m로서 통상의 DC주조빌레트의 두께 200~300 $\mu$ m에 비해서 얇다.

빌레트의 미세조직은 4가지 인자, 즉 수지상정간 거리(DAS), 결정립, AlFeSi상과 Mg<sub>2</sub>Si상과의 관련 등이 압출가공성에 영향을 준다. 6063합금 빌레트에 대한 열간 비틀림 시험결과, 변형저항은 DAS의 평방근에 반비례하지만 변형률은 그림 3.11에서 알 수 있듯이 응고속도의 증가, 즉 DAS의 감소에 따라 향상되며 DAS가 미세할수록 균질화처리가 유효하다는 것이 알려져 있다. 이것은 균질화 열처리에 요구되는 시간은 다음의 식에 의해 DAS의 제곱에 비례하기 때문이다.

$$(DAS)^2 \approx D_x t$$

여기서, D는 알루미늄중의 원소X의 확산계수 t는 시간이다.

결정립의 크기도 DAS와 마찬가지로 그 평방근에 반비례하는 형태로 변형저항에 관계하지만 통상의 DC구조에 의해 제조된 빌레트에서는 결정립과 DAS의 비는 20~30이기 때문에 그 기여도가 작다. 단지, 결정립의 미세화가 불충분하여 macro조직이 불균일한 경우에는 결함이 발생하게 된다. 6063합금에서는 550℃에서 4시간의 균질화처리에 의해서 빌레트의 압출성이 현저히 향상되는 것을 발견한 이래 많은 연구가 행하여지고 있다. 압출성을 개선하기 위해서는 균질화 처리온도는 높게, 시간은 길게하는 편이 효과적이지만 오히려 그 후의 냉각속도가 더욱 중요하다.

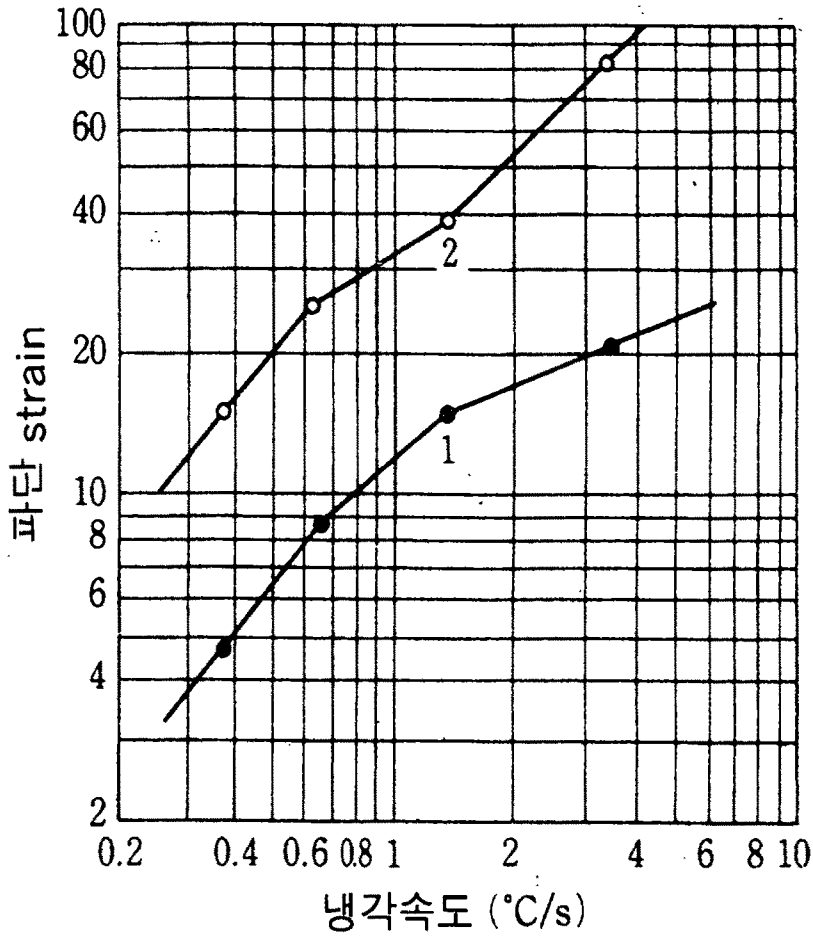


Fig. 3.11 Relationship of hot deformability and solidification cooling rate of 6063 alloy billet.

6063합금 빌레트를 560℃에서 균질화 열처리 후 여러가지의 속도로 실온까지 냉각하여 480℃로 재가열하여 압출한 결과, 그림 3.12에서 보는 바와 같이 냉각속도가 느릴수록 압출속도는 증가하지만 냉각속도가 너무 느리면 압출후의 강도가 저하하기 때문에 냉각속도는 보통 200~500℃/h의 범위로 제어하고 있다.

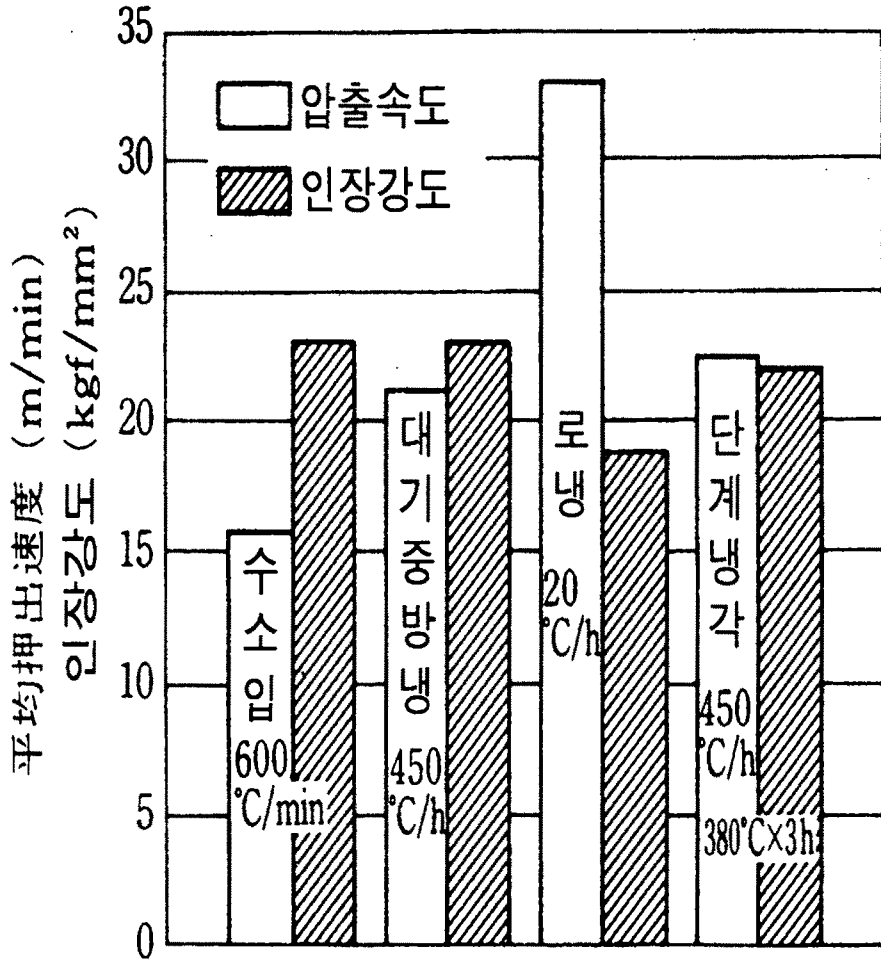


Fig. 3.12 Effect of cooling rate on extrusion speed after homogenization, and tensile strength after aging(160°C-16hrs) of 6063 alloys.

또한, 균질화 열처리 후에 480°C부근에서 고온 석출처리를 행하여 고용하고 있던 용질원자를 Mg<sub>2</sub>Si 상으로 석출시키면 변형저항의 저하와 변형능의 향상을 얻을 수 있다. 그 후, 이와 같은 2단 열처리는 압출압력을 저하시키지만 동시

에 균열이 발생하는 초계 압출속도도 저하한다고 보고되어 있다. 그 원인은  $\alpha(\text{Al}) + \text{Mg}_2\text{Si} + \text{Si} \rightarrow \text{L}(555^\circ\text{C})$  또는  $\alpha(\text{Al}) + \beta\text{AlFeSi} + \text{Si} \rightarrow \text{L}(578^\circ\text{C})$ 의 3원공정용해에 의해 조대한  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 상의 부분에서 기공이 발생하기 때문이라고 추정되고 있다.

그림 3.13은 6063합금에서 석출처리에 의한  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 상의 석출상태와 주괴의 압출성과의 관계를 나타낸 것이다. 빌레트의 응고 시에는  $\beta\text{AlFeSi}$ 상이 정출되지만, 이 화합물은 pick up의 생성원인 중 하나로 고온 장시간의 균질화처리에 의해 이  $\beta$ 상이  $\alpha\text{AlFeSi}$ 상으로 변화하여 pick up이 감소된다고 보고되어 있다.

이에 대해서 압출성의 개선은  $\beta \rightarrow \alpha$ 변태의 정도가 아니고,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 상의 균일 분산에 기인한다는 견해가 있다. 즉,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 상도 pick up의 생성원인의 하나로 들 수 있고 빌레트의 냉각, 승온과정에서 dendrite cell경계에 석출한 조대한  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 상이 압출가공시 발열에 의해 3원공정용해를 일으켜 pick up의 형성으로 연결된다고 설명하고 있다. Mn의 미량첨가는  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 안정상을  $\alpha\text{Al}(\text{FeMn})\text{Si}$ 화합물의 위치에 석출 분산시키기 때문에 고속 압출시의 3원공정용해에 의한 pick up이 억제된다.

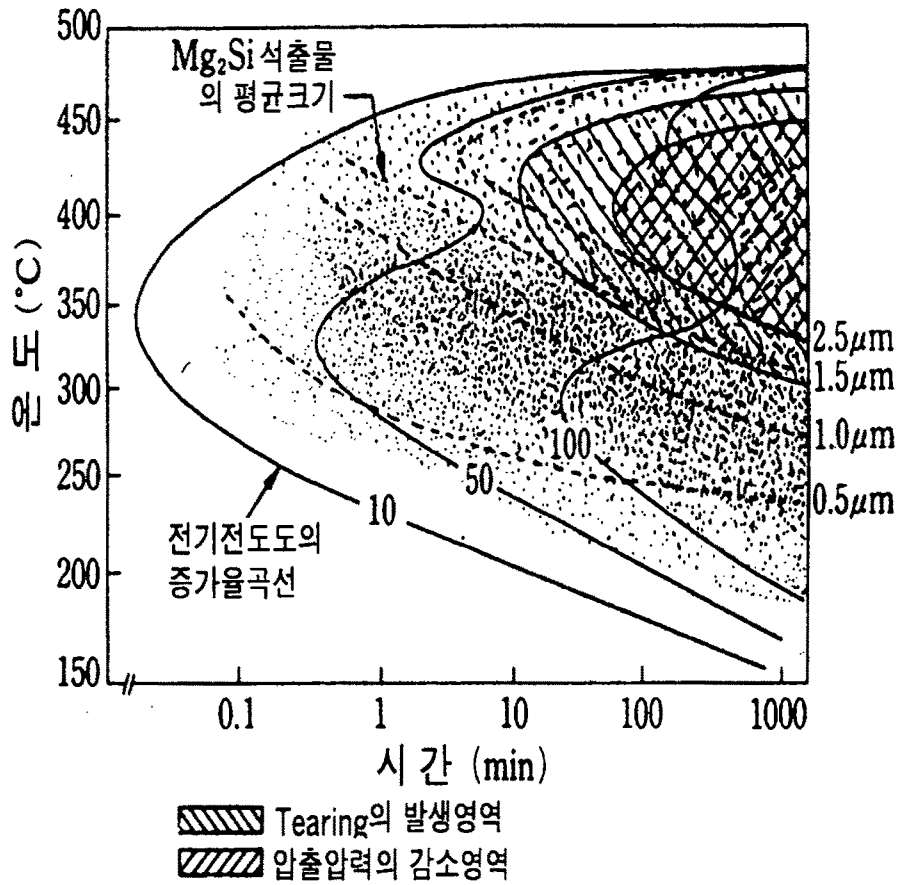


Fig. 3.13 Relationship of tearing region and extrusion pressure reduction area in high temperature precipitation treatment of 6063 alloy billet.

그림 3.14는 Mn의 미량첨가 유무에 따른 dendrite cell 경계근방의  $Mg_2Si$ 안정상의 석출상태를 개략적으로 나타낸 것이다. Mn의 미량첨가는  $\beta AlFeSi$ 상의  $\alpha$ 상으로의 변태를 촉진한다.

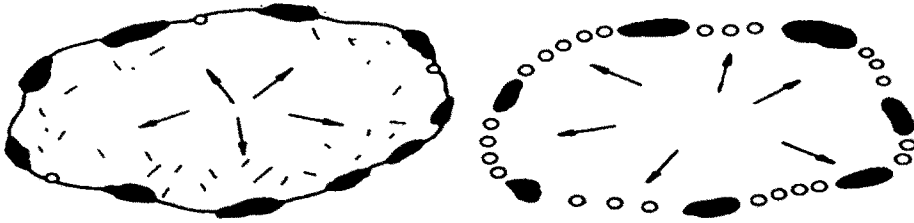


Fig. 3.14 Schematic of precipitation behavior in the vicinity of dendrite cell boundary of  $Mg_2Si$  phase, which is affected by a minute amount of Mn addition, in the process of cooling after homogenization or temperature elevation during extrusion. (left: with Mn, right: without Mn)

pick up의 생성원인으로는 위에서 설명한 것처럼  $\beta AlFeSi$ 상이라고 하는 설과  $Mg_2Si$ 상이라고 하는 두 가지 설이 제안되고 있는데 어느 것이든 균일하고 미세한  $Mg_2Si$ 상의 분포는 우수한 압출성을 얻기 위한 기본이라고 생각할 수 있다. 이와 같이  $Mg_2Si$ 상의 분포는 기본적으로는 DAS와 균질화처리의 함수이며,  $Mg_2Si$  석출물의 크기와 밀도는 균질화 열처리후의 냉각속도의 함수이다.



#### 1.4.2 합금원소의 영향

알루미늄의 변형저항에 대한 각 합금원소의 고용상태에서의 기여는 Mg을 1로 할 때 Cr, Mn, Fe, Cu, Si 및 Zn은 각각 2, 0.8, 0.5, 0.4, 0.3 및 0.1 인 것이 실험결과로 보고되어 있다. 이와 같은 결과를 그림 3.15에 표시하였으며 Mg, Cu는 압출압력을 현저하게 증가시키지만 Si는 그 효과가 적은 것을 알 수 있다. 이 경향은 알루미늄의 격자정수에 미치는 고용 용질원자의 효과와 잘 대응하고 있고, 격자정수변화의 절대치가 클수록 압출압력은 증대하고, 한계 압출속도는 저하하는 것을 나타내고 있다.

그림 3.16은 소입성이 우수한 과량 Si합금은 압출성에 있어서도 과량 Mg합금보다 우수한 것을 나타내고 있다.

그림 3.17은 6063합금에서 Mn, Cr 및 Cu가 압출 초기하중에 미치는 효과를 나타낸 것인데 Cr첨가에 따른 압출 초기하중의 증가는 Mn, Cu의 경우에 비해 현저히 큰 것을 알 수 있다.

미량불순물의 영향으로서는 Na이 압출재의 표면성상에 영향을 주어 한계 압출속도를 제한하는 것으로 알려져 있다.

그림 3.18은 6063합금 압출형재의 표면결함과 Na함유량의 관계를 나타낸 것이다. 이것에 관련하여 Na함유량이 7ppm에서 15ppm으로 증가한 경우, 양호한 표면상태를 얻기 위한 한계 압출속도는 약 반으로 감소한다는 보고가 있다.

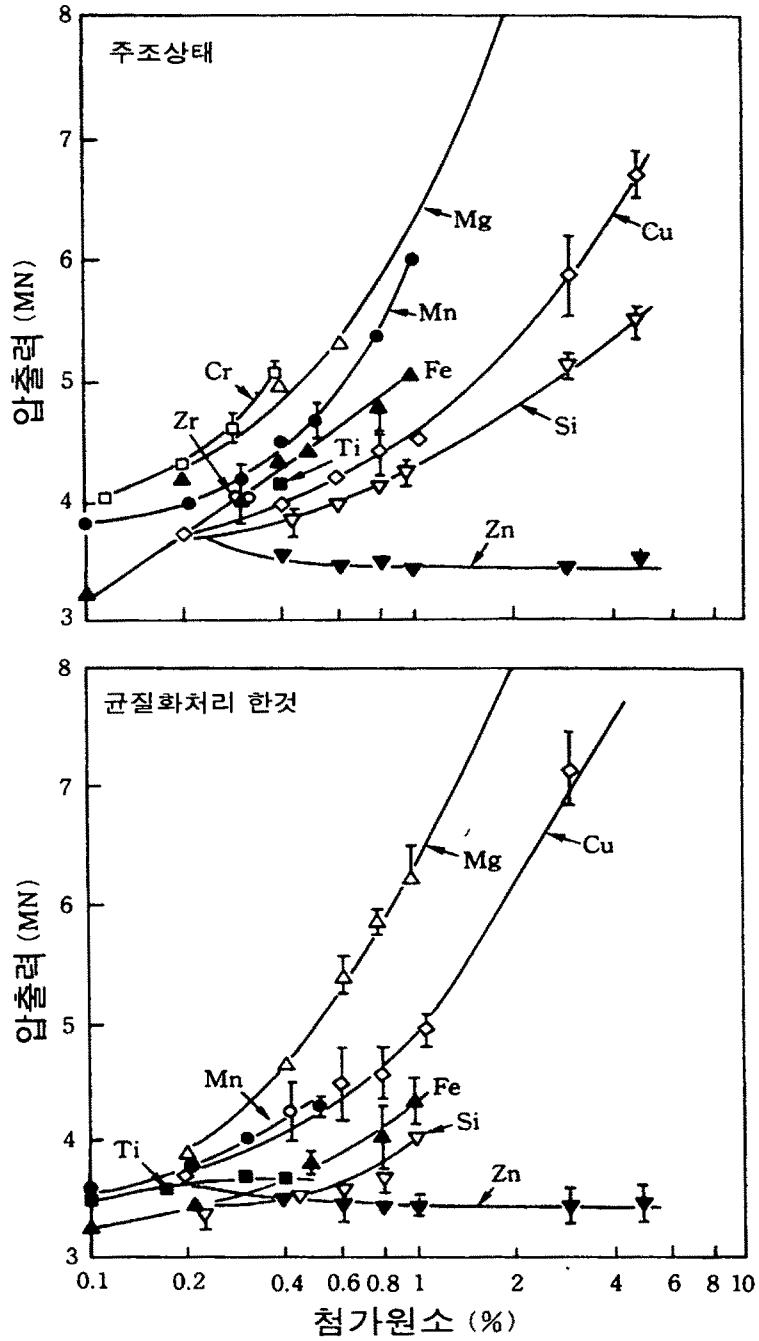


Fig. 3.15 Effect of various additives on the extrusion pressure.

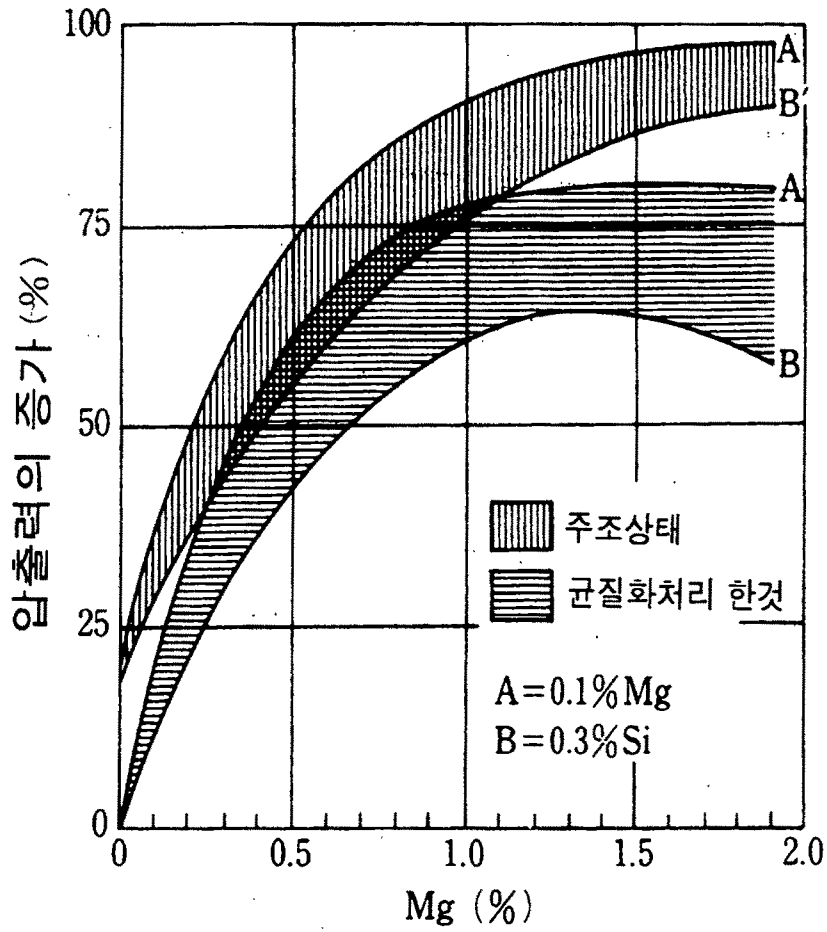


Fig. 3.16 Relationship between the extrusion pressure and the Mg content of cast or water-cooled followed by homogenization Al-Mg-Si alloy.

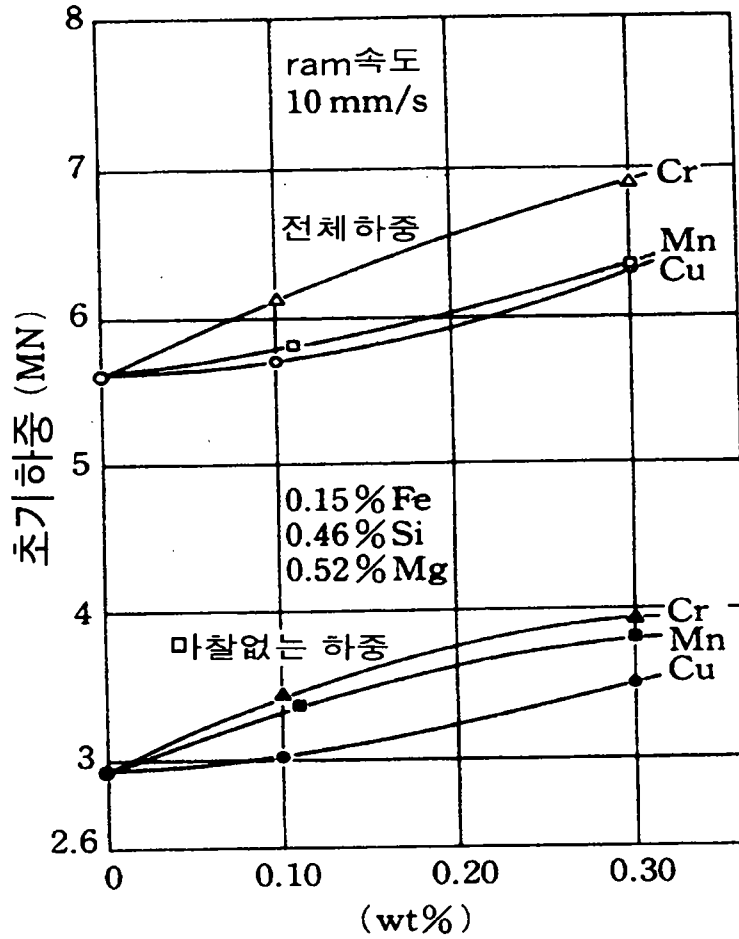


Fig. 3.17 Effect of Cu, Mn and Cr additions to 6063 alloy on the initial extrusion loads with and without friction.

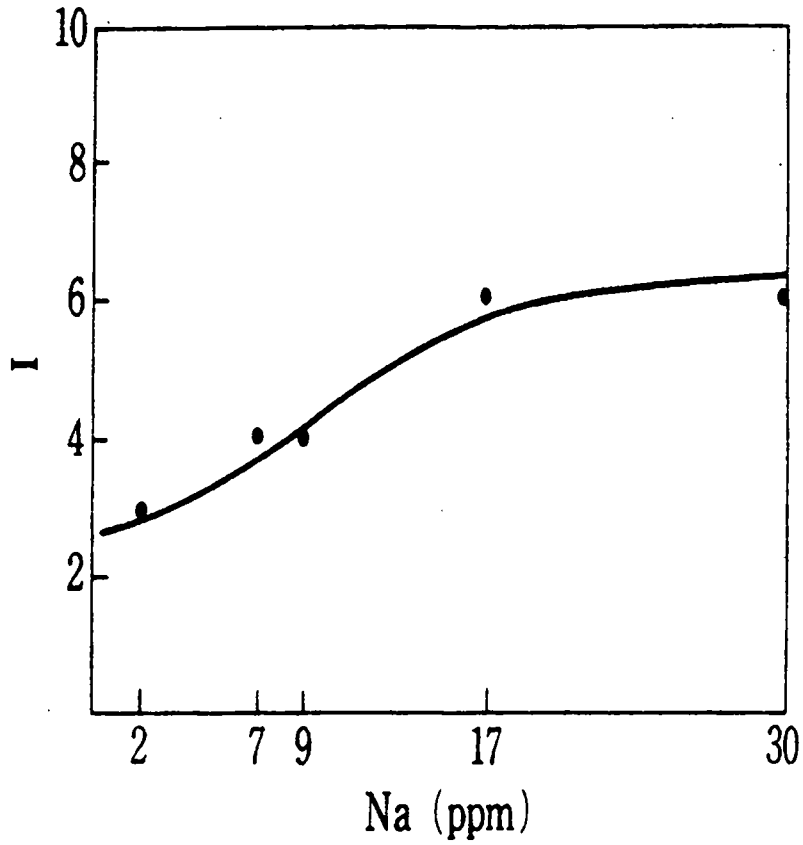


Fig. 3.18 Relationship between surface defect index, I, and Na content of extrusion materials. 0 refers to defect free and 10 refers to the state of many tearings.

## 제2절 유리온실용 합금개발

이 연구 과제에서 목표로 하는 인장강도 240MPa, 항복강도 18kg/mm<sup>2</sup>, 연신율 12% (KS기준)와 6063알루미늄을 100으로 할 때 80정도의 압출성을 갖는 합금을 개발하는데 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

합금개발의 공정은 RIST에서 실험실적으로 합금을 설계하여 15Kg 용량의 반연속주조장치(Direct Chill Casting Machine)를 이용하여 5인치의 빌레트를 주조하고 이를 균질화 열처리를 한 후, 세명코레스(주)에 주어 압출성을 평가한 뒤 평가 결과에 따라 합금설계를 수정하고, 다시 미세조직과 열처리조직 및 압출성평가결과를 다시 받아서 이 연구에서 목표로 하는 최적의 알루미늄합금을 개발하였다.

### 2.1 유리온실용 알루미늄 합금소재 분석

현재 국내에서 사용되고있는 유리온실용 알루미늄 압출재를 수집하여 특성평가를 행하고 이를 바탕으로 고강도/고압출성의 알루미늄합금 설계를 위한 기초자료로 이용하고자 하였다.

주관 연구기관으로 부터 국내에서 사용하고 있는 유리온실용 알루미늄소재 4종과 네델란드 venlo사 제품 1종, Alcoa, Koven 제품 3종 및 A16061, A16063 합금을 입수하여 ICP를 이용한 습식 성분분석을 행하여 국내 및 선진외국의 유리온실용 Al합금의 성분을 비교 분석하였다.

또한, 국내 및 선진국에서 사용되는 알루미늄소재의 기계적 특성(인장강도, 항복강도, 연신율, 경도)및 열처리 조건을 분석하기 위해서 미세조직을 평가하였다.

성분분석 결과, 표 3.5에서 보는 바와 같이 K1, K2, K3, K4 와 외국제품인 V5, ALCOA 및 KOVEN 제품 모두 Al-Mg-Si계열의 6000계 합금임을 알 수 있었다. 특히, 국내 제품과 외국제품의 성분을 비교하면 Mg의 경우, 0.44~0.58wt% 범위이고, Si은 K2제품이 0.12%로 약간 미달하지만 0.24~0.36의 범위에 있는 것

을 알 수 있었다. 또한 Al-Mg-Si 합금에 불순물로 포함되는 Fe의 양은 6063 알루미늄합금의 기준치보다는 낮은 것을 알 수 있다. 기타 불순물로는 Cu, Cr, Zn, Mn, 및 Ti가 극미량 첨가되어 있음을 알 수 있다.

기계적 특성을 살펴보면 표 3.6에서 보는 바와 같이 국내제품인 K3가 화란제품인 V5보다 높은 항복강도와 인장강도 및 연신율을 나타내고 있다. 따라서 K3 및 V5에 대하여 1차분석때 하지 않았던 Mo, Ni, V, K, Sn 등의 미량원소에 대하여 2차정밀 성분분석을 실시하였다. 표 3.7에서 알 수 있듯이 국내제품이 화란제품에 비하여 Cu, Mn, Mo, V 등의 미량원소가 많이 포함되어 있음을 알 수 있었다.

또한, 기존의 유리온실용 압출재의 열처리조건을 조사하기 위해서 Keller시약을 사용하여 미세조직을 관찰하고 생성된 석출물과 생성된 상의 분석을 실시하였다. 그림 3.19는 국내에서 제조된 압출재와 네델란드 Venlo사 압출재의 미세조직을 나타낸 것이다. K1의 경우 결정립의 크기가  $100\mu\text{m}$  정도로 K2, K3 및 Venlo사 제품의  $60\sim 70\mu\text{m}$ 보다 결정립이 큰 것을 알 수 있으며 결정립 내부에  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 가 미세하게 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 통상적인 알루미늄 압출재의 열처리 과정을 보면 우선 빌레트를 주조하여 균질화 열처리를 실시하고 이어서 일정조건에서 압출을 행하고  $170^\circ\text{C}$ 에서 시효를 시키고 있다. 이 경우 압출재의 결정립 크기는 대개  $60 - 70\mu\text{m}$  정도를 나타내고 있으나 K1 압출재의 경우, 결정립의 크기가  $100\mu\text{m}$  정도인 것을 보면 압출 후의 열처리 온도가 높아서 결정립이 성장한 것으로 판단된다.

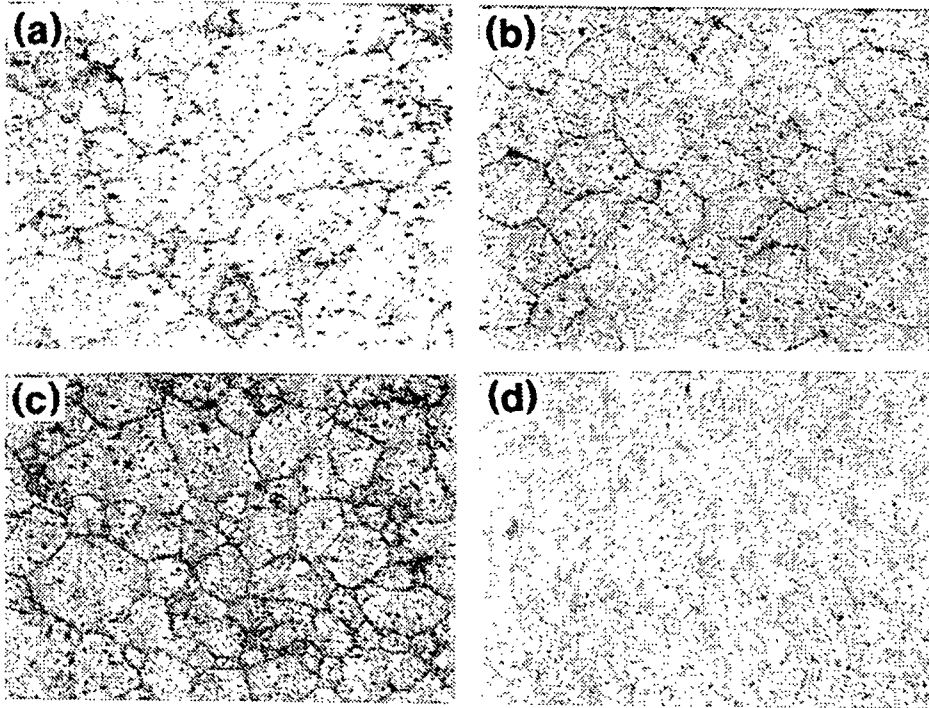


Fig. 3.19 Comparison of extrusion structure of domestic and Venlo products. (a) microstructure of K1 (b) microstructure of K2 (c) microstructure of K3 (d) microstructure of Venlo product.

성분분석 및 기계적 특성 조사결과로 보아 국내제품이나 외국에서 사용되고 있는 유리온실용의 알루미늄 압출재는 모두 6063합금을 사용하고 있었는데 이는 강도는 6061합금보다 떨어지지만 압출성이 우수하여 생산성이 좋기 때문에 모두 6063합금을 사용하고 있음을 알 수 있었으나 국내의 경우, 사계절이 뚜렷하고 여름에는 강한 태풍이 불고 겨울에는 적설량도 많기 때문에 기존의 6063합금보다 강도가 높고 압출성은 6063합금과 유사한 수준의 새로운 합금의 개발이 필요하다고 판단된다.



Table 3.5 Elements of extruded Al alloys for green house

(단위 : wt.%)

원소 시료	Mg	Cu	Cr	Si	Zn	Fe	Mn	Ti	Al
K1	0.44	0.0025	0.0037	0.28	0.0047	0.16	0.0040	0.0066	bal.
K2	0.55	0.005	0.0040	0.12	0.0068	0.13	0.0040	0.0084	bal.
K3	0.52	0.016	0.0072	0.24	0.0072	0.33	0.033	0.0085	bal.
K4	0.53	0.0096	0.0039	0.32	0.0091	0.18	0.0078	0.0051	bal.
V5	0.44	0.0099	0.0030	0.36	0.019	0.19	0.0029	0.0099	bal.
ALCOA	0.58	0.0180	0.0045	0.33	0.012	0.23	0.0510	0.0110	bal.
KOVEN	0.57	-	0.0024	0.26	0.0076	0.13	0.0070	0.0074	bal.
6061	0.8- 1.2	0.15- 0.4	0.04- 0.35	0.4- 0.8	0.25 이하	0.7이하	0.15 이하	0.15 이하	bal.
6063	0.45- 0.9	0.1 이하	0.1이하	0.2- 0.6	0.1이하	0.35 이하	0.1이하	0.01 이하	bal.

Table 3.6 Mechanical properties of extruded Al alloys for green house

구 분 시료	항복강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)	경도(Hv)	비고
K1	16.1	19.0	8.7	81.8	국내업체에서 제조된 제품
K2	19.6	22.3	9.8	82.6	
K3	21.4	23.8	10.9	71.1	
K4	16.8	19.3	12.8	66.6	
V5	19.4	22.5	9.6	80.4	화란:Venlo사
ALCOA	23.9	26.4	7.9	80.5	미 국
KOVEN	22.2	23.7	6.6	72.4	Korea -Venlo
6061(T4)	14.8	24.5	22.0	72(HB65)	
6063(T5)	14.8	18.9	12.0	66(HB60)	

Table 3.7 Quantitative analysis of elements of Al alloys

구분	Mg	Cu	Cr	Si	Zn	Fe	Mn	Ti	Mo	Ni	V	K	Sn
K3	0.52	0.016	0.0072	0.24	0.0072	0.33	0.033	0.0085	0.012	0.0052	0.015	0.0059	0.0011
V5	0.47	0.0099	0.0030	0.36	0.019	0.19	0.0029	0.0099	0.0022	0.0022	0.0049	0.010	0.0041

## 2.2 고강도/고압출성의 알루미늄합금 설계(I)

경량 고강도의 압출성이 우수한 합금을 설계하기 위하여 이 연구의 목표인 인장강도 280MPa이상, 연신을 12%이상의 압출재를 제조하기 위하여 표 3.8과 같이 3종류의 합금을 설계 하였다.

Table 3.8 Elements of designed three different Al alloys.

(단위: wt%)

구분	Si	Mg	Fe	Mn	Cr	Cu	Zn	Al
합금 I	0.2	0.45	<0.1	<0.1	<0.05	0.8-1.0		나머지
합금 II	0.2	0.45	<0.1	<0.1	<0.05	0.1	5.0-5.5	나머지
합금 III	0.5	0.45	<0.1	0.3	<0.05	0.5		나머지

위와 같은 3종류의 합금을 조성한 배경은 다음과 같다.

우선 합금 I은 Al-Mg-Si 합금의 기본조성에 Cu를 첨가함으로써 석출경화 (precipitation hardening)를 유도하여 강도를 증가시키고 대신 Si과 Mg의 양을 AA6063의 최소값 정도로 고정시켜 압출성을 증대시킬 목적으로 설계하였다.

합금II는 기본적으로는 합금 I과 같은 개념으로 Si와 Mg의 양은 합금 I과 같은 수준으로 하고 Cu 대신 Zn를 첨가함으로써 석출경화를 유도하여 강도를 증가시키고자 하였으며 합금III은 Excess Si의 양(Si / Mg<sub>2</sub>Si 비)을 증가시키고 (N.B., excess Si의 양은 압출성을 저하시키나 Mg보다는 영향이 적다.) homogenizing process를 돕기 위해 Mn을 첨가하였으며 또한 Cu의 영향을 알아보기 위해서 합금 I, 합금II보다 더 많은 Cu를 첨가하였다.

위에서 제안한 Al 합금의 조성은 압출성과 UTS를 증가시키기 위한 것이며, 기존에 있는 특허의 범위에 포함되지 않는 조성을 선택한 것으로 이들 3개의 합금을 제조하여 압출성과 기계적 성질을 평가한 후에 각 성분요소들의 영향을 파악하여 합금조성을 변경하여 목표로 하는 특성을 갖는 합금을 개발하도록 하였다.

### 2.3 DC주조법에 의한 압출용 빌레트의 주조

비철금속 중에서 알루미늄은 공업적 생산의 역사가 철에 비해 짧고 연속주조에 관한 역사도 그리 오래 되지 않았다. 1930년대에 압연용 잉고트(slab)나 압출용 잉고트(billet)주조에 반연속주조(Direct Chill Casting : DC주조)가 공업화 되었다.

DC주조는 조직이 균일하고 가스, porosity가 적은 등 주조품질이 건전하여 생산성이 좋고 대형화 할 수 있는 이점이 있어서 알루미늄 공업의 주력을 이루는 기술로서 현재까지 지속되고 있다. 또한, DC주조 이외에도 최근에는 주조 후 압연 등의 가공공정을 거치지 않고 직접 제품을 연속주조로 제조하려는 등 기술이 다양화 되고 있다.

본 장에서는 DC주조장치를 이용하여 앞에서 합금 설계된 3종류의 합금(합금 I, 합금 II, 합금 III)을 빌레트로 주조하기 위하여 시험주조를 하고, 주조속도가 품질에 미치는 영향을 구명하여 최적의 빌레트를 얻을 수 있는 조건을 확립

하고자 하였다.

### 2.3.1 DC주조법의 개요

Al 및 Al합금의 주괴(압연용 Slab, 압출용 Billet)의 제조는 일반적으로 수냉주조에 의한 수직형 반연속 주조(이하 D.C 주조법이라 함)에 의해 만들어 지고 있다. 국내에서는 주로 Al압출에 관련된 업체에서 압출용 Billet를 제조하기 위해서 이 방법을 사용하고 있으며, 판매 제조업체의 경우는 D.C 주조법과 C.C 주조법(Continuous Casting)에 의해 빌레트를 제조하고 있으나 주로 생산성이 좋은 D.C 주조법에 의해 압연용 빌레트를 주조하고 있다.

D.C 주조법으로 주조되는 주괴는 대부분이 후속공정에서 열간압연되는 Slab 및 열간압출되는 빌레트로서 다른 방법에 의해 주조된 주괴보다 단면적이 큰 특징이 있다. D.C 주조방법의 개략도를 그림 3.20에 나타내었다. 원하는 조성의 Al 합금을 용해로에서 용해시킨 후, 탕도를 이용하여 용탕을 분배기(Distributor)에 공급하면 하단부에 부착되어 있는 노즐을 통하여 주형(Mould)에 용탕이 공급된다. 이때 공급되는 용탕은 노즐에 설치된 스톱퍼(Stopper)에 의해 자동 또는 수동으로 조절된다. 분배기는 용해로에서 공급된 용탕을 여러개의 주형에 분배하여 전체의 주형에 같은 양의 용탕을 공급함과 동시에 일시적으로 용탕을 머물게 함으로써 용탕중에 함유되어 있는 비금속 계재물 등을 부상시켜 청정화하는 역할을 하고 있다. 연구에 사용된 D.C 주조장치는 실험실 규모로서 여러개의 빌레트를 동시에 주조하지 않고 한번에 한개의 빌레트를 주조할 수 있도록 설계하였기 때문에 분배기는 설치되어 있지 않다.

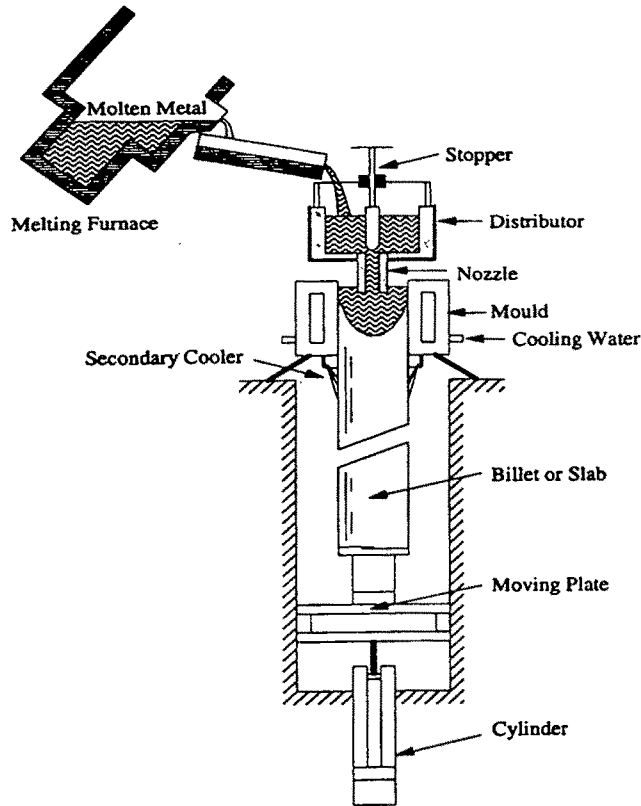


Fig. 3.20 Schematic diagram of DC casting.

