

Trends in the Development of Aluminum Alternative Packaging Materials

알루미늄 대체 포장재질 개발 동향

Writer

이 승 석
롯데알미늄(주) 팀장

Contents

- I. 서론
- II. 본론
- III. 결론

I. 서론

최근 5년 이내 포장업계의 가장 큰 화두는 친환경이다. 지난 2018년 4월 이슈가 된 중국발 쓰레기 대란은 폐기물 처리에 대한 경각심을 일깨웠고 이에 발맞춰 정부정책의 변화를 가져왔다. 이로 인해 그 동안 산업분야에서 주목받지 못했던 포장업계가 주목받게 됐다. 급격한 변화에 대응이 필요한 상황 속에서 이는 곧 포장관련업계의 위기이자 기회로 다가왔다.

청룡의 기운을 받고 새롭게 시작된 2024년 새해는 어떠한가? 포장업계는 친환경 대응과 포장재 시장가격 방어라는 두 가지 과제에 직면해 있다. 포장재의 주요 고객인 식품사들은 친환경의 필요성은 인지하지만 가격에 민감한 소비자의 눈높이를 맞추려다보니 포장재 가격상승에는 난색을 표하는 상황이다. 이러한 어지러운 환경 속에서 우리는 어떻게 대응해야 할까? 필자의 생각을 말하자면 친환경 포장재로의 전환에는 많은 기술적인 노력과 시간이 필요하기 때문에 어려운 시장 환경 속에서도 미래의 후손들을 위해서 기술개발을 위한 노력은 계속 이어나가야 한다고 본다.

다양한 친환경 과제 중에서 알루미늄을 대체하거나 줄이는 과제는 사실 쉽지 않다. 그만큼 알루미늄 소재가 갖는 기능성이 압도적이라고 감히 말할 수 있겠다. 본문에서 필자는 자주 접하게 되지만 관심을 덜 가지고 있었던 소재인 알루미늄 특히 연포장재 쪽에 주로 사용되는 알루미늄박에 대해 조금 더 깊이 있게 다루고자 한다. 이 소재의 대체를 위한 기술 개발의 동향과 방향성에 대한 필자의 소견을 언급하고자 한다.

II. 본론

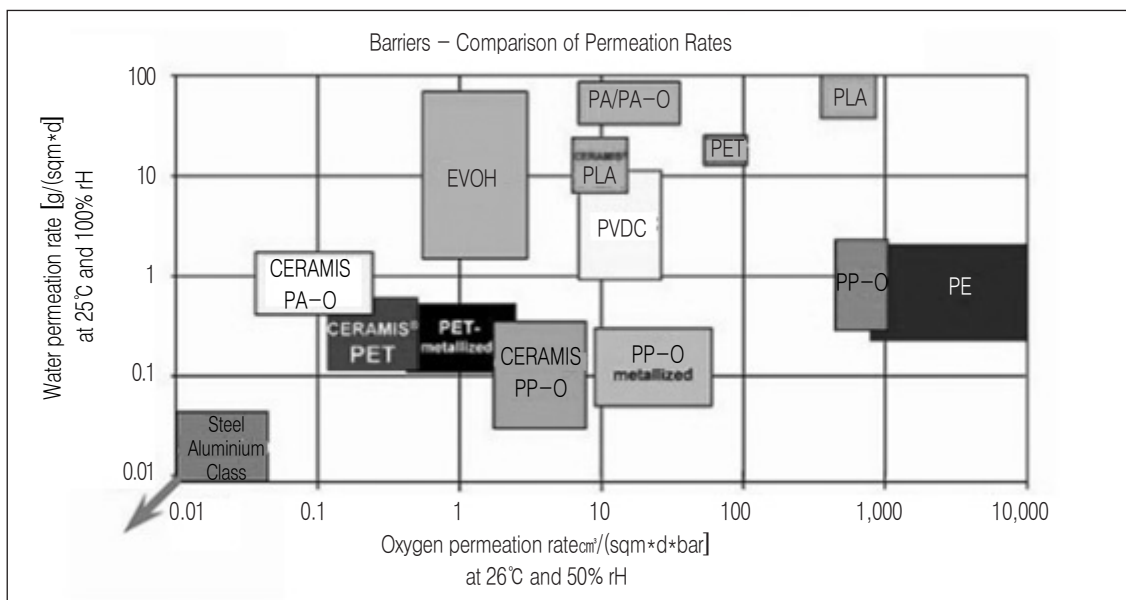
1) 국내 알루미늄 박의 역사 및 사용 배경

1960년대초 국내 알루미늄박의 수요는 미미한 상황이었으며 그 사용처도 단순했다. 주로 담배 포장용으로 소비됐는데 전량을 일본에서 수입하는 실정이었다. 1962년에 들어서서 삼진알루미늄이 국내 최초로 독일로부터 관련 설비를 도입해 담배 내포지 생산을 시작했고 이후 몇몇 업체들이 해당 시장에 뛰어들게 됐다. 1967년 무렵 덕영알루미늄은 13 μ m 알루미늄박을 생산했으며 1969년 1월 롯데알루미늄은 국내 최초로 7 μ m 알루미늄박 생산에 성공하면서 알루미늄박 시장 성장에 기여했다.

