

## 동시 압출법에 의한 핀형 튜브 Cladding공정의 Plasticine 압출 모사

이현우\* · 박진성\* · 김우식\*\* · 신동혁\*\*\* · 김용석\*

(1997년 12월 5일 접수)

### Simulation of Coextrusion Process of Cladded Finned Tube by Plasticine

Hyun-Woo Lee, Jin-Sung Park, Woo-Sik Kim, Dong-Hyuk Shin and Yong-Seog Kim

#### Abstract

In this study, an attempt was made to simulate the coextrusion process of the cladded finned tube manufacturing by extrusion of plasticine. The effects of the billet and the plate inserted between the ingot and extrusion die on the variation of clad thickness of the extruded tube were studied. The results showed that cladded tube with uniform thickness can be obtained by a proper combination of clad thickness of billet and the plate. The relative strength of the billet and clad materials did not affect significantly on the variation of the clad thickness of the extruded tubes.

#### 1. 서론

핀형(Finned) 알루미늄 튜브는 열전도가 높고, 저온에서의 기계적 성질이 우수하기 때문에 열교환기용 튜브로 많이 사용되고 있는데, 이들은 대개 부식 분위기에 노출되어 사용되고 있다. 특히 액화 천연 가스를 기화시키는 데 사용되는 기화기 튜브는 열원으로 사용되는 해수와 직접 접촉되어 사용되기 때문에, 기화기 튜브의 내식 수명이 장치의 수명을 좌우하게 된다. 따라서 이러한 기화기 튜브의 내식 수명을 증가시키기 위한 방법의 하나로 튜브 표면에 희생 양극용 금속(Sacrificial anode metal)을 용사 코팅하는 방법이 사용되고 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 용사 코팅된 코팅층은 치밀하지 못하고, 기지와외 계면 접착력이 약하기 때문에 사용중 박리가 발생하고, 모재와 코팅층간의

접촉 저항이 크기 때문에 회생 양극으로서 효과적으로 작용하지 못하는 문제점이 있다.

부식 분위기에 사용되는 튜브에 희생 양극 금속을 균일하게 코팅하는 방법으로 동시 압출법(co-extrusion)법이 사용되어 왔다.<sup>(2-4)</sup> 즉, 코팅하고자하는 금속과 모재 금속을 동시에 압출하여 코팅층과 기지 튜브와 금속 결합을 계면에서 형성시키는 방법이다. 이와같은 동시 압출법은 주로 형상이 단순한 봉상이나 튜브형의 부품을 클래딩하는 방법으로 많이 사용되어 왔다. 그러나 기화기 튜브와 같은 복잡한 형상을 가진 부품을 동시 압출법으로 클래딩하기 위해서는, 동시 압출 공정에 대한 이해에 기초한 압출 공정 변수들의 정밀한 제어가 요구된다.

동시 압출법으로 클래드 튜브 또는 봉형 제품을 제조하는 공정에서 압출 공정에 영향을 미치는 주요 공정 변수

\* 홍익대학교 금속재료공학과  
\* 한국가스공사 연구개발원  
\*\* 한양대학교 금속재료공학과

는 압출용 잉고트의 형상, 다이의 형상, 압출비, 압출 온도, 압출 속도, 잉고트와 콘테이너의 마찰계수등이 있다.<sup>(4)</sup> 클래드된 봉상 형재를 동시 압출법으로 제조하기 위해서는 클래드된 잉고트를 사용하는 것이 일반적이나 동시 압출후에 얻어지는 클래드층 두께는 잉고트와 콘테이너간의 마찰계수, 잉고트 클래드층의 두께, 압출 온도, 모재와 클래드층의 강도비에 의하여 좌우된다<sup>(5)</sup>. 이들 제조 변수들은 제조 조건에 따라서 복잡하게 변화하기 때문에, 동시 압출 과정을 정확하게 이론적으로 예측하는 것은 매우 어렵다. 특히 기화기용 튜브와 같이 형태가 복잡한 제품을 동시 압출하는 공정을 이론적으로 분석하여 제조 공정을 확립하기 위해서는 많은 노력이 요구된다. 또한, 동시 압출 공정에 미치는 공정 변수의 영향을 실제 압출 공정에서 실험적으로 결정하는 것은 매우 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 기화기 튜브에 많이 사용되는 편형 튜브의 동시 압출 공정을 plasticine을 이용하여 실험적으로 모사하여, 동시 압출 공정의 제조 변수들이 동시 압출된 튜브의 특성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

클래드 튜브를 동시 압출시 사용되는 압출용 잉고트의 형상은 크게 3가지 종류가 있는데, 이를 도식적으로 나타내면 다음의 Fig. 1과 같다.

