

# 동시 압출법에 의한 클래드된 기화기 튜브 개발

백종현, 이재호, 김용석, 신동혁, 김우식,

한국가스공사 연구개발원, 홍익대학교 금속재료공학과, 한양대학교 금속공학과

## Development of a Clad Finned Tube for the ORV(Open Rack Vaporizer) via Coextrusion Process.

Jong-Hyun Baek, Jae-Ho Lee, Yong-Seog Kim,  
Dong-Hyuck Shin, Woo-Sik Kim

R&D Center, Korea Gas Corporation, 277-1 Il Dong, Ansan, 425-150  
Dept. of Metallurgical Engr. & Material Sci., Hong Ik University, Seoul  
Dept. of Metallurgy, Han Yang University, Ansan

### 1. 서론

핀 형상의 알루미늄 기화기 튜브는 열전도가 높고, 저온에서 기계적 성질이 우수하여 열교환기용 튜브로 많이 사용된다. 그러나 액화천연가스를 기화시키기 위해 열원으로 해수를 사용하기 때문에 기화기 튜브는 부식 분위기에 노출되어 사용되고 있다. 따라서 이러한 기화기 튜브의 내식성을 증가시키기 위하여 튜브 표면에 희생 양극용 금속을 용사 코팅하는 방법이 사용되고 있다[1, 6]. 그러나 용사 코팅층은 치밀하지 못하고, 모재와의 계면 접착력이 약하기 때문에 사용중 박리 되며, 모재와 코팅층 간의 접촉 저항이 크기 때문에 희생양극으로서 효과적으로 작용하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 용사 코팅의 문제점을 해결하기 위하여 동시압출법에[2-4] 의하여 튜브를 제조하는 공정을 개발하였다. 동시압출법은 모재와 코팅층과의 기공을 제거하고 계면접합을 균일하고 강하게 할 수 있는 장점을 가지고 있어 기화기 코팅층의 결합력 향상이 가능하다. 강도가 다른 재료의 동시압출법은 두 가지의 재료 또는 그 이상의 재료를 가지고 클래드 튜브, 봉재 뿐만 아니라 복잡한 형상까지도 제조할 수 있는 저비용의 제조 기술이다.[5] 이 방법은 단일 금속의 압출보다 더 많은 제어 요소가 수반된다. 제어 요소에 관한 고찰을 위하여 고온에서 금속과 유사한 거동을 나타내는 Plasticine을 사용하여 모의 압출실험을 통하여 동시압출법에 적절한 압출방법 및 클래드 두께의 제어를 위한 연구를 하였다. Plasticine은 고온 압축, 고온 형단조, 고온압출등의 금속 가공시 금속의 변형 형태를 관찰하기 위한 모델링으로 많이 사용되고 있다. 따라서 Plasticine을 이용하여 빌렛의 적층 방법, 다이의 각도, 멘드렐의 형태등 많은 제조 조건을 변화시켜 실제압출과 비슷한 압출 조건을 조사 하였다. 이와 같은 모의 압출을 기초로 하여 동시압출법에 의해 클래드된 기화기 튜브를 제조하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에서는 백색, 갈색 및 흑색의 3 종류의 plasticine을 사용하였다. Plasticine 혼합시 재료 내부에 존재하는 기공을 제거하고, 원하는 두께를 얻기 위하여 압연을 실시하였다. 제조된 plasticine은 원하는 크기에 맞게 원형으로 절단한 후 이를 적층하여 원기둥형의 빌렛을 제조하였다. 빌렛의 피복층은 일정 두께로 압연된 plasticine을 원통형 빌렛 주위에 둘러 형성시켰다. 피복층의 두께와 판재의 두께가 동시 압출된 튜브의 피복층 두께에 미치는 영향을 파악하기 위하여 피복층의 두께를 2mm와 5mm로 변화시켰고, 판재의 두께는 4, 8, 12 및 16mm로 변화시키어 실험하였다. 피복층이 둘러진 잉고트의 직경은 최종적으로 60mm로 고정하였고, 잉고트의 높이는 판재의 두께를 포함하여 100mm로 유지하였다. 이들 빌렛을 이용하여 동시 압출시 압출 다이 및 컨테이너 내부에서 압출재의 유동거동을