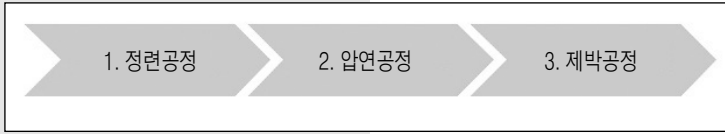
이후 삼진알루미늄은 일본 도요알루미늄과 합작해 현 삼아알루미늄을 설립한데 이어 대한은박(일본 도오카이 금속과 합작, 현 동원시스템즈)이 설립되면서 알루미늄박의 국내 생산이 늘어나게 된다. 이러한 알루미늄박의 국산화 이후 관련 기술의 발전이 이뤄지면서 점차 알루미늄박을 활용한 연포장 제품이 담배접합지에서 껌 외포장재로, 더 나아가 식품, 의약품 등으로 그 용도가 확대돼가면서 오늘날에 이르게 된다.

알루미늄박은 산소와 수분차단성이 우수한 소재이기 때문에 유통기한 증대 및 내용물의 변질 방지 등의 기능성 부여 목적으로 다양한 복합재질 구성의 포장재에 사용돼 왔다. 차단 기능이 플라스틱 필름보다 월등히 우수하기 때문이다.

[그림 1] 소재별 Barrier 성 비교표



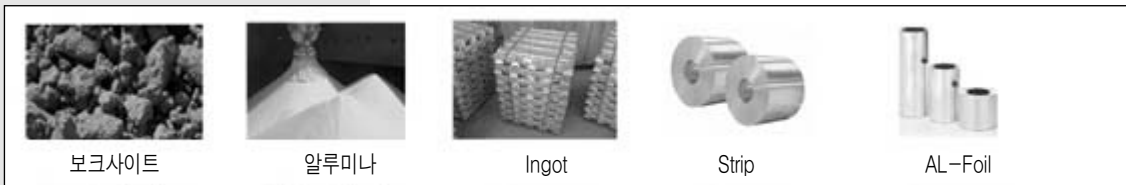
[그림 2] 제조과정 도식화



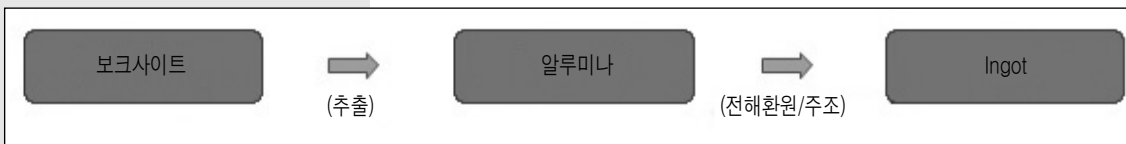
2) 알루미늄 박의 제조 방법

알루미늄 호일이 만들어지기까지의 제조공정을 간단히 모식도화 하면 [그림 2]와 같다.

[그림 3] 제조과정 원료



[그림 4] 정련과정



각 공정별로 좀 더 세분화해서 살펴보면 [그림 3]과 같다.

[정련과정]

보크사이트(Bauxite)로부터 잉고트(Ingot)를 만들기까지의 공정(그림 4).

(1) 추출 (Bayer 공정) : 알루미나 생산

보크사이트를 가성 소다액으로 녹여 알루미늄산 소다액을 만들어 이것으로부터 알루미나분을 추출. Bayer법을 활용한 순수 알루미나(Al_2O_3)의 제조(1888년 Bayer에 의해 발견)

- Step 1 보크사이트 중의 Al_2O_3 를 NaOH 용액으로 용해, $NaAlO_2$ 를 생성

· 반응식 : $Al_2O_3 + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + H_2O$

- Step 2 $NaAlO_2$ 의 가수분해, $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 의 석출

· 반응식 : $NaAlO_2 + 4H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 3H_2O + 2NaOH$

- Step 3 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 의 가열($1200^\circ C$) 탈수해 Al_2O_3 의 생성

· 반응식 : $Al_2O_3 \cdot 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 (99.5\% \text{ 순도}) + 3H_2O$