그림 3.21은 용탕의 냉각시스템이다. 주형에 주입된 용탕은 주형벽에서의 흡열에 의해 1차 냉각되며 주형내에서 내부의 용탕을 보호유지 하기에 충분한 두께의 응고층을 형성한다. 이 응고층의 형성과 동시에 주괴는 응고수축에 의해 주형벽으로부터 분리되어 주형과 주괴사이에 Air Gap을 형성하게 된다. 그 결과 냉각 효율이 크게 떨어진다. 최근에는 효과적인 냉각을 위해서 주형에서는 응고층 (Shell) 만을 형성시키고 주형에서 빠져 나온 직후에 냉각수 분사에 의해 주괴를 2차 냉각시킬 목적으로 주형의 길이를 감소 시키는 추세이다. 그 후에 주괴는 주형하단에 설치되어 있는 수조 탱크내에 들어가 완전하게 냉각된다 (3차 냉각).

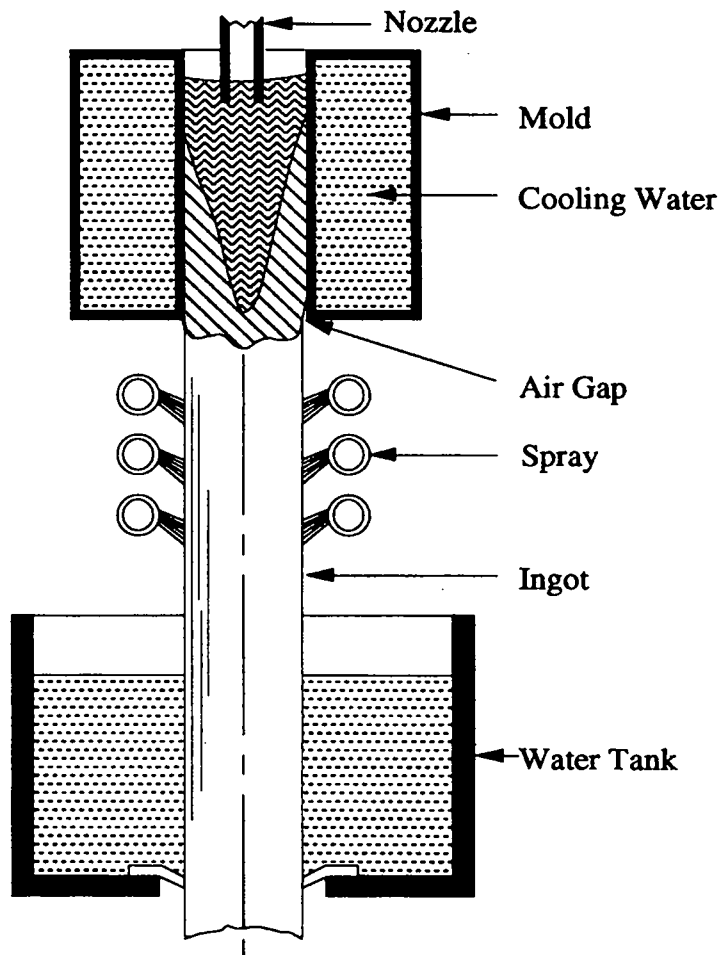


Fig. 3.21 Cooling system of melt container.

Table 3.9 D.C. assembly and options.

구분	장치구성 및 주요사양	비고
Al 용해로	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개 요 : Al합금의 주조를 위한 용해설비</li> <li>○ 구 조 : 2분할 Door구조를 갖는 전기저항로                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대용적 : 340D X 342H mm</li> <li>- 사용온도 : Max. 800℃</li> </ul> </li> </ul>	도가니에 stopper설치
main frame	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개 요 : 연속주조에 필요한 유압시스템 및 부속설비</li> <li>○ 구 조 : 1층은 부속설비, 2층은 용해로를 설치함</li> <li>○ 구 성 :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 빌레트연속주조를 위한 유압 Servo System</li> <li>- Al 빌레트주조시의 Mold의 냉각 System, 기타</li> </ul> </li> </ul>	저속정밀 유압시스템
용탕면 제어	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개 요 : Mold내의 Al용탕높이 측정을 위한 계측기</li> <li>○ 구 조 : 와전류방식의 검출센서 및 신호처리장치로 구성</li> <li>○ 사 양 :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 측정거리 : 0~100mm(유효측정범위 60mm)</li> <li>- 출력전압 : 0~10V(Interface용 출력)</li> </ul> </li> </ul>	당소 설계에 의한 센서채용
제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개 요 : 연속주조장치의 작동을 위한 수동/자동 제어 System</li> <li>○ 구 조 : PLC방식으로 구성한 주제어반 및 조작반으로 구성</li> <li>○ 기 능 :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 와전류센서 계측신호에 의한 용탕레벨 PID제어</li> <li>- 용해로 가열온도의 SCR에의한 PID제어</li> </ul> </li> </ul>	안전성 및 조작성 고려 조작반의 분리

### 2.3.2 D.C 주조장치

이 연구에 사용된 유리온실용 알루미늄 압출재 제조에 필요한 압출소재인 Al 빌레트를 제조하기 위하여 실험실 규모의 장치를 제작 이용하였다.

그림 3.22는 시험에 사용된 DC주조장치이다. 용해로는 전기저항로로써 칸탈 wire 를 이용하였으며, Al의 용점보다 150℃ 정도 높은 800℃ 까지 사용할 수 있도록 되어 있다. 용해로에 사용되는 도가니는 Al과 고용도가 없는 Graphite를 사

용하였고 Stopper, 탕도 및 노즐로 marunite를 사용하였다. 금형은 순수 Al를 이용하여 제작하였다. 표 3.9는 D.C 주조장치의 구성 및 주요사양을 나타낸 것이다.

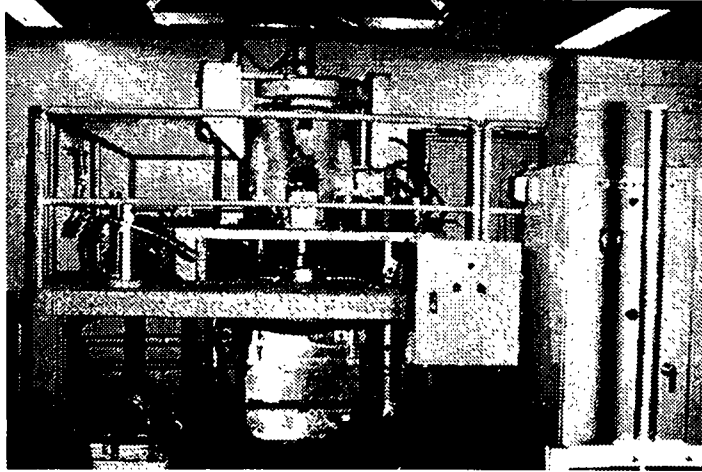


Fig. 3.22 DC casting equipment.

D.C 주조장치는 내용적 7ℓ (약 18.9Kg Al 용해), 최대 용해온도 800℃ 의 용해로, 용융 Al 합금의 연속 주조를 위한 정밀 유압시스템 및 용탕의 탕면을 일정하게 유지시키기 위한 센서 그리고 연속주조작업의 자동제어를 위한 제어시스템으로 구성되어 있으며 이 주조장치를 사용하여 직경 5인치 길이 약 40cm크기의 Al 빌레트를 주조 할 수 있었다. 그림 3.23은 D.C 주조장치의 제어시스템이다. 크게 나누어 주형에 주입된 Al 용탕이 응고하여 빌레트 상태로 일정한 속도로 하강시키는 Hydraulic Servo Control 부, 용탕의 탕면을 일정하게 유지할 수 있도록 용탕공급을 하도록 하는 와전류센서(Eddy Current Sensor) 제어 및 용탕의 공급을 일정하게 하기 위해 스톱퍼를 상하로 제어하는 Level Servo Control 부 그리고 이 장치의 모든 작동을 자동적으로 진행하도록 제어하는 시퀀스컨트롤부로 구성되어 있다.



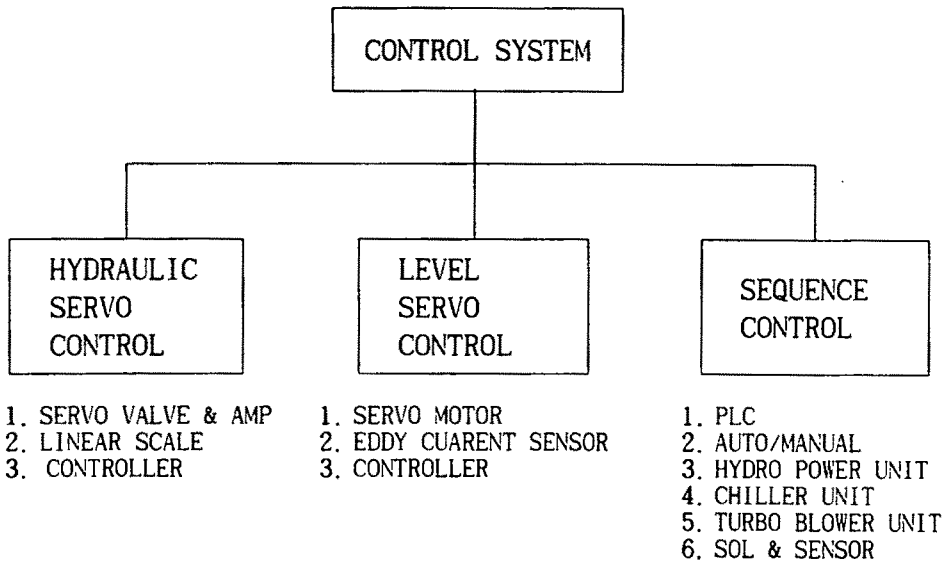


Fig. 3.23 Control system of the DC casting equipment

### 2.3.3 주형(Mould) 및 설치 방법

그림 3.24는 주형의 외관사진이다. 이 주형은 Pure Al을 사용하여 기계가공하여 직경 5인치, 높이 100mm의 크기로 제작하였다. 주형의 냉각을 위하여 외부에 냉각수 주입구 2개를 설치하였고 냉각효율을 높이기 위하여 주형내부에 냉각수가이드를 설치하였다. 주형의 윗부분에는 주형상부의 공기를 제거하기 위하여 에어 콕크가 부착되어 있다. 주형에 공급되는 냉각수의 압력은  $2\text{Kgf}/\text{cm}^2$  이며 주입된 냉각수는 주형하부에 있는 구멍을 통하여 하강하는 빌레트의 표면에 직접 분무시켜 냉각이 되도록 하였다.

D.C 구조를 하기 위해서 우선 Al으로 제작된 주형과 Bottom block이 일치하도록 정확히 삽입 설치되어야 한다. 이를 위하여 본 장치에서는 주형과 Bottom block

이 셋팅될 때 상호 충돌에 의해 변형되는 것을 방지하기 위하여 주형 하부에 가이드를 설치하고 Bottom block에 테이퍼를 주어 자동으로 조합되도록 되어 있다. 따라서 주형내에 주입된 Al 용탕은 주형에 의해 1차 냉각이 되고 이어서 주형 하부에서 냉각수에 의해 2차냉각이 되도록 하였다.

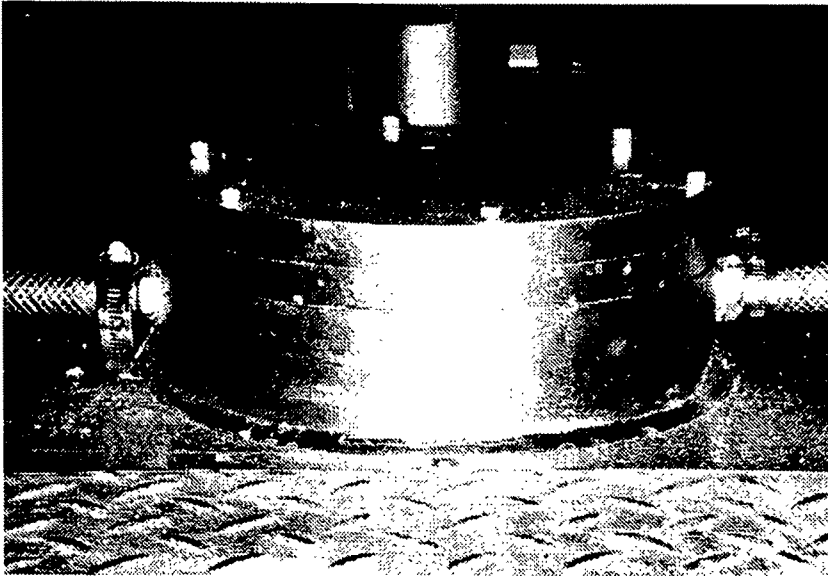


Fig. 3.24 Mould for DC casting.

#### 2.3.4 용탕의 누출방지

D.C 구조를 개시한 초기단계에는 용탕이 누출될 우려가 있다. 이를 방지하기 위하여 1차적으로는 주형의 하부에 Bottom block을 삽입하여 용탕의 누출을 방지하고, 2차적으로는 주형과 Bottom block을 조합한 후 용탕을 주입하여 응고가 시작된 다음 Bottom block을 하강시킨다. 이때 주형내벽과 주괴의 응고 Shell과의 윤활이 일어나지 않으면 응고 Shell의 파단이 일어나기 때문에 Al 용탕이 주형에 3/4 정도 주탕된 후 응고 Shell이 형성된 다음 Bottom block을 정상적으로 하강

시키는 방법으로 용탕의 누출을 방지하였다. 또한 주조 초기단계에서 용탕의 응고 부가 주형내면에 부착되면 Bottom block이 하강할 때 무리한 하중을 받게 되며 응고 Shell이 파단되어 용탕의 누출이 일어나게 된다. 이를 방지하기 위하여 주형 내벽에 반연속 주조용 윤활제를 도포하였다. 그리고 Bottom block 의 양쪽에 주괴의 원활한 하강 및 주조후의 빌레트의 추출을 용이하게 하기 위해 볼트를 끼워서 주괴가 주형에 부착되어 생기는 응고 Shell 의 파단을 방지하고 주조된 빌레트의 추출을 용이하게 하였다.

한편, 주조 초기단계에서 주형과 빌레트를 냉각시키기 위한 냉각수가 분사구멍을 통해 주형내로 분사되어 AI 용탕과 접촉, 기화되어 내부압력이 발생하여 빌레트를 충격적으로 위로 들어 올리는 소위 범핑(Bumping)현상이 발생한다. 이 때문에 주괴의 표면에 Cold Shut이 생기거나 응고 Shell을 파단시키기 때문에 주조전에 Bottom block을 주형내에 삽입하여 냉각수가 침입하지 않도록 하였다.

### 2.3.5 노즐(Nozzle)

스토퍼를 통하여 흘러나온 AI 용탕은 용탕 유도관을 거쳐 노즐을 통하여 주형에 주입이 된다. 노즐을 통하여 용탕이 주형에 주입될 때 와류를 일으키거나 공기가 혼입되어 들어가 응고가 되어 불건전한 빌레트를 만들 우려가 있다. 또한 노즐구멍의 방향이나 단면적 등은 주형내에 충전되는 용탕의 유동상태나 온도분포를 지배하기 때문에 빌레트의 품질에 미치는 영향이 크다. 이 장치의 경우는 그림 3.25에 나타내었듯이 일자형의 관통 노즐을 사용하였다. 노즐로 사용되는 재료는 수명이 길고 기계가공성이 양호한 marunite를 이용 기계가공 하였다.

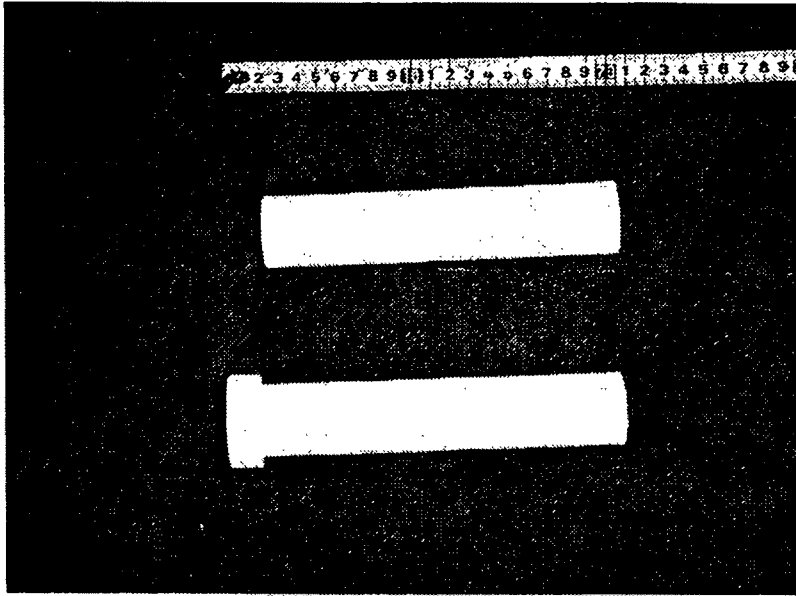


Fig. 3.25 Nozzle for DC casting.

### 2.3.6 알루미늄 빌레트의 주조

DC주조장치로 빌레트를 주조하기 위하여 우선 순수 알루미늄과 합금 I을 이용하여 시험주조를 하였다. 이 DC주조장치를 이용하여 주조할 수 있는 빌레트의 크기는 직경 5인치 길이 400mm이다. 빌레트를 주조하기 위하여 우선 알루미늄 잉고트 15Kg을 용해로에 장입하고 770℃까지 온도를 올려 용해하였다. 이때 탈가스작업을 하기 위하여 용탕의 0.1wt%되는 양의 degaser(한국FOSECO제)를 용탕내에 넣고 지그를 이용하여 탈가스처리를 하고 10분간 유지시켰다. 탈가스 후 스톱퍼를 열어 730℃의 유지된 용탕을 래들박스에 주입하고 용탕이 안정된 후에 래들박스에 장치된 수동 스톱퍼를 사용하여 금형에 주입하였다. 금형 하부에는 흠을 만들어 금형을 냉각시킨 냉각수가 이 흠을 통하여 분사되어 빌레트의 표면을 냉각시키도록 하였다. 초기에는 금형 내부의 bottom block이 금

형 하부를 막고 있는 상태에서 수동스토퍼를 상승시켜 알루미늄을 주입하였다. 이때 알루미늄의 양을 육안으로 확인하면서 일정 탕면 높이까지 주입을 하고 소정의 주조속도로 bottom block을 하강시킨다. 그렇지 않고 이때 곧바로 bottom을 하강시키게 되면 bottom block이 빌레트를 끌고 내려가지 못하고 bottom block만 하강하게 되어 빌레트가 금형에 걸쳐 공중에 떠있게 되며 때로는 완전응고가 되지 않은 상태가 되어 용탕이 하부로 누출된다. 따라서 bottom을 하강시키기 전에 잠시 유지시간을 주어야 한다. 금형내부에는 광물유와 흑연(graphite)을 혼합한 DC 주조용 윤활재를 발라서 금형과 용탕과의 마찰을 최소로 하였다. 이와같이 하여 주조된 빌레트를 그림 3.26에 나타내었다.

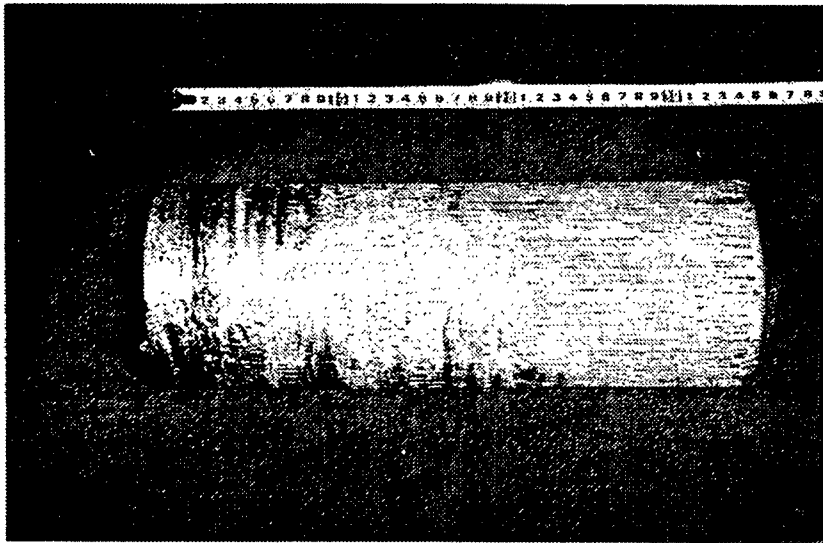


Fig. 3.26 DC casted billet.

### 2.3.7 용탕 주입온도

용탕의 온도는 용해로에서 용해를 하고 탈가스 작업을 한 후에 spout를 통해 다시 래들박스로 용탕이 옮겨 지는데 10분 이상의 시간이 소요되기 때문에 냉각을 고려하여 주입온도보다 약 70℃정도 높은 온도로 맞추었다. 순수 알루미늄의 경우, 용점이 660℃이므로 용해온도를 880℃로 하고 최종 주입온도를 690-750℃의 범위로 하여 빌레트를 주조하였다. 합금 I의 경우는 순수 알루미늄보다 용점이 낮아 용해온도를 770℃로하고 최종 주입온도를 690-750℃의 범위로 하여 빌레트를 주조하였다. 주입온도가 690℃보다 낮은 경우에는 bottom block을 하강시키기 전에 래들박스의 노즐구멍이 막히는 경우가 발생 되었다. 한편, 주입온도가 750℃인 경우에는 용탕 주입후 소정의 탕면이 될때 bottom block을 하강시켰으나 bottom block과 접촉부분이 완전히 응고되지 않아 bottom block이 금형을 빠져 나갈 때 용탕이 측면으로 누출되어 건전한 빌레트를 얻을 수 없었다. 용탕온도가 낮을 때는 주조속도를 빨리(100mm/min)해야 금형내에서의 응고를 막고 노즐에서의 원활한 용탕배출이 가능하며, 용탕주입온도가 높을 때는 주조속도를 낮추어야(70mm/min) 빌레트의 주조가 가능 하였다.

이 연구에서는 용탕배출온도를 720℃로 하였을 때 80mm/min의 주조속도에서 건전한 빌레트를 주조 할 수 있었다.

### 2.3.8 주조속도

주조속도는 용탕 주입온도에 따라 약간의 차이가 있지만 이 연구에서는 래들박스에서의 온도를 720℃로 유지시킨 후 용탕을 금형내에 주입하였다. 우선 제작된 DC주조장치를 이용하여 빌레트의 주조가 가능한 최저주조속도와 최고주조속도를 설정하기 위하여 주조속도를 40-120mm/min로 변화시켜 가면서 주조를 행하였다.

이 장치는 냉각수를 금형에 순환시키고 일부는 빌레트에 분사되는 방식이므

로 냉각속도의 제어는 곤란하다. 주조속도가 40mm/min의 경우 래들박스의 노즐을 통과하여 금형내에 주입된 알루미늄 용탕은 초기에 금형내에 마련된 bottom block과 금형으로 이루어진 공간에 충전이 되며 설정된 탕면높이가 되면 40mm/min의 속도로 bottom block이 하강한다. 하강하는 도중에 금형으로부터 응고가 시작되고 노즐을 통하여 알루미늄 용탕이 공급되지만 냉각속도가 빠르고 노즐에서 배출되는 용탕의 양이 작아서 원만한 주조작업이 곤란하였다. 그 결과 빌레트의 표면에 불규칙적인 용탕의 공급에 의해 응고층과 응고층이 서로 겹쳐 깊은 주름이 형성되었다. 이러한 응고과정을 과장하여 표현하면 완전히 응고된 면위에 새로운 용탕을 일부 공급하여 응고시키고 다시 용탕을 공급하여 응고시키는 동작을 반복한 결과와 같다. 이때 발생된 주름은 매우 깊어 면삭공정을 거쳐도 잘 없어지지 않으며 면삭량을 증가시켜 주름을 완전히 없애면 사용 가능한 빌레트의 두께는 매우 작아질 수밖에 없다. 주조속도를 60mm/min으로 하였을 경우에는 용탕을 주입하는 동안에 금형벽면으로 부터 응고층이 생성은 되고 있으나 이것이 금형중앙으로 진전되기 전에 계속 용탕이 공급되고 bottom block이 일정한 속도로 계속 하강하기 때문에 중단되는 일없이 건전한 빌레트의 주조가 가능하며 주조속도를 80mm/min, 100mm/min으로 하였을 경우에도 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 주조속도가 120mm/min의 경우에는 bottom block이 하강하는 동안에 금형 벽면에서 응고가 일어나지만 응고층이 얇아 계속 공급되는 용탕으로 인해 재용해가 일어나고 용탕이 누출되어 주조가 불가능 하였다. 따라서 이 실험에서는 주조속도를 60-100mm/min으로 결정을 하고 이 장치로 주조 가능한 최대 및 최소 주조속도를 구하였다.

### 2.3.9 탕면높이

탕면높이란 금형의 저면으로부터 금형 내부의 용탕 충전면 까지의 거리를 말하며 이는 빌레트 조직중에서 chill 층과 조대 cell층의 두께에 영향을 미친

다. 그러므로 빌레트를 주조한 후 면삭을 행하는 과정에서 가능하면 chill층과 조대 cell층의 두께를 얇게하여 면삭량을 적게 하는 것이 바람직하다. 면삭량을 줄이기 위해서는 주조속도를 늦추고 탕면높이를 낮게하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다. 즉 빌레트 표면으로부터 조대 cell층 까지의 표면층(chill층 + 조대 cell층)의 두께는 탕면 높이가 낮을수록 얇아지고 주조속도가 빠를수록 두꺼워 진다. 이 연구에서는 장착된 금형의 높이가 100mm로서 금형 하부에 bottom block 이 주조초기에 20mm정도 삽입되기 때문에 용탕 높이는 30 - 80mm로 설정하여 주조할 수가 있다. 본 실험에서는 용탕 높이를 50mm로 고정하고 실험을 행하였다. 그 결과 그림 3.26에 나타낸 것 같은 합금 I의 건전한 빌레트를 주조할 수 있었다.

#### 2.3.10 빌레트의 macro 조직

그림 3.27은 합금 I의 전형적인 macro조직을 나타낸 것이다. 알루미늄합금의 DC주조된 빌레트의 조직은 일반적으로 빌레트의 표면으로부터 순차적으로 1)표면에 물결모양이 있고 2)chill층 3)조대 cell층(sub-surface band) 4)미세 cell층으로 나눌 수 있다.



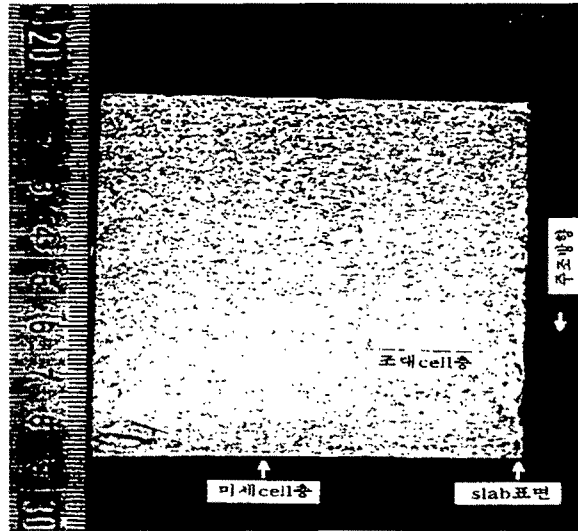


Fig. 3.27 Surface morphology of DC casted billet.

표면근방에 이와같이 여러가지의 조직이 나타나는 것은 DC주조 빌레트가 금형에 의한 1차냉각과 냉각수 분사에 의한 2차냉각이 이루어 지기 때문이다. 또한 압출시의 크랙, 압출면의 결함, 주조균열 등을 방지하기 위하여 빌레트의 표면은 매끈한 것이 바람직하다.

빌레트의 표면에 물결모양의 무늬가 발생하는 이유는 금형내의 air gap에 대응하는 영역에서 응고 shell의 국부적 재용융이 일어나서 저용점의 용액이 빌레트의 표면으로 침투되어 나오기 때문이다. 응고온도 범위가 비교적 넓은 합금 I의 경우 그림 3.28에서와 같이 주조방향으로 무늬가 발생하였다.

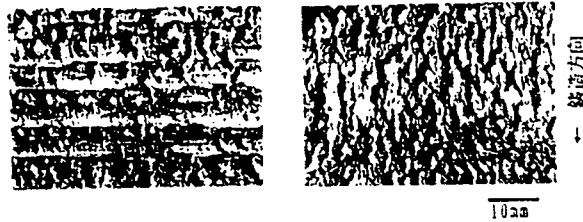
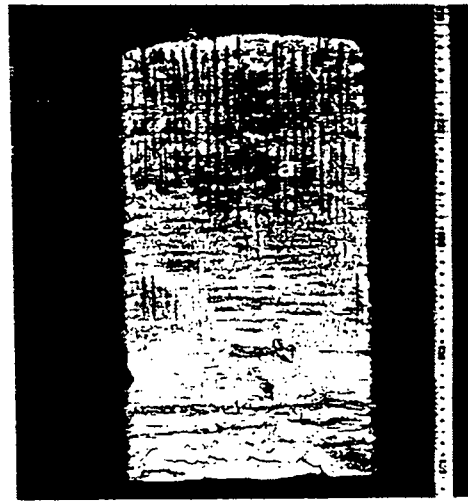


Fig. 3.28 Billet and waviness on surface of Alloy I.

DC주조에 의해 주조된 빌레트의 표면근방의 조직중에서 chill층은 용탕과 금형의 직접냉각에 의한 급냉영역에 대응하며 조대 cell층은 shell의 수축에 의해 생기는 air gap에 대응하는 서냉 영역에서 성장한다. 그림 3.29는 DC주조의 응고 형상을 나타낸 것이다. 이와 같이 chill층, 조대 cell층을 포함하는 빌레트가 주조되는데, 조대 cell층이 남아 있게 되면 압출 후 양극산화처리를 하게되면 표면결함이 생기게 되어 상품으로의 가치를 잃게된다. 따라서 chill층, 조대 cell층의 두께는 가능한 얇게 하는 것이 바람직하다.

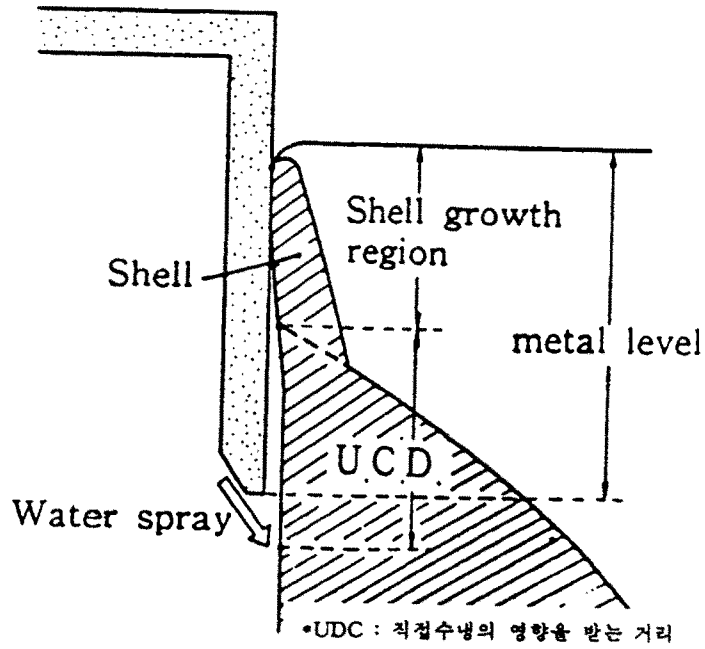


Fig. 3.29 Schematic of DC casting process.

시험주조 후에 3가지의 합금에 대하여 DC주조를 행하여 그림 3.30과 같은 길이 40cm의 빌레트를 주조하였으며, 그림 3.31은 합금 I, 합금 II, 합금 III의 빌레트 주조조직을 나타낸 것이다.

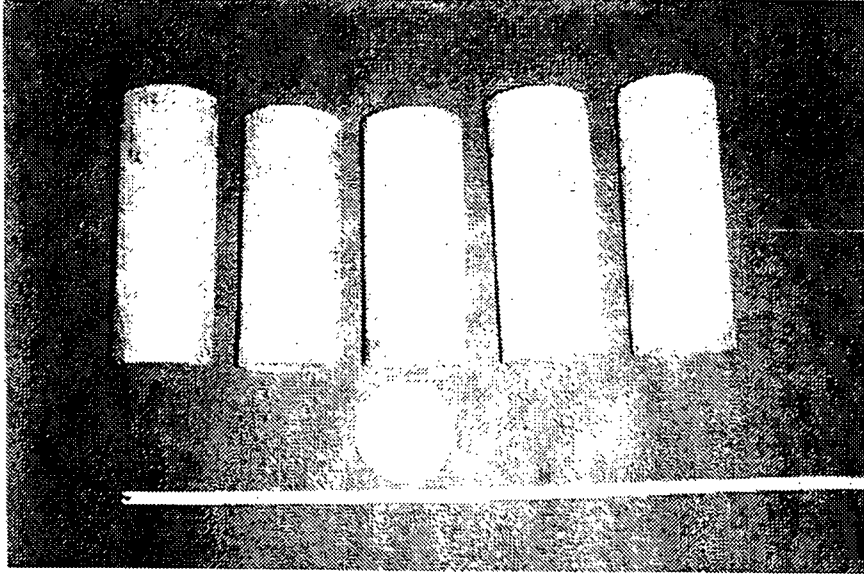


Fig. 3.30 DC casted billet.

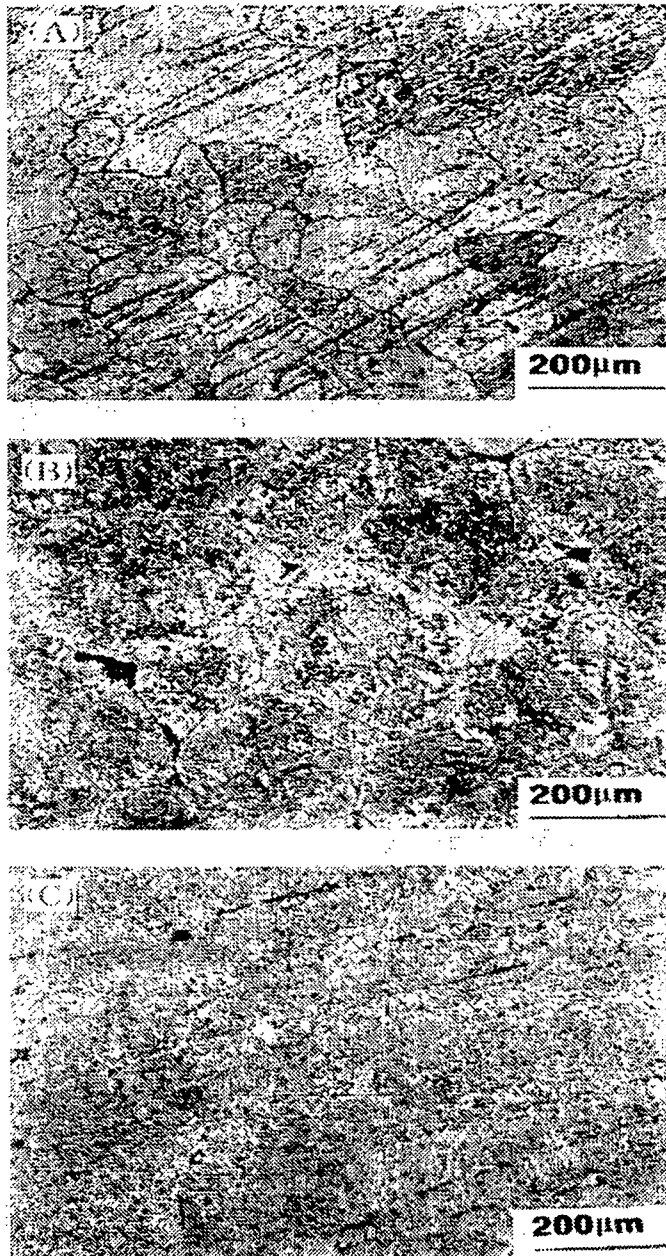


Fig. 3.31 Microstructure of the billets after homogenization.  
(A) Alloy I (B) Alloy II (C) Alloy III

## 2.4 합금I, II, III의 압출성평가

3가지의 압출용 빌레트를 주조하여 합금 I 과 합금III은 570℃에서 9시간 그리고 Zn이 함유된 합금 II는 520℃에서 10시간 균질화 열처리를 행한 후, 협동 연구기관인 세명 코레스(주)에 압출성평가를 의뢰하여 합금 I, 합금 II, 합금 III 각각에 대한 압출성을 평가하였다.

압출성 평가는 일반적으로 널리 사용되는 기존의 압출용 A16063합금과 비교 평가하는 방법을 선택하였으며 이때 압출재의 단면형상은 유리온실 천창회전재에 사용되는 SH-P-1072의 형상조건을 선택하였다. 그림 3.32는 압출된 압출재와 단면형상을 나타낸 것이다.

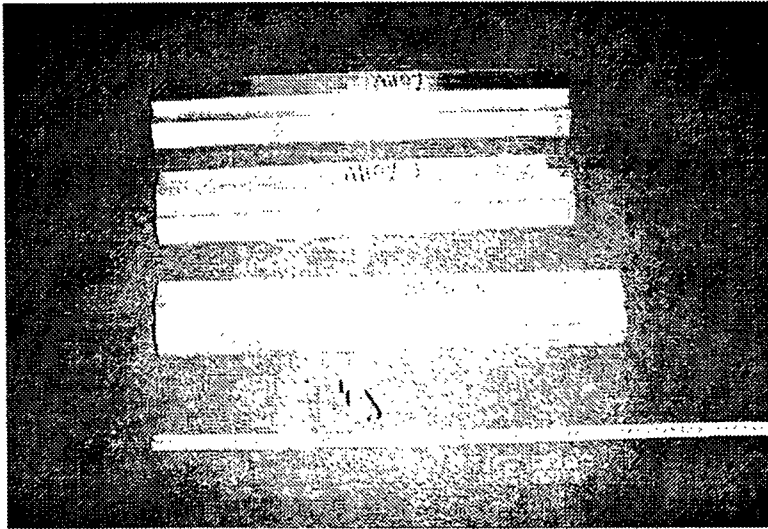


Fig. 3.32 Extruded alloys and cross section.

길이 35cm의 빌레트 2개를 한조로 하여 압출성을 평가하였는데 압출조건으로는 컨테이너온도를 455~460℃, 빌레트의 예열온도를 460℃ 그리고 금형예열온도를 460℃로 하여 압출시험을 행하였다. 그림 3.33은 합금 I, 합금II, 합금III의 압출재의 미세조직을 나타낸 것이다.

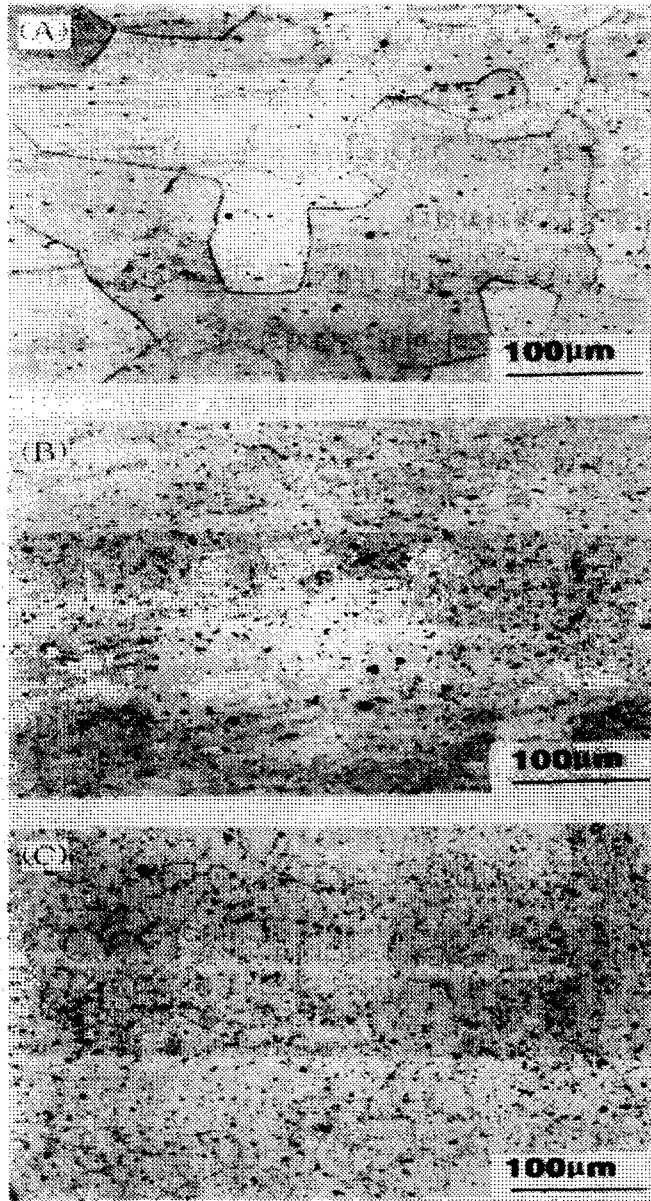


Fig. 3.33 Microstructure of the extruded alloys.  
(A) Alloy I (B) Alloy II (C) Alloy III

표 3.10에 합금 I, 합금 II, 합금 III의 빌레트를 압출하여 A16063의 압출성지수를 100으로 하여 비교 평가한 결과를 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 합금 I은 압출성지수가 90으로 기존의 6063 빌레트보다 약간 저하 되었으며, 합금 II의 경우에는 압출성지수가 120으로 압출성은 좋으나 전부위에 걸쳐서 뜨김이 발생하다가 끊어짐 발생으로 압출을 중단하였다. 합금 III의 경우에는 압출성지수가 60으로 기존의 6063보다 압출성이 40정도 저하되는 것을 알 수 있었다.

표 3.11에 압출된 소재의 인장시험은 압출소재를 175℃에서 8시간 열처리한 후 실시하였으며 그 결과는 표 3.11에서 보는 바와 같다.

Table 3.10 Extrusion test results of Alloy I, Alloy II and Alloys III.

합금명	압출성평가	6063압출성지수기준 (Z=100)
Alloy-I	기존의 6063 BILLET보다 약간 저하됨	90
Alloy- II	압출불가 : 압출성은 좋으나 전부위에 걸쳐서 뜨김이 발생하다가 끊어짐 발생으로 압출중단.	120
Alloy-III	기존의 6063보다 압출성이 약간 저하됨	60

Table 3.11 Mechanical properties.

구 분	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	경도 HR <sub>F</sub> (HB)	비고
Alloy-I	24	76(13)	
Alloy- II	13	- (4)	기계적성질 저하
Alloy-III	27	82(15)	



위의 합금 I, 합금 II, 합금 III의 압출시험 결과, 압출재에 일부 기포가 존재하고 있었는데 이것은 주조시 교반이 불충분하여 편석이 생긴 것으로 판단되었다. 합금 II의 경우에서 앞서 설명한 바와 같이 소재의 뜨김 및 끊어짐이 발생하여 기계적 성질이 저하 하였으며, 합금 I의 경우는 기존의 A16063보다 압출성은 약간 저하되었으나 기계적 성질은 A16063과 거의 같은 수준이었다. 그리고 합금 III의 경우, 압출성은 A16063보다 약간 떨어지나 기계적 성질은 A16063 보다 우수한 것으로 나타났다.