즉, 잉고트가 크래딩 재료로서 크래딩된 것(Fig. 1a), 모재 재질의 잉고트와 압출 다이 사이에 클래드 재질의 판재를 삽입하는 방법(Fig. 1b), 마지막으로 클래드된 잉고트와 압출 다이 사이에 클래드 재질의 판재를 삽입하는 방법(Fig. 1c)들이 이용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 적층 방법을 변경시키면서 동시 압출법을 모사하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 백색, 갈색및 흑색의 3가지 종류의 plasticine을 사용하였고, 이들을 상호 조합하여 다른 강도의 plasticine을 얻었다. Plasticine의 강도는 지름 55 mm, 길이 50 mm의 봉재를 제조한 후, 10 mm/min의 속도로 압출하여 스트로크 변화에 따른 압력의 변화로부터 구하였다. 그 결과 백색과 흑색의 plasticine은 거의 동일한 강도를 나타내었으며, 갈색은 백색의 plasticine에 비하여 40%정도의 강도를 나타내었다. 또한 백색, 갈색및 흑색 plasticine을 질량비로 3:1:2로 혼합한 회색 plasticine을 준비하였는데, 이 plasticine의 강도는 백색 plasticine에 비하여 약 66%이었다. 이러한 3가지 plasticine의 스트로

크에 따른 압축압력 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

각 plasticine을 혼합시 재료 내부에 존재하는 기공을 제거하고, 원하는 두께를 얻기 위하여 Fig. 3과 같은 압연 장치를 이용하였다.

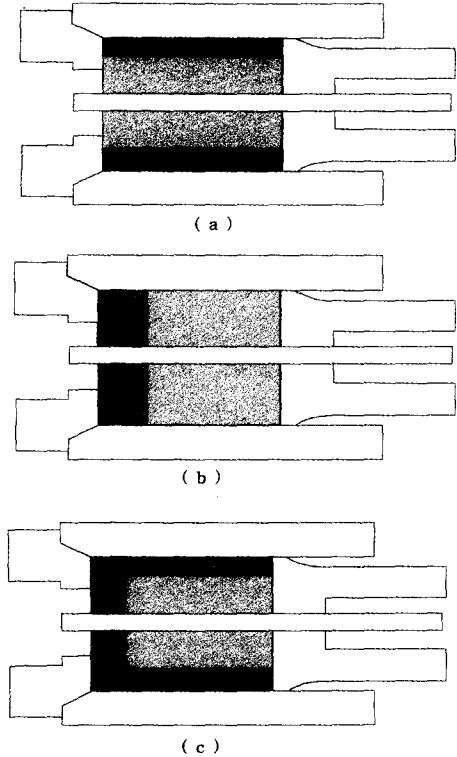


Fig. 1 The schematic diagram of extruded materials using the co-extrusion method (dark color : clad material, light color : base material)

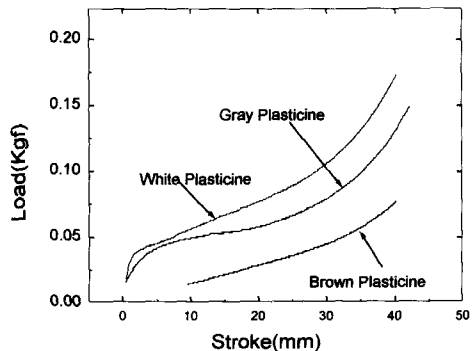


Fig. 2 The relation between compression stroke and compression strength at various plasticine materials

즉, plasticine을 반복적으로 압연하여 일정 두께의 plasticine을 제조하였다. 제조된 plasticine은 원하는 크기에 맞게 원형으로 절단한 후, 이들 적층하여 원기둥형의 빌렛을 제조하였다. 이때 적층면들을 접착시키기 위해서 경유를 사용하였다. 빌렛의 피복층은 일정 두께로 압연된



Fig. 3 Rolling machine

plasticine을 원통형 빌렛 주위에 둘러 형성시켰다.