파악하기 위하여 압출된 plasticine을 중앙에서 절단하여 관찰하였다. 동시 압출 실험은 클래드가 입혀진 빌렛을 이용하였고, 빌렛과 압출다이 사이에 클래드 판재를 삽입하는 방법을 이용하였으며 빌렛에 클래드를 입히는 공정은 주조 방법으로 클래딩을 하는 방법을 사용하였다. 빌렛을 먼저 주조한 후 이를 클래드층의 두께만큼 여유가 있는 몰드에 위치시키고, 몰드와 빌렛의 공간으로 클래드재 용융 금속을 응고시켜서 제조하는 공정이다. 동시 압출시 클래드재는 A7072, 빌렛재는 A3003를 사용하여 압출하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 빌렛 피복 두께의 영향

백색 plasticine을 빌렛 재료로 하고 갈색의 plasticine을 피복 재료로 하여 클래드 빌렛을 이용하여 압출을 실시하였다. 그림 1은 피복재의 두께를 2mm와 5mm로 하여 동시압출이 중간 정도 진행된 상태에서 컨테이너 내부에서 재질의 유동 거동을 관찰한 결과이다. 그림 1(a)에서 피복재의 두께가 2mm인 경우 모재인 백색 plasticine만이 압출되고, 빌렛의 피복재는 압출되지 않았다. 그러나 그림 1(b)의 피복층 두께가 5mm일 때에는 데드 존(dead zone)부분을 피복층이 차지하고 있지만, 피복층과 모재 튜브가 동시에 압출되고 있는 것을 관찰 할 수 있었다. 특히 압출 초기에는 잉고트 재질이 먼저 압출되고, 다음은 모재/피복층/모재의 3중 미세 구조를 형성하고 있으나, 압출이 진행됨에 따라서 피복층/모재의 정상상태(steady state) 동시압출 과정이 이루어지고 있었다. 그림 그림 1(a)에서 볼 수 있듯이 피복층의 두께가 2mm일 때에는 피복층이 압출 컨테이너 내의 dead zone에 함몰되어 압출재 전길이에 대하여 피복층이 형성되지 않았다. 피복층의 두께가 5mm인 그림 1(b)경우는 압출 초기에는 모재 plasticine만이 압출되고, 그 이후에 피복층이 압출되었다. 이때 빌렛의 피복층 두께증가에 따라 피복층이 동시에 압출되기 시작하는 압출재 길이는 감소하였다. 즉 피복재의 두께가 2mm인 경우에는 피복층이 데드 존을 형성하여 클래드된 튜브가 제조되지 않으나, 두께가 5mm인 경우에는 데드존과 압출 유동이 발생하는 경계면을 따라서 압출되어 모재/피복층/모재의 3중 구조를 가진 압출 구조를 형성한 후 정상상태 동시압출이 이루어진다.