## 2.5 고강도, 고압출성의 알루미늄합금 설계(II)

위의 시험결과를 종합하여 볼 때, 합금 I의 경우는 압출성은 A16063에 비하여 90정도로 나타났으나 기계적 성질이 이 연구의 목표치인 280MPa에 못 미치고, 합금 II의 경우는 압출지수가 120으로 우수하였으나 뜨김이 발생하고 기계적 특성이 낮게 나타났으며, 합금 III의 경우는 인장강도는 목표치에 도달하였으나 압출지수가 60으로 압출성이 미흡하였다. 따라서 이 연구의 목표인 고강도이면서 압출성이 우수한 압출소재를 개발하기 위하여 합금 I은 개선의 여지가 없는 것으로 판단하고 합금II 와 합금 III을 개량하여 압출성과 강도를 향상시키기 위한 2차 합금설계를 행하였다.

또한, 국내에서 제조된 합금 중에서 비열처리합금인 M2합금을 주조하여 압출성을 평가하였으며 합금 I, 합금 II 및 합금 III와 M2합금의 조성을 조합한 개량형 합금 R1을 설계하였다.

표 3.12는 합금 II 와 합금 III의 조성을 변화시킨 합금 II-1, 합금 II-2, 합금 III-1, 합금 M2 및 합금 R1의 조성을 나타낸 것이다.

Table 3.12 Elements of designed Al alloys.

합금	Si	Mg	Fe	Mn	Cr	Cu	Zn	Zr	Ti
II-1	0.4	0.45	<0.1	<0.1	<0.05	0.1	5.25	-	-
II-2	0.2	0.45	<0.1	<0.1	<0.05	0.3	5.25	-	-
III-1	0.3	0.45	<0.1	0.3	<0.05	0.5	-	-	-
M2	0.82	0.67	-	1.07	0.3	0.66	0.24	0.16	0.09
R1	0.3	0.4	-	1.0	0.3	0.3	6.0	-	-

표 3.12에 설계한 5가지 합금의 설계배경은 다음과 같다. 우선 합금 II-1은 기본합금인 합금 II의 강도를 향상시키고자 기본조성에서 Si의 함량을 0.2wt%에서 0.4wt%로 증가시켜 Si의 첨가에 따른 인장강도의 향상을 피하였으며 합금 II-2는 Cu의 함량을 0.1wt%에서 0.3wt%로 높여서 압출 후의 시효경화에 의한 인장강도의 향상을 위해 설계하였고 합금 III-1은 기본합금인 합금 III의 Si 함량을 0.5wt%에서 0.3wt%로 감소시켜 압출성의 향상을 피하도록 설계 하였다.

한편, M2 합금은 비열처리합금으로 Mn의 분산상을 만들어 열처를 하지 않은 상태에서 인장강도의 향상을 피하며 미량원소인 Zn, Zr 및 Ti을 미량첨가 하였다.

또한, R1합금의 조성을 선택한 배경은 위의 조성들을 기본으로 하여 볼 때, 합금 II는 A17003의 조성을 기본으로 하여 설계되었으며, 7003(T5)은 약 360MPa의 높은 인장강도를 가지고 있고 압출지수는 80정도로 양호하다. 따라서 합금 II는 A17003 보다 인장강도를 감소시키는 대신 압출지수를 증가시키는 것을 목표로 하였다. 한편, 합금 II의 압출성을 평가한 결과, 압출성은 A16063보다 우수하나 뜨김이 발생하고 기계적 성질이 열악하였기 때문에 R1합금의 조성은 강도를 증가시키기 위해 기존 설계된 합금 II보다 Zn와 Cu의 양을 증가 시켰고 Si의 양도 약간 증가시켰다. 또한, 미세한 분산상을 형성시키기 위하여 Mn을

1wt%첨가 하였다. 그림 3.34는 합금 II-1, 합금 II-2, 합금 M2 및 합금 R1의 주조조직을 나타낸 것이며, 그림 3.35는 합금 II-1, 합금 II-2, 합금 M2 및 합금 R1의 균질화 열처리후의 조직을 나타낸 것이다.

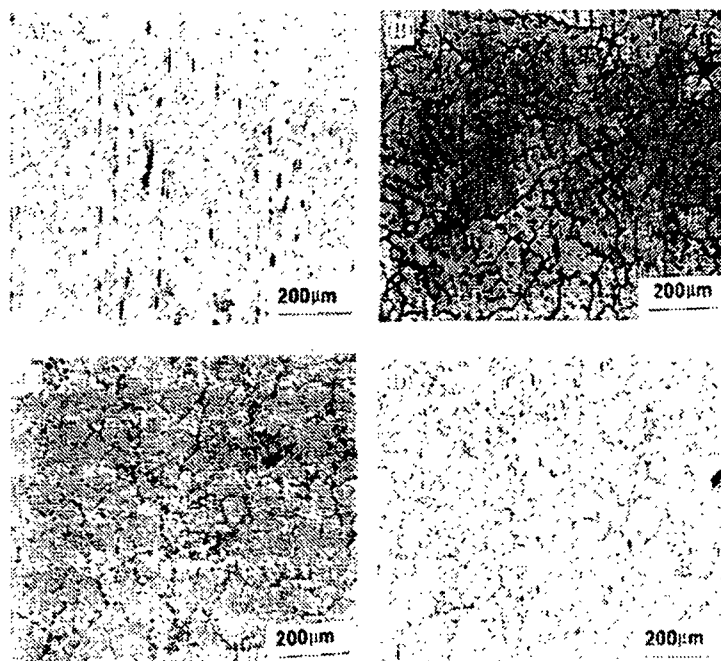


Fig. 3.34 Microstructure of billets of improved alloys. (A) Alloy II-1 (B) Alloy II-2 (C) Alloy M2 (D) Alloy R1

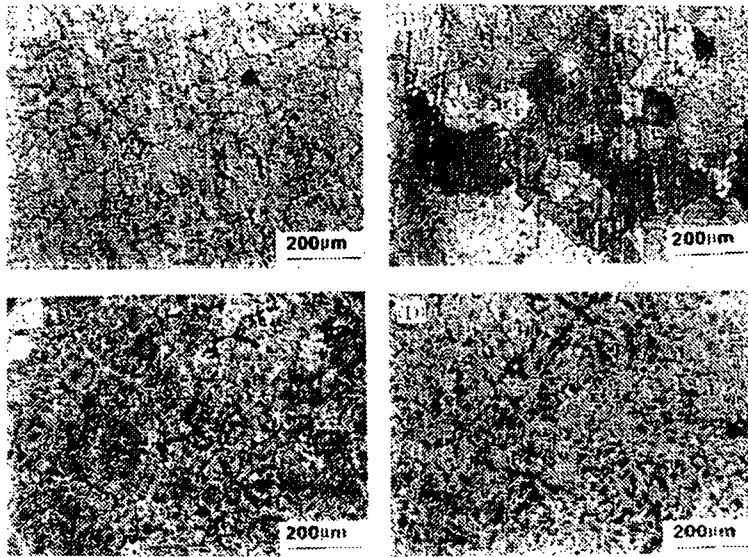


Fig. 3.35 Microstructure of homogenized billets of improved alloys.  
 (A) Alloy II-1 (B) Alloy II-2(C) Alloy M2 (D) Alloy R1

### 2.5.1 2차 합금설계 재료의 압출성 평가

2차 합금설계한 5가지 합금의 압출용 빌레트를 주조하여 합금 II-1과 합금 II-2는 520℃에서 9시간 그리고 합금 III-1은 570℃에서 10시간 균질화 열처리를 행한 후, 협동연구기관인 세명 코레스(주)에 압출성평가를 의뢰하여 압출성을 평가 하였다.

압출성 평가는 1차 때와 마찬가지로 일반적으로 널리 사용되는 기존의 압출용 A16063합금과 비교평가하는 방법을 선택하였다. 압출특성 평가에 적용된 압출재의 단면형상은 유리온실의 천창회전재에 사용되는 SH-P-1072의 형상조건을 선택하여 35cm의 빌레트 2개를 한조로하여 압출성을 평가 하였다. 압출조건으로는 컨테이너온도를 455 - 460℃, 빌레트의 예열온도를 460℃ 그리고 금형의 예열온도를 460℃로 하여 압출시험을 행하였다. 표 3.13에 2차 합금설계된 재료의 압출성 평가 결과를 나타내었다.

Table 3.13 Mechanical properties and extrudability.

항 목	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)	경도 HR <sub>F</sub>	압출성지 수	비고
II-1	20.1	15	46.5	80	-약간기포 -뜯김
II-2	27.2	12.9	79.4	50	-심한기포 뜯김 -두께단차
III-1	29.3	12	86.3	80	-약간 기포 -약간 뜯김
R1	-	-	-	-	-압출불가

-

-

#### 2.5.2 M2합금의 압출성평가

표 3.14는 합금 M2의 압출성 평가결과를 A16063합금과 비교하여 나타낸 것이다.

M2합금의 압출결과 A16061-T6 합금기준으로 볼 때 M2합금은 압출성이 저하되는 경향을 보이고 있다. 또한, M2합금은 열처리를 하지않은 상태에서의 압출재는 비열처리성을 나타내나 열처리 시에는 인장강도는 약간 상승하고 경도는 많이 증가하나 연신율이 저하됨을 알 수 있었다.

Table 3.14 Extrudability of M2 alloy.

합금명	압출성평가	6063압출성지수기준 (Z=100)
A16061	기존의 6063 BILLET보다 저하됨.	70
M2	압출불가 : 압출성은 좋으나 전부위에 걸쳐서 뜨김이 발생하다가 끊어짐 발생으로 압출중단.	50

Table 3.15 Mechanical properties.

항 목	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)	경도 HR <sub>F</sub>	비고
A16061-T6	35	11	93	
M2	27	15	60	비열처리 상태
M2-T5	28	11	78	열처리 상태

## 2.6 최종합금선정(R2합금)

위의 사실을 종합하여 볼때 M2합금과 합금 II-1, 합금 II-2, 합금 III-1의 압출성 평가를 비교하고, 합금 R1의 특성을 평가한 결과, 합금 II-1은 압출시에 약간의 기포와 뜯김현상이 발생하였고, 인장강도는 목표치보다 많이 떨어지나 연신율은 15%를 나타내었다. 합금 II-2는 합금 I에 비하여 심한 기포와 뜯김현상 그리고 두께의 단차가 생겼다. 인장강도와 연신율은 목표치에 근접하였으나 심한 기포와 뜯김현상 때문에 선정하기 곤란하였다. 합금 III-1은 약간의 기포와 뜯김 현상이 발생되었으나 인장강도와 연신율이 목표치 보다 높게 나타났고 압출성지수도 80으로 양호하게 나타났으나 R1합금은 압출이 불가능하였

다. 이와 같은 불량 발생의 원인은 1) 반연속주조에 의해 빌레트를 제조할 때 용탕의 충분한 교반이 이루어지지 않아 빌레트내부에 편석이 발생하여 압출된 압출재의 기계적성질 및 성분이 부위별로 차이가 나는 것으로 판단되며 2) 4가지합금(Ⅱ-1, Ⅱ-2, Ⅲ-1 및 R1합금)을 주조하여 압출실험을 한 결과 Ⅲ-1합금이 기계적 성질이 목표치보다 높게 나타났으나, 성분의 부위별 차이에 의해 신뢰성이 떨어지는 것으로 나타났다.

결국, 이 연구에서의 최종합금은 Ⅲ-1합금을 재차 성분분석하여 정확한 조성을 분석하고, 3차례의 합금설계 결과와 종합하여 표 3.16의 조성으로 이 연구의 고강도, 고압출성 합금 R2를 최종 선정하였다.

Table 3.16 Final alloy elements designed in this research.

합금	Si	Mg	Fe	Mn	Cr	Cu	Zn	Zr	Ti
R2	0.65	0.5	-	0.3	-	0.5	0.15	-	-

### 2.6.1 최종합금의 주조 및 성분분석

이 연구에 사용된 R2합금의 시료는 공업용 순도(99.8%)의 알루미늄 잉고트를 이용하였고 Mg은 99.8%, Si은 Al-25%Si의 모합금을, Mn은 Al-20%Mn의 모합금, Cu는 Al-50%Cu 모합금을 사용하였으며 99.9%의 순수 Zn를 용해하여 사용하였다. 이와같은 합금을 DC주조기의 용해로에 주입하여 750℃에서 우선 순수알루미늄을 용해하고 용해 후에 합금원소를 첨가( Mg, Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Cu, Zn 등)하였다. 이어서 입자 미세화재를 첨가(TIBOR: Ti-B-Al합금)하였으며 탈가스 처리 및 용탕의 산화방지를 위한 Flux를 도포한 후 용탕을 진정시키기 위하여 약 15분간 유지하였다.

이 실험에 앞서 최적 주조조건을 도출하기 위한 예비주조 결과를 표 3.17에 나타내었다

Table 3.17 D.C. casting test results.

구분	용탕주입온도 (°C)	주조속도 (mm/min)	장입량(kg)	비고
1차 주조	700 - 720	80	10	양호
2차 주조	710 - 730	80	14	부분 불량
3차 주조	710 - 730	100	14	양호
4차 주조	730 - 750	100	15	양호
5차 주조	710 - 730	120	14	부분 불량

1차 주조시 R2합금 scrap을 이용하여 양호한 빌레트(길이 30cm)를 주조하였다. 2차 주조시 양을 14kg으로 늘려 시도하였으나 주조도중에 금형내에서 응고가 되어 40cm의 빌레트를 주조하는데 실패하였다(부분불량). 이후 3, 4차 주조시에는 주조속도를 100mm/min으로 높이고 용탕 주입온도를 710 - 750°C 의 범위로 하여 주조한 결과, 양호한 빌레트의 주조가 가능하였다. 주조속도를 120mm/min으로 시도한 5차 주조에서는 주조속도가 빨라 도중에 불량이 생겨 주조가 곤란하였다.

이와같이 주조가 부분적으로 불량이 나타난 원인은 분배기 내에서 용탕의 온도가 내려가 금형내 주입시 응고가 되는 경우와, 주조속도가 느린 경우는 금형 벽면과 용탕과의 접촉시간이 길어서 금형 내벽에서 응고가 빨리 진행되어 불량이 되는 경우, 그리고, spout의 위치 및 용탕레벨의 조합이 이루어지지 않아 불량이 발생하는 것으로 판단되었다.

또한, 주조된 빌레트의 표면형상 제어를 위하여 반연속주조시 빌레트 표면의 기포발생, 물결무늬발생을 억제하기 위하여 주조속도제어 및 금형내에 이형재를 도포하였다. 표면형상에 영향을 주는 냉각속도는 장치특성상 고려하지 않았다.



따라서, 본 실험에서는, 반연속 주조(Direct Chill Casting)장치에서 15Kg/charge의 합금을 750±10℃에서 용해하고, 빌레트 주조시의 주입온도는 710 ±5℃ 범위에서, 주조속도는 100mm/min에서 주조하는 것이 최적이었다. 주조된 직경 5인치, 길이 40cm의 빌레트를 470℃에서 12시간균질화 열처리를 행하였으며, 주조된 빌레트는 부위별로 chip을 내어 습식 성분분석을 행하여 다음 주조시의 참고자료로 활용하였다.

그림 3.36과 그림 3.37은 이 합금의 빌레트 상태의 주조조직과 470℃에서 12시간 균질화 처리를 한 조직을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 빌레트의 주조상태에서의 조직이 균질화처리를 함에 의하여 입계주변에 편석되어 있던 합금성분이 입내로 확산되어 균질화된 조직을 나타냄을 알 수 있었다.

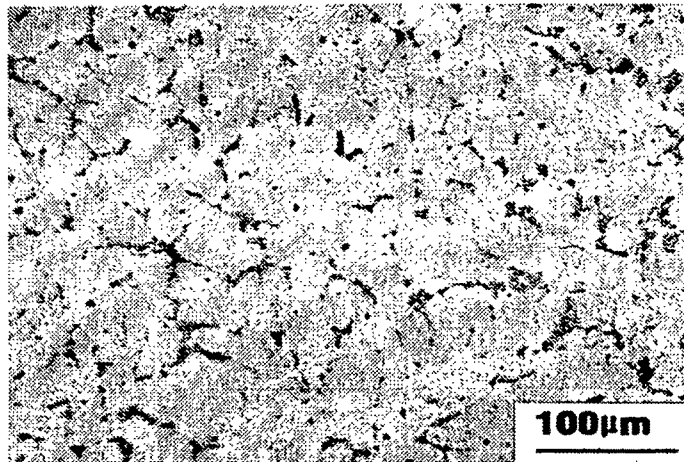


Fig. 3.36 Microstructure of R1 billet.

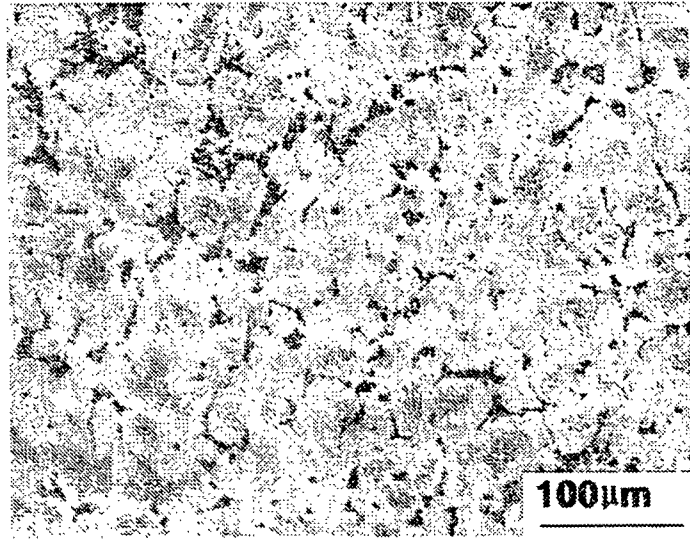


Fig. 3.37 Microstructure of R2 billet after homogenization.

최종적으로 선정된 R2 합금을 참여기업인 세명코레스(주)에서 DC 주조법을 이용하여 4,000Kg을 용해하여 5인치의 빌레트를 주조하였다. 주조된 빌레트는 성분분석을 행하였으며 그 결과를 표 3.18에 나타내었다. 분석결과 분석치는 모두 목표관리조성을 만족시키는 것으로 나타났다. RIST에서 재차 성분 분석한 결과는 Si과 Mg이 목표치에 약간 미달되는 것으로 나타났으나 분석상의 차이로 판단 되어 재차 성분분석을 행하였다.

Table 3.18 Elements of R2 alloy.

구 분	Si	Mg	Fe	Mn	Cr	Cu	Zn	Al
관리 조성 (목표치)	0.64~ 0.73	0.45~ 0.55	<0.35	0.25~ 0.35	<0.10	0.35~ 0.5	0.13~ 0.20	나머지
세명코레스 분석치	0.64	0.46	0.21	0.27	0.01	0.39	0.15	나머지
RIST 분석치	0.51	0.40	0.22	0.3	0.01	0.43	0.16	나머지

### 2.6.2 최종합금의 미세조직 평가

실험실에서 구조된 R2합금에 대하여 미세조직과 내부의 석출물 상태 그리고 성분분석을 행하였다. 그림 3.38과 그림 3.39은 R2합금의 미세조직을 투과형전자현미경(TEM)을 이용하여 관찰한 것이다. 그림 3.38은 빌레트의 균질화처리된 시편을 TEM 을 이용하여 미세조직을 10,000배 확대하여 촬영한 것이다. 사진에서 알수 있듯이 입계와 입내에 석출물들이 균일하게 분포되어 있는 것을 알 수 있었으며 그림 3.39에서 보듯이 이 조직은 Diffraction Pattern( D.P)으로 전형적인 알루미늄의 pattern을 나타내고 있었다.

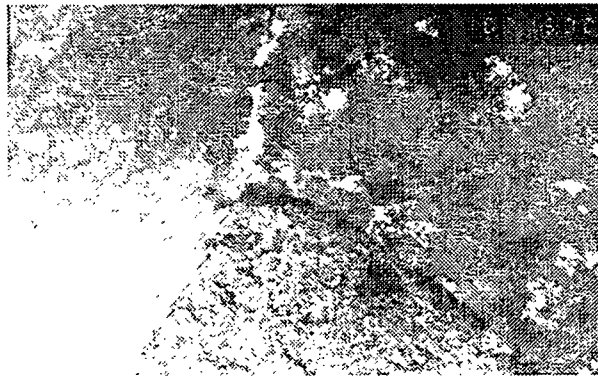


Fig. 3.38 Microstructure of R2 alloy.

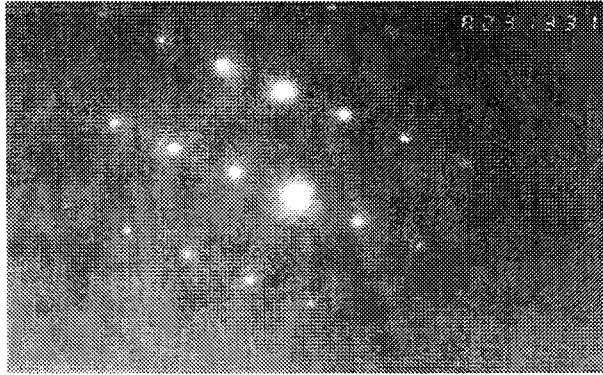


Fig. 3.39 Diffraction Pattern of R2 alloy.

또한, 그림 3.40와 그림 3.41은 균질화 열처리에 의한 석출물의 형태를 보기 위하여 그림 3.38의 미세조직을 50,000배로 확대하여 촬영한 것으로 알루미늄 기지조직 내부에 미세한 석출물이 침상이나 구상의 형태로 존재하고 있는 것을 나타내고 있다. 이와 같이 알루미늄 기지내에 균일하게 분포되어 있는 석출물의 형상이나 분포는 알루미늄의 압출에 크게 영향을 미치게 된다. 그림 3.40의 기지조직과 미세석출물의 성분을 분석하기 위해 EDS 를 이용하여 성분을 분석한 결과를 그림 3.42, 그림 3.43, 그림 3.44 및 그림 3.45에 나타내었다. 그림 3.44는 그림 3.42의 석출물을 분석한 것으로 이 석출물은 Si과 Fe 및 Mn 등의 화합물로 구성되어 있는 것을 알 수 있었다. 그림 3.45은 그림 3.42의 석출물 주위의 흰 부분을 분석한 것으로 이것이 알루미늄과 Cu의 화합물임을 알 수 있었다.

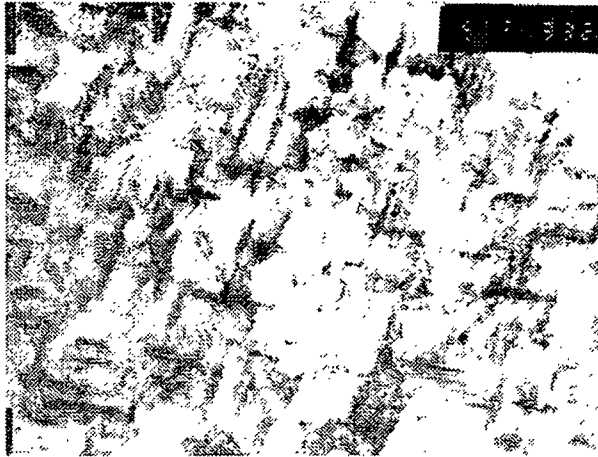


Fig. 3.40 Precipitation of R2 alloy.



Fig. 3.41 Spherical precipitate.



Fig. 3.42 Precipitate of R2 alloy.

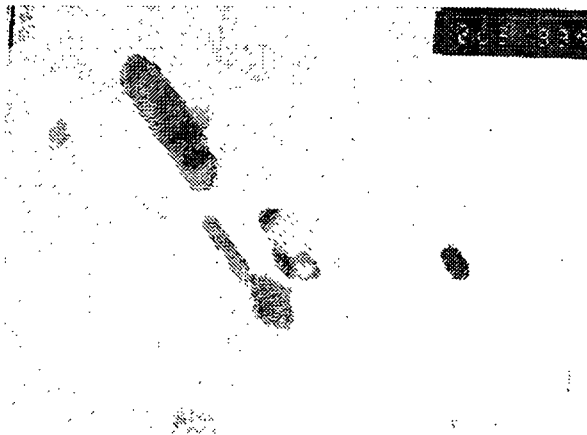


Fig. 3.43 Needle-like precipitate.

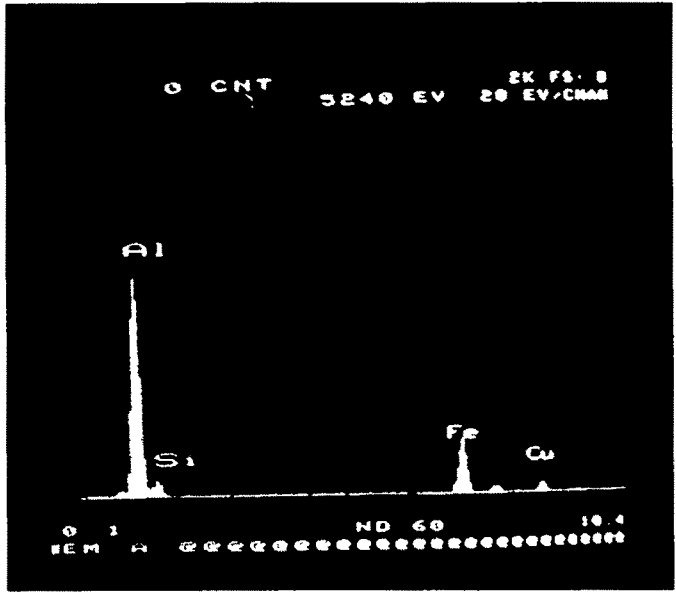


Fig. 3.44 Chemical analysis of the precipitate.

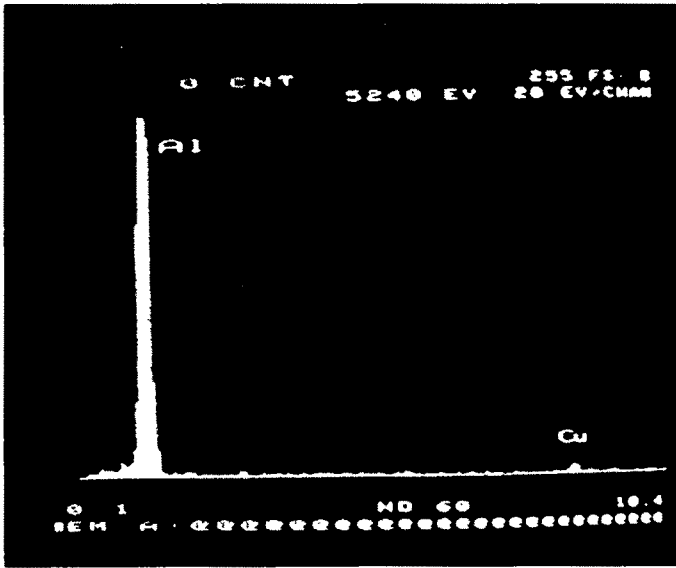


Fig. 3.45 Chemical analysis of the precipitate.

그림 3.46과 그림 3.47는 그림 3.43의 침상 석출물을 분석한 것으로 침상의 석출물은 알루미늄과 Mn 및 Cu로 구성된 석출물임을 알 수 있었으며, 그림 3.46은 그림 3.43의 흰부분(사각형상)을 분석한 것으로, 알루미늄과 Cu로 구성된 화합물임을 알 수 있었다.

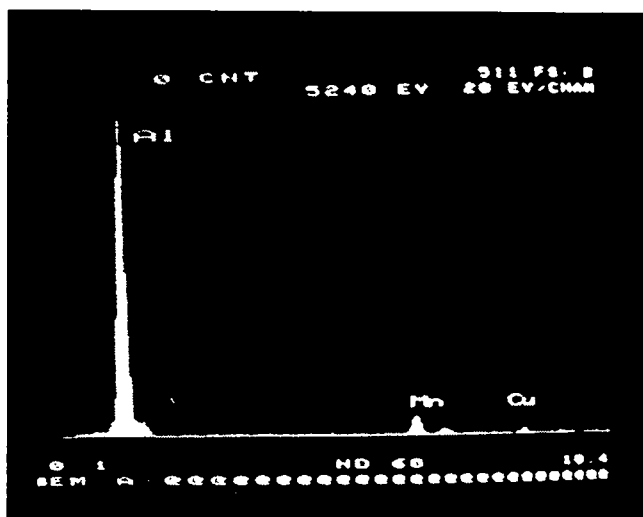


Fig. 3.46 Chemical analysis of the precipitate.



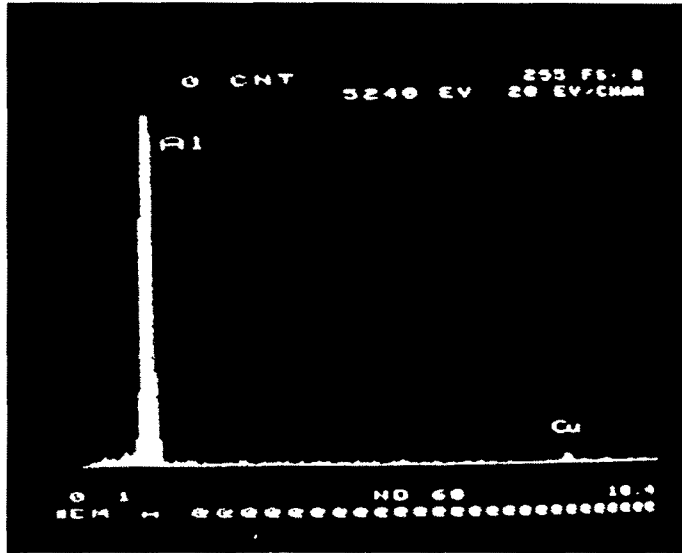


Fig. 3.47 Chemical analysis of the precipitate.

### 2.6.3 최종합금의 압출성평가

이와같이 구조된 빌레트의 압출특성을 평가하기 위하여 참여업체인 세명코레스(주)에서 압출실험시 압출지수 및 압출재의 표면형상 등을 평가하고 압출재의 성분분석 및 기계적 시험을 행하였다. 이렇게 하여 압출된 압출재 및 압출결과를 송부받아 재차 습식성분분석 및 기계적특성을 평가하여 비교분석을 행하였다. 표 3.19는 최종 합금(R2)의 기계적특성 및 열처리조건 그리고 압출지수 등을 나타낸 것이다. 그림 3.48는 압출된 R2합금 압출재의 현미경조직으로 압출방향으로 입자가 연신되어 있음을 알 수 있었다.

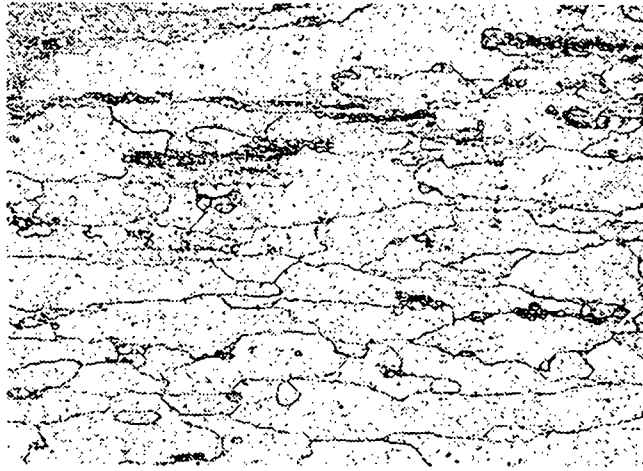


Fig. 3.48 Microstructure of the extruded R2 alloy.

Table 3.19 Heat treatment condition and mechanical properties of the R2 alloy.

합금	균질화처리온도 (°C x hrs)	압출온도 (°C)	시효처리온도 (°C x hrs)	연신율 (%)	인장강도 kg/mm <sup>2</sup>	압출지 수
R2	470 x 12	460	175 x 8	12.0	29.3	90

위에서 제조된 빌레트를 570°C에서 8시간 균질화처리를 행한 후, 컨테이너 온도와 빌레트 예열온도 및 금형예열온도를 460°C로 하여 압출을 실시하였으며 그 결과를 표 3.20에 나타내었다. 그림 3.49에는 570°C에서 8시간 균질화처리를 행한 빌레트의 조직을 나타낸 것이다. 빌레트는 균질화처리에 의하여 석출물들이 입자내부에 균일하게 분포되어 있는 것을 알 수 있었으며 그림 3.50에

는 압출된 압출재의 미세조직을 나타낸 것이다. 압출성은 6063합금의 압출성 지수 100을 기준으로 평가한 결과, 평다이 형재의 경우에 85로 양호한 결과를 나타내었다.

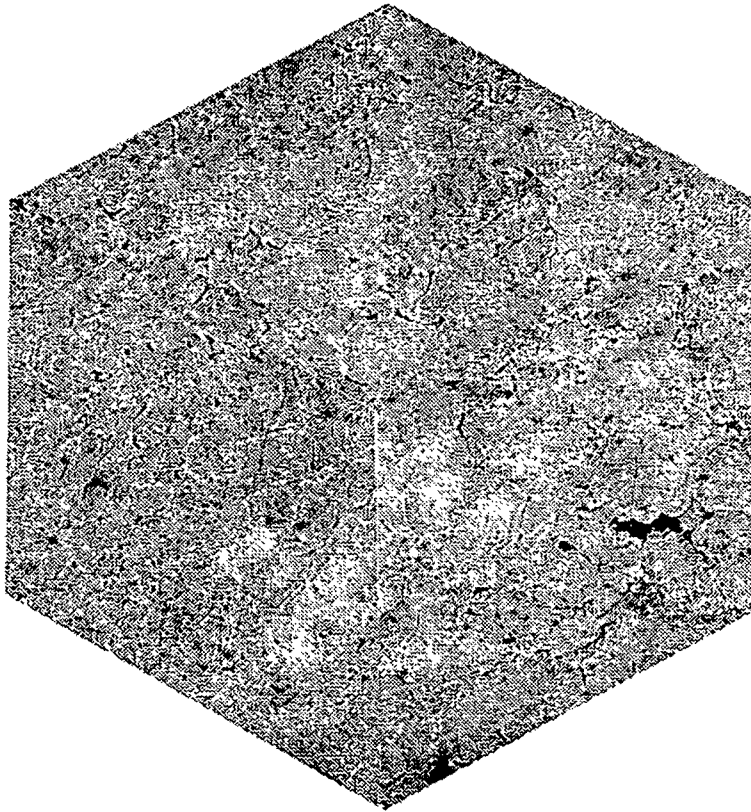


Fig. 3.49 Microstructure of homogenized R2 alloy.

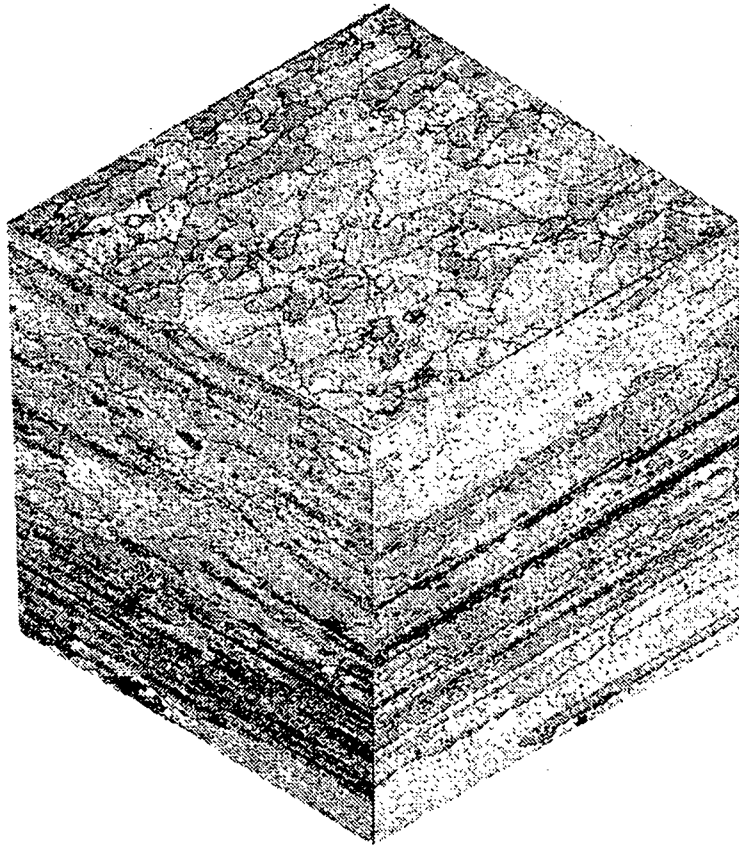


Fig. 3.50 Microstructure of extruded R2 alloy.