이렇게 제조된 피복 빌렛은 Fig. 4와같은 모의 동시 압출기를 이용하여 압출 성형하였다.

맨드렐은 압출 컨테이너에 부착시키고, 램이 이동하여 압출되는 방법을 사용하였는데, 이때 압출비는 7:1로 고정하였고, 압출 몰드 및 다이의 재질은 강재를 사용하였다. 이때 컨테이너 및 다리와 plasticine과의 마찰계수를 줄이기 위하여 컨테이너 및 다이는 연마하여 사용하였고, 압출시에는 베이비 파우더를 얇게 코팅하였다.

본 모의 실험에서 빌렛의 형태는 앞의 Fig. 1에서 두번째 형태를 주로 사용하였다. 그러나 피복층의 두께와 판재의 두께가 동시 압출된 튜브의 피복층의 두께에 미치는 영향을 파악하기 위해서 Fig. 1의 세가지 형태의 빌렛을 plasticine으로 제작하여 사용하였다. 여기서 빌렛 피복층의 두께는 2, 5, 8 mm로 변화시켰고, 판재의 두께는 4, 8, 12, 16 mm로 변화시키어 실험하였다. 피복층이 둘러진 잉고트의 직경은 최종적으로 60 mm로 고정하였고, 잉고트의 높이는 판재의 두께를 포함하여 100 mm로 유지하였다. 이들 빌렛을 이용하여 동시 압출시, 압출 공정 중간에서 압출을 중단한 후, 컨테이너 내부에 잔류된 plasticine을 중앙에서 절단하여, 압출 다이 및 컨테이너 내부에서 압출재의 유동 거동(flow pattern)을 관찰하였다.

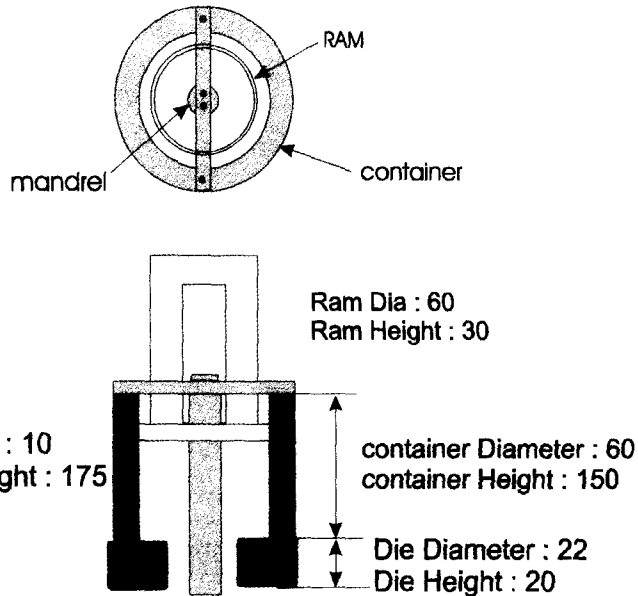


Fig. 4 The schematic diagram of extrusion mold

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 빌렛 피복 두께의 영향

먼저 백색 plasticine을 빌렛 재료로 하고 갈색의 plasticine을 피복 재료로 하여 클래드빌렛을 이용하여 압출을 실시하였다. Fig. 5는 피복재의 두께를 2 mm로 하여 동시 압출이 중간 정도 진행된 상태에서 컨테이너 내부에서 재질의 유동 거동을 관찰한 결과이다.

Fig.6에서 보면 모재인 백색 plasticine만이 압출되고, 빌렛의 피복재가 동시에 압출되지 못하고 있는 것을 볼 수 있다. 이에 비하여 피복층의 두께가 5 mm일 때에는 데드 존(dead zone)부분을 피복층이 차지하고 있지만, 피복층과 지지 튜브가 동시에 압출되고 있는 것을 볼 수 있다. 특히 압출 초기에는 잉고트 재질이 먼저 압출되고, 다음은 지지/피복층/기지의 3중 미세 구조를 형성하고 있으나, 압출이 진행됨에 따라서 피복층/기지의 정상 상태(steady state) 동시 압출 과정이 이루어지고 있음을 볼 수 있다(Fig. 6b).