#### 3.2. 삽입 판재 두께의 영향

피복된 잉고트를 사용하여 압출을 수행할 경우, 압출 초기에 피복재가 데드 존을 채우는 동안은 빌렛 재료만이 압출되게 된다. 따라서 압출 초기부터 피복재를 동시에 압출시키기 위하여 압출다이 사이에 판재형의 피복재를 삽입하는 것이 필요하다. 따라서 이 판재의 영향을 파악하기 위하여 피복되지 않은 잉고트와 압출 다이 사이에 피복 재질의 판재를 삽입하여 압출된 피복층의 두께에 미치는 영향을 파악하였다. 그림 2는 삽입 판재의 두께에 따른 압출재 길이 방향의 피복층 두께 변화를 나타낸 것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 압출 초기에는 피복층만이 먼저 압출되고, 그 두께가 압출이 진행됨에 따라서 급속도로 감소하는 것을 볼 수 있다. 피복층만이 압출되는 길이는 피복층의 두께가 증가함에 따라서 증가하였다. 이것은 압출 초기에 압축력을 주로 받는 삽입 판재가 데드 존을 제외한 부분에서 먼저 압출되기 때문으로 판단된다. 한편 압출 거리에 따른 피복층의 두께 변화는 삽입 판재의 두께가 증가함에 따라서 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 즉 압출 초기에는 삽입 판재만이 압출되고, 다이 압출구에 존재하는 삽입 판재가 소진되면, 동시 압출이 진행되기 시작하여 피복층/모재구조를 갖는 압출재가 형성된다. 그러나 삽입된 판재는 매우 급속도로 소진되기 때문에 피복층의 두께는 압출이 진행됨에 따라 급속하게 감소한다.

#### 3.3. 빌렛의 피복층 및 삽입 판재 두께의 영향

압출용 잉고트 피복층은 주로 압출 후기의 피복층 두께에 영향을 미치는 것으로 확인되었고, 삽입 판재는 압출 초기의 피복층의 두께에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 따라서 길이 방향으로 균일한 피복 두께를 얻기 위하여 피복된 잉고트와 삽입 판재를 이용하여 동시 압출 시험을 실시하였다. 이때 압출재의 길이방향 두께분포를 그림 3에 나타내었다. 잉고트의 피복 두께를 5mm로 사용한 경우, 초기에 피복용 판재가 압출됨에 따라 피복층의 두께가 급속하게 감소한 후 피복층의 두께가 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이에 비하여 잉고트 피복 두께를 8mm로 증가시킨 경우에는 압출 후기

에 다시 피복층의 두께가 증가하는 현상이 관찰되었다. 즉 압출 초기에 삽입된 피복용 판재가 소진됨에 따라서 피복층의 두께가 급격히 감소하고, 후반에는 빌렛 피복층이 압출됨에 따라서 다시 피복층의 두께가 다시 증가하는 것이다.

### 3.4. 동시압출

실제 압출을 위해서는 우선 빌렛 표면의 클래드의 두께를 결정하기 전 몇 가지의 가정을 설정하였다. 즉 클래드재와 모재와의 압출 속도가 동일한 정상상태 압출을 가정하였다. 그러나 실제 압출시 클래드재는 콘테이너 벽면과의 마찰 및 온도저하에 의하여 압출 속도가 모재의 압출 속도에 비하여 낮아 어느 정도의 비정상 압출이 이루어질 것이 예상된다. 본 연구에서는 압출된 튜브 클래드층의 두께를 최소 0.5mm를 목표로 하고 있기 때문에 빌렛 표면의 클래드 두께의 표준치를 5mm로 설정하였다. 동시 압출 실험 (주)동양 강철에서 보유하고 있는 800톤 간접 압출기를 이용하여 수행하였다. 빌렛의 클래드 두께를 5mm로하고 삽입 판재의 두께는 10mm로하여 압출을 실시하였다. 이때의 압출 온도는 450°C, 압출 압력은 약 130 Kg/cm<sup>2</sup>, 압출속도는 1.5m/min.정도이었다. 그림 4은 동시압출시 빌렛과 클래드를 적층한 압출기 단면을 나타낸 것이다. 또한 맨드릴과 압출 금속과의 마찰력을 감소시키기 위하여, 맨드릴의 표면에 이형재를 도포하여 동시압출을 실시한 후 압출된 튜브를 1m간격으로 절단하여 크래딩층의 길이방향 두께 분포를 그림 5에 나타내었다. 이들 시료에서 클래드재와 모재 금속과의 계면 접합 상태를 확인하기 위하여 광학 현미경을 이용하여 계면의 미세 구조를 관찰하였다. 동시압출된 튜브의 계면에서 결합이 관찰되지 않고 거의 완전한 금속 결합을 이루고 있었다. 즉 동시 압출 공정중 계면에 심한 전단변형을 받게되고, 이 전단 변형에 의하여 빌렛 표면에 존재하던 산화물들이 깨어져 클래드재와 모재 금속간에 금속 결합을 일으키는 것으로 생각된다. 한편 동시압출시 핀의 위치에따라 클래드층의 두께가 불균일하였다. 즉 클래드층의 두께가 핀의 끝단에는 두겹게 나타나는 반면, 핀과 핀사이의 골짜기에서는 얇게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 근본적으로 압출비의 차이에 의하여 발생하는 현상이다. 즉 핀의 상단부는 압출비가 비교적 적고 하단부는 압출비가 많기 때문에 모재보다 강도가 1/2 정도로 약한 클래드재의 압출이 제한적으로 나타나는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