이와 같이 압출된 압출재에 최고의 기계적 특성을 나타내도록 시효 처리를 행하였다. 시효처리조건은 165℃, 175℃ 및 185℃에서 시간별로 경도를 측정하여 최고경도치를 나타내는 시간에서 열처리를 하여 인장시험을 행하였다. 각각의 온도에서 실시한 시효시간과 경도와의 관계를 그림 3.51, 그림 3.52, 그림 3.53에 각각 나타내었다. 165℃의 경우에는 11시간이 경과한 후에 최고 경도가 나타났으며, 175℃에서는 9시간에 그리고 185℃의 경우는 4시간이 경과한 후에 최고경도가 나타났다. 그림 3.54, 그림 3.55 및 그림 3.56에 이들의 최고 경도치를 나타낸 시간의 미세조직과 최고 경도치를 나타내기 전의 미세조직

을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 최고 경도를 나타내는 시간은 온도가 높을수록 짧은 시간에 나타났으며, 미세조직상에는 입자내에 미세한 석출물이 균일하게 분포되어 있는 것을 알 수 있었다. 인장시험결과, 표 3.21에서와 같이 인장강도, 항복강도, 연신율 등은 시효처리 온도에 큰 변화 없이 일정한 값을 나타내었으며 모두 이 연구의 목표치를 만족하고 있었다. 특히, 인장강도는 목표치보다 5.6~8.8% 증가하였으며 압출성도 85로 목표치를 상회하는 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

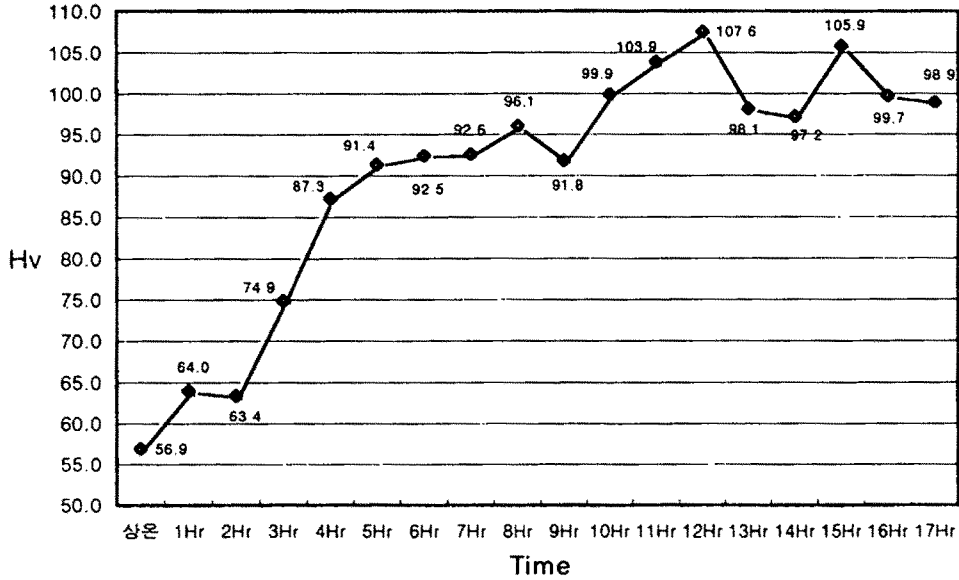


Fig. 3.51 Relationship between aging time and hardness. (165°C)

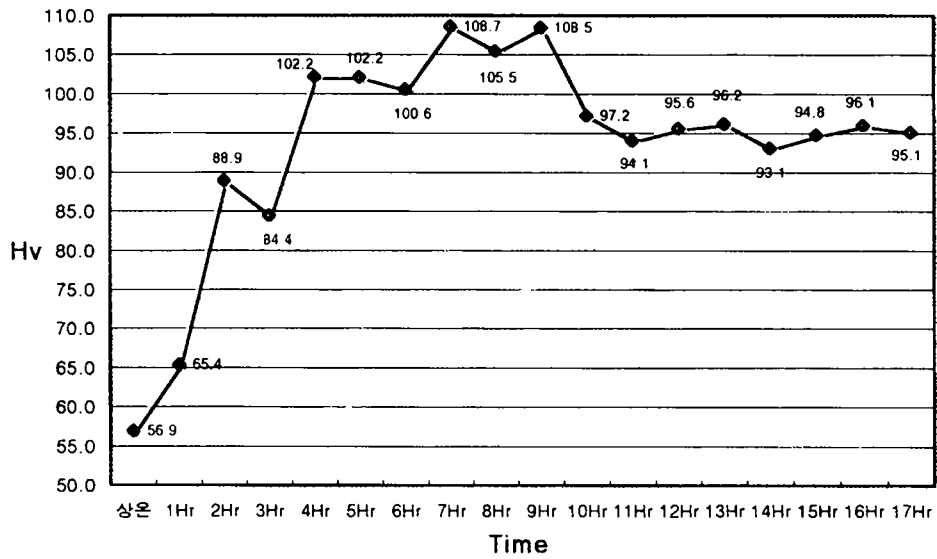


Fig. 3.52 Relationship between aging time and hardness(175°C)

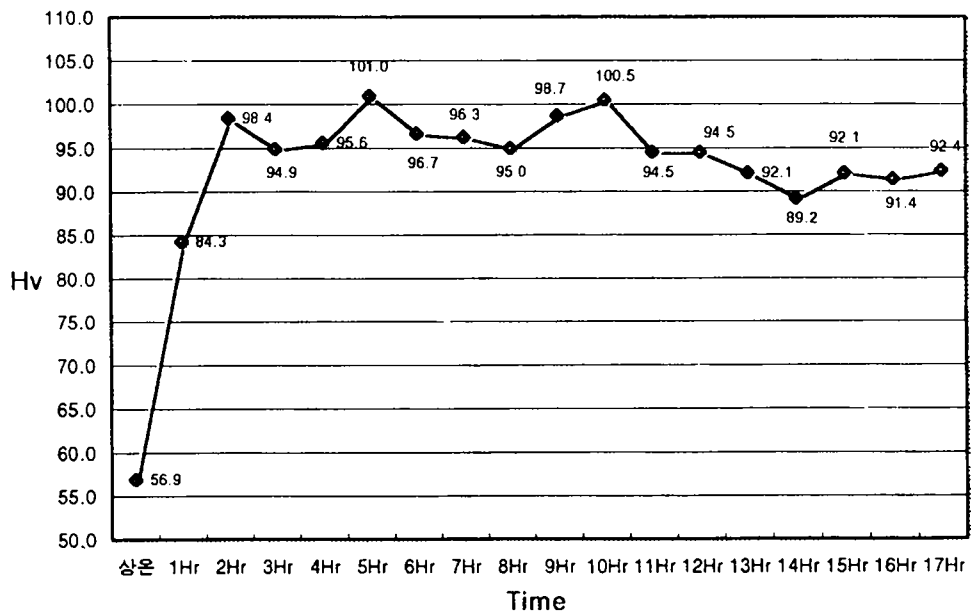


Fig. 3.53 Relationship between aging time and hardness (185°C)

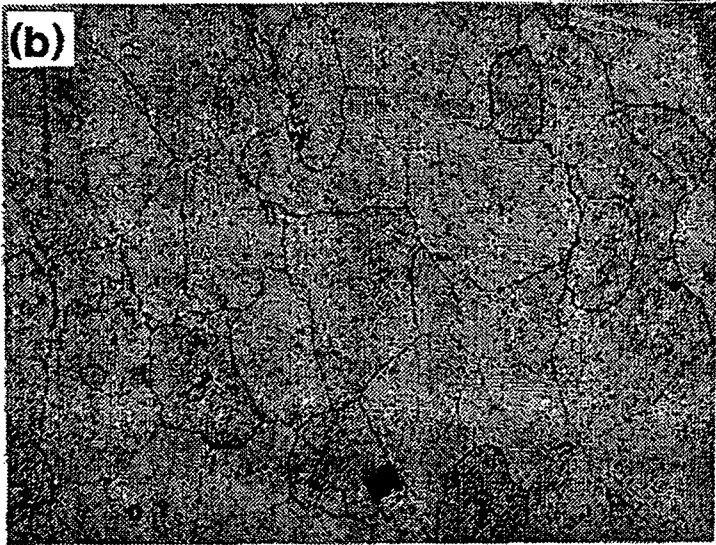


Fig. 3.54 Microstructure of R2 alloys for various aging times.  
(a) 165°C, 4 hours (b) 165°C, 11 hours

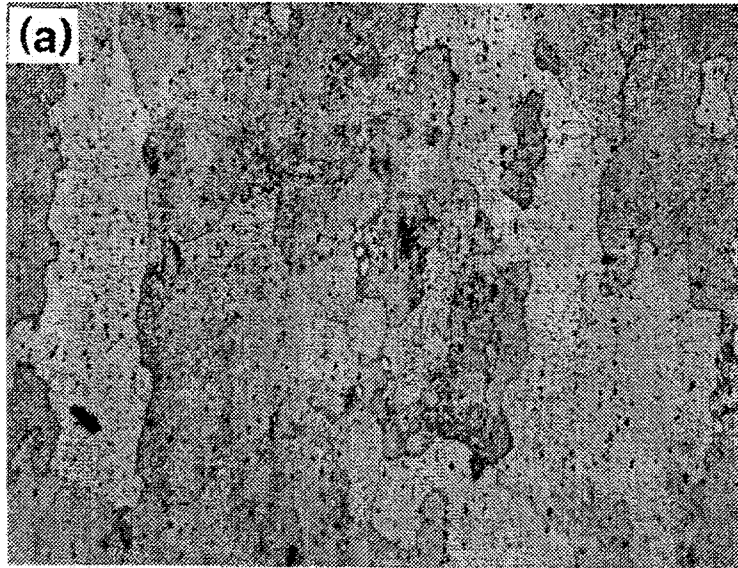


Fig. 3.55 Microstructure of R2 alloys for various aging times.  
(a) 175°C, 2 hours (b) 175°C, 9 hours



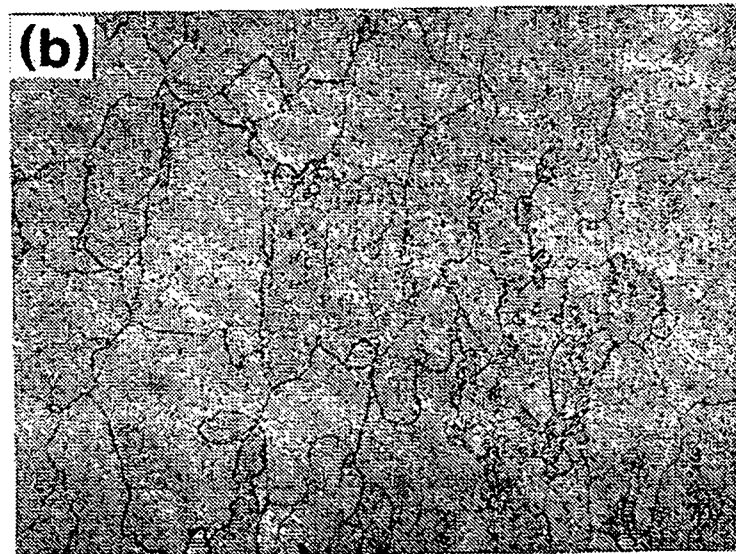
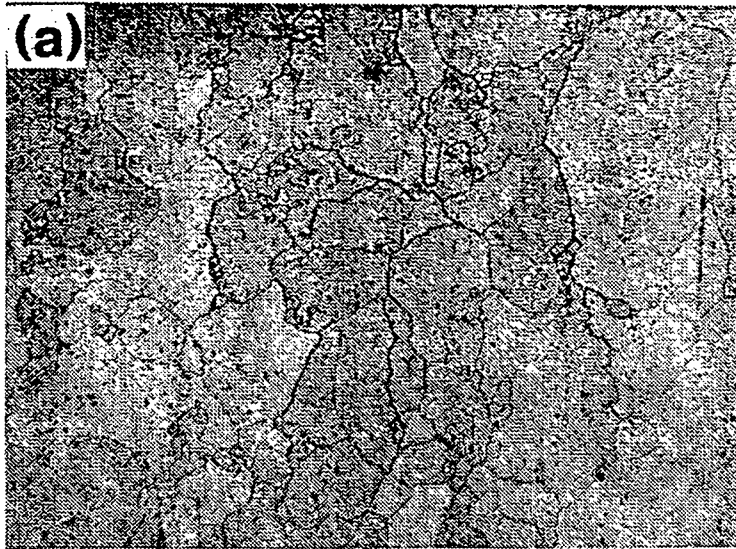


Fig. 3.56 Microstructure of R2 alloys for various aging times.  
(a) 185°C, 1 hours (b) 165°C, 4 hours

Table 3.20 Extrudability of R2 alloy.

합금명	압출성평가	6063압출성지수기준 (Z=100)
R2	기존의 6063보다 압출성이 약간 저하되나, 목표치보다는 5% 우수함	80

Table 3.21 Mechanical properties of R2 alloy.

항 목	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	항복강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)	경도 Hv	압출성지수
165℃시효	31.0	26.9	11.4	107.6	80
175℃시효	30.9	26.4	11.6	108.5	80
185℃시효	30.1	26.5	10.2	101.0	80
목표치	28.5	26.0	12	-	80

### 제3절 결과요약

1) 유리온실용 알루미늄구조재에 적합한 합금소재를 개발하기 위하여 국내외에서 사용되는 유리온실용 알루미늄구조재를 조사분석한 결과

- 국내외에서 사용되는 유리온실의 알루미늄구조재는 모두 A6063 알루미늄 합금인 Al-Mg-Si계열에 속하는 것으로 나타났으며
- 기계역학적 특성평가결과 인장강도는 190~264MPa, 연신율은 6.6~11.8%, 항복강도는 161~238MPa로 대체로 KS기준을 만족시키고 있는 것으로 나타났다.

2) A6063 알루미늄합금을 기준으로 인장강도 280MPa, 연신율 12% 이상되는 알루미늄 합금소재를 개발하기 위하여 Cu, Mg, Zn 등 미량성분의 조성을 변화시켜 합금을 조성하고 DC주조방식으로 빌레트를 제작하여 압출성 및 기계적 특성을 시험 분석한 결과

- 목표로 하는 인장강도 및 연신율을 얻을 수 있는 Al-Mg-Si-Cu계의 새로운 합금을 개발하였으며, 이 합금의 화학조성은 Si 0.65%, Mg 0.5%, Cu 0.5%, Mn 0.3%, Zn 0.15%이고 나머지는 알루미늄이었다.
- 실험실 빌레트의 최적 주조조건은 용해온도  $750 \pm 10^\circ\text{C}$ , 용탕 주입온도  $720^\circ\text{C}$ , 주조속도 80mm/min이었으며, 균질화 열처리 온도는  $470 \pm 10^\circ\text{C} \times 12$ 시간, 시효처리 온도는  $175 \pm 10^\circ\text{C} \times 8$ 시간이었다.
- 개발 합금의 인장강도는 30.9kg/mm<sup>2</sup>, 항복강도는 26.4kg/mm<sup>2</sup>이었고 연신율 11.6%, 압출성지수는 80으로 당초 목표로 했던 목표치를 달성할 수 있었다.

【참고문헌】

1. I. Musulin and D. Dietz, "Selection of 6xxx Alloys Based on Extrudability, Properties and Final Usage," pp. 25-33 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
2. A.N. Anderson, "Physical Metallurgy and Extrusion of 6063 Alloy," pp. 43-56 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
3. R.A. Ricks, N.C. Parson, H.L. Yiu and S.A. Court, "Microstructural Optimisation for Extrusion of 6063 Alloys," pp. 57-69 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
4. L.-O. Gullman, S. Zajac and A. Johansson, "The Influence of Small Mn Additions and Heat Treatment Practice on the Extrudability of AA 6005 Aluminum Alloy," pp. 71-77 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
5. C. Devadas, I. Musulin and O. Celliers, "Prediction of the Microstructure of DC Cast 6063 Billets and its Effect on Extrusion Processes," pp. 121-128 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
6. M. Bertoli and G. Bosetti, "Improvements in Extrusion Properties and Practice Through the Use of the SNIF In-line Refining," pp. 161-168 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
7. L.J. Hui and L. Feng and L. Kui, "Study of Al-Ti-B-RE Alloys as Grain Refiners of Aluminum and Its Alloys," pp. 55-58 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.
8. M. Arase, N. Ohhatake and Y. Nagai, "Development of High Speed Horizontal Continuous Casting in 6063 Billets and Billet Quality," pp.

69-76 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

9. J. Mahoney, "Improved Methods of Log Cooling," pp. 183-186 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

10. N.C. Parson, J.D. Hankin and A.J. Bryant, "The Metallurgical Background to Problems Occurring During the Extrusion of 6XXX Alloys," pp. 13-24 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

11. M.P. Clode, "Material Flow and Microstructural Development During Extrusion of AA6063," pp. 79-100 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

12. B.I. Bondarev, V.G. Davydov and V.V. Zakharov, "Effect of Aluminum Alloy Ingot Structure on Extrudability," pp. 495-502 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

13. S.Kumar, S. Ozbiten, T. Sheppard and H.B. McShane, "The Development of a Medium Strength Alloy Based on Aluminum-Lithium System," pp. 439-446 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

14. O.C. Celliers, I. Musulin and S.J. Rogers, "High Silicon Alloy Extrusion," pp. 551-558 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

15. F.C. Dimayuga, H. Mulazimoglu, B. Closset and J.E. Gruzleski, "Microstructural Effects of Strontium on Cast 6000 Series Aluminum Alloys," pp. 519-528 of Proc. 5th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, May 19-22, Chicago, Illinois, 1992.

16. J. Langerweger, "How Casting Methods Can Affect the Quality of 6063 Extrusion Billets," pp. 381-389 of Proc. 4th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, April 11-14, Chicago, Illinois, 1988.

## 제4장 생산 가공 기술 개발

이 연구에서는 RIST 연구팀에서 개발한 유리온실용 알루미늄합금을 사용하여 알루미늄 구조재를 양산하기 위한 압축재 생산기초기술의 확립에 목적을 두어 실험하였다. 개발합금에 의한 알루미늄구조재의 양산은 RIST 연구팀에서 연구한 내용을 기초로 하여 실제 현장에서 용해 및 주조공정의 확립과 합금특성 및 압출성 등을 평가하고, 유리온실 구조재의 압출금형을 설계 제작하여 생산현장에서의 최적 생산가공 기술을 확립하고자 하였다.

### 제1절 알루미늄의 열간압출

#### 1.1 열간 압출 역사

영국의 John Bramah가 1795년에 수압프레스를 발명한 뒤 2년후에 “모든 Dimension에서 접합면이 없으며 필요한 길이의 납 또는 연질금속의 파이프를 만드는 프레스”로 특허를 취득하였다. 그 후 납(Pb), 동파이프 압출을 중심으로 압출기의 개량이 진전되어 19세기말에 Alexander Dick는 오늘날의 압출프레스의 기본이 되는 방법으로 런던, 버밍햄 그리고 뒤셀도르프에 황동과 다른 동합금의 압출공업을 확립하였다. Dick의 방법은 수평프레스를 이용하여 열간가공에 적합한 온도로 가열한 빌레트를 콘테이너에 장입하여 압출하는 것으로 이 프로세스가 알루미늄의 압출에 적용되었다. 1930~1940년에 유럽에서 항공기용 알루미늄 합금제조가 대형 프레스의 개발과 함께 가능하게 되고, 또 압출용 합금 빌레트 주조기술도 발달하여 양산화, 품질향상등이 이루어지고 있다.

일본의 경우, 1938년경 1,500~4,000톤급의 압출프레스로 항공기용 구조재를 대량으로 생산하였으며, 2차대전후 10년간 압출기술의 발전은 공백상태에 있었으나, 그 후 주택 및 건축용 샤키의 Al-Mg-Si 합금(6063)의 생산에 활발하

게 되어 압연과 함께 알루미늄산업의 중심이 된 것은 1970년 이후이며, 현재는 생산설비, 관리, 설계등의 컴퓨터이용에 중점을 두고 있다.

## 1.2 압출가공의 원리

압출가공은 한번의 변형으로 복잡한 단면 형상의 제품을 얻을 수 있다.

빌레트(피가공재)는 컨테이너내에서 램(ram)에 의해 압축되어 다이스의 구멍으로 부터 압출되어 제품이 된다. 빌레트에는 높은 정수압이 작용하여 연신이 진행되고, 동시에 내부의 조직이 압출방향으로 늘어나게 된다. 압출되는 제품의 역학적 및 금속학적 특성은 이러한 변형, 유동 영향에 의해 달라진다. 이와 같은 특성은 많은 인자에 영향을 받지만 압출방법도 그 중의 하나이다.

그림 4.1은 현재 주로 이용되고 있는 압출방법의 개략을 나타낸 것이다. 제품의 형상과 합금의 재질에 따라 적합한 방법이 선택되어 이용되지만, 알루미늄의 압출에는 직접법과 간접법이 거의 대부분 사용되며, 정수압 압출법은 극히 일부에서 이용되고 있으며, 또한 Conform압출법은 연속압출의 한 방법으로 실용화되어 있다.

### (1) 직접압출법

합금에 적합한 온도로 가열한 빌레트를 컨테이너에 장입하고, 램을 사용하여 다이스 방향으로 압축하여 다이스 구멍을 통하여 압출이 된다. 정수압을 가할때 컨테이너와 빌레트 사이에 마찰이 생기며 마찰력은 압출개시부터 종료할 때까지 감소하므로 이 때문에 압출에 필요한 힘은 그림 4.1의 load-ram disp. 관계에서 (a)와 같이 변화하며 (b)와 같이 빌레트 내부에 불균일한 변형(metal flaw)이 발생된다.

## (2) 간접압출법

이 방법은 그림 4.1(b)와 같이 hollow stem의 선단에 취부된 다이스의 방향으로 콘테이너 내벽과 빌레트가 일체로 되어 이동하기 때문에 콘테이너 내벽과 빌레트사이에 마찰이 없고, 다이스 근방의 재료만이 다이스 출구쪽으로 연속적으로 유동되고, 남은 부분은 비변형상태로 남아 있기 때문에 metal flow는 load-ram disp.의 "c"와 같이 균일하게 되고 압출하중도 일정하다.

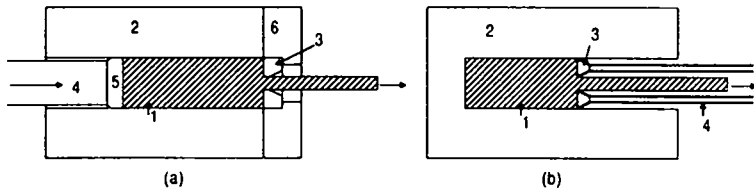
## (3) 정수압 압출

이 방법은 빌레트와 압출공구 사이에 고압의 압력매체를 통하여 변형이 발생하기 때문에 마찰을 제거하고 윤활성이 좋은 압출이 가능하다. 정수압에 의한 가공재의 연성증대를 이용하여 Mg, Zn, Mo등의 취성재료를 비교적 용이하게 압출할 수 있다.

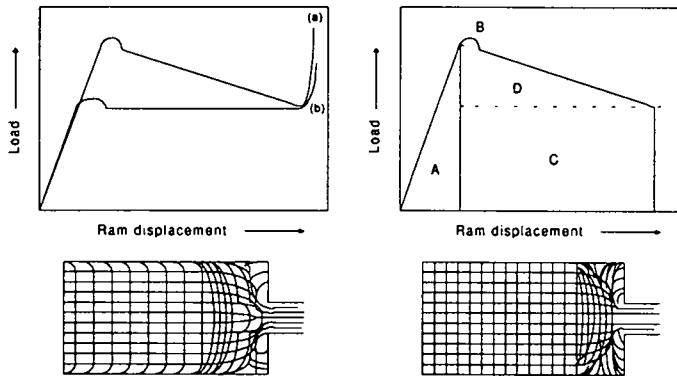
## (4) Conform 압출법

회전휠과 고정슈(shoe)로 구성된 장치를 이용하여 소형의 형재, 관, 봉을 연속적으로 압출하는 방법이다. 홈이 있는 회전휠과 슈와의 사이에 설치한 다이스의 앞에 공급소재를 놓고 휠을 회전시킴으로써, 휠의 홈과 소재의 마찰력으로 소재는 다이스 방향으로 압출된다. 현재는 장치의 개량, 새로운 재료의 압출 등의 개발이 진행되고 있다. 공구수명이 짧다는 결점을 해결한다면 공업적 제조기술로 널리 이용될 것으로 보인다.





- |                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| <b>1 : Billet</b>    | <b>4 : Extrusion stem</b> |
| <b>2 : Container</b> | <b>5 : Dummy block</b>    |
| <b>3 : Die</b>       | <b>6 : Die holder</b>     |



**Fig 4.1 Direct and indirect extrusion process**

**(a) Forward(direct)                      (b) Backward(indirect).**

**Division of the work of deformation.**

**(A: upsetting, B: initiate deformation, C: deformation,**

**D: overcome friction and shearing)**

### 1.3. 압출의 기초와 이론

압출가공의 이론은 압출재의 가공특성 및 압출기술의 체계화를 목표로 하고 있지만, 소성변형이론, 마찰현상의 해명, 열적현상의 해명 그리고 금속조직의 변화등에 대해서 상대적으로 체계화하여 현상을 추측하는 것은 곤란하다. 그러나 형재의 형상, 정확한 치수를 얻기 위해서 또는 압출 생산성을 높이기 위해서 metal flow의 해석, 다이스 및 프로세스의 열적, 역학적 연구가 최근에는

컴퓨터해석기술을 이용하여 이루어지는 등 서로 다른 압출대상에 대한 실험적 해석에 의한 데이터의 축적과 함께 기초적인 연구가 행하여 지고 있다.

### 1.3.1 Metal Flow의 특성

압출가공에 의해서 생기는 소성유동(metal flow)은 압출방법에 따라 달라지지만 기본적으로는 알루미늄과의 마찰 면적, 즉 마찰일량을 변화시키는 다이스의 형상과 개수 및 다이스 구조인자(베어링, hollow dies에서의 각부형상, 치수)에 의하여 발생한다. 실제 metal flow는 다이스외에 합금종류, 빌레트조직 등의 야금적 인자나 빌레트 온도, 압력부하 상태 등에 의해 변화한다.

#### (1) Metal Flow의 조사방법

- ① 빌레트에 빌레트 성분과 다른 핀을 set하는 방법
- ② Grid법(격자선법)
- ③ clad·빌레트법(Disc법)
- ④ 방사성 동위원소법(동위원소를 빌레트의 단면, 외주면 또는 grid에 도포)

이상의 방법에는 각각 장단점이 있기 때문에 목적에 따라 선택하여 이용할 필요가 있다

#### (2) 합금종류에 따른 metal flow

알루미늄 6063(연질)과 5056(경질)합금은 metal flow의 차를 나타내며 연질 합금의 중앙부와 외주부에서 변형의 불균일성이 경질합금에 비해 크게 나타난다. 즉, 압출중에 변형의 속도 차가 큰 것을 나타낸다(상기 ③의 방법에 의함)

#### (3) 다이스면 각도에 의한 metal flow

다이스면의 각도가 flow에 미치는 영향은 Sn에 의한 격자선법으로 분석되며

Conical의 각도가 클수록 dead zone형성이 적게 되어 다이스 출구 부근까지 균일 변형이 되고 있다.

#### (4) 압출조건에 의한 metal flow

압출온도가 높을수록 flow의 불균일성이 크게 되고 dead zone의 형성량(형상)이 변화한다.

#### (5) 빌레트 표층부의 metal flow

6063빌레트의 외주에 등간격으로 홈을 내어 tracer로서 방사성 동위원소<sup>59</sup>Fe 액을 도포하고 압출한 후 단면을 잘라내어 빌레트 표층부를 tracer로부터 flow를 추정할 결과, 빌레트 표층부는 콘테이너 내부에 집적되면서 선단의 빌레트가 미끄러지듯이 다이스 구멍으로 유출되어 간다. 방사성 동위원소 추적방법에 의한 metal flow의 실험적 해석은 압출 결함의 발생원인 조사와 압출형재 변형 및 조직 등을 직접 육안으로 알 수 있기 때문에 간편하고 유효한 방법이다.

### 1.3.2 압출가공의 기본 파라미터

#### (1) 압출가공의 압력 해석

압출압력을 산정하는 이론식 및 실험식이 많이 제안되어 있으나 가장 간단하고 정확하게 구할 수 있는 식은 아래와 같다.

$$P = Y \log A/A_0 + \pi \cdot D \cdot L \cdot \mu \cdot Y$$

P: 압출압력, Y: 항복강도, A: 빌레트의 단면적, A<sub>0</sub>: 형재단면적, A/A<sub>0</sub>: 압출비, L: 빌레트의 길이, D: 빌레트의 직경,  $\mu$ : 마찰계수

우변의 제1항은 빌레트의 변형에 요구되는 압력이고, 제2항은 빌레트와 콘테이너와의 마찰력에 의한 압력이다.

또한, K. Ashcrof 등은 P(최고압력)에 대한 실험적 해석에서

$$P = a \ln A_0/A + b \quad \text{여기서 } a, b : \text{ 실험적 정수}$$

그리고 압출온도와 관련하여

$$P = \alpha - cT$$

T: 압출온도,  $\alpha, c$ : 실험적 정수

## (2) 압출가공의 열적 해석

압출중의 온도는 가장 중요한 압출 파라메타이고, 압출변형저항은 물론 표면결함 그리고 형재의 내부조직에도 영향을 미친다. 그렇지만 예열된 빌레트가 컨테이너에 장입되어 압출이 시작됨과 동시에 복잡한 열적변화가 발생한다.

중요한 열적변화는 아래와 같은 프로세스에서 발생한다.

- ① 빌레트의 다이스면 근처에서의 변형에 의한 열 발생
- ② 빌레트와 컨테이너간의 마찰열과 dead zone에서의 전단에 의한 열발생
- ③ 빌레트의 컨테이너내에서의 이동에 따른 열 이동
- ④ 공구계(컨테이너, ram, 다이 등)에의 열전도
- ⑤ 빌레트에의 열전도
- ⑥ 압출재에의 열전도
- ⑦ 다이스를 통과할 때의 마찰열 발생

압출에 의한 열적해석은 많이 보고되어 있으며 최근에는 수치 시뮬레이션에 의한 여러가지의 연구결과와 그 응용 등이 진행되고 있다.

컨테이너와 빌레트 온도의 관계에 의해 계산치와 실측치가 크게 다르게 나

타나지만 최근의 시뮬레이션에서는 상당히 개량이 되어서 온도에 대해서 실측치와 계산치가 많이 근접되게 나타나고 있다.

### (3) 압출가공의 속도

압출속도(ram 속도)는 다른 두 개의 파라메타인 압력과 온도에 의해 규정되어 있지만 합금의 용융온도, 형재형상, 치수에 의해 최소속도가 한정된다.

## 1.4 알루미늄합금의 압출고유 기술

알루미늄 합금의 압출은 요구되는 형상, 치수, 표면상태를 갖는 중실재(中實材) 및 중공재(中空材)를 한번의 열간공정으로 얻을 수 있는 것을 최대의 특징으로 하고 있다. 이것은 압출에 관련된 기술 중에서 빌레트의 제조, 다이스의 설계제작, 압출 프로세스, 후공정(교정, 열처리 등), 그리고 압출설비 각각의 기술이 조합되어 달성되는 것이다.

알루미늄의 압출이 알루미늄 가공의 가장 중요한 부분으로 되어있는 것은 고속, 정밀, 대형압출을 가능하게 하며 또한 알루미늄 압출량의 80~90%를 차지하고 있는 6000계 합금을 직접 압출에 의해서, 건축용 재료(주택, 빌딩, 내장재)와 차량구조재 등 대량수요 분야에 공급하고 있기 때문이다.

일반적으로 압출생산성은 아래와 같이 정의되고 있으며, 생산성은 원재료에 대한 제품의 비율증대와 압출시간 및 기계적 정지시간, 필요없는 시간의 단축등을 기술적으로 추구 할 필요가 있다.

$$\text{압출생산성}(kg/h) = \frac{\text{사용빌레트의 중량} - (\text{남은빌레트중량} + \text{압출재스크랩량})}{\text{실압출시간} + \text{기계휴지시간} \times \text{가동률}}$$

압출생산성 향상의 가장 중요한 방법은 압출속도의 향상이며 요구되는 형상, 치수의 제품에 대하여 압출결함을 발생시키지 않고 압출재의 성질을 우수하게 하며 가능한 한 고속으로 압출할 수 있는지의 여부에 따라 압출성의 좋고 나쁨을 표현한다. 압출성에 영향을 주는 인자를 그림 4.2에 나타내었다.

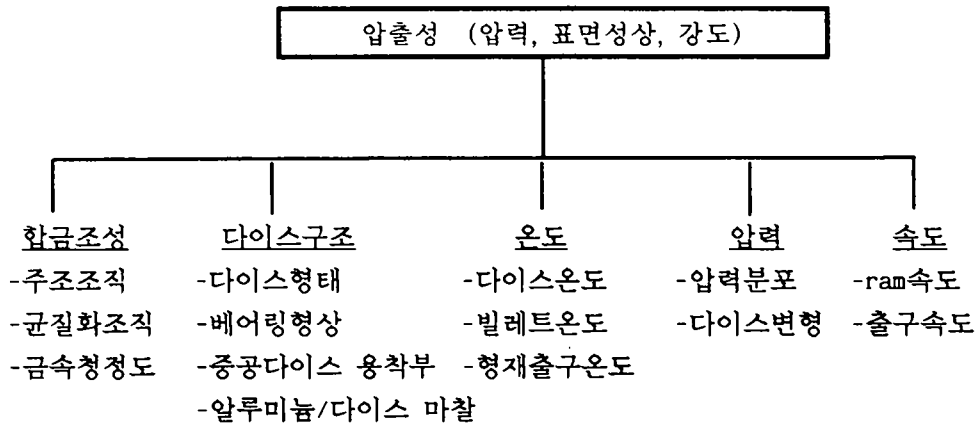


Fig. 4.2 Factors influencing extruding ability

이들의 각 고유기술에 관계된 인자는 생산시에는 단독으로 작용하지 않고 상호작용을 하면서 압출재를 형성한다.

압출재의 평가는 표 4.1에 나타난 압출재의 결합 중에서 pick up, 다이스마크 등의 표면품질로 행하는 경우가 많고 또한 압출이 잘리고 안되는 것은 압출압력(초압), 속도의 증가성 즉, 설정온도까지의 소요시간의 길고 짧음으로 판단한다. 더욱이 압출재의 강도적 특성까지 넓은 범위에서 평가하는 경우도 있다.

Table 4.1 Defects and their solutions of extruded materials.

결함명칭	결함의 상태 및 정의	대책
pick up	- 압출방향으로 연신된 표면 뜯김 결함	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 베어링코팅의 불안정</li> <li>· 베어링면에 산화물 부착</li> <li>→베어링형상의 적정화 산화방지 빌레트내부조직의 개선</li> </ul>
다이스마크	- 압출방향에 평행하게 발생하는 줄무늬 결함	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 베어링 코팅의 불안정</li> <li>· 베어링면 상태의 열화</li> <li>→베어링면의 균일한 마무리</li> </ul>
외상	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설비에 의한 것</li> <li>· 제품끼리의 마찰</li> <li>→설비 maintenance 개선</li> <li>제품끼리의 마찰 방지 대책</li> </ul>
piping	- 빌레트 표피층, 콘테이너내의 부착물, 윤활제등이 압출재 내부 표면부에 나타난 것	→잔류 빌레트양의 증대 콘테이너와 빌레트의 온도차를 크게한다
압착불량	- 육안으로 보이지 않음 - hollow dies를 사용했을 때 dies내에서 압출방향으로 금속 흐름의 합류부가 무늬상, 선으로 나타난 것	→압출온도와 속도의 균형 다이스 온도 저하 방지 →빌레트 끝부분의 청정화
Blow hole	- 압출방향으로 선상으로 연결된 기포결함	→빌레트 외표면의 양호화 압축속도의 적정화
Grain growth	-압출단면에서 조대성장한 결정립	→빌레트의 조성 변경 →균질화처리 조건의 적정화 →압출온도, 압출속도의 적정화

#### 1.4.1 압출용 합금

압출제품에 이용되는 알루미늄 합금은 합금성분, 성분의 범위 및 기계적 성질 등이 KS규격으로 규정되어 있다.

압출용 합금은 Al-Mg-Si계의 6063, 6061, 6N0합금 등이 전체 압출제품의 90%를 차지하고 있으며 내식성, 표면처리성, 가공성 등 종합적인 성능이 우수하여 다른 합금보다도 용도가 많이 확대되고 있다.

4000계 합금은 단조용 합금으로서 자동차 부품에 사용되고 1000, 3000, 5000계 합금 등의 비열처리 합금계는 열교환장치 및 전자광학 관련 쪽으로 용도가 확대되고 있다. 관 및 봉의 압출재는 직접압출, 간접압출하여 생산되고 있으며 인발, 단조가공을 거쳐 다양한 제품으로 사용되고 있다.

합금종류별 압출성은 표 4.2에서 보는 바와 같이 수치적으로는 그 합금이 갖는 변형저항치의 변화가 다르지만, 통상 선택된 압출온도에서의 상대적인 비교표로서 이용되고 있다. Mg, Cu, Zn을 많이 함유한 합금은 압출성이 떨어진 다.

한편, 압출 변형저항이 큰 합금은 함유원소가 많고 용융온도(고상선 온도)가 낮은 경향이 있으며, 압출중의 변형에 의한 열 발생으로 국부용융이 생기기 쉽고 이 때문에 압출 한계선도에서의 압출 적정범위가 좁게되어 압출하기 어렵게 된다.

표 4.3는 대표적인 압출합금의 적정 용융온도 범위를 나타낸 것이다. 수치 특히, 하한치(용융개시온도)는 합금의 성분치와 빌레트 성분원소의 균일성에 따라 달라지기 때문에 합금의 종류에 따라 정할 필요가 있다. 예를 들어 알루미늄6063의 고상선 온도는 595℃ 전후이고, 3원공정점은 555℃부근이기 때문에 균질화처리가 불충분한 경우에는 국부용융에 의한 균열이 발생하기 쉽고 압출 한계속도는 낮게 된다.



Table 4.2 Comparison of relative extrudability and deformation resistance of various alloys

구 분	합금명	압출성지수	변형저항값(N/cm <sup>2</sup> )
연 질	1050	150	2400 (at 400℃)
	1100	150	2400 ( " )
	3003	100	2842 (at 430℃)
	6063	100	2744 ( " )
중경질	2011	30	3920 (at 420℃)
	5052	60	4410 (at 470℃)
	6061	70	3626 (at 510℃)
	7003	70	4116 (at 500℃)
	7N01	60	4312 (at 500℃)
경 질	2014	20	5684 (at 430℃)
	2024	15	7448 (at 430℃)
	5083	25	5488 (at 460℃)
	7075	10	8036 (at 400℃)

Table 4.3 Melting temperature range of representative extrusion alloys.

합 금	용융 온도 범위(℃)
1050	650~660
3003	640~655
6063	600~650
2014	510~640
2024	500~640
5083	570~640
7075	475~640

#### 1.4.2 압출용 빌레트

압출용 빌레트의 생산은 반연속 주조법인 DC법( Direct Chill Process)으로 생산하고 있다. 주조기술은 기술적 요구 및 신규용도, 예를 들어 복사기 관련 재, 고인성재에 요구되는 품질수준에의 대응을 위하여 용탕처리법의 도입, Hot Top법의 개량 등으로 행하고 있다.

압출공정에서 요구되는 빌레트의 품질 요구는

- ① 조성의 범위를 좁게 관리
- ② 불순물 원소, 개재물, 가스 등의 저감
- ③ 빌레트의 직경, 굴곡이 작은 범위에서의 관리
- ④ 빌레트의 외관, 표면의 청정화, 평탄도 등
- ⑤ 균질화 조직의 개량
- ⑥ 주조조직의 개량(역편석층의 저감, 셀조직의 미세화, 균일화)
- ⑦ 균열방지

등을 들 수 있다. 빌레트에 요구되는 품질은 외관상태, 치수, 형상 그리고 내부조직에 관한 것이다. 빌레트의 외관 특히, 빌레트 주조표면의 평탄도는 역편석층의 두께의 균일성에 영향을 미치기 때문에 중요한 품질항목으로 되어 있고, Hot Top주조방식이 양호한 주조표면을 얻을 수 있는 방법으로 보급되고 있다. 전자주조법도 개발되어 일부 실용화되고 있지만 빌레트를 한번에 주조하기에는 적합하지 않다.

내부조직으로는 주조조직의 미세화(셀의 미세화), 균일화 및 역편석층 두께의 감소가 주형의 개량, 주조법의 개발 등으로 가능하게 되어 현재의 Hot Top 주조법의 효과가 인정되고 있다.

한편, 빌레트의 균질화 처리는 빌레트 내의 원소의 편석을 없앴과 동시에 정출물의 미세화, 석출물의 분포상태를 조정하는 중요한 공정이며 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 6063합금에 관한 균질화처리는 거의 확립되어

540~590℃에서 1~6시간 유지시키고 200~500℃/hr의 냉각속도로 200℃이하로 냉각시키는 것이 일반적인 처리조건이다.

cell size를 40 μm이하로 하면 압출속도가 현저하게 증가하게 되는데 이는 균질화처리 효과가 충분히 달성되었기 때문이다.

냉각속도가 느릴수록 압출속도는 증가하는데 강도(T5)는 노내 냉각에서는 작게 나타나고 있다. 그러나, 균질화온도로 부터 냉각속도가 20℃/hr로 낮은 경우에는, 압출압력(초압)이 낮아 압출하기 쉽지만 압출형재 표면에 뜯김현상이나 미소균열이 발생하게 된다. 이 때문에 균질화온도로 부터 200~500℃/hr 정도의 속도로 냉각하고, 6063빌레트의 Mg<sub>2</sub>Si의 석출상태를 제어하여 압출성을 향상시키고 있다. 6063빌레트의 압출성을 평가하는 기준으로써 균질화 처리에 의한 Al-Fe-Si 정출물의 형태변화도 Mg<sub>2</sub>Si 화합물의 석출상태와 마찬가지로 고려되고 있다.

Fe를 불순물로 함유하고 있는 6063합금은 주조시 판상이며 취약한 β-Al·Fe·Si 화합물을 정출한다. 이 화합물은 압출시에 형재표면에 발생하는 pick up 이라고 하는 미소결함의 원인으로 생각할 수 있다.

균질화처리는 β-Al·Fe·Si 정출물을 미세화 시키고 구상의 형태로 변화시켜 α-Al·Fe·Si 화합물로 만든다. 6063에서는 β가 α 화합물로 변화될수록 압출재 표면의 결함이 적게 되며 압출성이 향상된다.

또한, 균질화처리에 의한 β-α 화를 촉진하는 방법으로 Mn을 미량(0.03~0.1%)첨가하면 효과적이다.

Mn무첨가의 경우, 580℃에서의 β-α 화율은 60~70%이지만 0.05% Mn첨가는 α 화율을 85~95%로 현저하게 촉진시키고 있다.

## 제2절 개발 소재의 양산 적용

### 2. 1 개발소재의 용해 주조

RIST 연구팀의 연구에 의해 개발된 합금을 실제 생산현장에 적용하였을 때 발생하는 문제점을 확인하고 해결방안을 강구하는 것과 생산된 합금들의 기계적 성질이 만족할 만한 수준에 도달할 수 있도록 현장의 용해 및 주조공정을 확립하고자 하였다.

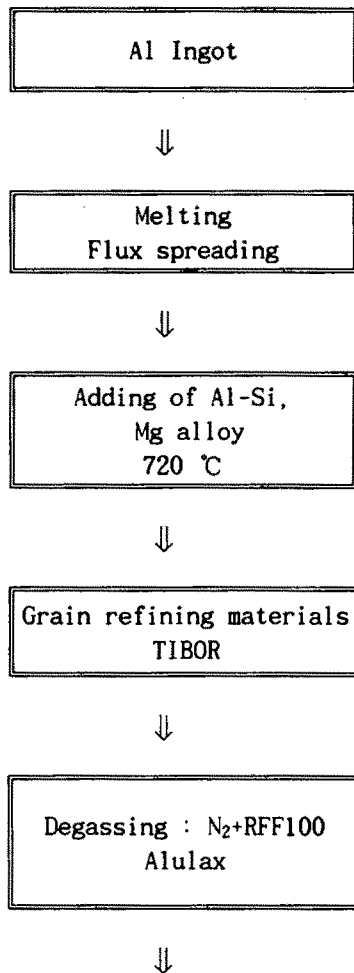
개발된 합금을 실제생산시설에 적용하여 용해 및 주조공정을 확립하였으며 그림 4.3에 확립된 용해 및 주조공정의 개략도와 용해 및 주조조건을 표시하였다.

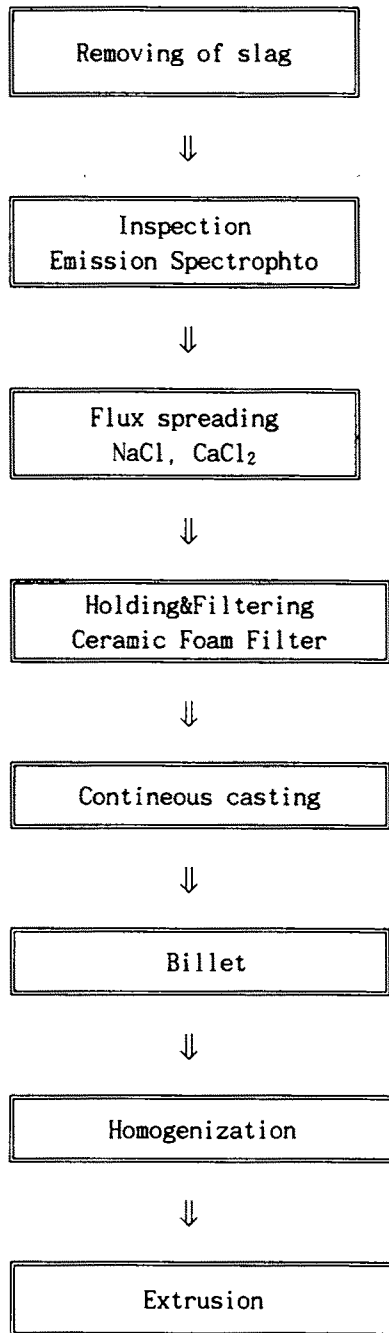
8ton 반사로에서 4ton을 용해하였으며 주조는 DC주조법을 사용하여 5 inch 직경의 billet을 제조하였다. 용해는 불순물의 함량을 최소화하기 위하여 고순도 알루미늄Ingot( 99.9%이상 )를 사용하였고, 모합금의 형태로 Si, Mn, Cu를 첨가하였으며 순금속의 Zn을 첨가하여  $760^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 용해하였다.

첨가원소중 산화성이 큰 Mg은 순금속의 형태로 반사로에 첨가되었다. 이와 같이 용해된 용탕은 2차 탈가스 처리를 하고 dross를 제거하였으며  $710^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 에서 진정시킨후 ceramic foam filter를 통과시켜 산화물과 기타 불순물을 제거하였으며 용탕은 온도  $690^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 에서 분배기를 거쳐 반 연속주조를 실시하였다. 주조속도는 100mm/min로 하여 주조하였고 주조후 Spectrometer로 분석한 결과 표 4.4와 같은 목표조성이 얻어졌다.

Table 4.4 Analysis of alloy after casting

Compositions	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Zn	Mn	Ti	Al
Target	0.64 ~ 0.73	0.35 ↓	0.35 ~ 0.5	0.45 ~ 0.55	0.10 ↓	0.13 ~ 0.20	0.25 ~ 0.35	0.10 ↓	re- mains
Alloy after casting	0.64	0.21	0.39	0.46	0.01	0.15	0.27	0.01	





**Fig 4.3 Schematic diagram of melting and casting process**

## 2. 2 개발소재의 양산 압출

### 1) 압출성 평가

압출성에 영향을 미치는 주요 인자로는 billet, dies, container의 온도와 압출압력, 압출속도 등이 있으며, 이들은 서로 연관되어 작용하게 된다.

압출성 평가는 일반적으로 널리 사용되고 있는 기존의 압출용 A16063합금의 압축성과 비교 평가하는 방법을 선택하였다. 압출특성평가에 적용된 압출재의 단면형상은 유리온실 구조재로 개발된 형재를 증공다이와 평다리로 나누어 billet온도를 요인으로 하여 평가하였다.

압출성 시험방법은 표 4.5의 조건으로 1000ton 용량의 단동식 직접압출기를 이용하여 압출시 압출속도를 증가시킬 때 제품 표면에 pick-up 및 crack이 발생하지 않는 최고속도를 기준으로 비교하여 평가하였다.

표 4.5에 나타난 바와 같이 증공다이의 경우는 billet온도가 저온일수록 유동성이 저하되어 압출이 힘들게 되고, 평다이의 경우는 온도가 높을수록 압출은 용이하나 적정온도 이상으로 되면 부분적인 뜯김이 발생하는 등의 부작용을 일으킨다. 개발합금으로 제작한 빌레트의 균질화 처리는 증공다이의 경우 billet의 온도를 480, 490℃, 평다이의 경우 billet의 온도를 460, 470℃, 로 하고 각각에 대하여 12시간 동안 열처리 하는 것이 최고의 압출성을 나타내어 증공다이의 경우는 A16063의 70%, 평다이의 경우는 80%의 압출성을 나타내었다. 위의 결과에 따라 압출시에는 압출하고자 하는 재질의 유동성과 같은 특성 및 압출형상을 고려하여 압출속도와 압출온도를 제어해야만 한다.