(2) 전해환원 (Hall-Heroult 공정) 및 주조 : 알루미늄 Ingot 제조

앞에서 얻어낸 알루미나를 빙정석(플루오르화알루미늄나트륨(Na_3AlF_6))과 함께 용융시키고 이것을 $940 \sim 980^\circ C$ 에서 탄소를 입힌 강철을 환원전극으로 탄소를 산화전극으로 해 전기분해, 알루미늄 금속을 얻어낸다. 전기분해 과정에서 많은 양의 전력을 소모하게 되는데 전체공

정에서 전력비 비중이 20~40%수준이다. 탄소판으로 만든 전해조의 밑바닥이 음극, 용융물 중에 넣은 탄소막대가 양극이다. 알루미늄 1톤을 만드는데 18,000 ~ 20,000KWh의 전력이 필요하기 때문에 알루미늄에 '전기의 깡통'이라는 별명이 붙기도 한다. 보트사이트 4톤을 투입하면 대략 알루미나 2톤, 최종 알루미늄 Ingot 1톤이 생성된다.

- 전해조 조건

. 양극 : 석유 코크스와 피치 혼합물을 소결한 탄소 블록 (소모성 양극)

. 음극 : 흑연(탄소)으로 라이닝 된 강(steel) 상자

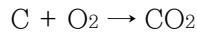
. 전해액 : $\text{Na}_3\text{AlF}_6 + \text{AlF}_3, \text{CaF}_2$ (소량)

- 전해반응

. Al_2O_3 의 해리 : $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 3\text{O}^{2-}$

. 음극반응 : $2\text{Al}^{3+} + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Al}$

. 양극반응 : $3\text{O}^{2-} \rightarrow 3/2\text{O}_2 + 6\text{e}^-$

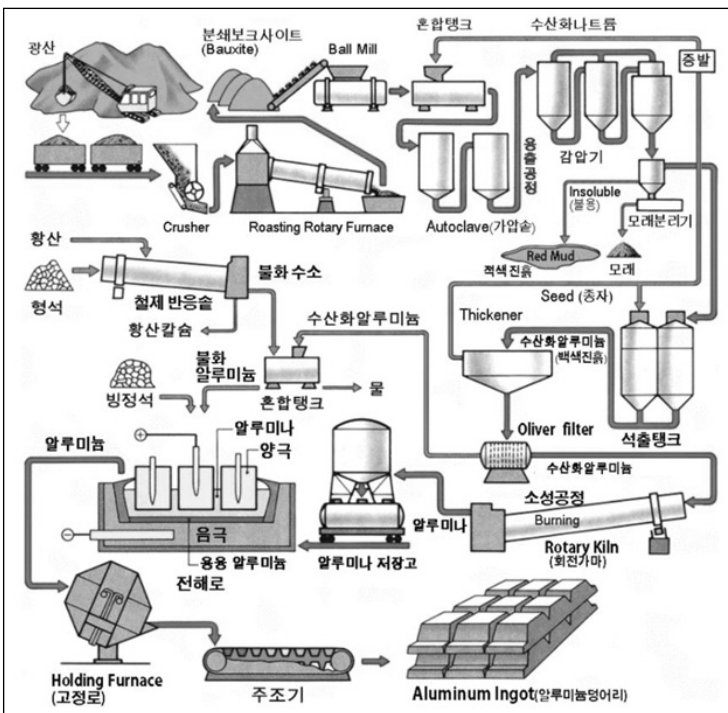


* 전체반응 : $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Al} + 3\text{CO}_2$

이때 생성되는 Al은 전해조(pot)의 바닥에 석출 (순도 : 99.5%)

일련의 과정으로 만들어진 알루미늄에는 여러 가지 불순물이 함유돼 있기 때문에 용탕처리 및 주조 과정을 거쳐 최종 알루미늄 Ingot로 만들어 낸다.

[그림 5] 전체 공정 흐름도



(용어 및 부연설명)

보크사이트 : 알루미늄 금속 제조용 알루미나 생산에 사용되는 가장 보편적인 원료 즉 광석. 수산화알루미늄 광물, 특히 깁사이트 (gibbsite, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 보하이트 (boehmite, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 다이아스포어 (diaspore, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)가 풍부하게 들어 있는 암석을 말한다. 보통 알루미늄은 광물의 골격에 들어있어 분리해내기 무척 어렵기 때문에, 알루미늄은 보통 이걸 전기분해로 정제해서 얻는다. 보통 알루미나 50%이상을 함유한 것을 보크사이트라 한다.

Ingot : 제련(製鍊) 후, 주형(鑄型)에 부어 넣어 고체화(固體化)한 금속 덩어리.
전체 공정 흐름도는 (그림 5)와 같다.

[압연공정]

잉고트(Ingot)로부터 용도에 맞춰 후가공에 적합하도록 화학조성 및 형태로 만드는 과정. 알루미늄박을 만들기 위한 알루미늄 스트립(Strip)을 만드는 공정. 주조방식에 따라 CC, DC 재로 구분이 되며, 대표적인 DC 재 공정으로 설명하도록 하겠다.