Plasticine을 이용한 모사 동시압출 및 A3003 기화기 튜브에 Al-2wt.%Zn 합금을 실제 동시압출로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) Plasticine을 이용하여 동시 압출 공정을 모사한 결과, 클래드된 빌렛을 사용하고, 잉고트와 압출 다이사이에서 코팅재질의 판재를 삽입하면, 압출된 튜브의 전 길이에 걸쳐 비교적 균일한 클래드층을 가진 튜브가 얻어진다.

(2) 삽입된 판재의 두께는 압출된 튜브의 초기 클래드 두께에 영향을 미치고, 빌렛에 입혀진 클래드의 두께는 압출된 튜브의 증기 이후 클래드 두께에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 빌렛 클래드 두께는 압출 콘테이너의 dead-metal-zone의 두께이상으로 하여야 하고, 삽입 판재의 두께는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

(3) 모사연구 결과를 이용하여 실제 동시 압출을 실시하였다. 압출용 mandrel을 제작하였고, 빌렛에 클래드를 주조 방법으로 입히기 위한 주조 공정을 개발하였다. 이러한 제조 공정을 통하여 얻어진 클래드와 모재 금속간에는 완전한 확산 접합이 이루어진 계면을 얻어졌다.

(4) 압출된 튜브상의 클래드의 두께 분포를 측정한 결과 압출된 길이 방향 및 fin의 위치 및 크기에 따라서 어느 정도 두께 산포를 나타내는 것으로 확인되었다.

(5) 본 연구를 통하여 ORV의 기화기 튜브의 제조에 적용이 가능한 동시 압출 공정을 개발하였다.

## 5. 참고문헌

- 1) K. Hayashi et al. : Kobe Steel Engineering Reports, 41(4)(1991)pp111-114
- 2) K. Matsuki et al. : J. Japan Inst.Metals, 48(8), (1984)pp813-822
- 3) 小笠原 健 : Japanese Patent, 特開平5-164496
- 4) M. Gildengorn : Germany Patent, DE 3334110 A1
- 5) M. Gildengorn : Advanced Performance Materials, 2,(1995)pp79-87
- 6) J. Ikuta and M. Nishiyama : 配管技術 , 1988, 8月號, pp86-94