Fig. 7은 이렇게 얻어진 압출재의 길이 방향으로 피복층의 두께를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 피복층의 두께가 2 mm일 때에는, 피복층이 압출 컨테이너 내의 dead zone에 갇히게 되어 압출재 전길이에 대하여 피

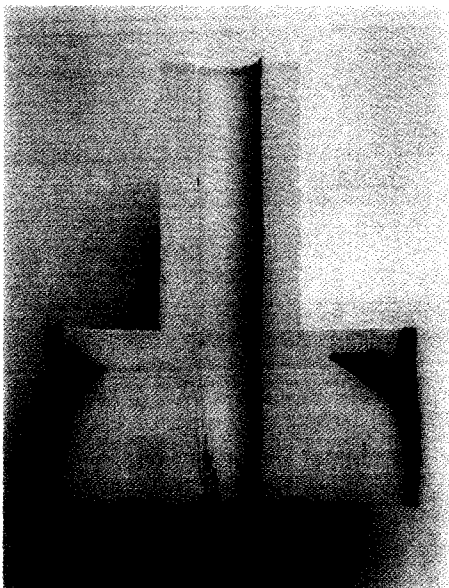


Fig. 5 Cross-sectional view of materials flow in cladged ingot (clad thickness: 2 mm)

복층이 형성되지 않았다. 피복층의 두께가 5 mm인 경우는, 압출 초기에는 지지 plasticine만이 압출되고, 그 이후에 피복층이 불균일하게 압출되었다. 이때 빌렛의 피복층의 두께가 증가함에 따라서 피복층이 동시에 압출되기

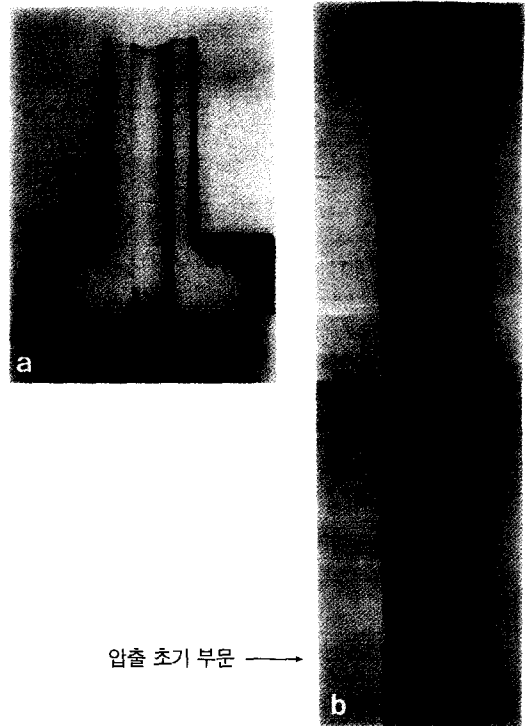


Fig. 6 Cross-sectional view of (a) cladged ingot and (b) extruded tube (clad thickness : 5 mm)

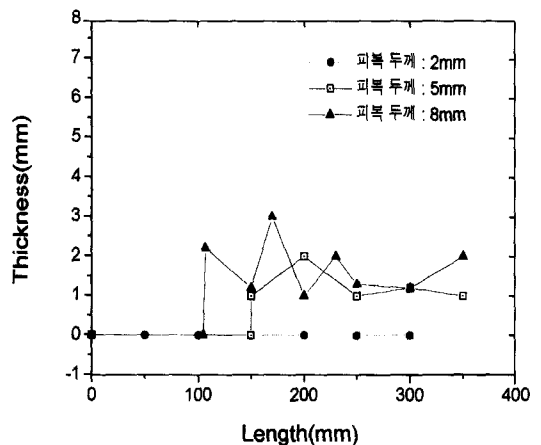


Fig. 7 Clad thickness distribution on in the extrusion direction of extruded tubes using cladged ingot