높은 압출온도에서는 압출압이 적게 걸려 압출이 용이하나 압출온도가 하강할수록 압출압력이 높아져 압출이 어렵게 된다. 압출온도와 압출압과의 관계를 나타낸 것이 extrusion load limiting curve에 해당되며 alloy limiting curve는 load보다는 압출재 표면에 문제점이 발생하는 경계를 나타내는 것이다. 낮은 압출속도일지라도 지나치게 압출온도가 높거나 적당한 압출온도에서

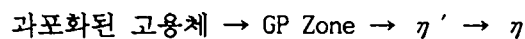
도 지나치게 빠른 압출속도로 압출하면 표면이 거칠어지거나 뜯김이 발생하게 된다. 따라서 위에 설명한 두가지 제한을 받지 않는 영역에서 압출이 진행되어야 한다.

Table 4.5 Extrudability for each shape of green-house materials

Dies shapes	Preheating temperature (°C)			Extrusion pressure( )		Extrusion speed( )		Remark
	Billet	Dies	Container	Start	Run	Start	Run	
Hollow die of invented alloy	450	460	460	200	130-150	1.5	1.2-1.2	Rafter
	460	460	460	195	130-150	2.0	2.0-2.8	
	470	460	460	193	130-150	2.0	2.4-2.8	
	480	460	460	187	130-150	2.7	2.8-3.3	
	490	460	460	170	130-150	2.6	3.0-3.5	
Solid die of invented alloy	450	460	460	177	130-140	2.6	4.0-4.5	Hinged -bar
	460	460	460	175	130-140	2.7	4.2-4.5	
	470	460	460	168	130-140	2.6	3.8-4.3	
	480	460	460	165	130-140	2.7	3.6-4.0	
	490	460	460	164	130-140	2.7	3.5-4.0	
6063 hollow die	480	460	460	183.5	130-140	2.6	4.0-4.5	Rafter
	490	460	460	177	130-140	2.6	4.2-4.8	
6063 solid die	460	460	460	157	120-130	2.0	5.0-6.0	Hinged-bar
	470	460	460	152	120-130	2.0	5.0-6.0	

## 2) 열처리

6000계 Al 합금은 석출 경화형 합금으로 비교적 저온 (200°C이하)에서의 시효처리에 의해 미세한 precipitation이 생성되어 강화가 일어나게 된다. 그 석출 과정은 다음의 단계를 거치면서 이루어진다.





여기서 GP Zone 과  $\eta'$ 은 천이상이며  $\eta$ 상은 평형상이고 이중 강화를 일으키는 주요상은  $\eta'$ 으로 알려져 있다.

위와 같은 상변화에 따라 강화정도가 변하므로 각 합금에 대하여 시효 열처리를 실시하여 시간에 따른 강화정도를 측정하여 최고강도를 갖는 대략적인 열처리 조건을 찾고자 시효시간의 변화에 따른 경도변화를 측정하였다.

실험재료는 개발된 유리온실용 합금으로 제작된 billet를 압출하여 만든 압출재를 당사에서 보유하고 있는 전기 열처리로를 이용하여 표 4.6의 조건으로 시효경화(Aging : 고용체로 고용되어있는 경화요소를 적정온도에서 적정시간 유지하여 고용체에서 제2상을 석출하여 강화시키는 처리) 처리 후 Rockwell 경도계와 Webster 경도계로 경도를 측정한 결과는 표 4.7~4.10에서 보는바와 같다.

시료처리온도 및 경과시간에 따른 압축재의 표면경도는 그림 4.4와 같이 165℃에서 9시간, 175℃에서 8시간, 185℃에서 4시간, 195℃에서는 3시간에 최고 경도치가 나타나 시료처리 온도가 낮을수록 장시간의 열처리가 필요하며 시료처리 온도가 높을수록 열처리 시간이 짧아지는 것을 알수 있었다.

Table 4.6 Experimental conditions of age-hardening.

NO	Heat treatment temperature	Holding time	Checking interval	Remarks
1	165 ℃	8 Hr	1 Hr	
2	175 ℃	8 Hr	1 Hr	
3	185 ℃	8 Hr	1 Hr	
4	195 ℃	8 Hr	1 Hr	

Table 4.7 Hardness test results at 165°C

No	Conditions	Hardness Test												Re- mark
		HR <sub>F</sub>						Webster						
		1	2	3	4	5	AVE	1	2	3	4	5	AVE	
1	165°C-2Hr	79.5	79	78.5	80	80.5	79.5	11	11	11	11.5	11.5	11.2	
2	165°C-3Hr	85	84.5	86	84.5	84	84.8	12.5	12.5	12.5	12.5	12	12.4	
3	165°C-4Hr	86.5	86.5	86.5	87	87.5	86.8	13	13.5	13	13.5	14	13.4	
4	165°C-5Hr	88.5	88	88.5	89	88	88.4	14	14	14	14	14	14	
5	165°C-6Hr	88.5	89	88	88.5	89	88.6	14	14	14.1	14	14.1	14.0	
6	165°C-7Hr	89.5	90	90.5	90	89	89.8	14.2	14.1	14.0	14.1	14.5	14.2	
7	165°C-8Hr	89.8	89.9	89.7	89.7	89.9	89.8	14.5	14.4	14.4	14.5	14.4	14.4	
8	165°C-9Hr	89.5	90.5	89.5	90.5	89.5	90	14.9	15.1	15	15	15	15	
9	165°C-10Hr	90	90	89.5	90.5	90	90	15	15	15	15	15	15	

Table 4.8 Hardness test results at 175°C

No	Conditions	Hardness Test												Re- mark
		HR <sub>F</sub>						Webster						
		1	2	3	4	5	AVE	1	2	3	4	5	AVE	
1	175°C-2Hr	87.5	88	86	88	87.5	87.4	13.5	14	14	13.5	14	13.8	
2	175°C-3Hr	89	88.5	89	88.5	88.5	88.7	14.5	14.5	14.6	14.5	14.4	14.5	
3	175°C-4Hr	88.5	88	89	89.5	88.5	88.7	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
4	175°C-5Hr	88.8	88.6	88.8	89.0	88.8	88.8	14.7	14.7	14.8	14.6	14.7	14.7	
5	175°C-6Hr	89	89	89	88.5	88.5	88.8	15	15	15	15	14.5	14.8	
6	175°C-7Hr	88.5	89	88.5	89	89.5	88.9	15	15	14.6	15	15	14.9	
7	175°C-8Hr	90	89.5	90	90.5	90	90	15	15	15	15	15	15	
8	175°C-9Hr	89.5	89.5	89.6	89.8	89.5	89.6	14.8	15	15	14.6	15	14.9	
9	175°C-10Hr	89.5	89.7	89.6	89.5	89.7	89.6	14.5	15	14.5	14	15	14.6	

Table 4.9 Hardness test results at 185°C

No	Conditions	Hardness Test												Re- mark
		HR <sub>F</sub>						Webster						
		1	2	3	4	5	AVE	1	2	3	4	5	AVE	
1	185°C-2Hr	87.5	87	87.5	87	87.5	87.3	14	15	15	14.5	14	14.5	
2	185°C-3Hr	87	87	88	87.5	87	87.3	14.5	14	15	14.5	15	14.6	
3	185°C-4Hr	87.5	88	87.5	87	87.5	87.5	14.5	14	15	14.5	15	14.6	
4	185°C-5Hr	87	87	87	88	88	87.4	14	14	14	15	14	14.1	
5	185°C-6Hr	87.5	86	86.5	87	86	86.6	14	14.5	14.5	14	14	14.2	
6	185°C-7Hr	86	85.5	86	86.5	86	86	14	14	14	14	14	14	
7	185°C-8Hr	84.5	84	85	85	84.5	84.6	13	13	13	13	13	13	
8	185°C-9Hr	84.2	84.5	84.1	84	84.2	84.2	12.5	13	13	13	12.5	12.8	
9	185°C-10Hr	84.1	84.1	84.0	84.2	84.1	84.1	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	

Table 4.10 Hardness test results at 195°C

No	Conditions	Hardness Test												Re- mark
		HR <sub>F</sub>						Webster						
		1	2	3	4	5	AVE	1	2	3	4	5	AVE	
1	195°C-2Hr	85	85.5	86	85	85.5	85.4	13	12	13	12	12	12.4	
2	195°C-3Hr	85	85.5	86	86	85	85.5	13	13	12.5	13	13	12.9	
3	195°C-4Hr	82.5	83	83.5	84	85	83.6	13	12	12	11.5	12.5	12.2	
4	195°C-5Hr	82.5	82	82.5	82	82	82.2	12	12	12	11	12	11.8	
5	195°C-6Hr	82.5	82	82.5	81	81	81.6	12	11	11	11	11.5	11.3	
6	195°C-7Hr	81	80	81.5	81.5	82	81.2	11.5	11	11	11.5	11.5	11.3	
7	195°C-8Hr	80.5	79.5	78.5	78	79	79	11	11	10.5	11	10.5	10.8	
8	195°C-9Hr	78.5	78	79	79.5	78.5	78.7	11	10	10.5	11	11	10.7	
9	195°C-10Hr	78.5	79	78	78	78.5	78.4	11	11	11.5	11	10.5	11	

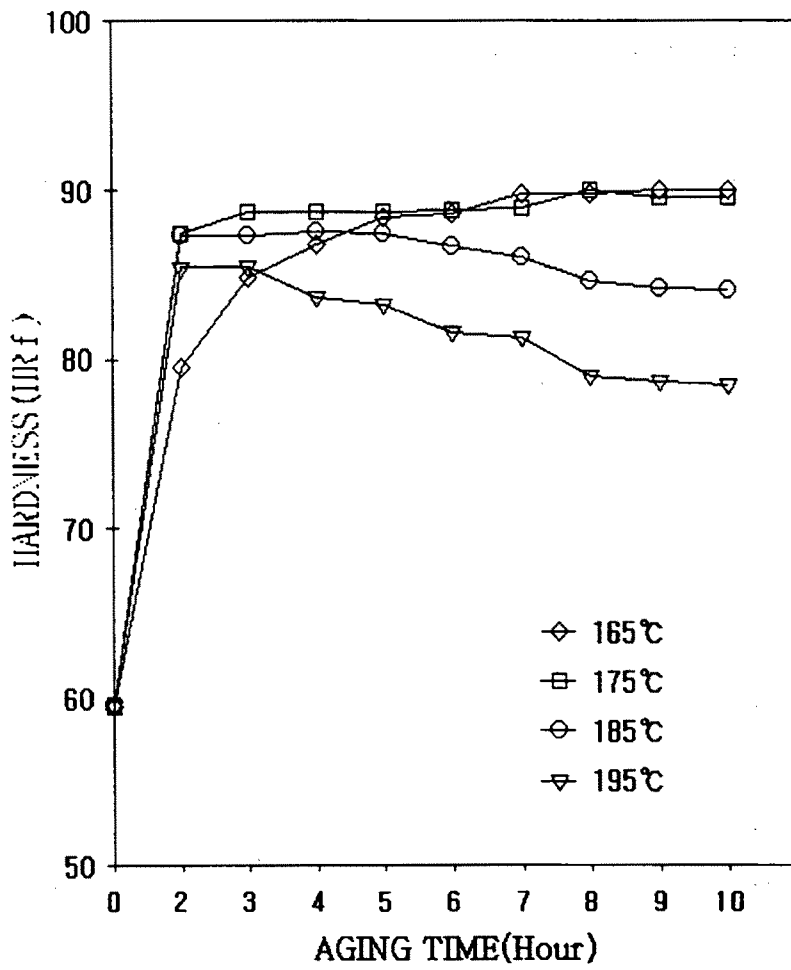
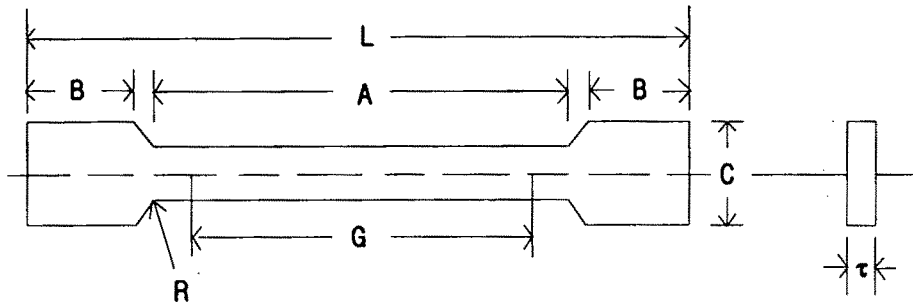


Fig. 4.4 Hardness curve for age hardning condition

### 3) 기계적 성질

열처리 시험 결과에 따라 가장 높은 경도를 얻을 수 있는 조건인 165℃ -9Hr과 175℃-8Hr을 설정하여 그림 4.5와 같이 KS규격의 5호 인장시험시편을 제작 가공하여 만능재료시험기로 시험한 결과 표 4.11과 같이 나타났다.



Gage length(G)	50.00±0.10
Width(W)	25±0.10
Thickness(t)	2±0.10
Radius of fillet(R)	15
Over-all length(L)	230
Length of reduced section (A)	70
Length of grip section (B)	65
Width of grip section (C)	30

Fig. 4.5 Test piece for tensile test( KS B 0801 - NO.5)

Table 4.11 Mechanical properties

NO	Conditions		Tensile strength ( kgf/㎟ )	Elongations ( % )	Remark
1	165℃ - 9Hr	SAMPLE #1	31.94	12	
		SAMPLE #2	33.48	13.2	
		SAMPLE #3	33.90	12.8	
		AVE.	33.11	12.7	
2	175℃ - 8Hr	SAMPLE #1	32.71	10	
		SAMPLE #2	32.11	11	
		SAMPLE #3	31.83	11.4	
		AVE.	32.22	10.8	

표에서 보는 바와 같이 저온에서 장시간 열처리 한 것이 기계적 성질이 우수한 것을 알 수 있었으며, 165℃에서 9시간 열처리 한 것이 이 연구의 개발 목표인 인장강도 29kg/㎟이상, 연신을 12%이상의 제품을 얻을 수 있었다.

### 제3절 경제적인 금형 설계기술 확립

#### 3. 1 금형의 내구성 향상

##### 1) 금형 재료의 선정

금형 재료는 저합금공구강(SKS)과 고속도강(SKH)의 중간에 위치하는 그룹이 사용된다. 알루미늄 합금의 압출금형에 일반적으로 요구되는 특성은

- 가) 고온에서의 내마모성
- 나) 내열 피로 crack 성
- 다) 고온 인장강도와 고온 경도
- 라) 우수한 질화 특성
- 마) 높은 creep 강도 등이며

이를 만족시키기 위하여 금형재료에 Cr, Mo, V, W 등을 주요 첨가원소로 한 것이 알루미늄 합금 압출용 금형으로 널리 사용되고 있다. 이 연구에서는 강도와 인성이 균형잡힌 강종인 열간 금형용강 SKD61을 금형재료로 선정하였으며 그 성분은 표 4.12와 같다.

Table 4.12 Chemical compositions of SKD61 for hot extrusion die

Compositions	C	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V
SKD 61	0.32 ~ 0.42	0.5 ↓	-	4.50 ~ 5.50	-	1.00 ~ 1.50	0.82 ~ 1.20

## 2) 압출 금형의 열처리조건 설정

### 가) 경도 시험

알루미늄 합금 압출용 금형에 작용하는 응력에는 인장, 전단, 굽힘, 뒤틀림 등이 복잡하게 얽혀 있으며 정적 및 동적인 힘이 가해진다. 이 때문에 조직의 양부는 금형강재의 기계적 성질에 크게 영향을 미친다. 열간금형용강 SKD61은 담금질성이 크고 담금질 시 급냉을 요하지 않으며 공냉이 가능하기 때문에 열응력, 변태응력에 따른 변형을 억제할 수 있으므로 금형가공 후에 열처리를 해도 용이하게 고경도 다듬질을 할 수 있다.

압출시 현장생산실험에 의하여 압출재의 결함을 최소화하며 금형의 내구성이 가장 좋게 나타나는 경도치인 HR<sub>c</sub> 49±2의 경도치를 나타내는 열처리 조건을 설정하고 자 온도별 열처리실험을 실시하였으며 그 결과 표 4.13 및 그림 4.6에서 보는 바와 같이 고온 quenching일수록 경도가 상승하는 경향이었으며

Table 4.13 Hardness changes for quenching and tempering conditions

Tempering Quenching	Room Temp.	300℃	400℃	500℃	550℃	600℃	650℃	700℃
950℃	42 HR <sub>c</sub>	44HR <sub>c</sub>	45.5HR <sub>c</sub>	46HR <sub>c</sub>	45HR <sub>c</sub>	42HR <sub>c</sub>	37HR <sub>c</sub>	18HR <sub>c</sub>
1000℃	49	48	49.5	51	50.5	47	40.5	20
1050℃	51	50	51.2	52	53	49	42.5	22
1100℃	55	54	53.5	54.5	55	51	44	27

tempering 온도 500~600℃에서 최고경도치가 나타났고 그 이상의 tempering 온도에서는 경도치가 저하하였다. 목표로 설정된 HR<sub>c</sub> 49±2의 경도치를 얻기 위하여는 1,050℃에서 quenching하고 550℃에서 tempering하여야 할 것으로 나타났다.



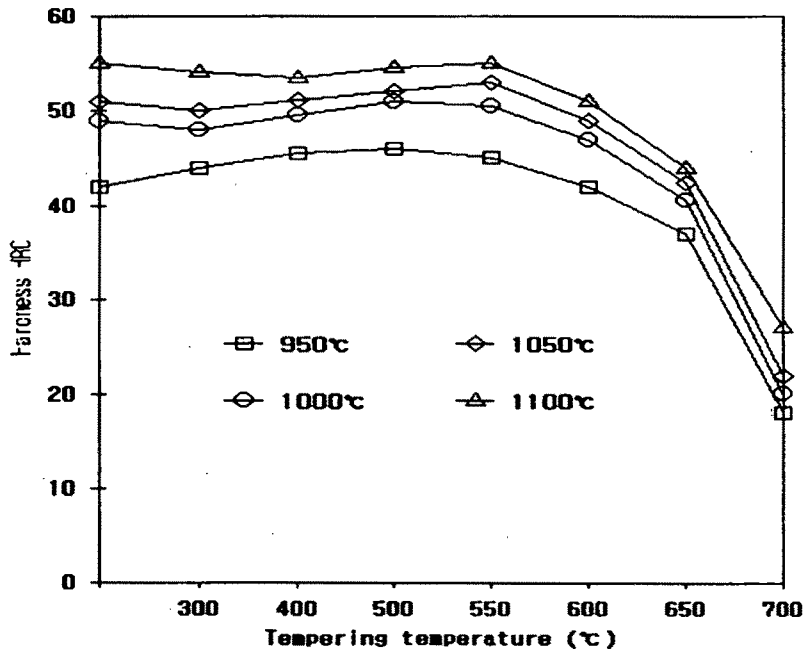


Fig. 4.6 Quenching & tempering hardness curve of SKD61

나) 기계적 특성시험

목표로 설정된  $HR_c 49 \pm 2$ 의 경도치를 얻을 수 있는 조건인  $1,050^\circ\text{C}$ 에서 quenching하고  $550^\circ\text{C}$ 에서 tempering하여 제작한 압출재의 기계적 특성을 시험한 결과, 고온 인장강도와 연신율은 표 4.14와 같이 나타났다.

Table 4.14 Mechanical properties of SKD 61 at high temperature

Temperature Mechanical properties	Room Temp.	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	170	163	158	150	140	113	50
Elongations (%)	13	17	18	19	20	24	30

그림 4.7 에서 보는 바와 같이 인장시험온도가 상승할수록 인장강도는 저하되었고 반대로 연신율은 상승하는 경향으로 나타났다.

압출환경온도인 500°C에서의 실험결과를 보면 인장강도는 140kg/mm<sup>2</sup>이며 연신율은 20%로 나타났다. 따라서 압출금형의 고온 인장강도는 135kg/mm<sup>2</sup>, 연신율은 18이상을 기준치로 설정하였다.

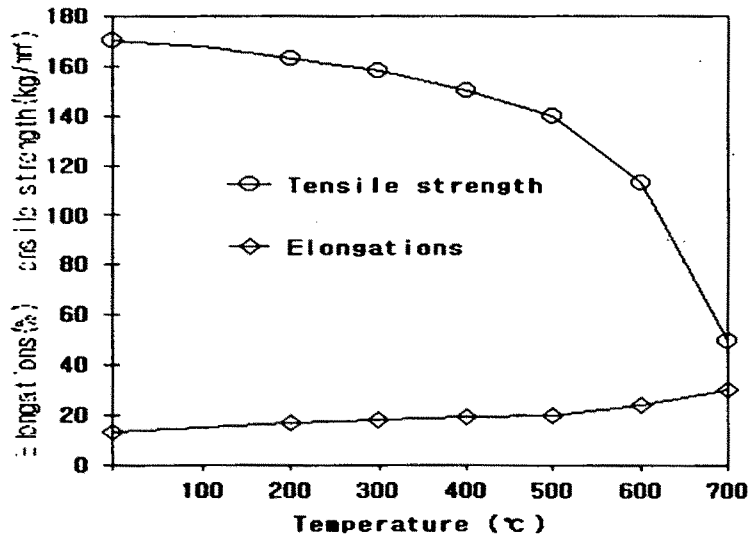


Fig. 4.7 Mechanical properties of SKD61 at high temperature

#### 다) 압출금형의 표면경화 처리

소비자의 품질향상에 대한 요구도가 증대되면서 치수정밀도, dies line, die mark, pick up 등의 표면결함에 대한 문제점이 대두되고 있다. 따라서 bearing 표면의 경도를 개선하므로서 압출금형의 수명을 연장시키고 형재의 치수정밀도 및 표면품질을 향상시키기 위한 표면경화처리를 한다. 표면경화처리 방법중 질화처리는 dies의 잔류응력, 소성변형 등을 감소시키는 양호한 방법이며 crack의 발생과 그 진행을 억제하므로 금형의 수명을 연장할 수 있어 이방법으로 압출금형의 표면처리를 실시하였다.

#### 라) 질화처리 시험

일반적으로 경화효과를 내기 위한 표면경도는 Hv 950~1000, 경화층 깊이는 0.1-0.15mm이나<sup>(29)</sup> 현장실험결과, 표면경도는 Hv1,000~1100의 범위가 적당한 것으로 나타났다.

따라서 표면 경도 Hv 950~1000, 깊이 0.1-0.15mm의 경화층을 얻을수 있는 표면처리 조건을 설정하기 위하여 온도와 질화처리 시간에 따른 경도 및 경화층의 깊이를 시험 측정하였으며 그 결과를 표 4.15에 나타내었다.

Table 4.15 Aging conditions and hardness distributions

Temperature \ Depth	Surface	0.05mm	0.1mm	0.2mm	0.3mm
560 °C × 6Hr	1050	900	650	568	575
570 °C × 6Hr	1070	960	710	565	540
580 °C × 6Hr	1100	980	680	575	565

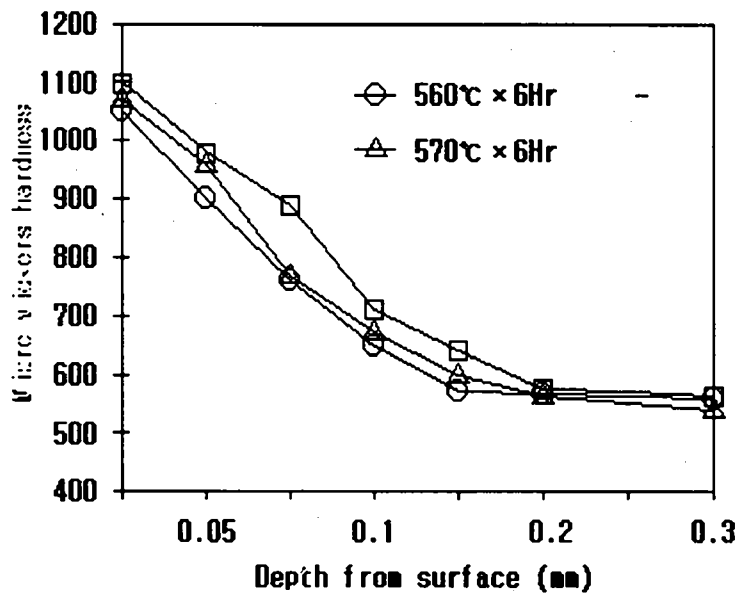


Fig. 4.8 Ageing conditions and hardness distribution

그림 4.8에서 알수 있는 바와 같이 경도와 깊이는 적절한 온도와 가열시간에 따라 정해지며, 560℃ ~580℃의 온도조건에서 모두 Hv 1,000 이상의 경도를 얻을 수 있었으나 필요 이상으로 높으면 박리현상을 일으켜 그 부분에 알루미늄이 부착·퇴적하여 표면결함이 발생하므로 비교적 안정적인 560℃×6Hr의 질화처리 조건을 설정하였으며 그에 따른 질화층의 현미경 조직사진을 그림 4.9에 나타내었다.

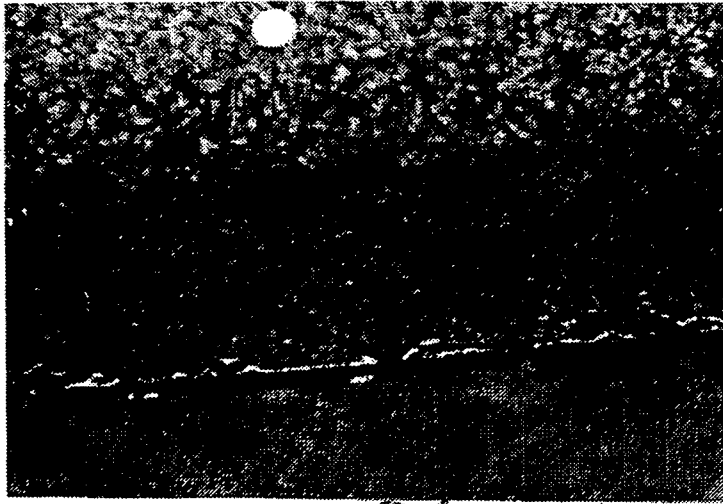


Fig. 4.9 Photo of nitriding layer

### 3.2 금형의 설계기술 확립

압출금형의 종류에는 형재 형상에 따라 형재의 안과 밖의 구별이 없는 SOLID TYPE, 형재의 형상은 solid type인데 개구부 폭이 작은 SEMI HOLLOW TYPE 그리고 형재의 안과 밖의 구별이 확실한 HOLLOW TYPE 으로 분류된다.

SOLID TYPE은 다시 공구의 가공에 따라 FLAT TYPE, POCKET TYPE 및 FLOW GUIDE TYPE으로 분류되고, HOLLOW TYPE은 PORT의 형상에 따라 PORT HOLE TYPE 과 BRIDGE TYPE으로 나누어 진다.

압출금형의 설계시 치수정밀도 및 내구성을 향상시키기 위하여 단면형상을 고려한 금형형상을 선정하여 설계를 실시하였다.

## 2) 압출비

압출비는 billet가 dies bearing면을 통과하여 압출될 때의 단면감소율을 나타내며 아래와 같이 식으로 표시된다.

$$\frac{\text{컨테이너 내부 단면적}}{\text{형재단면적} \times \text{공수}} = \text{압출비}$$

일반적으로 문헌상에 나타난 압출비에 따른 압출성은 표 4.16과 같으며 이는 현장실험 한 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

표 4.16에서 구명된 압출비를 바탕으로 금형설계 시 최적의 압출조건인 압출비 40~80을 조건으로 설정하고 금형설계 시 최대한 반영하였다.

Table 4.16 Extrudability for extrusion ratio

No	Extrusion ratio	Results
1	less than 40	While it is easy to extrude, materials is weak due to not getting pressure
2	40~80	Optimum conditions
3	80~120	Though some reduced extrudability, it is in the permissible range.
4	120~150	Reduction of extrudability is severe, so it is uneconomical.
5	more than 150	Extrusion impossible.

3) 압출 금형의 조합 및 각부 명칭

그림 4.10과 표 4.17에 형상별 조합 및 명칭을 세분하여 Solid Type과 Hollow Type을 비교 검토하므로서 금형 설계 시 형상에 따른 구조 합리화를 꾀하였다.

Table 4.17 Designations of extrusion die

Type No	Solid type	Semi hollow type Hollow type	Type No	Solid type	Semi hollow type Hollow type
1	Holder	←	6	Sub bolster	Key
2	Flow guide	Mandrel	7	Key	Lock Pin
3	Die	←	8	Lock Pin	Bolt
4	Backer	←	9	Bolt	Washer
5	Bolster	←	10	Washer	

SOLID TYPE

HOLLOW TYPE

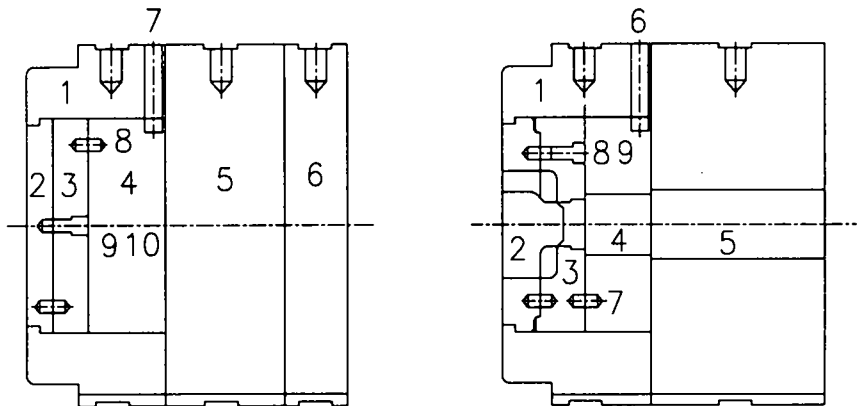


Fig. 4.10 Combinations per each extrusion die type

#### 4) 금형의 설계도면 작성

최적의 금형 설계를 위하여 표 4.18에서와 같이 기계크기 결정, 금형의 직경 결정, 공수결정, 형재배치 결정, 상위치 결정, 보조공구의 겸용성, gauge의 치수 결정, bearing길이 결정, 금형 가공성, 변형부위 예측 보정 등의 순서를 확립함으로써 검토 대상에 대하여 오류를 범하지 않도록 하였다.

#### 5) 압출 형재의 제작범위

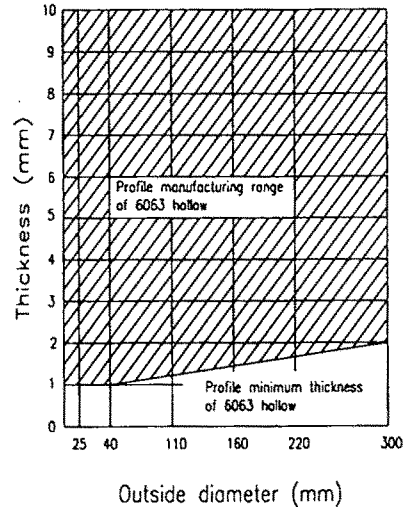
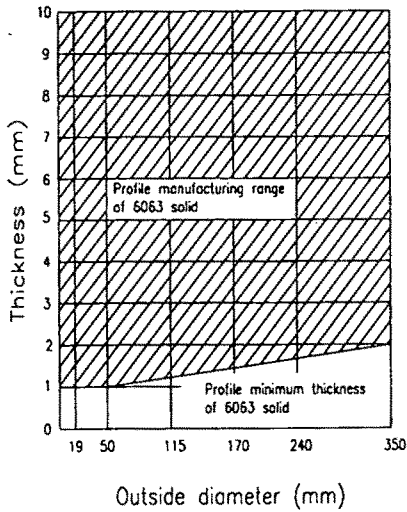
##### 가) 형재 두께

일반적으로 형재의 두께범위는 그림 4.11과 같이 A16063을 기준으로 할 때, A16061의 Solid 형재 및 Hollow 형재의 최소두께는 A16063의 1.4배이다. 그러나 개발된 합금은 A16061과 비슷한 강도를 가지고있으나 압출성은 A16063보다 약간 떨어지므로, 개발합금의 Solid 형재 및 Hollow 형재의 최소 두께범위를 A16063의 1.2배로 설정하여 적용한 결과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Table 4.18 The sequence of extrusion die design

No	Contents	Remarks
1	Decision of machine	Order quantity, Profile size
2	Decision of diameter of extrusion die	Considering of profile size and die strength
3	Decision of work number	Predictable order quantity, profile weight and size
4	Decision of profile position in die	Considering of working ability, stability, inspection ability, protection plan for difference of extrusion length
5	Decision of disposition	Stability to be minimum profile deformations Being able to observe of important parts Working ability of rearbending, scratching, protection of surface
6	A combined use of assistant tools	
7	Decision of gauge dimensions	Considering of shrinkage rate, holding of tolerance, deformation quantity, assembly of profiles
8	Decision of bearing length	Calibration of metal flow
9	Fabrication ability of die, prediction and calibration of deformation part	





◦ SOLID TYPE of Al6063

◦ HOLLOW TYPE of Al6063

For above mentioned thickness

- Minimum thickness A3000: 1.2
- Minimum thickness A6061: 1.4
- **Minimum thickness of invented alloy :1.2**
- Minimum thickness A5000:1.6-2.0
- Minimum thickness A 2000:2.0

For above mentioned thickness

- Minimum thickness A 3000:1.2
- Minimum thickness A 6061:1.4
- Minimum thickness of invented alloy :1.2**
- It is difficult for Al 5000, 2000,7000 series to be hollow type

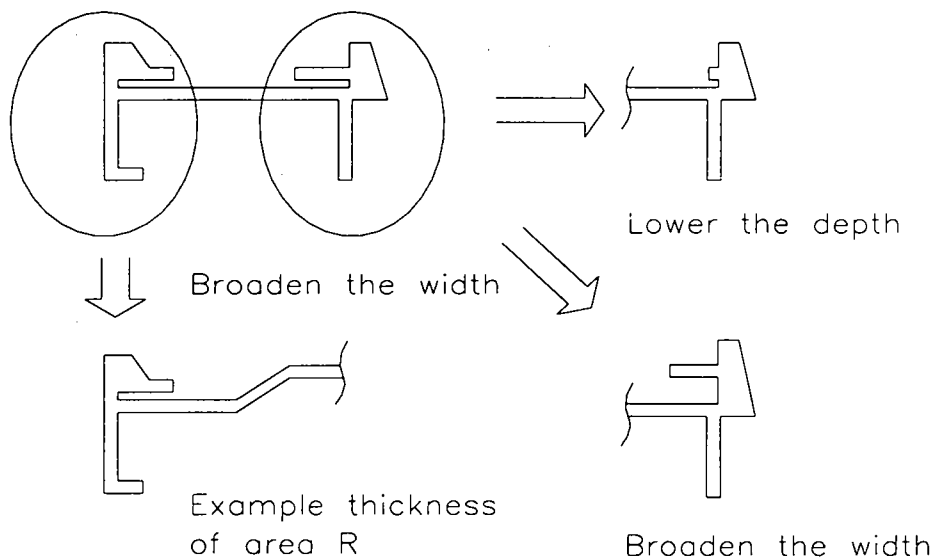
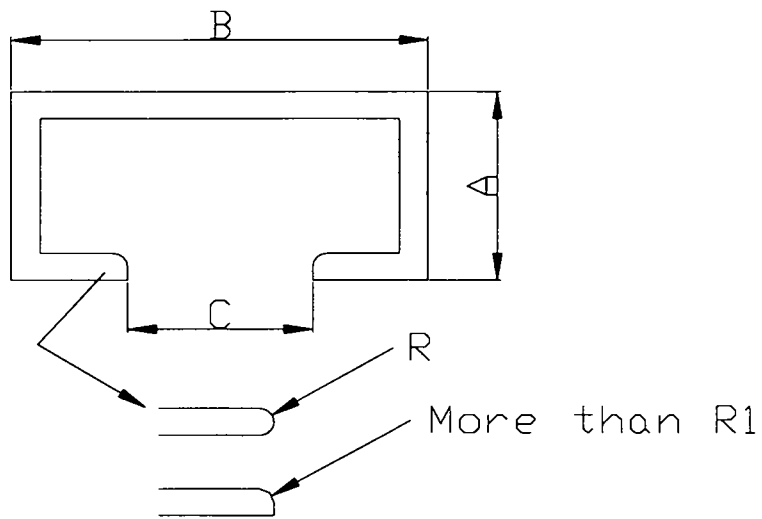
Fig. 4.11 Manufacturing range of profile thickness

나) 부분형상 규제

압출 후 공정의 흠을 방지하기 위한 바닥면의 두께를 표 4.19에 나타내었다. 그림 4.12와 같이 살두께가 급변하는 부위는 라운드나 테이퍼를 주었고 공간부를 개선하거나 규제하여 금형설계 시 적용하였으며, 그림 4.13와 같이 Port Hole Die의 Mandrel부의 파손방지와 두께 편심을 방지하기 위하여 중공부의 최소 공간폭은 8mm이상으로 설계하였다.

Table 4.19 Floor thickness for protecting from defects

Outside diameter of profile	less than $\phi$ 100	more than 1.5
	more than $\phi$ 100	more than 1.8



**Fig. 4.12 (a) Sudden thickness change area R (b) Restriction of cavity parts.**

Table 4.20 Control of cavity part of die

Control conditions C dimensions	Maximum dimension of A		
	B/C = 1	B/C = 1.5	B/C = 2
1.5	1.5	-	-
1.8	2.5	-	-
2.5	3.5	3	2.5
3	7	6	4
3.5	8.5	6	4
4	10	8	6
5	14.5	11	8
6	17	13	10
7	20	16	12
8	25	20	16
9	30	25	20
10	35	30	25
1.5	40	35	30
20	45	45	40
25	50	50	45
30	55	55	50
35	60	55	50
40	60	60	50

o Restriction of cavity width.

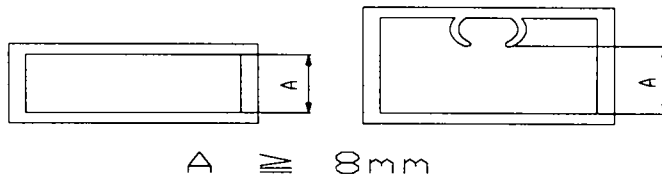


Fig. 4.13 The minimum cavity width of hollow section

### 3.3 압출 금형 설계 제작

확립된 금형의 내구성 설계 조건을 최대한 적용하여 최종적으로 용마루 등 16벌의 금형을 표준화하였다.

### 3.4 시작용 온실재 압출

반사로(8ton/charge)에 유리온실용 개발합금성분을 용해하여 5inch 빌레트로 주조하여 1,000ton 용량의 압출기FFM 사용하여 압출길이 6,400mm로 압출하여, 165℃에서 9시간 열처리한 후 KS 기준에 의한 표면처리 전착작업을 실시하였다.

절단작업 시 요구치수 내에 빌레트의 이음매 부위와 표면처리 racking 자국이 없도록 주의하여 작업함으로써 소정의 알루미늄 온실구조재를 압출할 수 있었다.

## 제4절 결과요약

### 1) 개발된 합금의 대량생산 가공기술을 개발하기 위하여 시험한 결과

- 빌레트를 제조하기 위한 주괴투입, 합금첨가, 조직미세화제, 탈가스제 투입 등 11단계의 빌레트 제조공정기술을 확립하였다. 합금원소의 첨가 온도는  $760 \pm 10^\circ\text{C}$ , Mg의 첨가온도는  $720^\circ\text{C}$ 가 적절하였으며, 입자 미세화제는 TIBOR를, 탈가스제는  $\text{N}_2 + \text{RFF100}$ 을 사용하였고, 용탕 진정온도는  $710 \pm 10^\circ\text{C}$ , 용탕배출온도  $690 \pm 10^\circ\text{C}$ , 주조속도는  $100\text{mm}/\text{min}$ 가 좋은 것으로 나타났다.
- 주조된 빌레트의 균질화 열처리 조건은 평다이의 경우  $460 \sim 470^\circ\text{C}$ , 증공다이의 경우는  $480 \sim 490^\circ\text{C}$ 에서 각각 12시간씩 하는 것이 최상의 압출성을 나타내었으며, 이때 개발합금의 압출성은 A6063의 약 80% 정도였다.
- 압출된 압출재의 시효처리는  $165^\circ\text{C}$ 에서 9시간 처리하는 것이 가장 좋은 것으로 판명되었다.

### 2) 알루미늄 구조재의 압출에 사용되는 금형의 경제적인 설계기준 및 표준화를 실시한 결과

- 금형에 사용되는 재료는 열간 금형용 SKD61로 하였으며 그 성분은 C 4.0%, Mn 0.2%, Cr 4.8%, Mo 1.5%, V 0.9% 였다.
- 압출금형의 열처리 조건은  $1050^\circ\text{C}$ 에서 퀴칭하고,  $550^\circ\text{C}$ 에서 템퍼링 하는 것이 좋았으며,
- 압출금형의 질화처리는  $560^\circ\text{C}$ 에서 6시간 처리하는 것이 가장 좋게 나타났다.