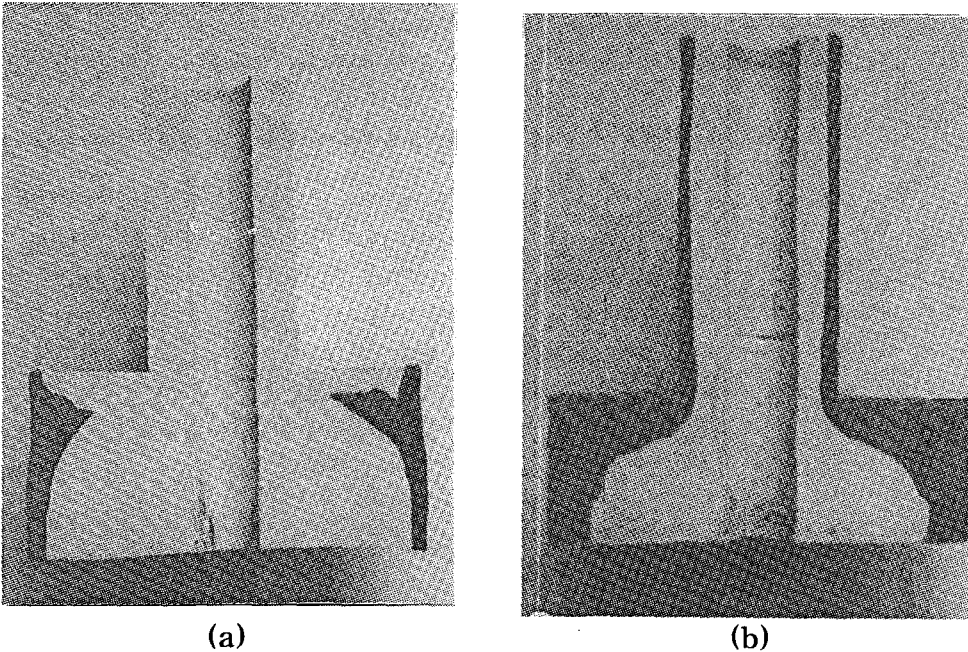


Fig 1. Cross-sectional view of material flow in clad ingot.

(a) clad thickness : 2mm (b) clad thickness : 5mm

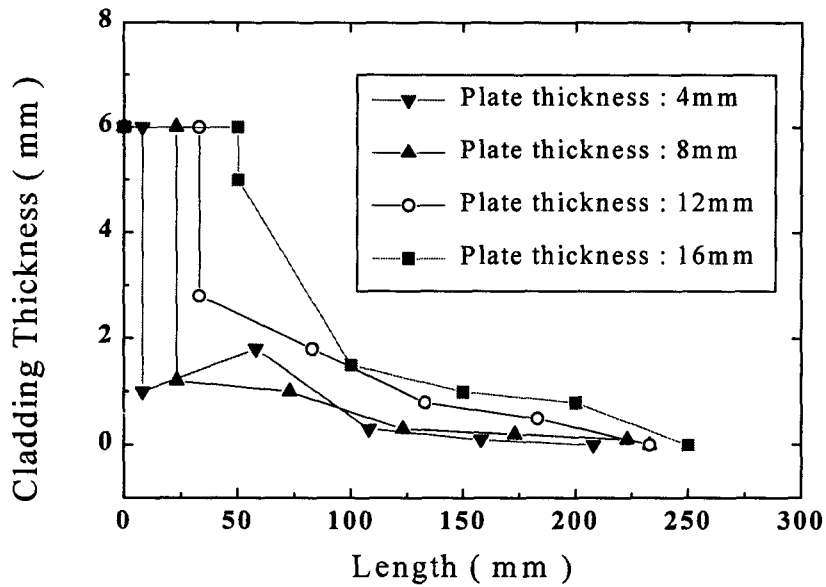


Fig. 2. Distribution of clad thickness in the extrusion direction with different inserted plate thickness.