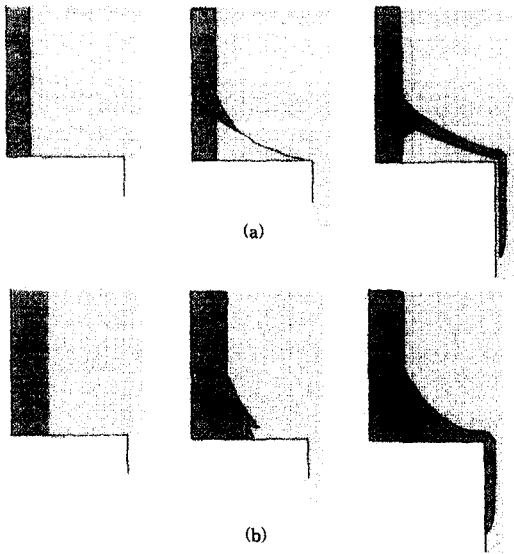


Fig. 8 The schematic diagram of the materials flow in the container (a)with a thin clad and (b)with a thick clad on the ingot

시작하는 압출재 길이가 감소하였다. 즉, 피복층의 두께가 5 mm에서 8 mm로 증가함에 따라서 동시 압출이 개시되는 압출재의 길이가 150 mm에서 100 mm까지 감소하였다.

이와같은 압출 현상은 압출 컨테이너내의 데드 존의 형성과 연관시켜 Fig. 8과 같이 모식적으로 나타낼 수 있을 것이다.

즉, 피복재의 두께가 얇은 경우에는 피복층이 데드 존을 형성하여 클래드된 튜브가 제조되지 않거나, 데드존과 압출 유동이 발생하는 경계면을 따라서 압출이 발생하게 될 것이다(Fig. 8a). 이에 따라서 기기/피복층/기지의 3중 구조를 가진 압출 구조를 형성하게 될 것이다. 이에 비하여 피복층의 두께가 데드 존을 형성하기에 충분하면, 피복재료가 데드 존을 채우고 난 후부터 동시 압출이 이루어지는 것이다(Fig. 8b).

### 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 피복된 잉고트와 압출다이 사이에 판재형의 피복재를 삽입하는 것이 필요하다. 따라서 이 판재의

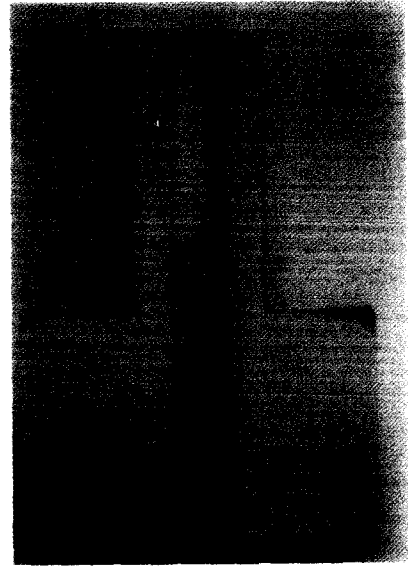


Fig. 9 Cross-sectional view of materials flow with plate thickness 4 mm

영향을 파악하기 위하여 피복되지 않은 잉고트나 압출다이 사이에 피복 재질의 판재를 삽입하여 압출된 피복층의 두께에 미치는 영향을 파악하였다. Fig. 9는 삽입 판재의 두께를 4 mm로 하였을 경우, 압출이 중간정도 진행된 상태에서의 물질 유동 거동을 관찰한 결과이다.

그림에서 볼 수 있듯이 삽입된 판재는 대부분이 소진되었고 데드 존에 약간 잔존하고 있는 것을 볼 수 있다. 이와같은 현상은 삽입 판재의 두께를 8, 12, 16 mm로 변화시켜도 유사하게 나타났다.

Fig. 10은 삽입 판재의 두께에 따른 압출된 압출재의 길이 방향의 피복층의 두께 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 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 대부분의 부분에서 먼저 압출되기 때문으로 생각된다. 한편 압출 거리에 따른 피복층의 두께 변화는 삽입 판재의 두께가 증가함에 따라서 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 이와같이 삽입 판재만을 사용한 경우, 압출시 물질 유동 거동을 모식적으로 나타내면 Fig. 11과 같다.