【참고문헌】

1. Elwin L. Rooy, "Metals Handbook" Vol. 2 10th edition p. 3
2. Jack W. Bray, "Metals Handbook" Vol. 2 10th edition p. 29
3. O. Reiso, "Extrusion of Aluminium Alloys", (Proc. Int. Summer School Aluminium Alloy Technology, Trondheim, Norway, NTH July 1991), section 11.
4. S.A. Court, H.D Dudgeon and R.A. Ricks, "The 4th international conference on Al alloy" Vol. 1 (1994) p. 395
5. G. Huppert, E. Hornbogen, "The 4th international conference on Al alloy" Vol 1. (1994) p. 628
6. N.C. Parson and H.L. Yiu, Light Metals 1989, ed. P.G. Campbell (Warrendale, Pennsylvania, USA:TMS, 1988), 713
7. B. Dutta and C.M. Sellars, Materials Science and Technology, 3, (1987), 197
8. W.J. Liu and J.J. Jonas, Metallurgical Transaction A, 20A, (1989), 689
9. H. Böhm, Aluminium 39 (1963), 360
10. J.T. Staley, Materials Science and Technology, 3, (1987), 923
11. G.W. Lorimer, Precipitation Process in Solids, ed. K.C. Russell, H.I. Aaronson, AIME Conf. Proc., Warrendale, PA(1978) p. 95
12. T.E. Johnsen and B.R. Henriksen "The 4th international conference on Al alloy" Vol 1. (1994) p. 612
13. J.T. Staley, R.D Doherty and A.P. Jaworski, Metallurgical Transaction A, 24A, (1993), 2417
14. E. Hornbogen, A.K. Mukhopadhyay and E.A. Starke, Jr., J. Mater. Sc. 28 (1993), 3670

15. R.B.C. Cayless, "Metals Handbook" Vol. 2 10th edition p. 15
16. H.D. Dudgeon, N.C. Parson, S.A. Court and R.A. Ricks, these proceedings
17. W.G. Barry, 3rd Int, Aluminium Extrusion Technology Seminar("ET '84"), Atlanta, GA, USA, 24-26 April 1984. Vol. 1, 7
18. Shigeru Okaniwa "輕金屬" : Vol. 45 No. 8 (1995) p. 471
19. 상공부 : 항공기용 Al합금(7xxx) 압출 및 평가 기술개발에 관한 연구 p.28
20. "Metals Hand Book", ASM, vol. 8 (1973)
21. J.M. Silcock, T.J. Heal and H.K.Hardy : J. Inst. Metals, 82(1953-54)
22. 일본경금속학회 : 알루미늄의 조직과 성질 : 40주년 기념출판부회 (1991)
23. 大西, 中谷, : 輕金屬, 25(1975)
24. ASM : Metals Handbook, (1954), ASM.
25. 日本鑄物協會研究報告 7, Al-Si合金의 改良處理에 관한 研究 (1976).
26. 사단법인 일본경금속학회 : 알루미늄 HAND BOOK : 소영사인쇄소 (1994)
27. ASM : Binary Alloy Phase Diagram, Vol. 1(1986), ASM
28. E. Nes : Microstructural Control in Aluninum Alloys, The Metallurgical Society, (1985)



## 제5장 규격표준화 알루미늄구조재의 시공 및 시험용 온실 검증

첨단유리온실용 알루미늄 합금 개발소재에 대한 생산가공 기술을 확립하여, 규격표준화한 알루미늄 구조재 11종 및 서까래 덮개를 비롯한 연결, 삽입 및 고정재 등 6종의 부재를 개발소재로 압출하고, 또한 시공용 고무 gasket 2종을 규격표준화한 후 EPDM 소재로 압출 시작품을 제작하여, 시험용 온실을 단동으로 제작하고 시공성 및 방수성을 평가하였다.

그리고 안전성 검증을 위하여 편지봉 단동형식의 시험용 온실을 제작하였으며, 온실 지붕경사각 27°에 대해 수직방향으로 등속도에 의한 집중 및 등분포 하중을 가력할 수 있도록 가력시스템을 설계제작하여, 개발 알루미늄 구조재로 시공된 온실의 안전성을 검증하였다.

### 제1절 규격표준화 알루미늄 구조재의 시공

#### 1.1 규격 표준화한 알루미늄 구조재 시공용 강구조물

표준화한 알루미늄구조재의 시공에 앞서 알루미늄 구조재를 설치하기 위하여 형강으로 된 주골조재를 사용하여 그림 5.1 및 그림 5.2에서 보는 바와 같이 지붕경사각이 27°이며 측고 815mm, 동고 1546mm, 온실폭 2925mm, 길이 2260mm 인 단동의 유리온실을 시공하였다.

기둥 및 트러스는 H형강 대신에 □75×45×2mm 형강을 사용하였고 도리는 C75×45×2mm형강을 사용하였으며 천창설치 폭은 1000mm로 하였다.

도리재인 C형강의 개구는 농가보급형 유리온실에서와 같이 지붕에서는 지붕상 방향으로, 측면 및 박공면 쪽에서는 하늘방향으로 위치하도록 되어 있으나, 규격표준화 한 알루미늄 구조재 중 일부 구조재의 설치특성상 표 5.1에서 보는 바와 같이 지붕서까래 및 수직재(서까래와 같은 형상)를 받쳐주는 C형강 중 Purline 및 cross beam에 대하여 개구 및 설치 위치를 일부 수정하였다.

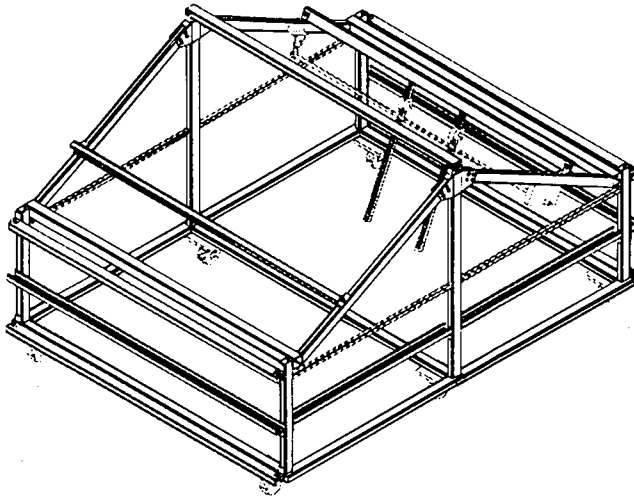


Fig. 5.1 3-Dimensional glasshouse model of steel structure for standardized aluminium profile setting

Table 5.1 Modified installation position for purline and cross beam

C형강설치 위치	표준화 알루미늄 위치 관계	C형강 설치방법
상 중도리	천창하부받침재	용마루로부터 1000mm 떨어지고 C형강 개구를 지면방향으로 함
처마도리	꼭부마감재	꼭부중심으로부터 250~300mm 떨어지고 C형강 개구를 지상방향으로 함
상 측면횡대 (기둥)	처마 마감재	측고(기둥높이)로부터 60mm 떨어지고 C형강 개구를 지면방향으로 함

(주) 김평탁(1994) 「건축용어 대사전」에 없는 용어는 농어촌진흥공사(1994) 「원예시설 구조안전기준 작성」 인용

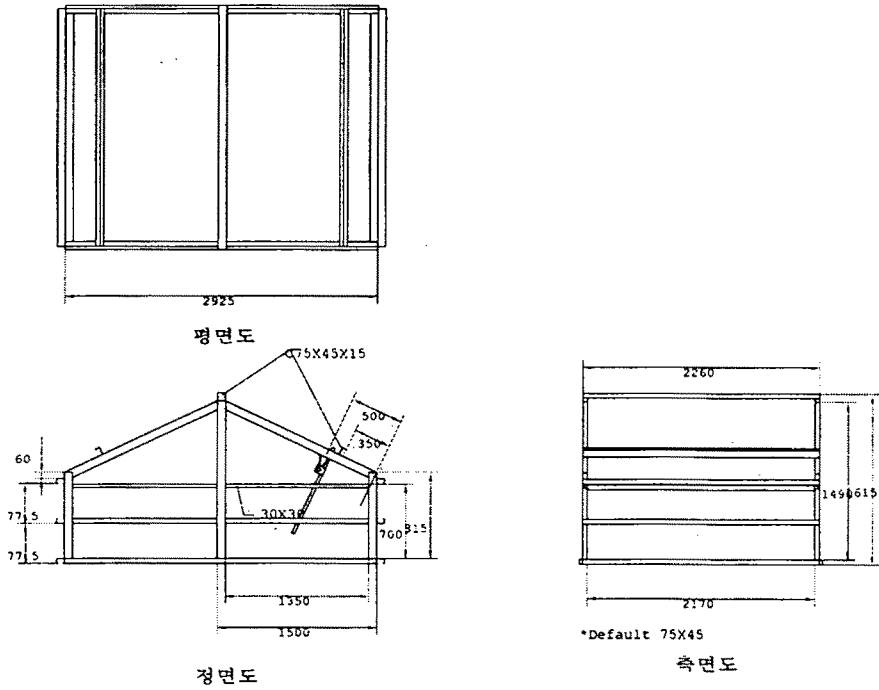


Fig. 5.2 Steel setting drawing with dimension for glasshouse model

## 1.2 알루미늄 구조재 시공표준화

알루미늄구조재의 시공표준화 및 방수성 시험을 위하여 그림 5.3과 같이 그림 5.1의 강구조물에 규격표준화된 용마루 등 알루미늄 구조재 11종 및 서까래 덮개를 비롯한 연결, 삽입 및 고정재 등 6종, 고무가스킷 2종을 설치하였으며, 설치면은 박공면 1개소, 온실측면 1개소, 지붕면 2개소로 하였다. 지붕면 1개소에는 천창을 설치하고, 다른 한쪽은 천창을 설치하지 않고 지붕서까래가 용마루에 직접 연결되도록 하였다.

천창회전재 및 곡부마감재 연결부위에는 연결판을 사용하여 리벳(3.2mm Stainless)으로 고정하였고, 서까래와 천창회전재의 연결고정부위는  $\phi 4 \times 13\text{mm}$ 의 피스로 고정하였다.

연결삽입재 I가 설치되는 천창하부마감재, 용마루 등은  $\phi 4 \times 16\text{mm}$ 의 피스로 고정하였다.

볼트에 의한 고정은 서까래는  $\phi 6 \times 20\text{mm}$  ST의 고정볼트를, 용마루에서는 M10의 아연도볼트를 사용하여 시공하였다.

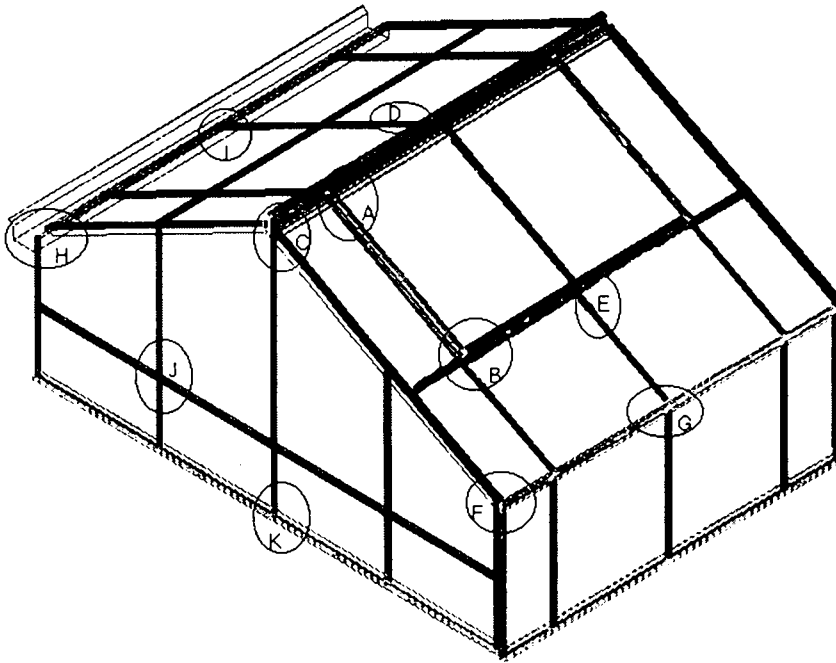


Fig. 5.3 Construction of standardized aluminum profiles

### 1.2.1 서까래의 조립

서까래는 전체 알루미늄 구조재와 연결되므로 매우 중요한 구조재이며 유리 온실 알루미늄 구조재의 대부분을 차지하고 있다.

그림 5.4는 다른 알루미늄 구조재와의 연결부위를 포함하지 않은 상태의 서까래의 최종 조립 단면도로써 유리를 고정하기 위한 서까래 덮개를 즉결피스  $\phi \times 4\text{mm}$ 로 관통시킨 후 고정피스( $\phi 4$  st27)로 서까래에 1차 고정하고 서까래 span 중앙에 1개소에 고정피스로 2차 고정하여 설치되도록 하였다.

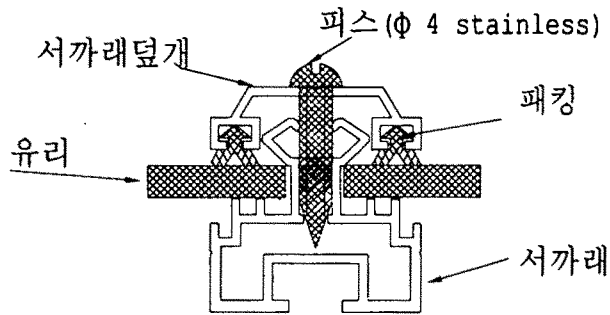


Fig. 5.4 Build-up cross-section of rafter

### 1.2.2 천창 조립

천창은 그림 5.5~5.10에서 보는 바와 같이 천창회전재와 천창측면마감재의 조립, 천창하부마감재와 천창측면마감재의 조립으로 천창 외각 프레임이 구성되며, 여기에 천창서까래를 조립하므로써 6.2m길이의 천창이 완성되며 이를 용마루에 조립하도록 하였다.

필요에 따라 천창의 길이를 길게 할 때에는 천창회전재 및 천창하부 마감재와 천창서까래로 구성된 6.2m 프레임을 용마루에 조립한 후 천창회전재 및 천창하부 마감재를 각각의 연결재로 연결하여 천창을 연장시켜 조립할 수 있도록 하였다.

#### 가) 천창회전재와 천창측면마감재의 조립

천창회전재와 천창측면마감재의 고정은 천창회전재 밑에서 천창측면마감재를  $\phi 4 \times 13\text{mm}$  즉결피스에 의해 관통 고정하였다.

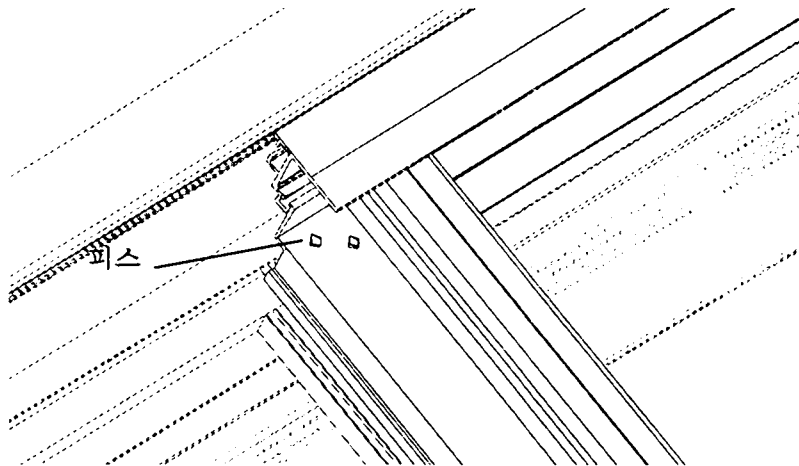


Fig 5.5 A details

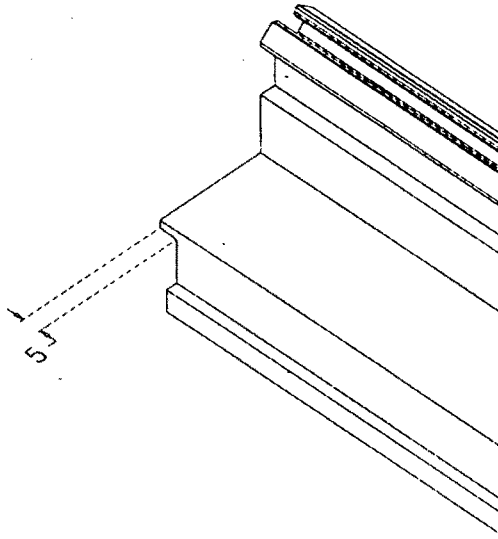


Fig. 5.6 Processing drawing of side finishing bar of top light(A details)

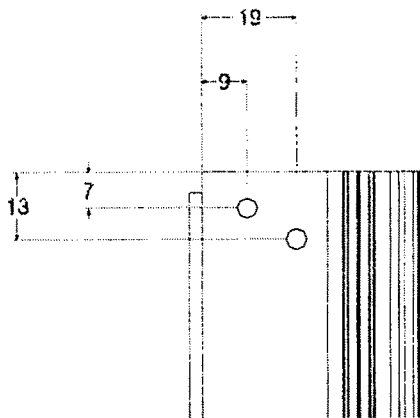


Fig. 5.7 Piece fixing drawing of side finishing bar of top light("A" details)

나) 천창하부마감재와 천창측면마감재의 조립

천창하부 마감재와 천창측면마감재를 고정할 때 천창하부 마감재 밑에서 천창측면마감재를  $\phi 4 \times 13\text{mm}$ 의 즉결피스로 관통 고정하도록 하였다.

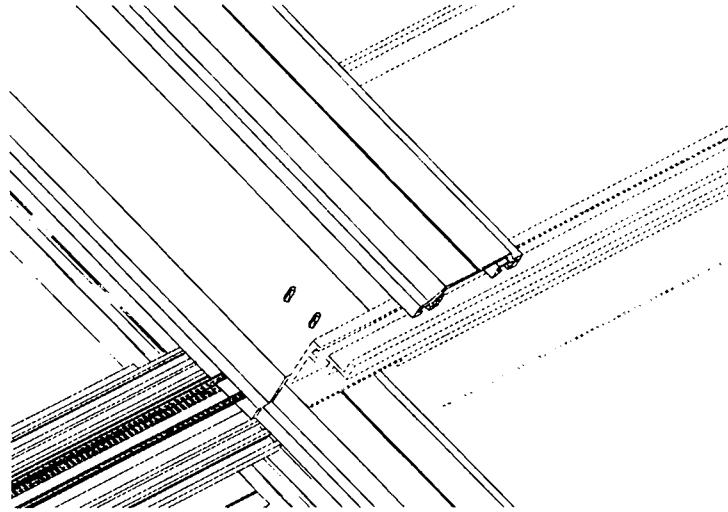


Fig. 5.8 "B" details

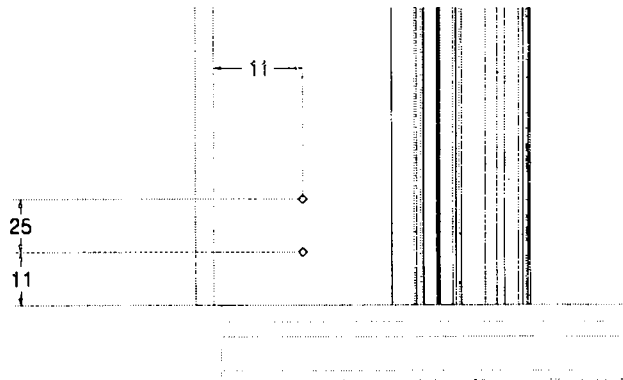


Fig. 5.9 Piece fixing drawing of side and bottom finishing member of top light("B" details)



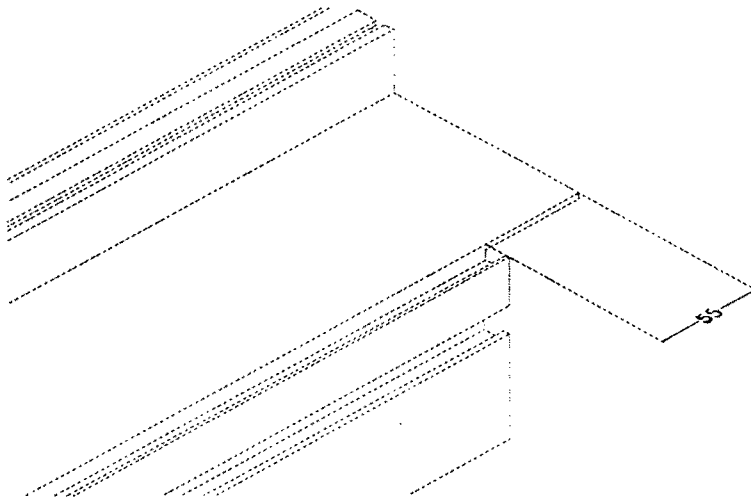


Fig.5.10 Processing drawing of bottom finishing member of top light("B" details)

### 1.2.3 용마루와 박공바의 조립

박공바 및 용마루의 조립은 지붕서까래와 용마루를 조립하는 방법과 같이 용마루의 하부 결합판에 박공바 하부가 밀착되어 고정구에 의해 고정되며, 박공면 쪽으로 부터 용마루의 끝단을 덮는 카버를 설치할 때 그림 5.11과 같이 양쪽 박공바를 피스로 동시에 고정시키도록 하였다.

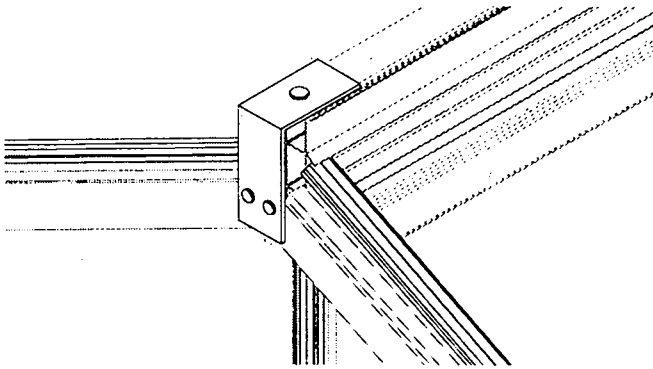


Fig. 5.11 "C" details

#### 1.2.4 용마루와 서까래의 조립

용마루와 서까래의 조립은 그림 5.12에서 보는 바와 같이 용마루의 하부 결합 판에 서까래 하부가 밀착되고 고정구 II에 의해 고정되도록 하였다.

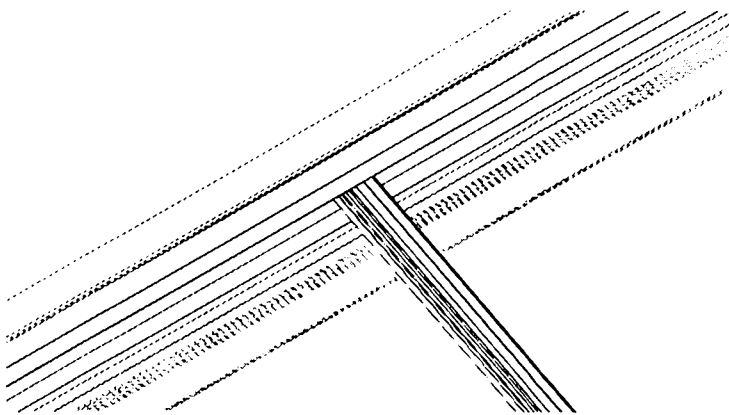


Fig. 5.12 "D" details

### 1.2.5 서까래와 천창받침재·천창하부마감바의 조립

지붕서까래와 천창받침재 그리고 천창서까래와 천창하부마감바의 조립관계를 그림 5.13 및 5.14에 도시하였다. 천창받침재는 C형강 중도리(상중도리)위에 C형강과 같은 방향으로 설치되며 그 다음에 지붕서까래가 C형강과 수직방향으로 설치된다.

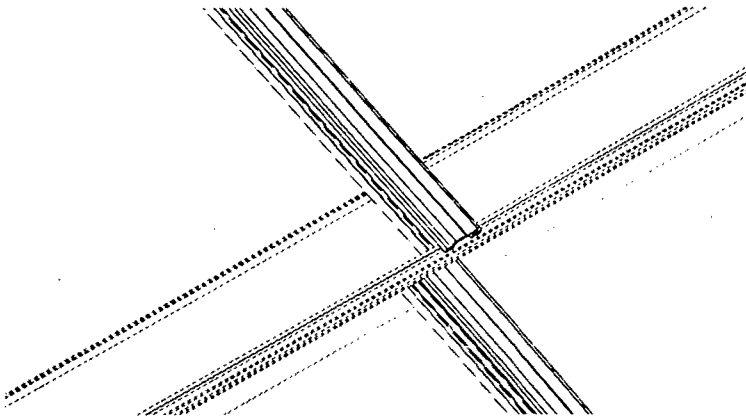


Fig. 5.13 "E" details

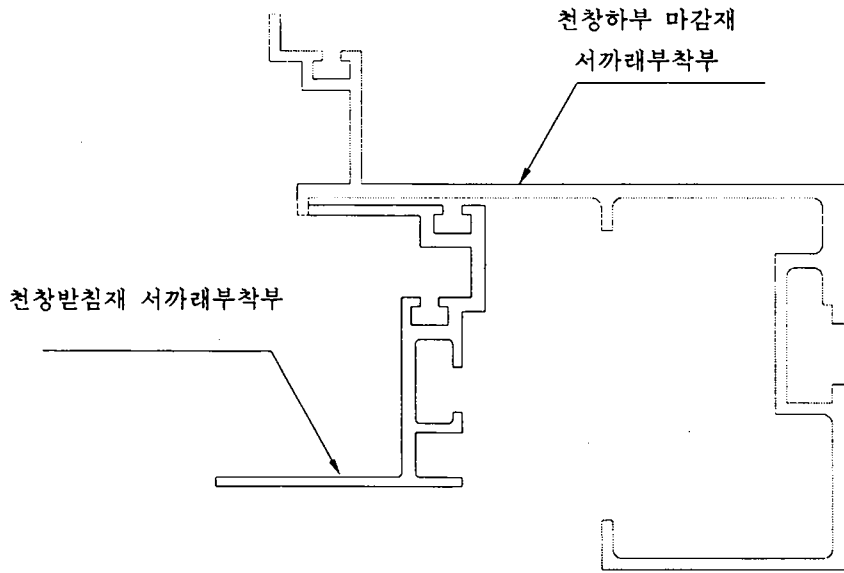


Fig.5.14 Build-up cross-section of bottom finishing and support member of top light

### 1.2.6 처마 조립도

그림 5.15는 처마마감재, 박공바 및 코너마감재로 동시 조립되는 처마코너부의 조립완성도를 나타낸 것이고 조립전 마감부의 가공치수를 그림 5.16~5.18에 나타내었다.

가) 처마코너 조립도

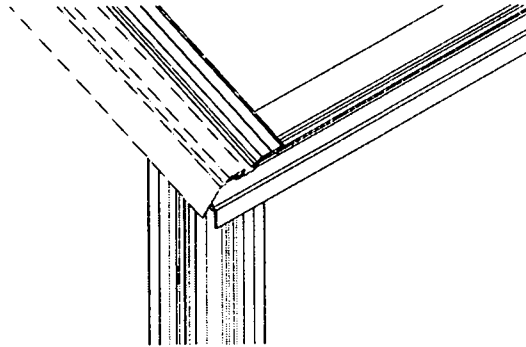


Fig. 5.15 "F" details

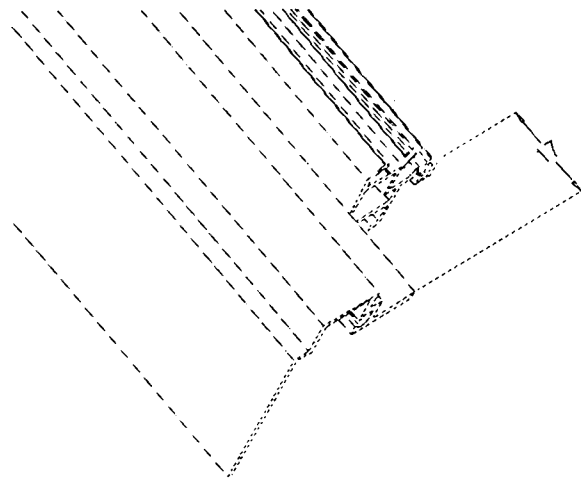


Fig. 5.16 Processing drawing of gable bar("F" details)

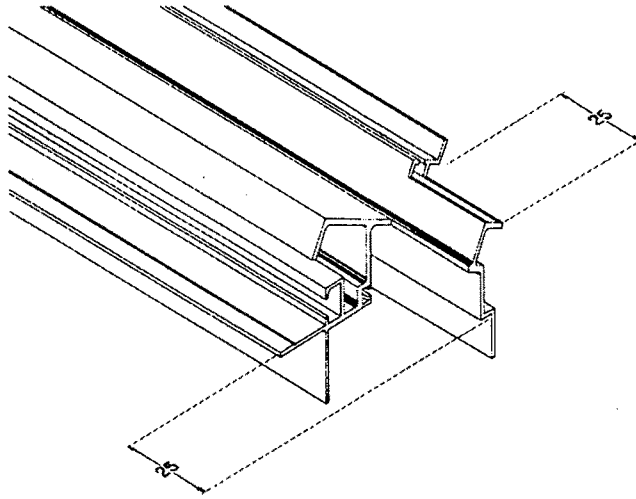


Fig.5.17 Processing drawing of eaves finishing member("F" details)

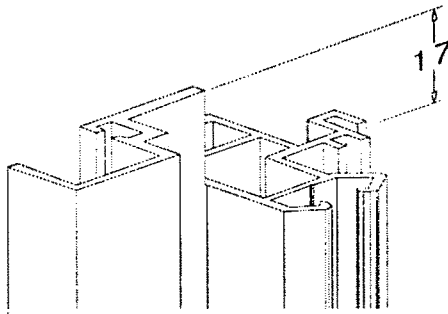


Fig.5.18 Processing drawing of corner finishing member ("F" details)

#### 나) 처마중앙 조립도

처마중앙부는 지붕서까래와 처마마감재 그리고 처마마감재와 수직재(서까래)가 조립되는 것으로 조립순서는 그림 5.19와 같이 먼저 수직재를 설치하고 다음에 처마마감재를 설치하며 마지막으로 지붕서까래를 설치하도록 하였다.

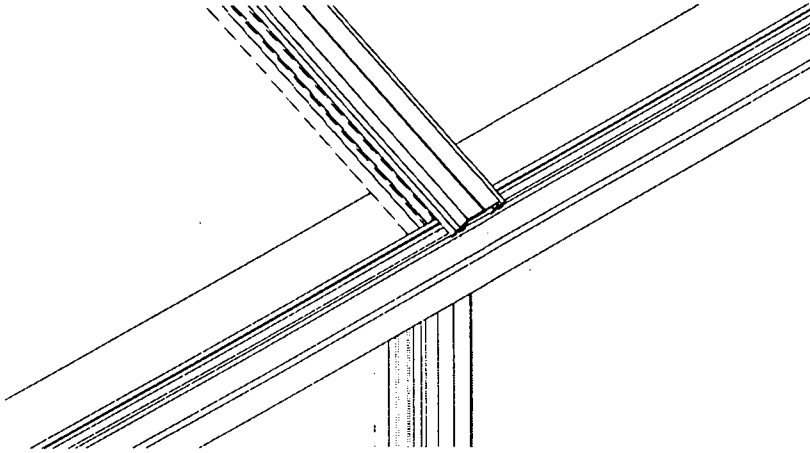


Fig. 5.19 "G" details

#### 1.2.7 곡부 조립

곡부는 유리온실이 2연동 이상일 때 물받이가 설치되는 곳이다.

그림 5.20 및 5.21에서 보는 바와 같이 물받이를 먼저 설치한 후 곡부 마감재를 설치하고 지붕서까래를 곡부마감재에 연결한 후 고정구 I로 고정하도록 하였다.

가) 곡부코너 조립도

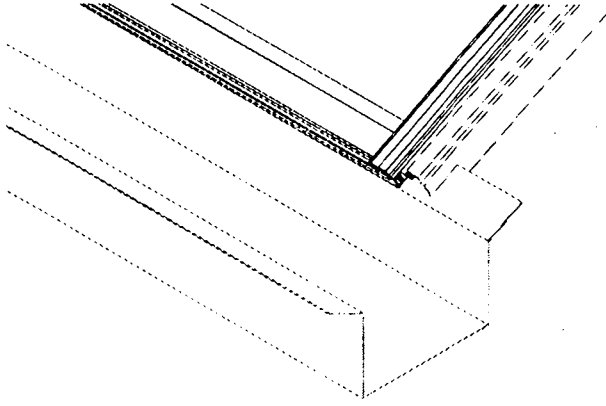


Fig.5.20 "H" details

나) 곡부중앙 조립도

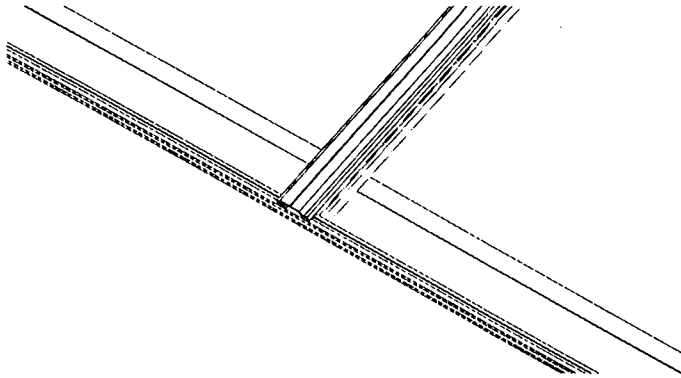


Fig.5.21 "I" details



### 1.2.8 유리연결재의 조립

유리를 연결하는 유리연결재는 중도리 및 횡대 C형강위에 설치되며 먼저 서까래를 설치하고 나서 그림 5.22와 5.23에서 보는 바와 같이 가공을 한후 서까래에 설치된다.

유리연결재의 고정은 즉결피스 ( $\phi 4 \times 13\text{mm}$ )로 서까래로부터 50mm 떨어진 C형강을 관통시켜 2개소에 고정되도록 하였다.

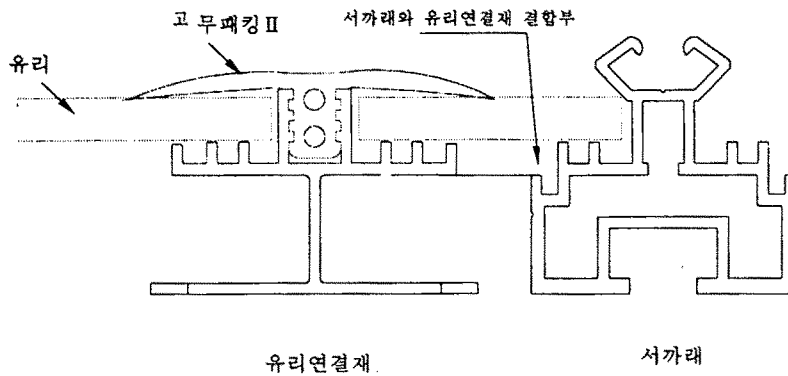


Fig. 5.22 Cross-section of combining glass coupling member and rafter("J" details)

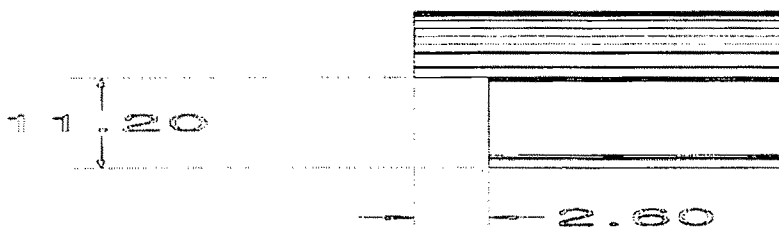


Fig. 5.23 Processing drawing of glass coupling member

### 1.2.9 박공하부마감재 조립

박공면의 하부마감재는 그림 5.24에서 보는 바와 같이 수직재와 연결된다.

박공하부마감재는 수직재를 설치하기 전에 C형강을 즉결피스를 관통시켜 고정하였다. 한편 박공하부마감재와 수직재의 고정은 수직재를 박공하부마감재에 밀착시킨 뒤 박공하부마감재에서 수직재쪽으로 즉결피스( $\phi 4 \times 13\text{mm}$ )를 사용하여 관통시켜 고정시키도록 하였다.

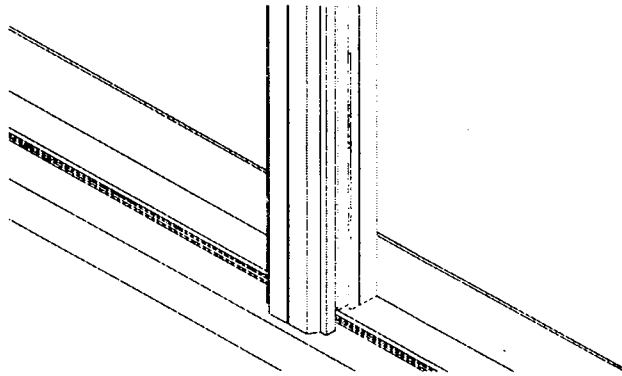


Fig. 5.24 "K" details

### 1.2.10 알루미늄 구조재의 고정

그림 5.25에서 보는 바와 같이 용마루의 고정은  $\phi 10 \times 20\text{mm}$  아연도 육각 볼트에 의해 상량보인 C형강에 조립 고정되도록 하였으며 서까래는 단면의 가공 없이 그대로 고정구 II를 사용하여 서까래와 용마루를 조립 고정토록 하였고 중도리 등에 서까래를 고정할 때는 그림 5.26에서 보는 바와 같이 고정구 I를 사용하여 서까래를 C형강에 고정시키도록 하였다.

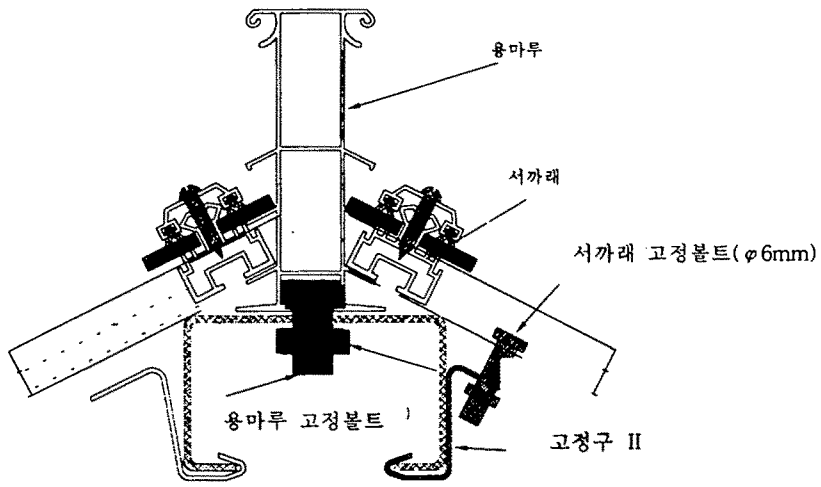


Fig. 5.25 Fixed drawing of ridge-rafter

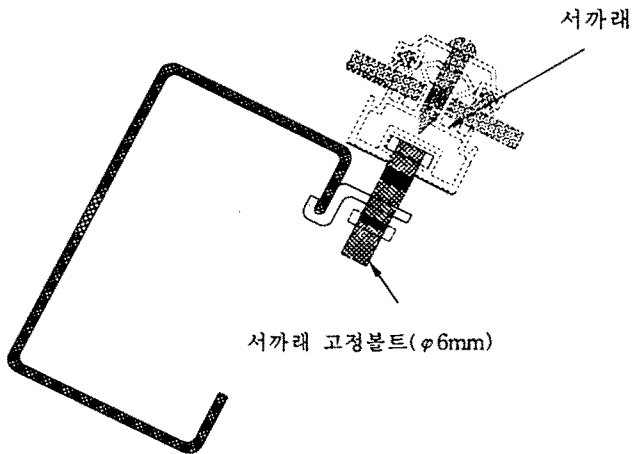


Fig. 5.26 Fixed drawing of rafter

### 1.2.11 알루미늄 구조재의 연결

용마루를 온실의 길이방향으로 연결할 때는 그림 5.27에서와 같이 연결 삽입재 I 을 용마루의 상부 중공부위에 삽입시켜 연결하고 용마루와 삽입재의 고정 은 즉결피스 (  $\phi 4 \times 13\text{mm}$  )로 용마루 상부에서 하부쪽으로 관통시켜 고정되도록 하였다.

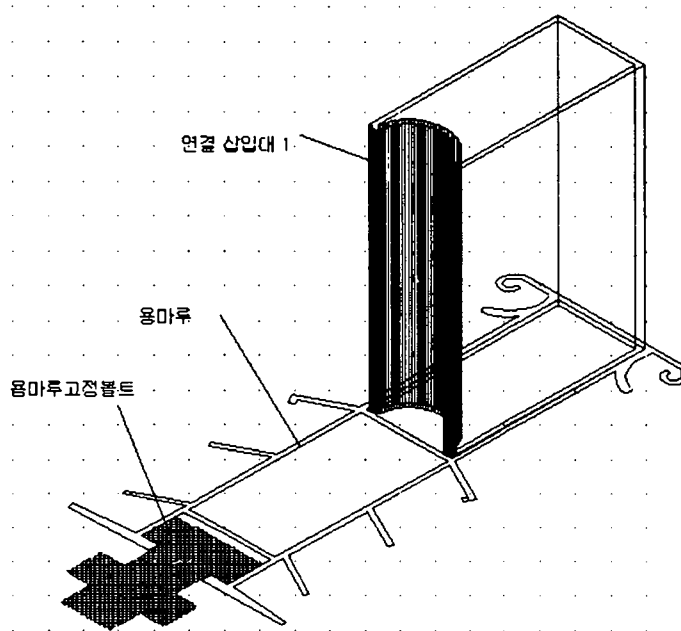


Fig.5.27 Drawing of ridge coupling

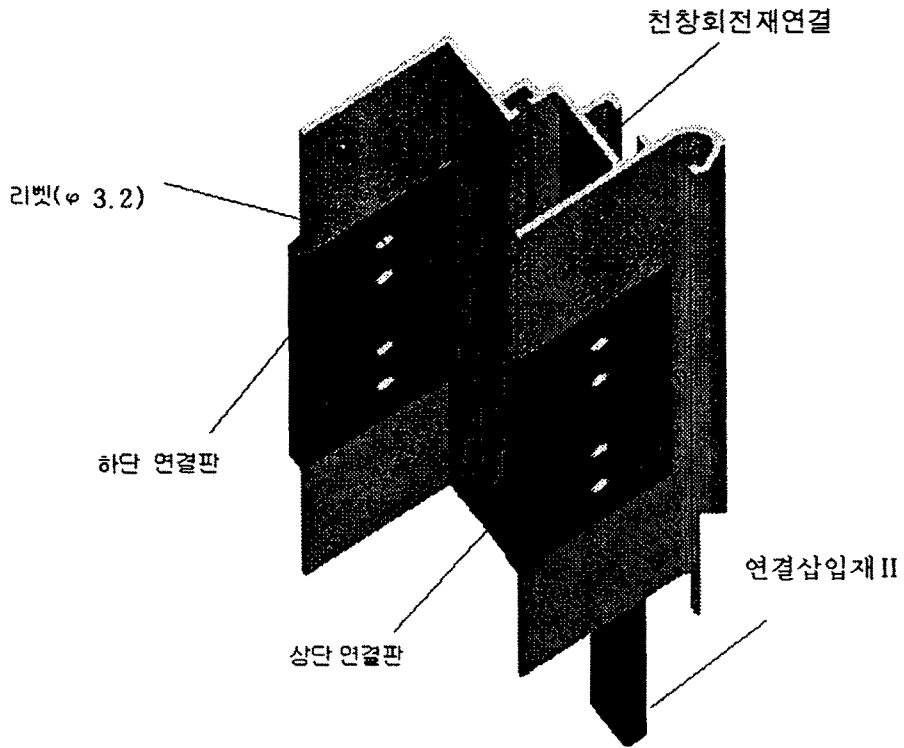


Fig. 5.28 Drawing of hinged bar coupling

천창회전재의 연결은 천창회전재 연결홈에 연결삽입재 II를 삽입시켜 1차연결 되고 그림 5.28에서 보는 바와 같이 2개의 천창회전재를 상하연결판으로 리벳팅(3.2mm)하여 2차 고정되도록 하였다.