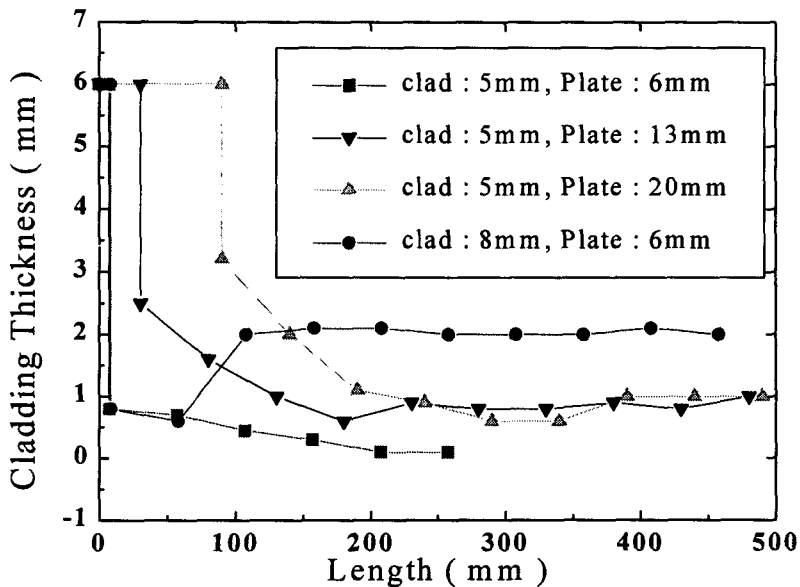


Fig. 3. Distribution of the clad and plate thickness in the direction of extrusion.

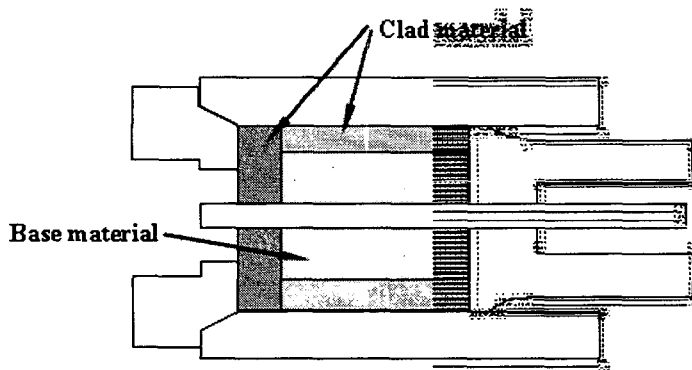


Fig. 4. The Schematic diagram of extruded material using the coextrusion method.

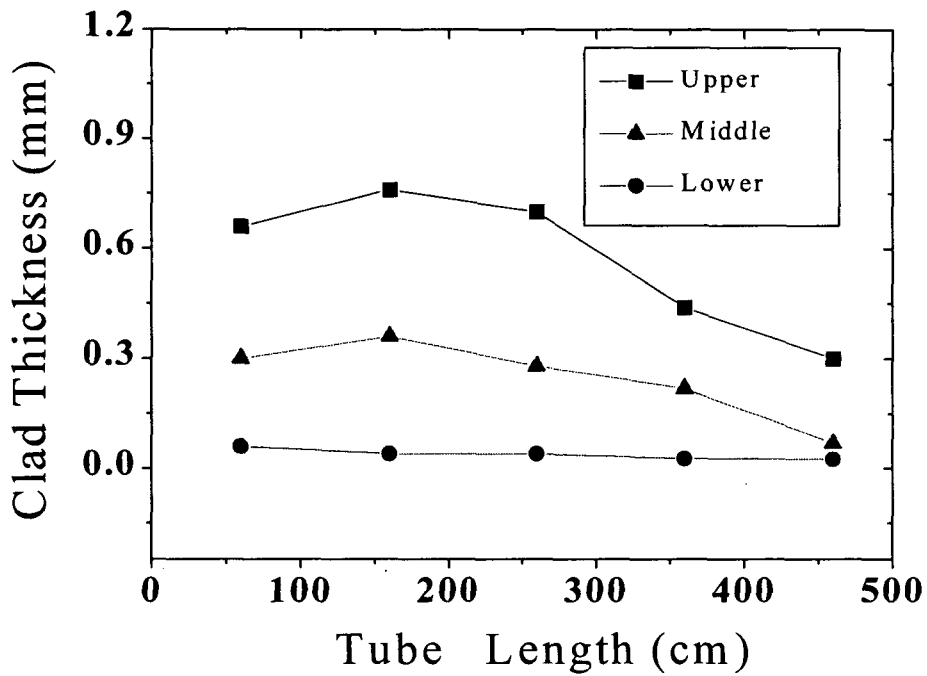


Fig. 5. Distribution of clad thickness on the clad fin in the extrusion direction.