즉, 압출 초기에는 삽입 판재만이 압출되고, 다이 압출구에 존재하는 삽입 판재가 소진되면, 동시 압출이 진행되

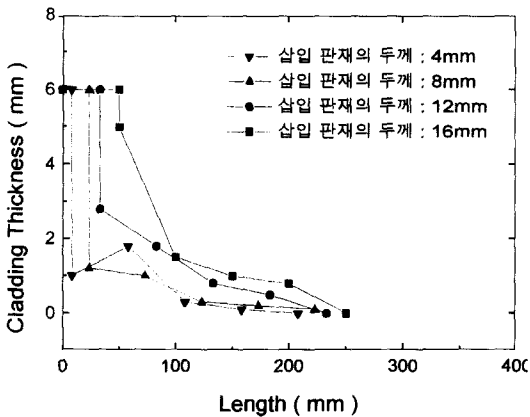


Fig. 10 Distribution of clad thickness in the extrusion direction with different plate thickness

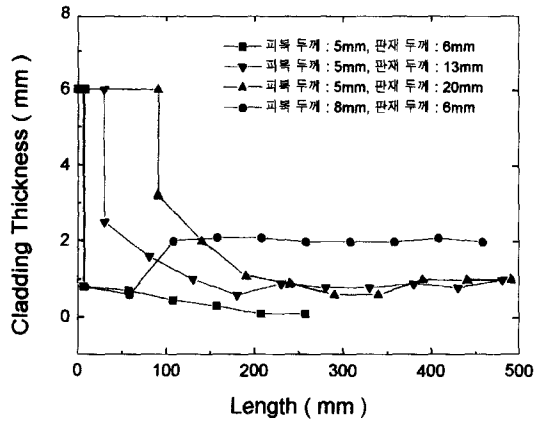


Fig. 12 Distribution of clad thickness in the direction of extrusion

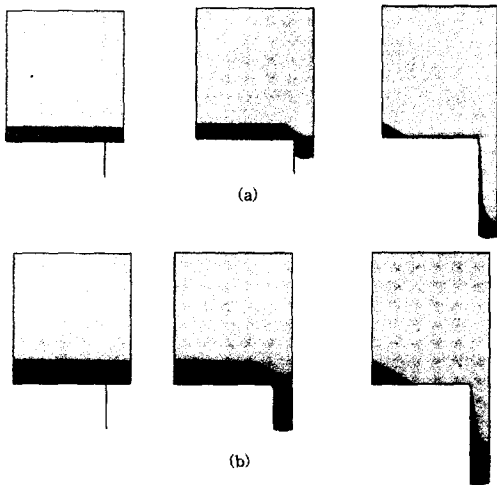


Fig. 11 The schematic diagram of materials flow in the container (a) with a thin plate and (b) with a thick plate inserted

기 시작하여 피복층/기지의 미세 구조를 가진 압출재가 형성된다. 그러나 삽입된 판재는 매우 급속도로 소진되기 때문에 피복층의 두께는 압출이 진행됨에 따라 급속하게 감소하는 것이다.

### 3.3. 빌렛의 피복층 및 삽입 판재 두께의 영향

앞절에서 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 길이 방향으로의 두께 분포를 Fig. 12에 나타내었다.

잉고트의 피복 두께를 5 mm로 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 8 mm로 증가시킨 경우에는 압출 후기에 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. 강도비의 영향

앞절의 실험은 빌렛대 피복재의 강도비가 2.5:1인 조건에서 수행되었다. 따라서 강도가 거의 유사한 백색 plasticine을 빌렛으로하고 흑색 plasticine을 피복재와 삽입 판재로 사용하여 압출 실험을 수행하였다. 이때 빌렛 피복층과 삽입 판재의 두께가 압출된 튜브 피복층의 두께에 미치는 영향을 측정하여 Fig. 13에 나타내었다.

그림에서 볼 수 있듯이, 피복층의 두께가 거의 균일하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 즉, 압출재의 강도는 압출된 튜브의 피복층 두께에 크게 영향을 미치지 않는 것을 볼 수 있으나, 피복층과 빌렛 재질의 강도가 유사할 때 압출재가 보다 균일한 피복층의 두께가 얻어지는 것을 알 수 있다. 한편 빌렛 피복층의 두께가 5 mm이고 삽입 판재의 두께가 13 mm일 때, 압출재 표면의 피복층의 두께가 가장 균일하게 얻어지는 것을 볼 수 있다.