## 제2절 시험용 온실의 검증

### 2.1 방수성 시험

온실의 방수성 시험은 그림 5.29에서 보는 바와 같이 알루미늄 서까래 덮개, 유리연결재, 용마루·천창회전재 고리부, 천창하부 마감재, 천창측면 마감재, 처마 마감재, 곡부 마감재, 박공바, 코너부 등의 조립부에 대한 누수를 파악하기 위하여 온실 길이방향으로 설치되는 부재의 연결 부위를 제외한 모든 부재 결합부위를 씰링없는 상태로 하여 시간당 774mm의 물을 분무시켜 누수성을 조사하였다. 물분사 방향은 지붕면에 대하여는 수직방향과 45° 경사방향으로, 그리고 박공면과 측면에 대해서는 수평방향으로 하였다. 시험결과 지붕면에서

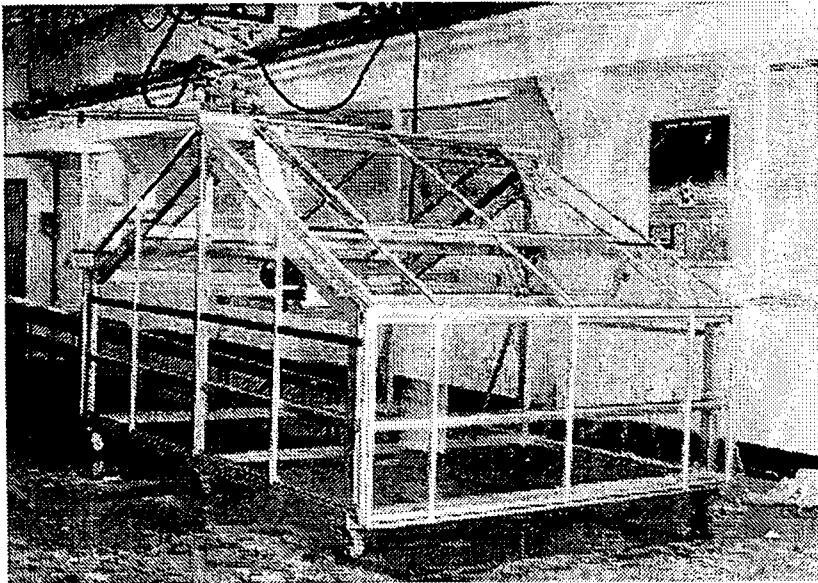


Fig. 5.29 Waterproof test of glasshouse model

는 천창 측면마감바 날개부분에서의 물 이동이 천창하부마감재의 연결부(상세도B)상에서 저항을 받으면서 유리받이부에 물고임 현상이 일어나 그림 5.30에

서와 같이 천창 하부마감재와 연결되는 부재(천창측면마감바, 천창서까래@775) 조립위치에  $\phi 4\text{mm}$ 의 구멍을 뚫어 물이 빠지도록 하여 해결하였다. 기타 조립부재에 대한 누수현상은 나타나지 않았다.

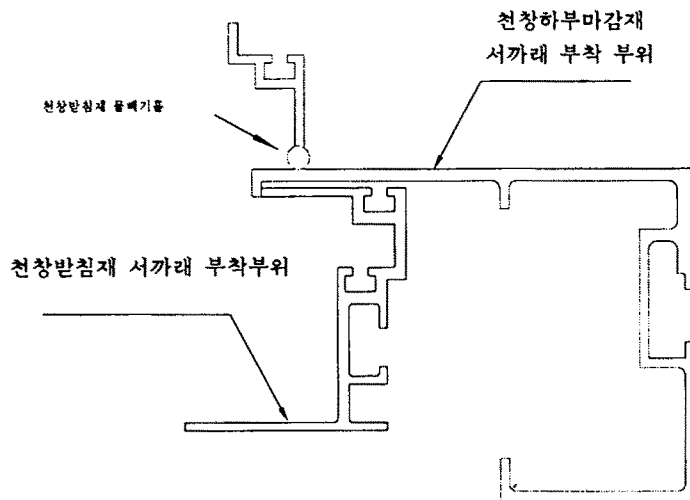


Fig. 5.30 Watershoot setting drawing of bottom finishing member of top light

## 2.2 시험용 온실의 기계역학적 특성 검증

규격표준화한 유리온실용 알루미늄 구조재의 안전성 검증을 목적으로 그림 5.31에서 보는 바와 같이 규격표준화 알루미늄 구조재를 사용하여 편지봉 온실을 제작 시공하고, 그림 5.32~3.34에서 보는 바와 같이 3차원 조립상태에서 지붕유리에 집중 및 등분포 하중을 가력할 수 있는 가력시스템을 설계 제작하여 기계역학적 특성을 시험하였다

가력시스템은 가력부, 프레임 및 동력부, 계측부로 구성되어 있으며 동력부는 유압으로 구동되며 실린더에 최대 210kg/cm<sup>2</sup> 유압이 걸리도록 설계하였고, 프레임은 450×200×9×14mm H형강을 사용하여 라멘 형태로 구성하였으며, 시험용 온실의 지붕면을 수직으로 가력하기 위하여 가력부의 지붕프레임 각도를 27°로 하였다. 또한 시험 온실이 설치되는 바닥은 수평조절이 가능토록 하였고 시험시 온실 구조체의 밀림을 방지하기 위하여 밀림방지턱을 설치하였다.

가력부는 5톤 로드셀(DSCK5000)에 집중 및 등분포하중 검용의 누름장치를 부착하여 집중 및 등분포하중을 줄 수 있도록 하였으며, 누름 판은 유리크기와 같이 1000×720mm 크기로 하였고 유리와 접촉되는 면에는 두께 20mm NBR 고무를 대어 유리와의 충격밀착이 없도록 하였으며, 누름 집중대는 우레탄 소재를 사용하여  $\phi 100$ mm의 Cone type으로 제작하였다.

계측부는 turbo-C 프로그램을 구성하여 퍼스널 컴퓨터(486DX2)에 의해 하중과 변위 데이터를 저장 및 출력하도록 하였으며 변위 센서는 KTC225를 사용하여 가해진 힘에 따른 변형정도를 연속적으로 계측하는 Displacement Sensing Device를 구성하였다.



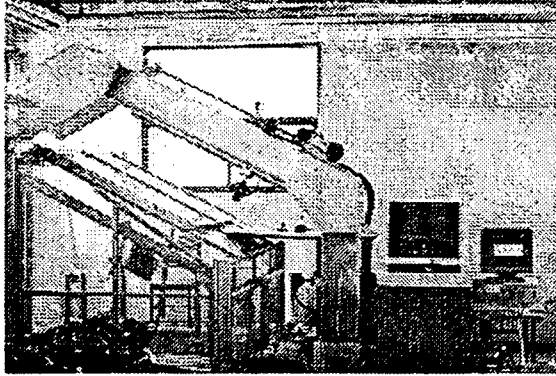


Fig. 5.31 Load Testing System

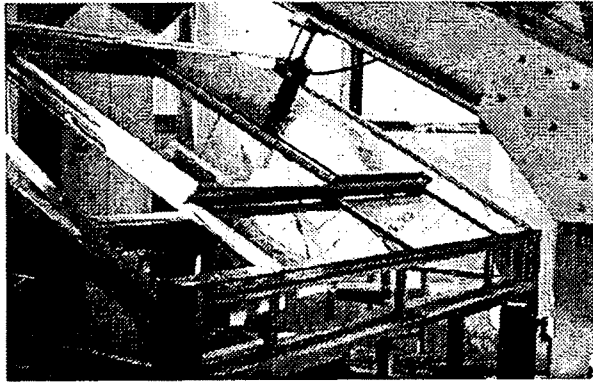


Fig. 5.32 Compression Test by Uniform Load

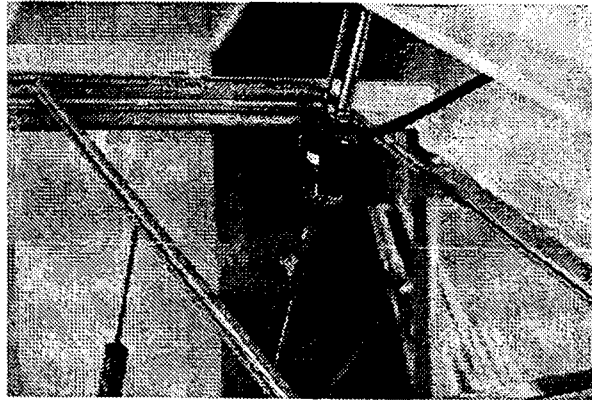


Fig. 5.33 Concentrated Compression Test

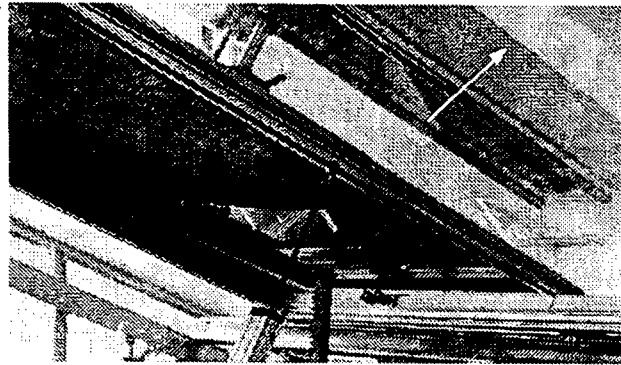


Fig. 5.34 Displacement Sensing Device for Rafter Deflection

규격 표준화된 알루미늄구조재로 시공한 모형온실에 대하여 하중, 변형 등 기계역학적 특성을 알아보기 위하여 3차원 모형의 기계역학적 특성 시험을 집중 하중시험과 등분포 하중시험으로 구분하여 시험하였다.

가력위치는 온실이 외력에 의해 1차 파괴가 일어나는 유리부로 하고, 변위계 측 위치는 서까래로 하여 1차파괴시 규격표준화한 알루미늄 구조재인 서까래가 조립상태에서 최대로 처지는 정도를 파악하고자 하였다.

집중하중시험은 두께 4mm의 유리판 중앙부위에 집중하중 장치를 위치시키고, 서가래의 span 1000mm 중앙에 변위센서가 오도록 하여 0.5mm/min의 속도로 하중을 가하여 시험하였으며, 등분포 하중시험은 가압판의 무게가 105kg이므로 가압판이 놓여진 상태의 변형 및 하중을 zero로 하여 파괴점까지의 하중 및 변형의 기울기로부터 파괴점을 추적하는 방법을 사용하였다.

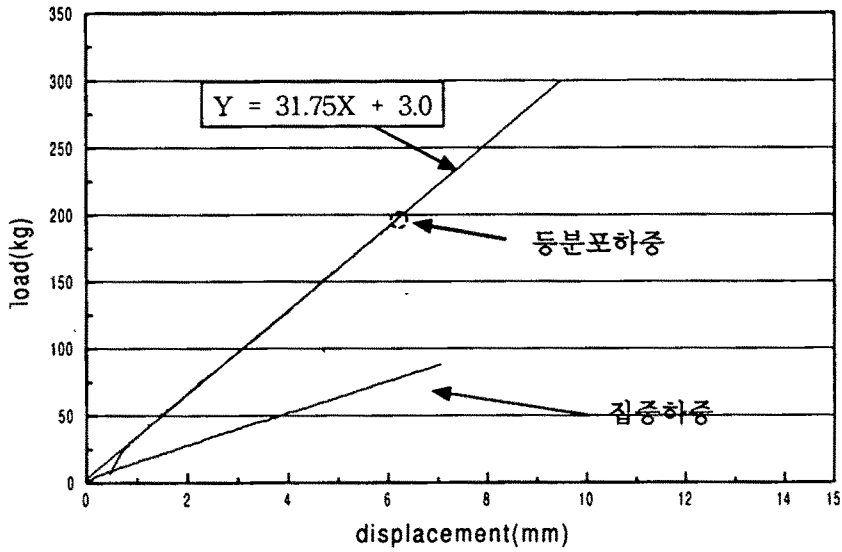


Fig. 5.35 Result of compression test

집중하중 시험결과 그림 5.35에서 보는 바와 같이 유리의 파괴는 집중하중 87kg에서 나타났고 이때 서까래의 최대처짐은 6.96mm로 나타났다.

등분포 하중시험결과 파괴하중은 199.5kg, 파괴처짐변형 6.28mm로 나타났으며, 등분포 하중과 변위의 관계로부터 구한 회귀방정식  $y=31.75x+3.0$ 으로부터 계산한 실제 등분포최대하중은 304.5kg이었으며 이때의 등분포 최대변형은 9.49mm였다.

위의 결과로부터 등분포하중은 집중하중에 비하여 3.5배로 높게 나타났으며 실제로 온실유리에서는 집중하중이 크게 작용하는 일은 없다고 판단됨으로 집중하중의 분석은 큰 의의가 없다고 본다.

지붕각도 27°에서 시험한 등분포 총하중은 실제로 온실 전체의 압력이 아닌 유리 한장에 가려지는 하중이므로, 실제 구조재에 가려지는 등분포 하중으로 환산한 값은  $304.5\text{kg}/2=152.25\text{kg}$ 이다. 따라서 적설 설계심 100cm의 곡부적설 설계 총하중 137.7kg/mm와 비교할 때 규격표준화 온실의 3차원 내력은 설계하중보다 1.1배 높아 적설하중에 대하여 안전하다고 판단되었다.

풍하중의 경우는 천창이 +20° 열린 상태에서 시험할 수 있는 실험장치를 구성하지 못하여 그 안전성을 판단치 못하였으나 천창이 닫혔을 때 천창, 지붕 및 풍상면 등 주요부위에서 설계풍속 50m/s의 설계하중과 비교하여 1.2~2배정도의 풍하중 내력이 나타나 풍하중에 대하여도 충분히 안전하다고 판단되었다.

### 제3절 결과요약

1) 규격표준화한 알루미늄구조재 11종과 서까래 덮개를 비롯한 6종의 연결재 및 고정재를 새로 개발된 합금소재로 압출하고 또한 시공용 고무가스켓 2종을 규격표준화로 하여 EPDM 소재로 압출 시험용 온실을 제작 시공하여 시공 기준을 설정한 결과

- 알루미늄구조재의 시공에 앞서 유리온실의 도리재로 사용되는 C형강의 설치에 대체로 농가보급형 유리온실과 같게 하였으나 천창하부 받침대가 설치되는 상중도리는 C형강의 개구를 지면쪽으로 향하도록 하였으며 곡부의 도리는 개구를 윗방향으로 하여 곡부 중심에서 250~300mm 떨어진 위치에 설치하고 처마마감재가 설치되는 측면 상부횡대는 축고로부터 60mm 떨어진 곳에 개구를 지면방향으로 설치되도록 수정하였다.
- 용마루의 연결은 중공부에 연결재를 삽입하여 연결하였고 천창회전재 및 곡부마감재의 연결은 연결판으로 두개의 부재를 리벳으로 고정 연결하였으며 기타 부재의 고정은 피스로 고정하였다.
- 개발된 알루미늄구조재의 온실 시공에 필요한 각 구조재와 마감재 등의 조립과정을 도시하여 시공조립도를 작성하였다.

2) 규격표준화된 알루미늄구조재로 온실을 시공하여 기계역학적 특성 및 방수성 등의 기능성을 평가하였다.

- 집중하중 및 등분포하중을 작용시켜 시험한 결과, 집중하중의 경우 유리의 파괴하중은 87kg, 이때의 서까래의 처짐량은 6.96mm였으며 등분포하중의 경우는 유리의 파괴하중은 304.5kg, 서까래의 처짐량은 9.49mm로 나타나 등분포하중의 경우가 집중하중보다 3배정도 높았다.
- 실제 구조재에 가력되는 등분하중으로 환산한 파괴하중은 152.3kg으로

안전율을 고려한 곡부의 설계허용 적설하중 137.7kg과 비교할 때 규격표 준화 온실의 3차원 내력이 1.1배정도 높아 적설하중에 대하여는 충분히 안전하다고 판단되었으며 천창이 닫혔을 때의 설계허용 풍하중에 대하여도 1.2~2배정도의 안전성이 있는 것으로 나타났다.

- 온실의 방수성 시험결과 유리받이부에서 물고임현상이 나타나 천창하부 마감재와 연결되는 부재에 775mm 간격으로  $\phi 4\text{mm}$ 의 구멍을 뚫어 해결하였으며 기타 다른 부위에서는 누수현상이 나타나지 않았다.

## 【참고문헌】

1. 김평탁, 건축용어대사전, 기문당, 1996
2. 건축도서출판공사, 건축도서디테일5:알루미늄금속건축, 편집부, 1998
3. 고재균외2인. 1986. 시설하우스 안전구조설정을 위한 역학적 연구. 농시논문집(농업산학협동편). 농촌진흥청
4. 권태웅, 알루미늄건축, 반도출판사, 1998
5. 농어촌진흥공사. 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종)
6. 농촌진흥청, 농가보급형 유리온실 설계도, 1994
7. 대한건축학회, 강구조 계산 기준 및 해설, 1983
8. 대한건축학회, 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설, 1982
9. 문태섭, 탄성론, 기문당, 1993
10. 장준호, 건축구조계산 편람, 1996
11. 정일영외2인. 1992. 강도설계법과 허용응력도 설계법의 부재능력에 대한 비교연구. 대한건축학회논문집 8권1호
12. 허명재, 구조실무편람, 1994
13. 小栗富士雄, 기계설계도표편람, 대광서림, 1991
14. 桑村 仁, Lateral Buckling Strength of H-Section beams, 東京大學修士論文, 1977
15. A. C. Taylor, M. Ojalvo, Torsional Restraint of Lateral Buckling, Proc. of ASCE, Vol. 92, ST2,
16. B. Kato, H. Akiyama, Lateral Buckling of Beams under Practical Loadings and Restraints, Stability of Steel Structures, 1977
17. Cornick, Tim, Computer-Integrated Building Design, E. & FN Spon, 1996
18. Frechette, L., Builder's Guide to New Materials & Techniques, McGraw-Hill, 1997
19. Join E. Bower, Ultimate Strength of Beams with Rectangular Holes, ASCE, Vol. 94, (p.1315-1337), 1968
20. Przemieniecki, J.S. 1968. Theory of matrix structural analysis. Macgraw-hill. New York

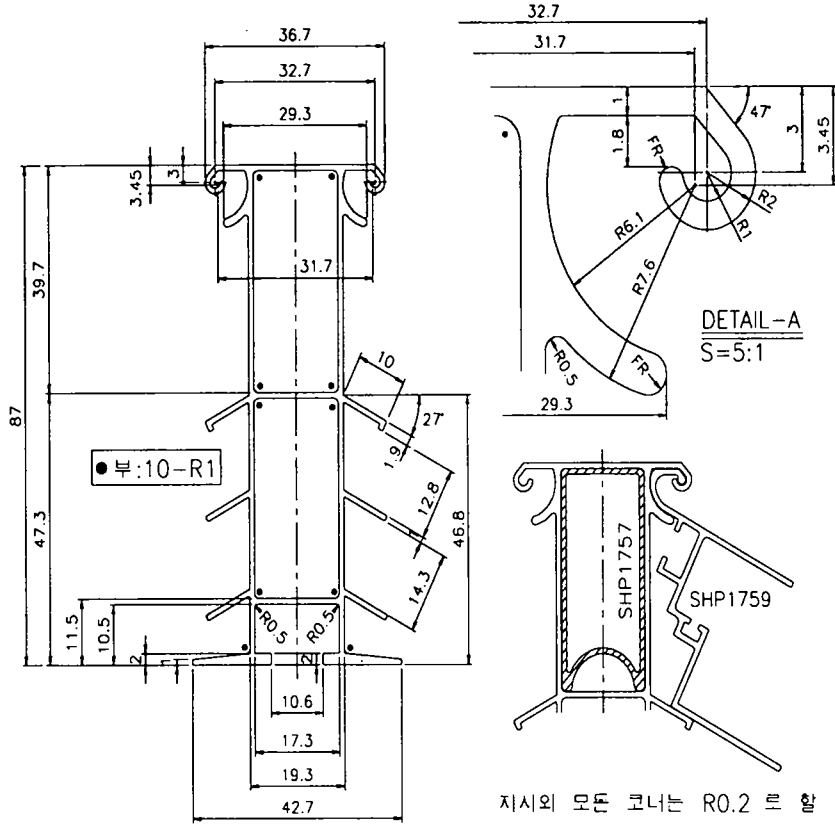
## 부록

### 부록 I. 알루미늄 구조재 및 결합재의 표준화 단면 규격

1. 용마루재
2. 천창회전재
3. 서 까 래
4. 천창하부마감재
5. 천창측면마감재
6. 천창받침재
7. 박 공 바
8. 곡부마감재
9. 처마마감재
10. 박공하부마감재
11. 서까래덮개
12. 유리연결재
13. 연결삽입재 I
14. 연결삽입재 II
15. 알루미늄연결판
16. 고정구 I
17. 고 정 구 II



1. 용 마루

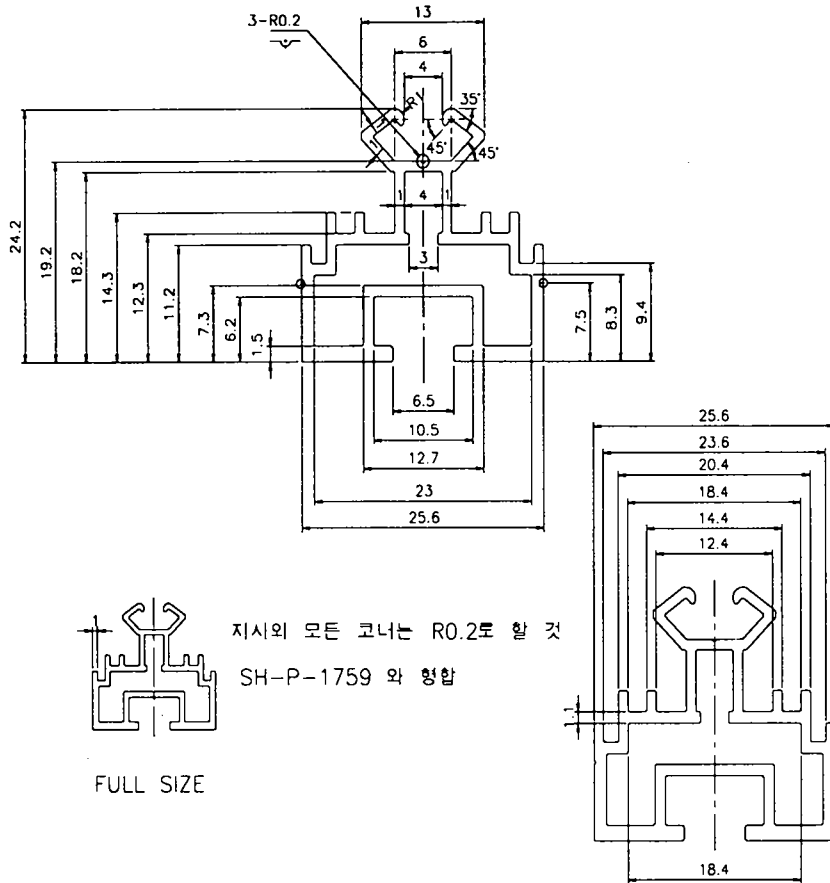


지시의 모든 코너는 R0.2 를 할 것  
 SH-P-1759 와 형합  
 SH-P-1757 과 형합

UNIFORM THICKNESS		1.0 MM $\pm$		EXR.PROPORTION	( HC	
CROSS SECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL GRADE		EST.AREA	387.358	
VISIBLE SURFACE		◄-----►		EST.WEIGHT	1.049 KC	
DATE	98.6.26.	SCALE	1 : 1	EST.PERIMENT	481.2 MM	
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	STRAIGHTNESS	*L/300이하(MM) TITLE	
				FLATNESS	*WIDTH 이하(MM) SH-P-176(	
				TWIST	*L/300.(MAX. °) TOOL NUMBER	
				ANGULARITY	+ ° L.I.P - -	
					BACKER - -	
					BOLSTER BO - - -	



### 3. 서까래

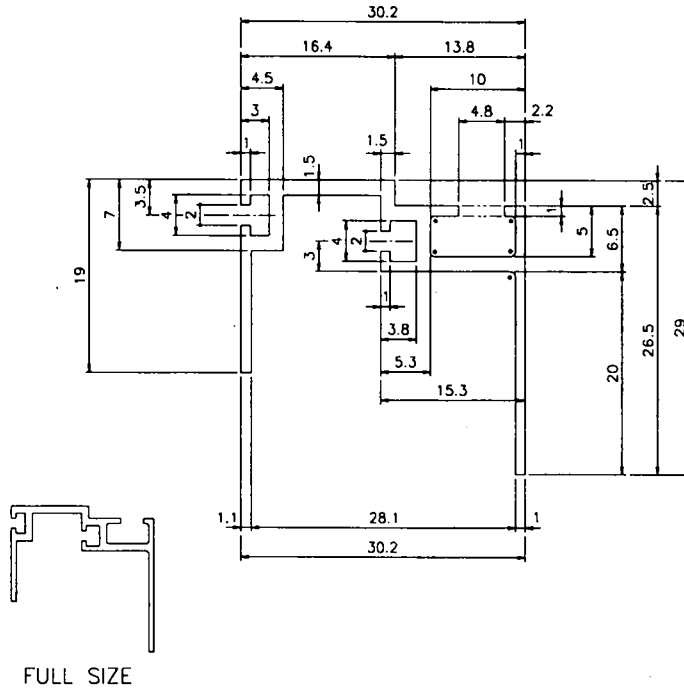


				EXR.PROPORTION		97 ( 1 HOLE)			
UNIFORM THICKNESS		MM 공차		±		EST.AREA		148.928	MM <sup>2</sup>
CROSS SPECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL GRADE				EST.WEIGHT		0.403	KG/M
VISIBLE SURFACE		▶──────────────────▶				EST.PERIMENT		166.4	MM <sup>2</sup> /M
DATE	98.8.21	SCALE	2 : 1	STRAIGHTNESS	× L/300이하 (MM)		TITLE. SH-P-1776		
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	FLATNESS	× WIDTH 이하 (MM)				
				TWIST	× L/300.(MAX. °)		TOOL NUMBER	Ø 180	
				ANGULARITY	+ °		L.I.P		
							BACKER	베카 4각 1홈 사용	
							BOLSTER		





6. 천창받침재



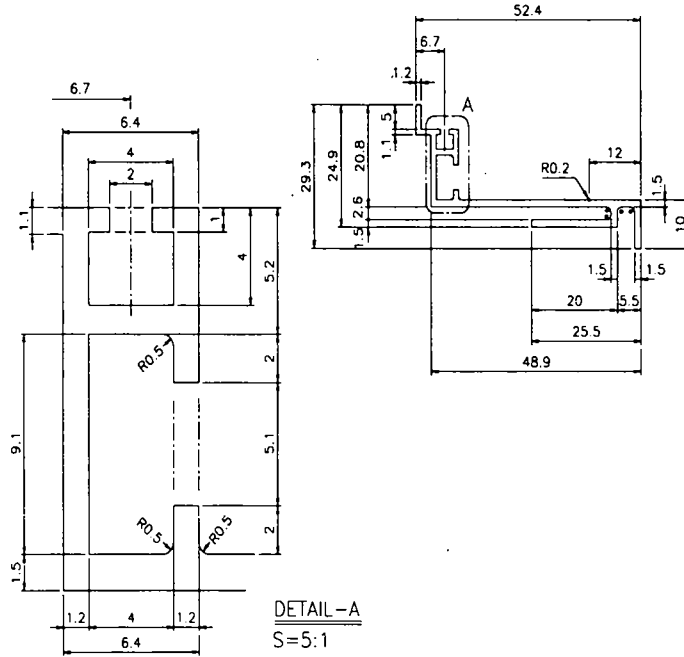
●부:5-R0.5

천창 받침바

				EXR.PROPORTION	119.5 ( 1 HOLE)
UNIFORM THICKNESS		MM	공차	EST.AREA	119.768 MM <sup>2</sup>
CROSS SPECTONAL DIMENSIONS		KSD 6759	SPECIAL GRADE	EST.WEIGHT	0.324 KG/M
VISIBLE SURFACE		↔		EST.PERIMENT	192.3 MM <sup>2</sup> /M
DATE	98.8.12	SCALE	2 : 1	STRAIGHTNESS	*L/300이하(MM)
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	FLATNESS	*WIDTH 이하(MM)
				TWIST	*L/300.(MAX: °)
				ANGULARITY	+ °
				TITLE	SH-P-1769
				TOOL NUMBER	Ø 180
				L.I.P	
				BACKER	
				BOLSTER	



8. 곡부마감재



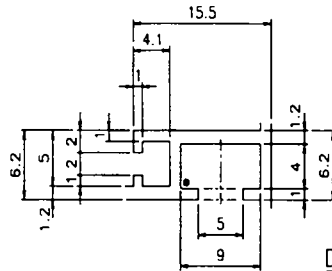
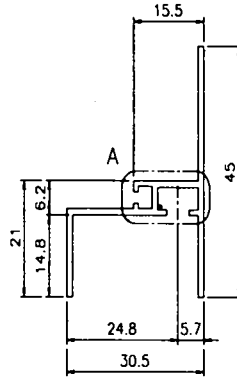
● 부:4-R1  
곡부 마감재

				EXR.PROPORTION	86 ( 1 HC
UNIFORM THICKNESS	MM 공차			EST.AREA	165.806
CROSS SECTIONAL DIMENSIONS	KSD 6759 SPECIAL GRADE			EST.WEIGHT	0.449 KC
VISIBLE SURFACE	◀-----▶			EST.PERIMENT	236.8 MM
DATE	98.8.12	SCALE	1 : 1	STRAIGHTNESS	±L/300이하 (MM) TITLE
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	FLATNESS	±WDT이하 (MM) SH-P-177
				TWIST	±L/300 (MAX. °) TOOL NUMBER
				ANGULARITY	+ ° L.I.P
					BACKER
					BOLSTER





10. 박공하부마감재

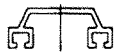
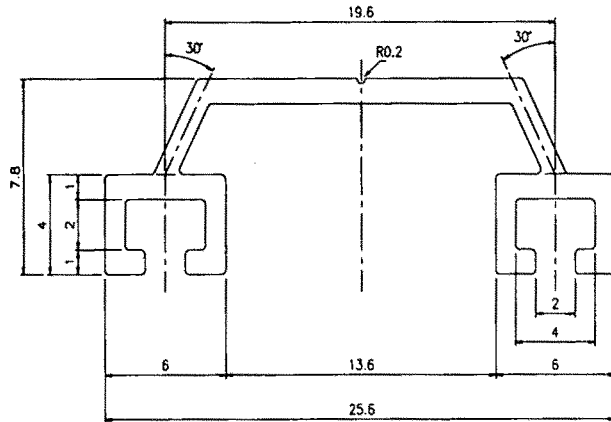


DETSIL-A  
S=2:1

●부:1-R0.2  
박공 마감바

		EXR.PROPORTION		116 ( 1 HOLE)	
UNIFORM THICKNESS		1.2 MM 공차 $\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$		EST.AREA 123.028 MM <sup>2</sup>	
CROSS SECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL GRADE		EST.WEIGHT 0.333 KG/M	
VISIBLE SURFACE		←-----→		EST.PERIMENT 210.7 MM <sup>2</sup> /M	
DATE	98.8.12	SCALE	1 : 1	STRAIGHTNESS	$\times L/300$ 이하 (MM)
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	FLATNESS	$\times WIDTH$ 이하 (MM)
				TWIST	$\times L/300$ , (MAX: °)
				ANGULARITY	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$ °
				TITLE	SH-P-1773
				TOOL NUMBER	∅ 180
				L.I.P	
				BACKER	
				BOLSTER	

11. 서까래덮개



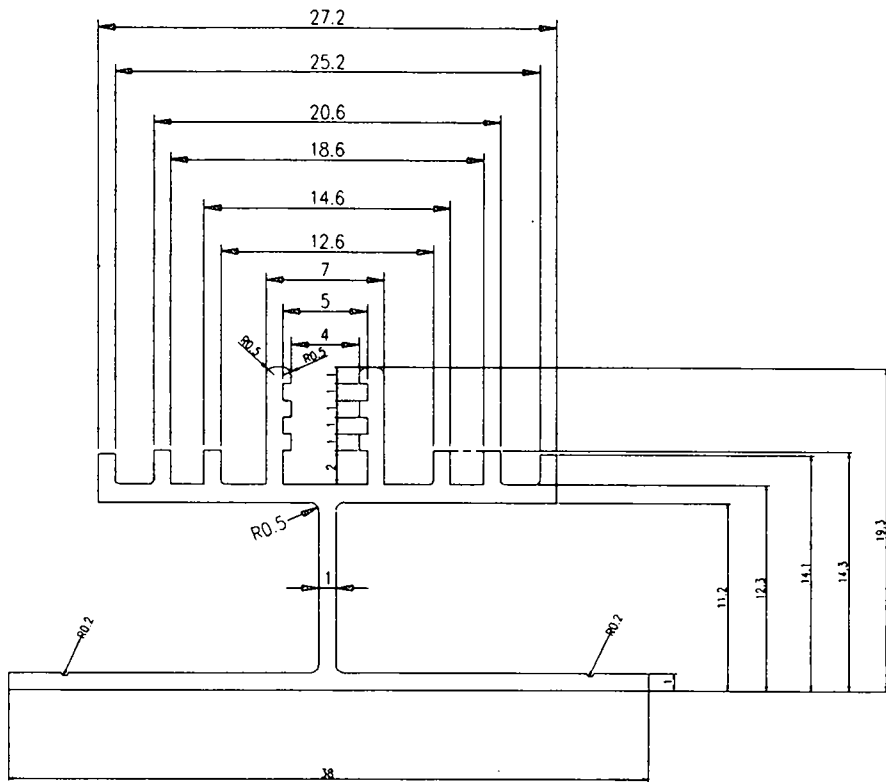
FULL SIZE

지시의 모든 코너는 R0.2 로 할 것

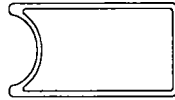
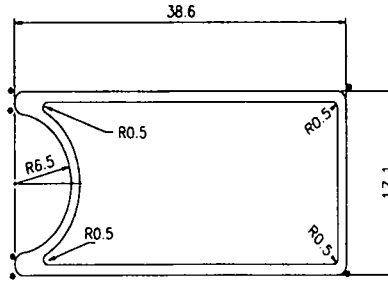
SH-P-1759 와 형합

UNIFORM THICKNESS		1.0MM <sup>+</sup> / <sub>-</sub>		EXR.PROPORTION	( HOLE)
CROSS SECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL GRADE		EST.AREA	51.338 MM <sup>2</sup>
VISIBLE SURFACE		←-----→		EST.WEIGHT	0.139 KG/M
DATE	98.6.26	SCALE	5: 1	EST.PERIMENT	102 MM <sup>2</sup> /M
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	STRAIGHTNESS	≤L/300(1/3)(MM) TITLE.
				FLATNESS	≤W/10(1/10)(MM) SH P-1763
				TWIST	≤L/300.(MAX. °) TOOL NUMBER
				ANGULARITY	+ ° - ° L.I.P - -
				BACKER	- -
				BOLSTER	BO - - -

12. 유리연결재



13. 연결삽입재 I



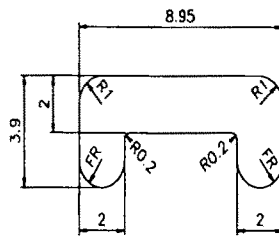
FULL SIZE

•부: 6-R1

SH-P-1760 과 형합


				EXR. PROPORTION	( HOLE)
UNIFORM THICKNESS		1.0 MM $\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$		EST. AREA	115.278 MM <sup>2</sup>
CROSS SECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL GRADE		EST. WEIGHT	0.312 KG/M
VISIBLE SURFACE				EST. PERIMENT	116 MM <sup>2</sup> /M
DATE	98. 6. 28	SCALE	2 : 1	STRAIGHTNESS	TITLE. SH- P -1757
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	FLATNESS	
				TWIST	
				ANGULARITY	
				L.I.P	- -
				BACKER	- -
				BOLSTER	BO - - -

14. 연결삽입재 II

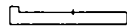
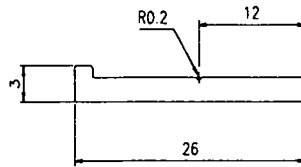


  
FULL SIZE

SH-P-1759 와 형합

UNIFORM THICKNESS		MM $\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$		EXR.PROPORTION	( HOLE)
CROSS SECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL GRADE		EST.AREA	24.229 MM <sup>2</sup>
VISIBLE SURFACE				EST.WEIGHT	0.065 KG/M
DATE	98.6.28	SCALE	5 : 1	EST.PERIMENT	26.7 MM <sup>2</sup> /M
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	STRAIGHTNESS	$\times L/300 \text{ (}^\circ \text{) (MM)}$
				FLATNESS	$\times \text{WIDTH (}^\circ \text{) (MM)}$
				TWIST	$\times L/300 \text{ (MAX. }^\circ \text{)}$
				ANGULARITY	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \text{ }^\circ$
				TITLE	SH-P-1761
				TOOL NUMBER	
				L.I.P	- -
				BACKER	- -
				BOLSTER	80 - - -

15. 알루미늄연결판



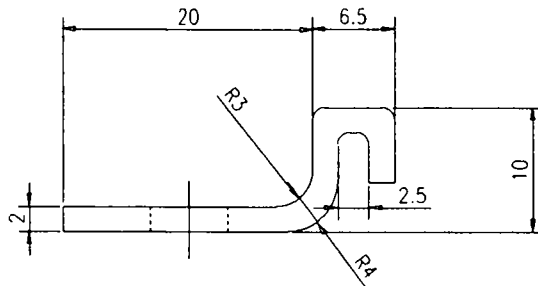
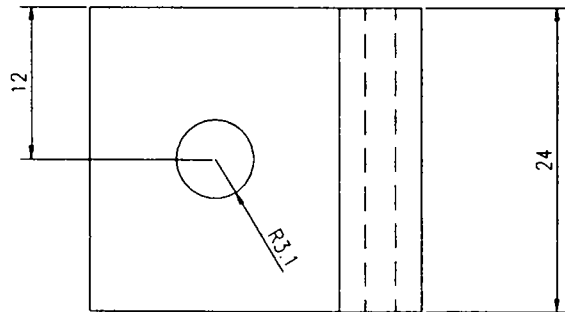
FULL SIZE

지시외 모든 코너는 R0.2 로 할 것

SH-P-1759 와 형합

			EXR.PROPORTION		( HOLE)	
UNIFORM THICKNESS			2 MM $\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$		EST.AREA 53.902 MM <sup>2</sup>	
CROSS SPECTIONAL DIMENSIONS			KSD 6759 SPECIAL GRADE		EST.WEIGHT 0.146 KG/M	
VISIBLE SURFACE			←-----→		EST.PERIMENT 57.7 MM <sup>2</sup> /M	
DATE	98.6.26	SCALE	2:1	STRAIGHTNESS	*L/300이하(MM)	
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO	FLATNESS	*WIDTH 이하(MM)	
				TWIST	*L/300.(MAX: °)	
				ANGULARITY	+ ° - °	
					TITLE. SH P-1764	
					TOOL NUMBER	
					L.I.P - -	
					BACKER - -	
					BOLSTER BO - - -	

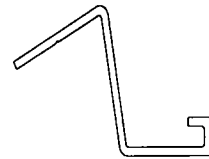
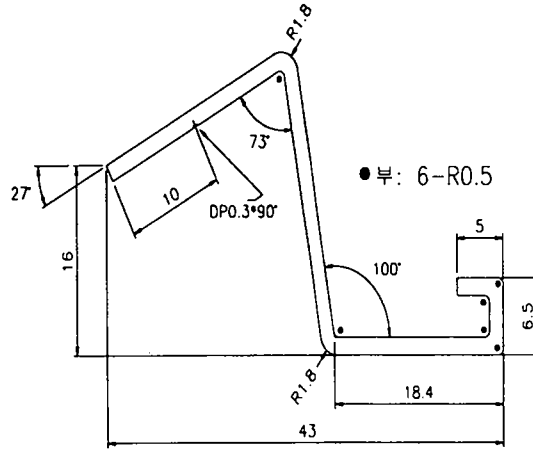
16. 고정구 I



Default R=1



17. 고정구 II



FULL SIZE

서까래 고정구(2)

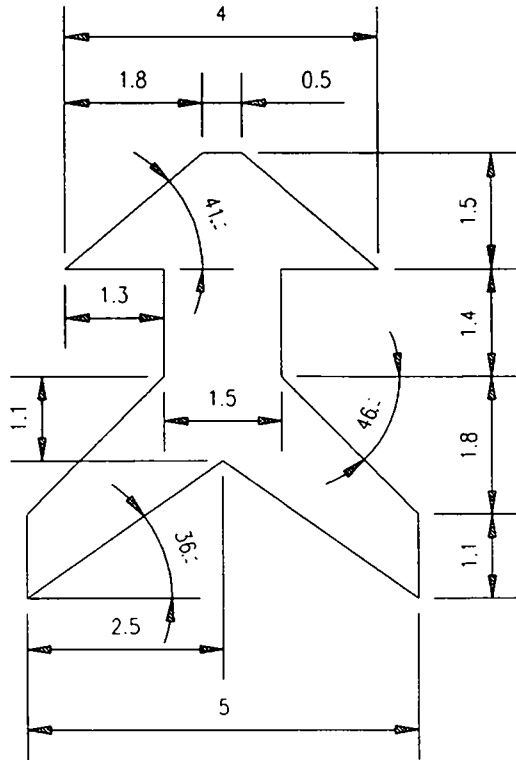
						EXR.PROPORTION	65 ( 2 HOLE)		
UNIFORM THICKNESS		1.5 MM		공차	±	EST.AREA	109.269 MM <sup>2</sup>		
CROSS SPECTIONAL DIMENSIONS		KSD 6759 SPECIAL		GRADE		EST.WEIGHT	0.296 KG/M		
VISIBLE SURFACE		←-----→				EST.PERIMENT	147.8 MM <sup>2</sup> /M		
DATE	98.9.15	SCALE	2 : 1		STRAIGHTNESS	*L/300이하(MM)		TITLE SH-P-1801	
DESIGN	CHECK	APPRO	APPRO		FLATNESS	*WIDTH 이하(MM)			
					TWIST	*L/300.(MAX. °)		TOOL NUMBER	∅
					ANGULARITY	+ - °		L.I.P	
								BACKER	
								BOLSTER	