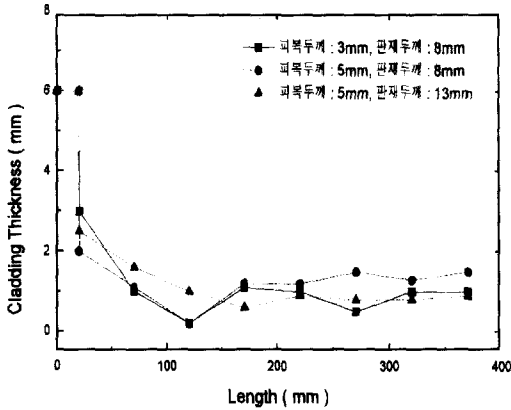


Fig. 13 The distribution of clad thickness when the strength ratio between ingot and clad is 1 : 1.5

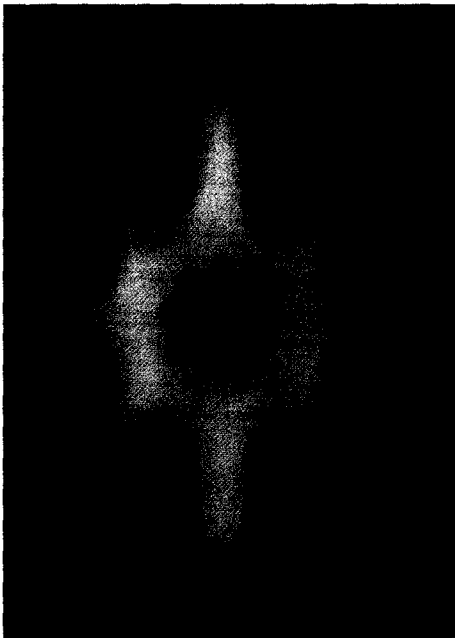


Fig. 14 Cross-section of the clad finned tube manufactured by co-extrusion.a

이와같은 연구 결과를 이용하여 편형 기화기 튜브의 동시 압출을 실시하였다.

Fig. 14는 이렇게 압출된 튜브의 단면을 보여주는 것이다. 이때, 피복층의 두께는 5 mm, 삽입 판재의 두께는 13 mm인 압출 조건을 사용하였으며, 편형 튜브에 근접한 형상을 가진 다이틀 이용하였다.

그림에서 기화기 핀의 산과 골 부분 모두에 균일하게 피

복재가 피복되어 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 피복된 빌렛과 삽입 판재를 사용하고, 그들의 두께를 적절하게 조절하면 동시 압출법에 의하여 피복층이 균일하게 도포된 튜브를 제조하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

편형 튜브의 동시 압출 공정을 plasticine을 이용하여 모사 실험을 실시하여, 압출된 튜브의 클래드층 두께 분포에 미치는 인자들의 영향을 관찰하였다. 클래드된 잉고트를 사용하였을 경우에는 압출 초기에 클래드층이 형성되지 않는 것이 관찰되었다. 이에 비하여 잉고트와 압출다이 사이에 판재만을 삽입한 경우에는 압출 초기에만 클래드층이 형성되었다. 따라서, 압출 초기나 후기에 균일한 클래드 두께를 얻기 위하여, 클래드된 잉고트와 판재를 동시에 삽입하여 압출을 실시한 결과 압출된 튜브의 길이 방향으로 균일한 클래드 층이 형성된 결과를 얻게 되었다.

#### 후 기

본 연구는 한국가스공사의 1997년도 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) K. Hayshi, S. Kajiwara, K. Fujiwara, Y. Takatani and M. Inabe, (1991) Damae and Consumption Process for Al-Zn Alloy Thermal-sprayed Coat of Open Rack Vaporizer, Kobe Steel Engineering Reports, 41(4),pp.111~114.
- (2) K. Matsuki, M. Tokizawa, N. Taktuji and K. Murotani, (1984) On Direct Hot Extrusion Characteristics of High Strength Al-5wt.%Mg Alloy Billet Cated with Pure Aluminum, 일본 금속학회지, 48(8), pp.813~822.
- (3) 일본 특허, 特開平5-164496.
- (4) 독일 특허, DE 3334110 A1.
- (5) M. Gildengorn, (1995) Theory and Practice of Co-extrusion of Unequal Strength Materials, Advanced Performance Materials, 2, pp.79~87.