## 부록 II. 고무 가스켓 표준화 단면 규격

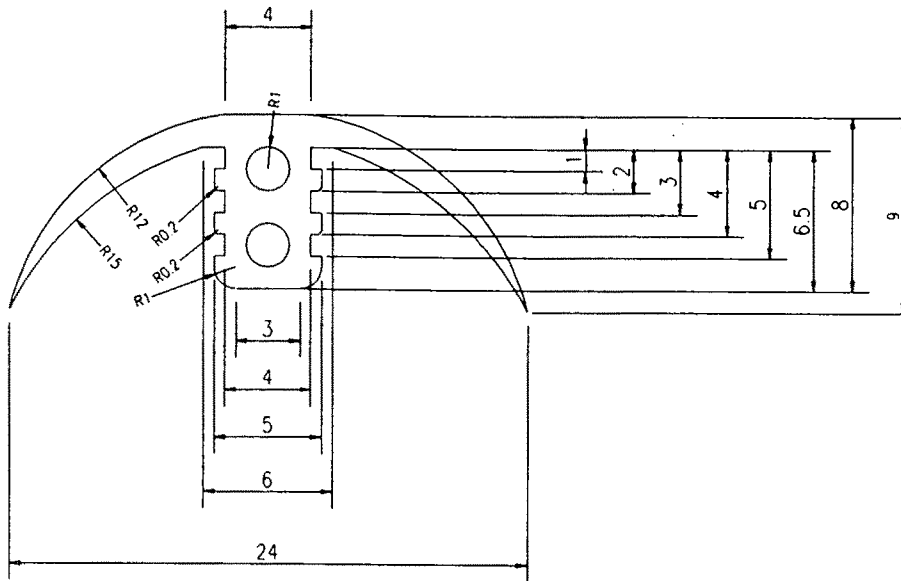
1. 고무패킹 I

2. 고무패킹 II

1. 고무패킹 I



2. 고무패킹 II

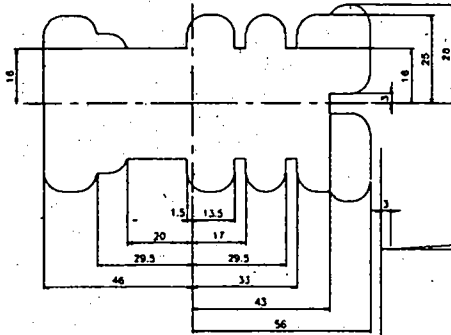


### 부록 III. 알루미늄 압출용 금형 표준화 단면 규격

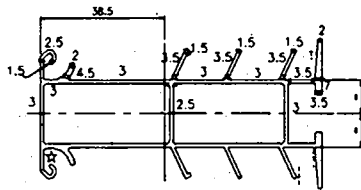
1. 용마루재
2. 천창회전재
3. 서 까 래
4. 천창하부마감재
5. 천창측면마감재
6. 천창받침재
7. 박 공 바
8. 곡부마감재
9. 처마마감재
10. 박공하부마감재
11. 서까래덮개
12. 유리연결재
13. 연결삽입재 I
14. 연결삽입재 II
15. 알루미늄연결판
16. 고 정 구 II



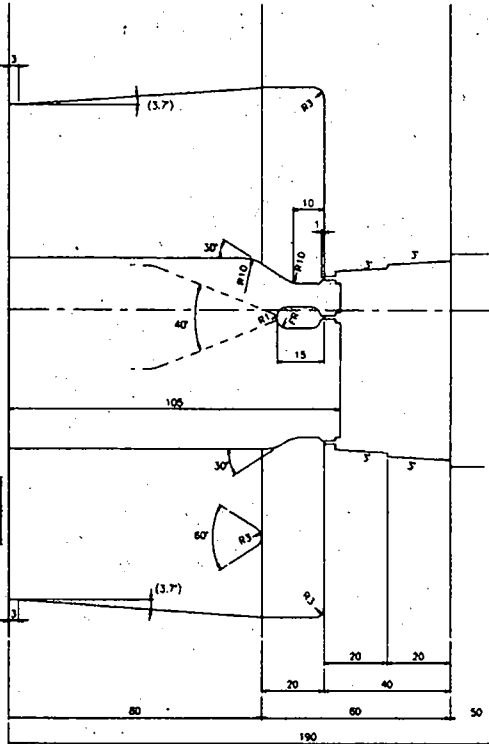
LET	REVISION DESCRIPTIONS	DATE	CHECKED
△			
△			



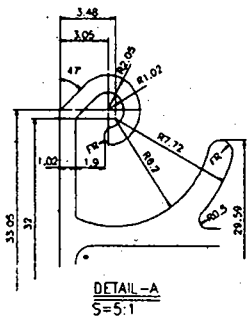
베 기 가 공 도  
 Ø12 후면 Ø12XDP15 구멍가공



베 이 름  
 ☆부 내면어유 0.3MM TAPER 1.5°  
 ▬부 내면어유 0.5MM TAPER 1.5°  
 기타 내면어유 1.5MM TAPER 3°



단 면 가 - 나



규 형 의 장 공	1	LIP/BRIDGE	D I E	BACKER
Ø 250	1	105	68	50
EXR PROPORTION ( HOLE )		FILE		
DIMENSION UNLESS STATED OTHERWISE		SH-P-1760		
NO MIT SCALE DRAWING		SCALE :		
DESIGN	DATE	DWG. NO.		
CHECKED	DATE	MOD. 80-2-1-03		
APPROVED	DATE	SHEET 1 OF 1		D.C.P.T.
				1/1



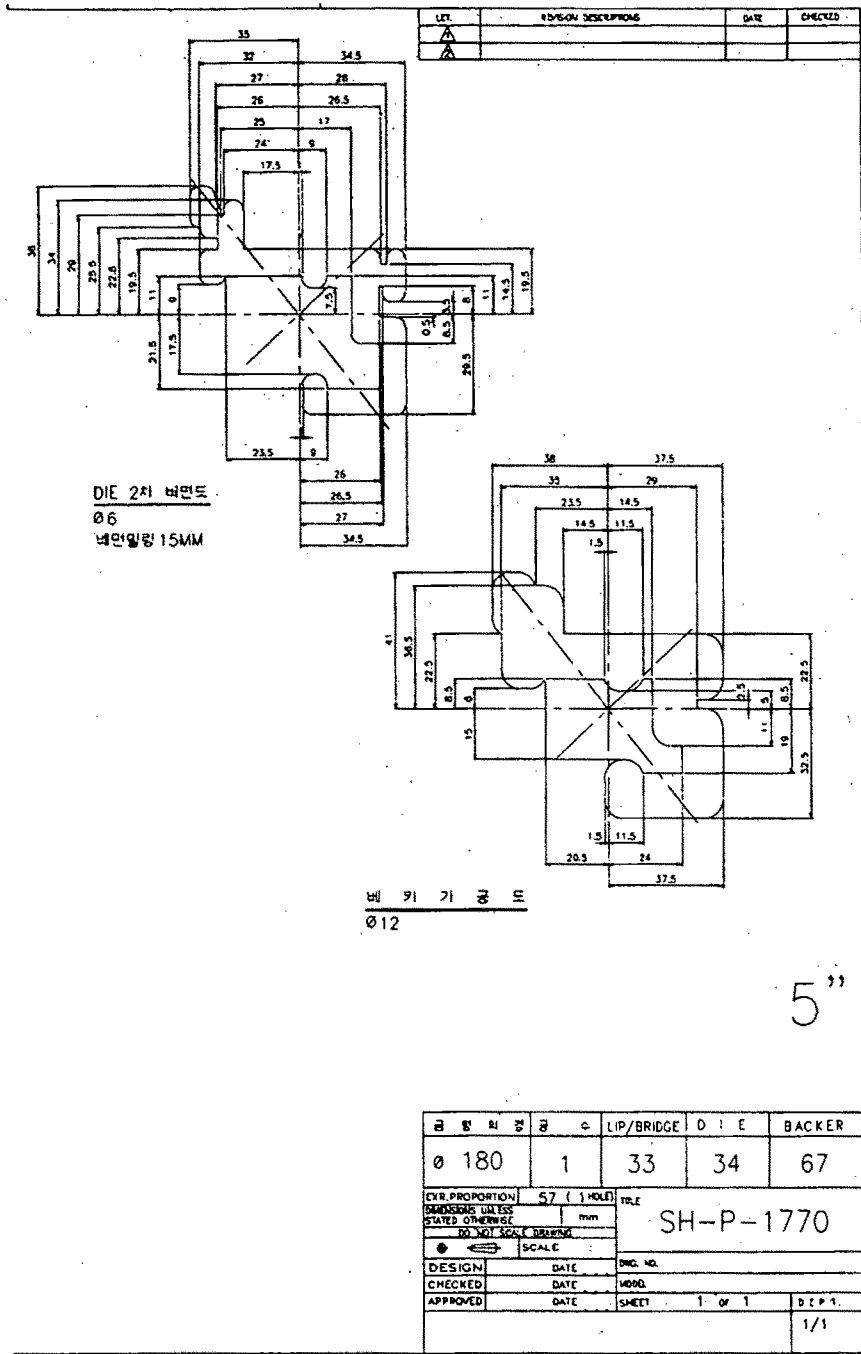










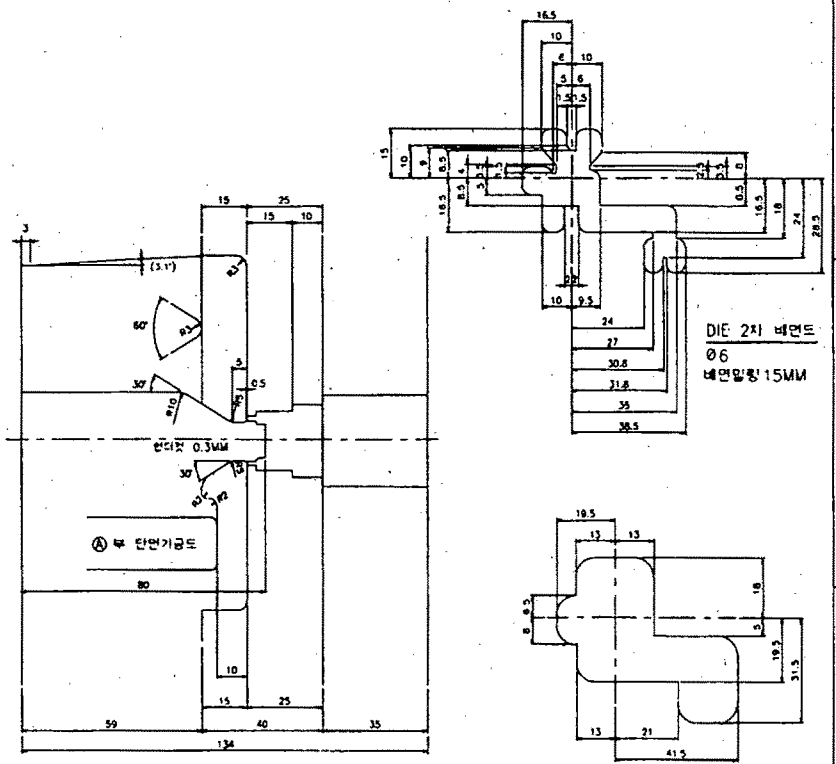


5''

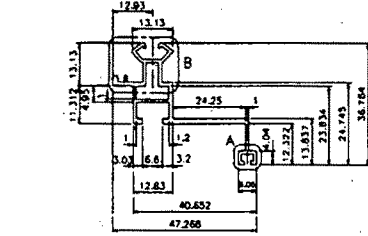
군	항	의	명	공	수	LIP/BRIDGE	D	E	BACKER
Ø	180			1		33		34	67
DVR. PROPORTION		57 ( ) HOLD		TRLE					
DIMENSIONS UNLESS		STATED OTHERWISE		mm		SH-P-1770			
DO NOT SCALE DRAWING		SCALE		DRG. NO.					
DESIGN	DATE		MOOD						
CHECKED	DATE		SHEET		1 of 1		D.E.P.		
APPROVED	DATE						1/1		



REV.	REVISION DESCRIPTIONS	DATE	CHECKED
1			
2			

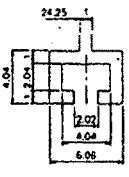


단 면 기 공 도



기 이 지

● 부: 5-R0.5



DETAIL-A  
S=4:1

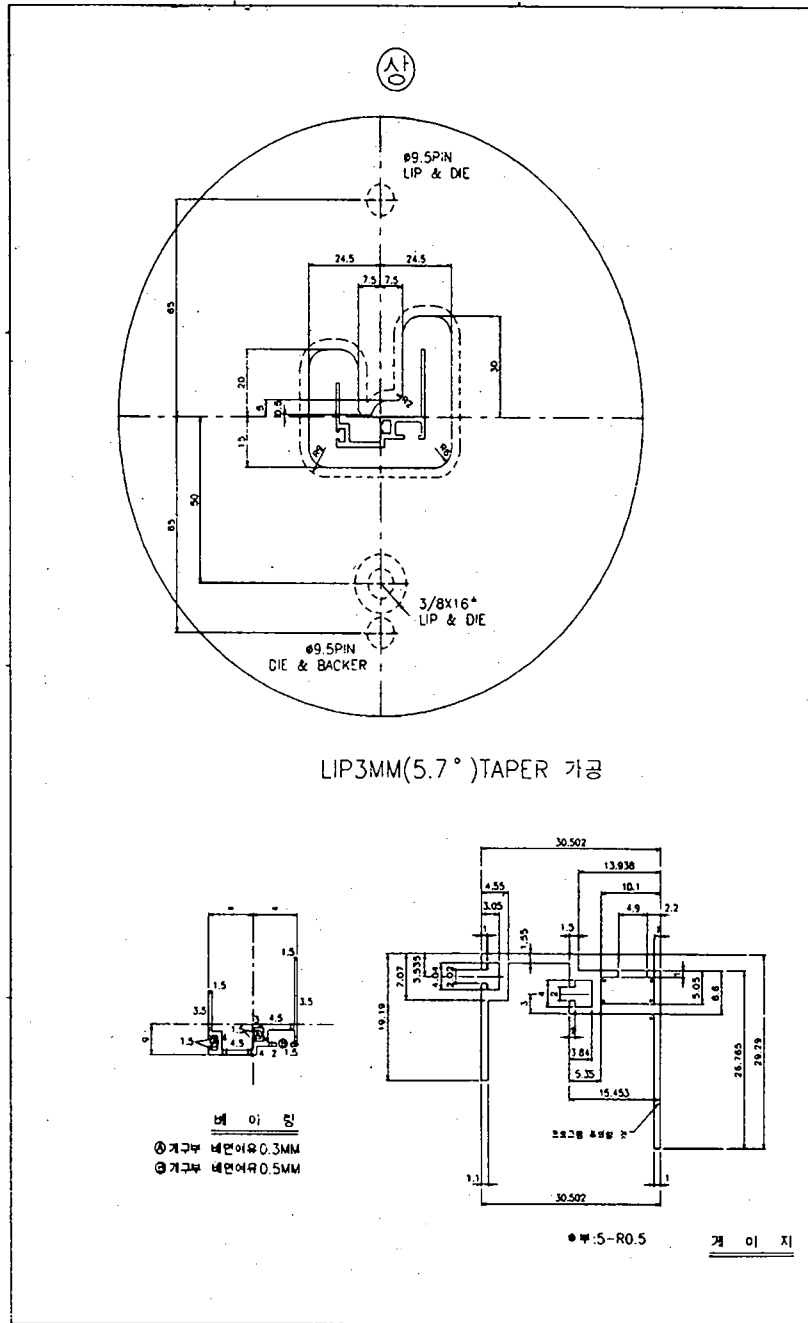
베 기 기 공 도

Ø 12

5''

규 형 의 공 구 수	LIP/BRIDGE	D I E	BACKER
Ø 180 1	80	45.5	35
D.R. PROPORTION 90 (1 HOLD)		TILE	
DIMENSIONS UNLESS STATED OTHERWISE		SCALE	
DESIGN DATE		DWC. NO.	
CHECKED DATE		MODEL	
APPROVED DATE		SHEET 1 of 1	
			DEPT. 1/1

6. 천창받침재







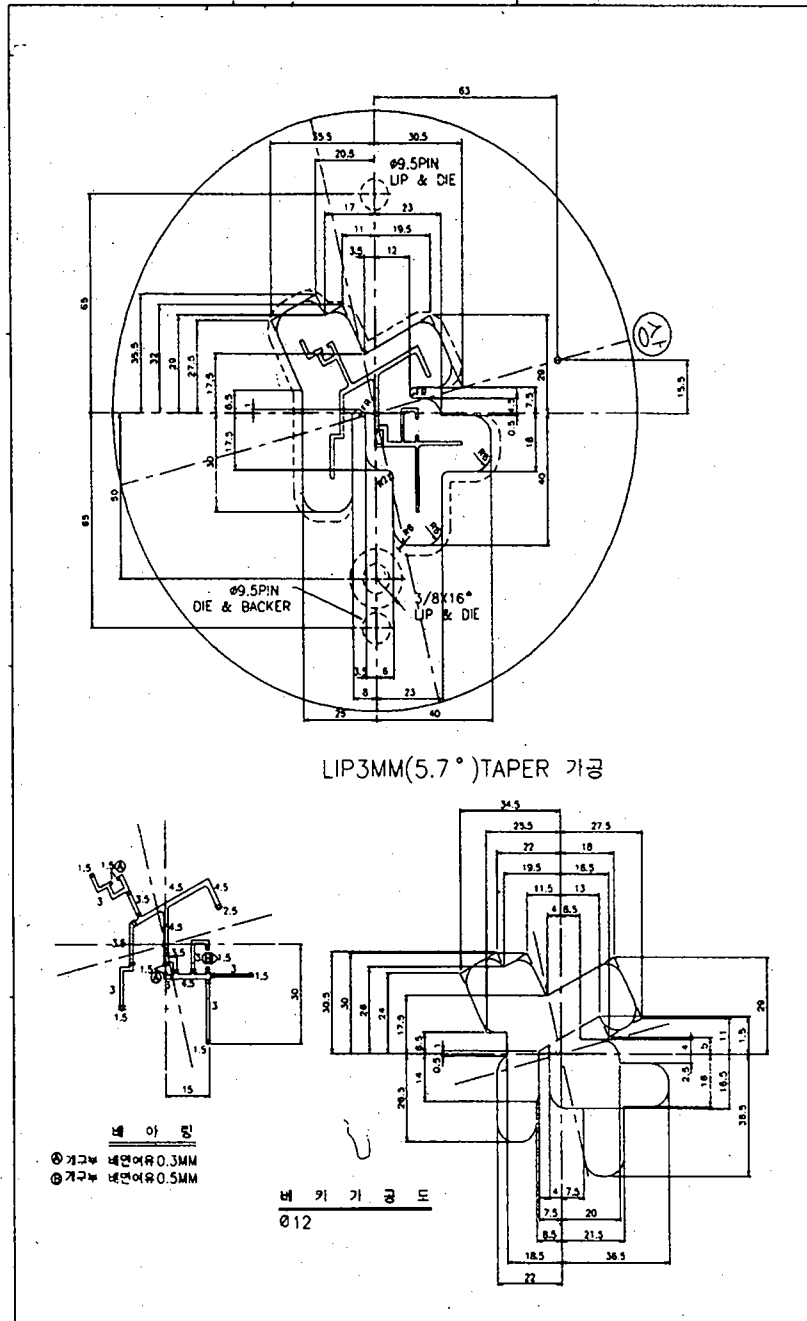






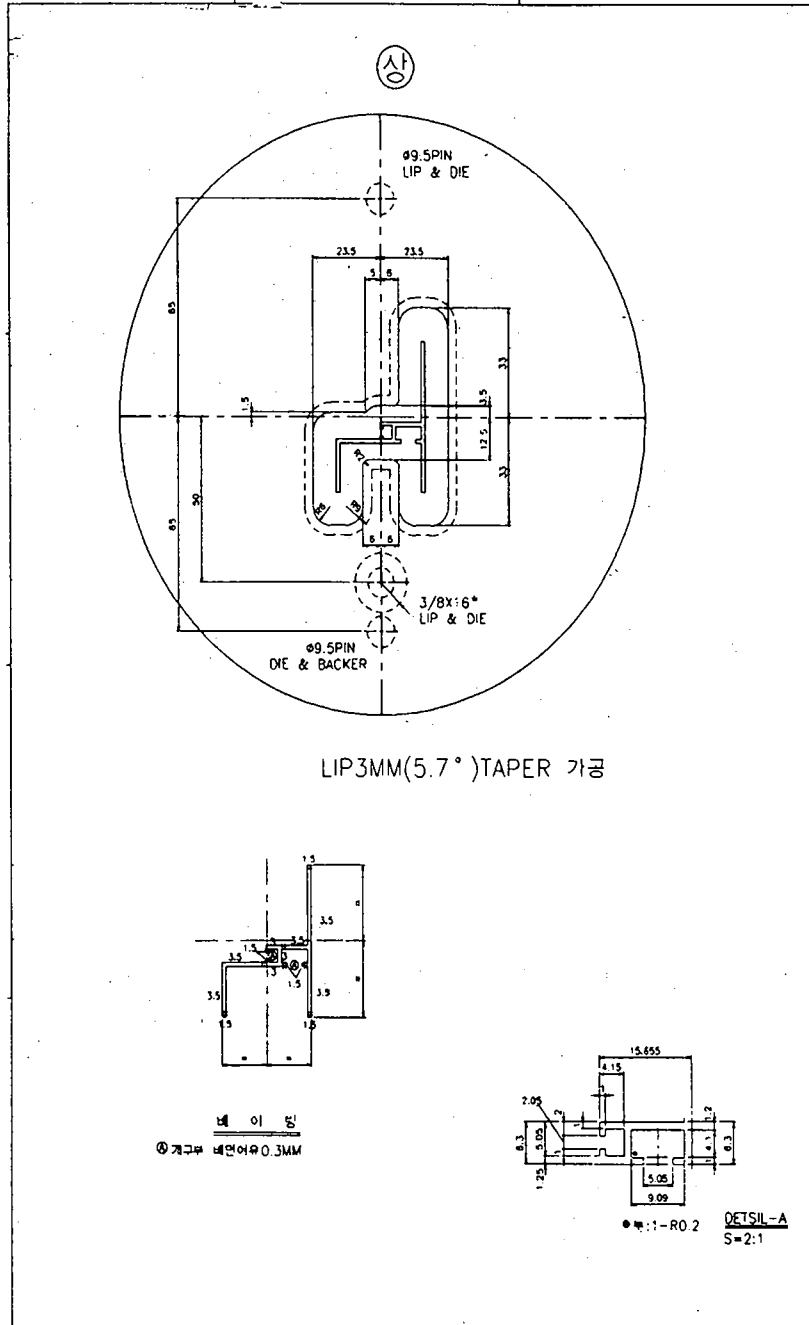


9. 처마마감재



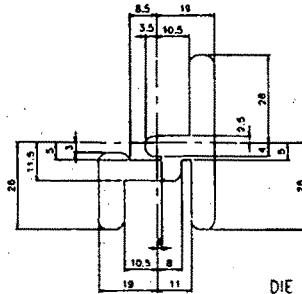


10. 박공하부마감재

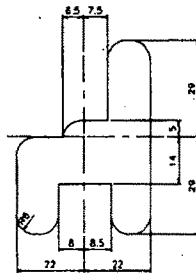




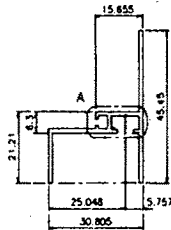
LET.	REVISION DESCRIPTIONS	DATE	CHECKED
▲			
▲			



DIE 2차 세면도  
 Ø6  
 세면밀링 15MM



세 키 가 공 도  
 Ø12



THK=1.2MM

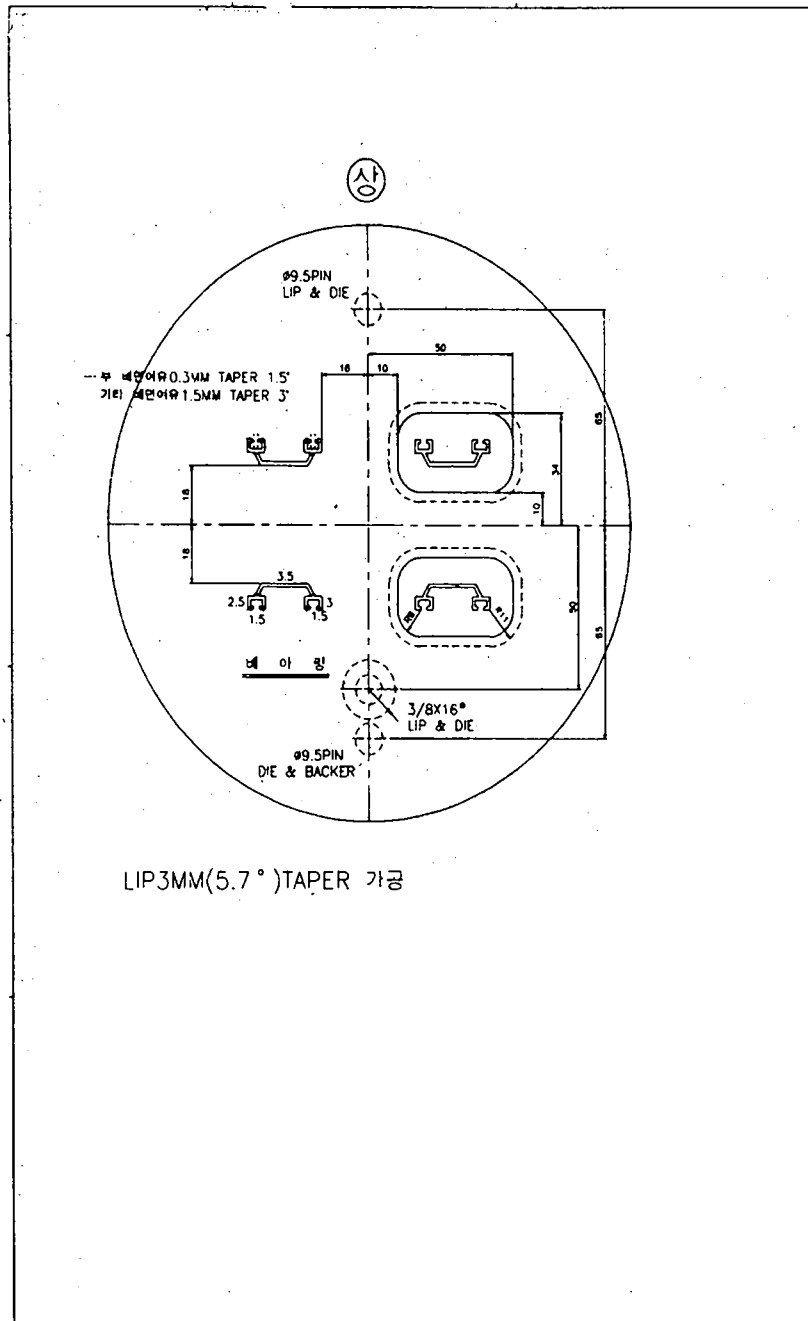
계 이 지

5''

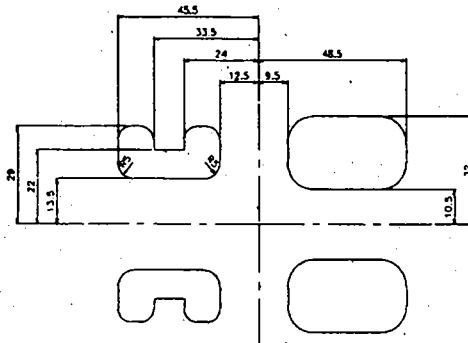
공 함 위 공 수	LIP/BRIDGE	D I E	BACKER
Ø 180	1	33	34, 67
DIP. PROPORTION 1:16 (1 MOLD)		TITLE	
DIMENSIONS UNLESS STATED OTHERWISE		mm	
DO NOT SCALE DRAWING		SCALE	
DESIGNER	DATE	DWD. NO.	
CHECKED	DATE	MOD.	
APPROVED	DATE	SHEET 1 of 1	REP. 1/1

SH-P-1773

11. 서까래덮개

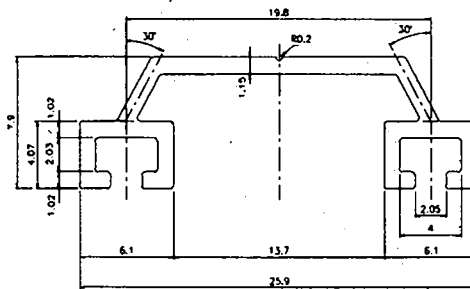


REV.	REVISION DESCRIPTIONS	DATE	CHECKED
A			
A			



DIE 2차 비먼드  
 Ø8  
 비먼밍당 15MM

베 기 가 공 프  
 Ø16



THK=1.03MM

지시의 모든 크기는 R0.2로 할 것

계 이 지

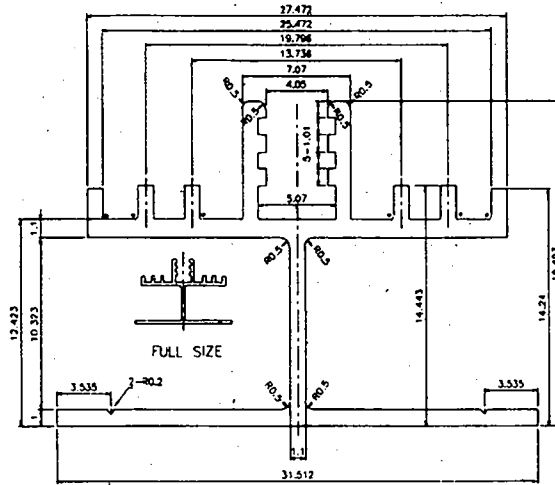
베카 범용 4각 4홀 사용

5''

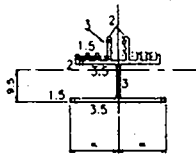
규격외경	공	LIP/BRIDGE	D I E	BACKER
Ø 180	4	33	34	Ø7
DIP. PROPORTION ( HOLE )		TILE		
DIMENSIONS UNLESS STATED OTHERWISE		SH-P-1763		
DO NOT SCALE DRAWING		SCALE :		
DESIGN	DATE	DWG. NO.		
CHECKED	DATE	MOD. NO.		
APPROVED	DATE	SHEET	of	B C P 1.
				71



REV	REVISION DESCRIPTION	DATE	CHECKED
△			
△			



개 이 지      ●부:6-R0.2  
 THK=1.0 MM      의 유 대 장

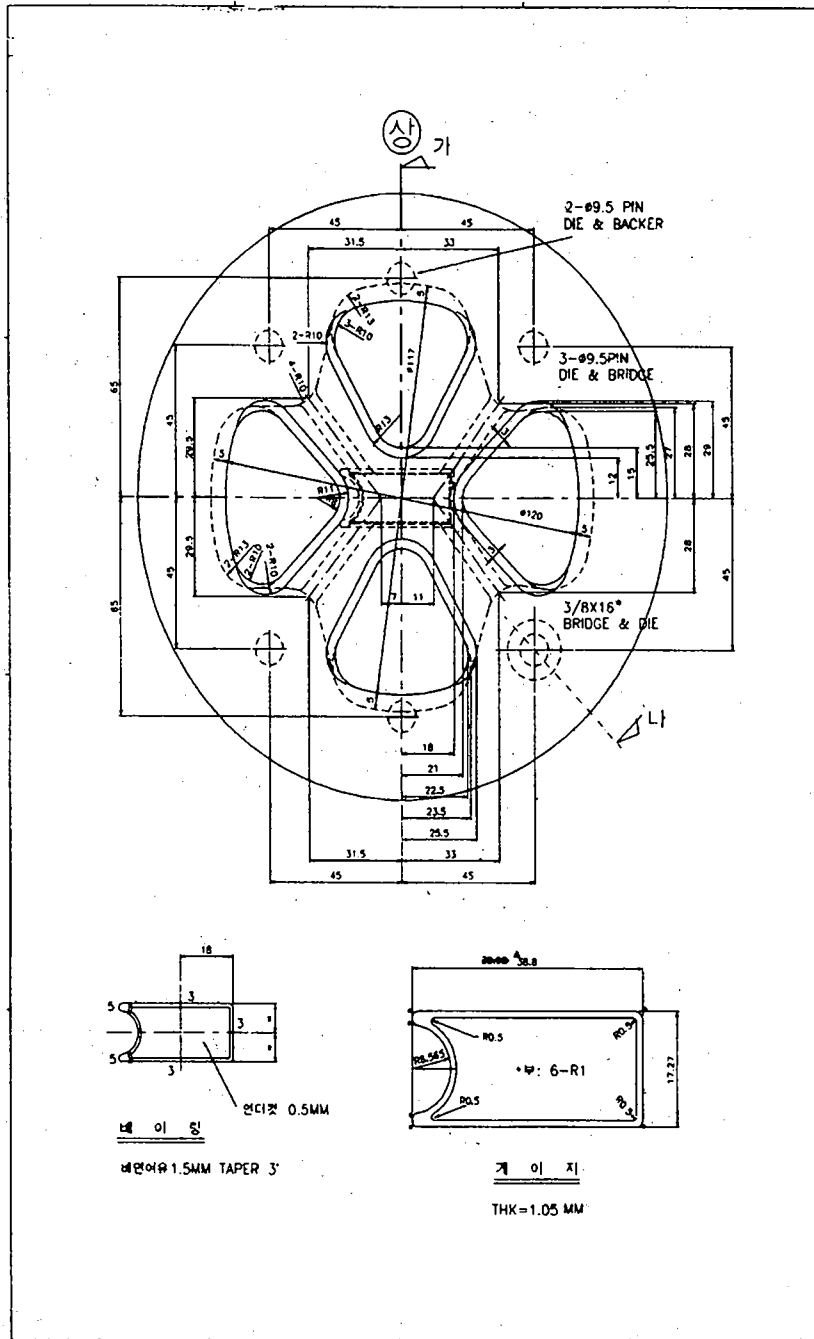


데 아 장  
 .....부 변하여 0.3MM  
 기타 변하여 1.5MM

5''

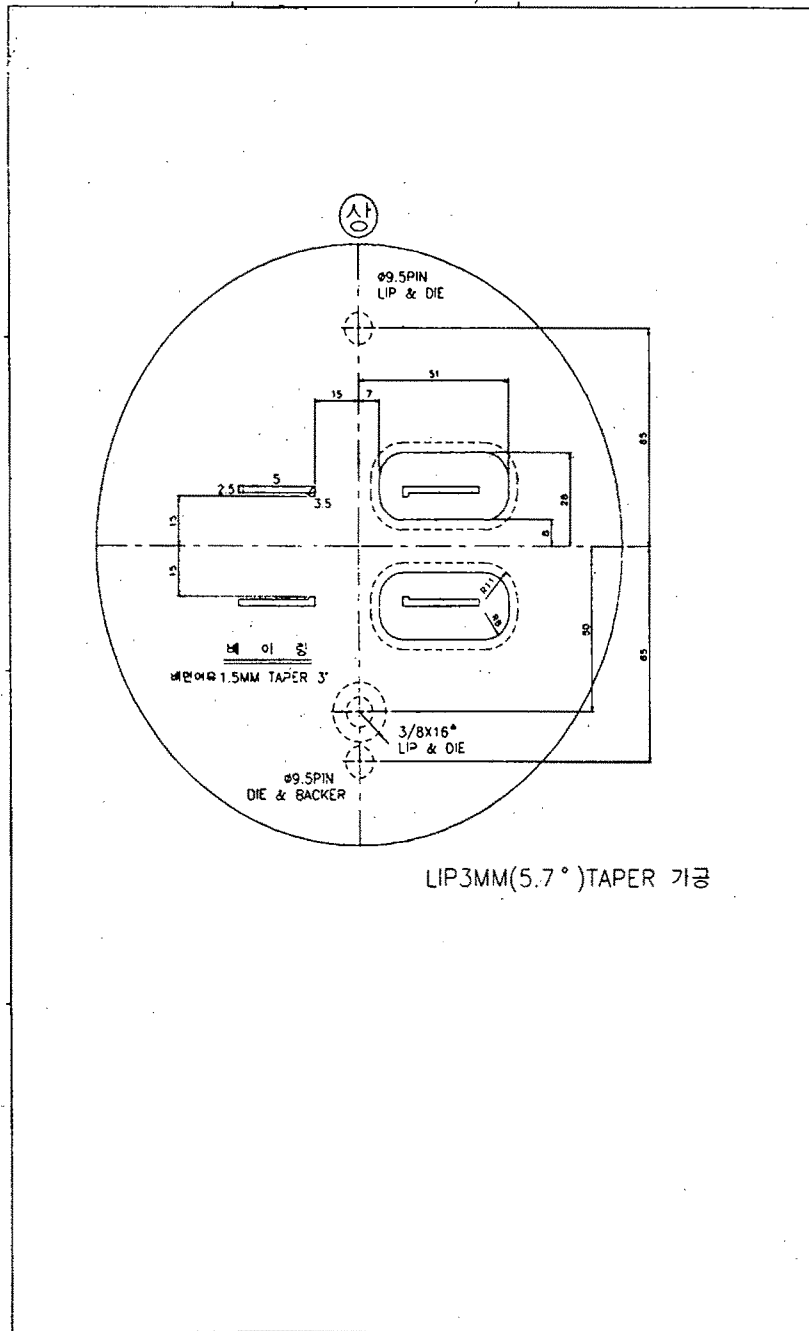
공 형 의 장	공 수	LIP/BRIDGE	O I E	BACKER
∅ 180	1	33	34	67
EXP. PROPORTION: 143 (1 HOLE)		TITLE		
DRAWING UNITS: mm		SH-P-1777		
STATED ON DRAWING		DO NOT SCALE DRAWING		
SCALE		Dwg. NO.		
DESIGN	DATE	MOD.		
CHECKED	DATE	SHEET 1 OF 1		
APPROVED	DATE	D.E.P.T.		
				1/1

13. 연결삽입재 I



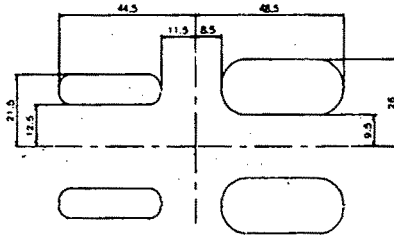


14. 알루미늄연결판



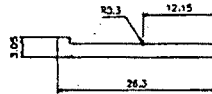


LET.	REVISION DESCRIPTIONS	DATE	CHECKED
△			
△			



DIE 2차 비연도  
 Ø8  
 비연달릴 20MM

배 카 가 공 도  
 Ø:6



THK=2.05MM

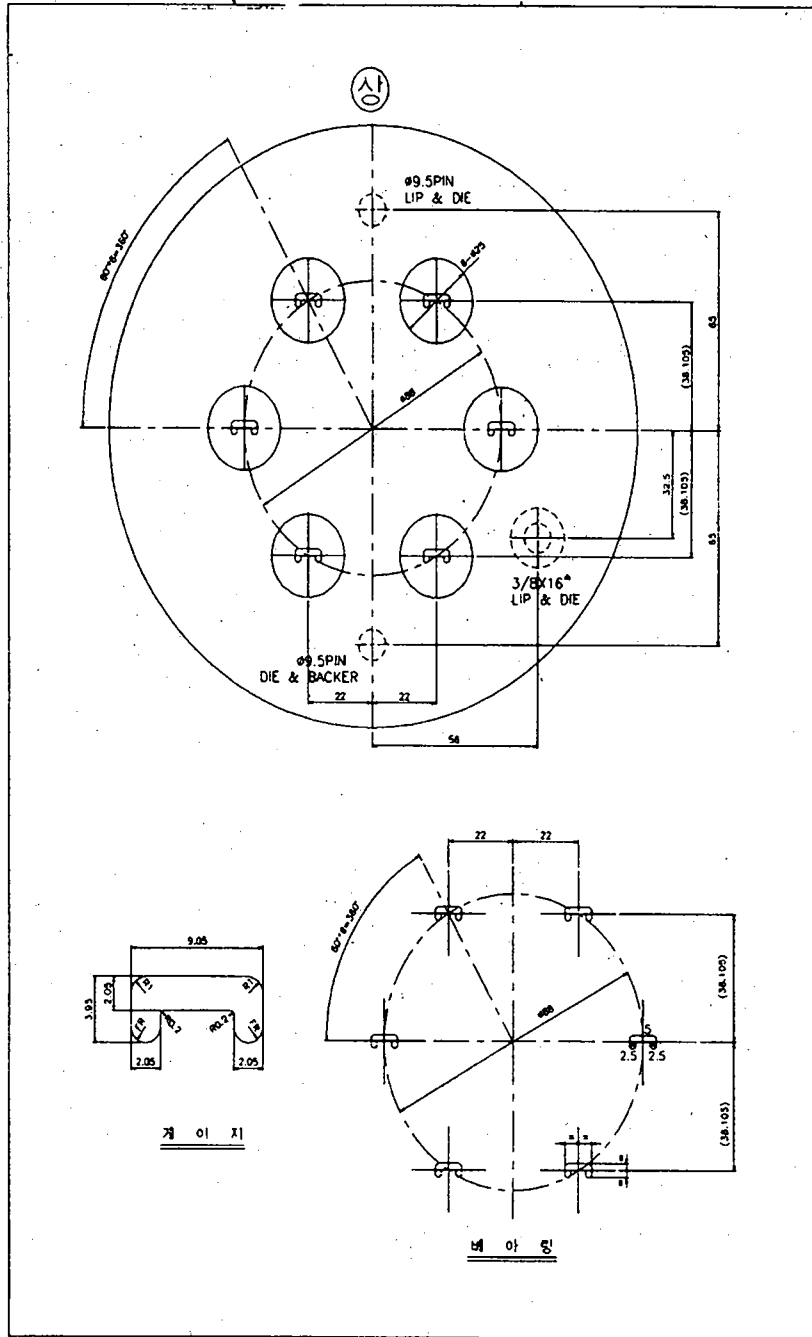
계 이 지

지시어 모든 크기는 R0.2도 할 것

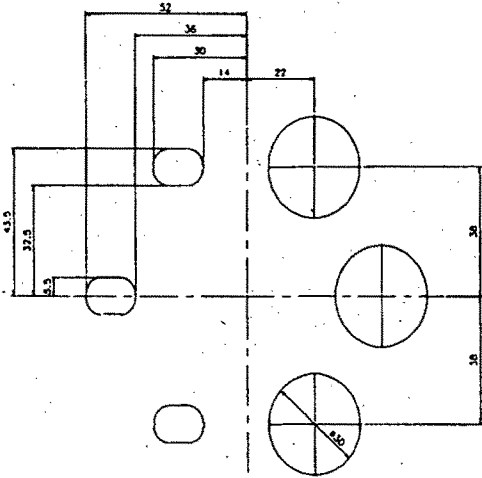
배카 범용 4각 4홀 사용 5"

규격	수량	LIP/BRIDGE	DIE	BACKER
Ø180	4	33	34	67
EXR. PROPORTION (HOLD)		FILE		
DIMENSIONS UNLESS STATED OTHERWISE		mm		
DO NOT SCALE DRAWING		SH-P-1764		
SCALE		INC. NO.		
DESIGN	DATE	MODEL		
CHECKED	DATE	SHEET 1 OF 1		
APPROVED	DATE	DEPT.		
		1/1		

15. 연결삽입재 II



TEL	NO./SYM DESCRIPTIONS	DATE	CHECKED
△			
△			



DIE 2차 베연도  
 Ø 10  
 베연방향 20MM

베 기 기 공 도  
 Ø 30

베기 AE-14 사용

5''

공칭치	공수	LIP/BRIDGE	D I E	BACKER
Ø180	6	33	34	67
EXR. PROPORTION (HOLE) TITLE		SH-P-1761		
DIMENSIONS UNLESS STATED OTHERWISE (MM)		SCALE		
DESIGN	DATE	DWC. NO.		
CHECKED	DATE	MOOD.		
APPROVED	DATE	SHEET 1	OF 1	DEPT.
				/1

16. 고정구 II