CC (Continuous Casting, 연속주조), DC(Direct Casting, 직접주조)세부 공정은 다음과 같고 공정별 소개는 하단에 명시하도록 하겠다.

(1) 용해

용해로에서 고체 상태인 원료를 800 ~ 1000℃ 로 가열해 고객이 요구하는 규정된 화학성분의 조성이 되도록 액체 상태로 용해하는 공정이다. 원료는 알루미늄 Ingot 와 모합금 즉 합금 제조를 위해 첨가하는 성분재료를 사용한다.

(2) 주조

용해된 알루미늄 용탕은 불

순물 제거기 및 여과기를 거쳐 규정된 속도, 온도, 흐름 등을 유지하며 수냉식 금형에 연속적으로 주입해 응고시킨 직육면체 형태의 SLAB를 제조한다.

(3) 면삭

주조시 생성된 SLAB 표면층의 불순물층과 불균일한 조직을 제거하기 위해 상하면의 일부를 제거하는 공정이다.

(4) 균질화 처리

제품의 조직 및 특성을 균일하게 하고 후공정인 열간 압연이 용이하도록 높은 온도에서 열처리 즉 가열하는 공정이다. 균열로를 거치는데 보통 4개 Zone으로 구성되며 승온, 유지, 하강의 과정이 거치게 돼 있다.

(5) 열간 압연

알루미늄의 재결정 온도 이상(250~330℃)의 온도에서 행해지는 압연으로 물성의 변화는 없으며 두께만 얇아진다. 열간 압연을 통해 생성되는 알루미늄 Coil의 두께는 6~8mm(6,000~8,000 μ m)다.

(6) 냉간 압연

알루미늄 Coil을 재결정온도

이하의 온도에서 압연 해주는 공정으로 압연 가공에 의해 알루미늄의 강도가 증가하는 가공경화 현상이 발생한다. 고객이 요청하는 최종 두께로 맞추고 알루미늄 표면, 형상, 기계적 성질을 결정하기 때문에 중요도가 높은 공정이다.

(7) 소둔

알루미늄의 기계적 성질을 조절하기 위해 실시하는 열처리 공정이며 소둔 시 강도는 낮아지고 연신율은 증가된다. 소둔의 조건 즉 온도와 시간에 따른 물성 변화가 이뤄진다.

(8) 재단

최종 고객의 요청사항에 맞춰 규격 및 형태가 정해지는 공정이다. 롤 형태 혹은 판 즉 시트 형태여부가 이 공정에서 이뤄진다.

<용어 및 부연 설명>

SLAB : 주조공정을 거쳐 생산된 직육면체 형태의 SLAB. 폭 1.1M~1.75M, 높이 0.5M~0.6M 그리고 길이는 4M~5.5M가 된다.

[제박공정]

스트립(Strip) 즉 알루미늄

Coil로부터 알루미늄박을 만드는 공정

(1) 압연 (Rolling)

KS 기준으로 알루미늄박의 두께는 0.2mm(200 μ m) 이하의 것으로 규정하고 있다. 앞의 Strip제조 공정에서도 알 수 있듯이 Coil 형태로 실제 사용하기는 어려운 두께이기 때문에 제박공정을 거쳐 박박 형태로 만들게 된다. 압연과정은 회전하는 롤 사이에 재료를 통과시켜 연속적으로 압축, 단면적 두께를 감소하는 가공법이다. 생산하고자 하는 두께에 따라 제조방식에 약간의 차이가 있긴 하지만 얇은 박을 주로 생산하기 때문에 보통 중합, 압연 공정을 더 거치게 된다. 일반적으로 극한으로 얻을 수 있는 두께는 10 μ m 정도이기 때문에 중합압연이 필요한 경우가 많다.

(2) 중합 (Doubling)

1차적으로 압연한 두 개의 호일을 겹쳐주는 공정이다. 겹쳐주는 이유는 보다 더 얇은 두께의 박을 생산하기 위함이다. 두께가 얇아지는 과정에서 Foil 끊어짐이 발생하기 쉽기 때문에 장력제어 및 표면 마찰관리가 더 어려워지게 된다.

그리고 압연속도가 같다는 전제하에 중합의 과정을 통해 생산성도 두배로 올릴 수 있기 때문이다.

(3) 2차 압연 (Final Rolling)

중합 과정을 거친 Foil을 2차 압연해 얇은 두께로 만들어 주는 과정이다. 최소 두께는 5 μ m이며 국내 대부분의 Major 업체들은 4.5 μ m까지 생산할 기술력은 확보하고 있으나 보편적으로 생산하지는 않는 규격이다.

2매의 호일을 겹치다보니 압연과정에서 롤에 접촉하지 않은 면은 광택을 갖지 않기 때문에 유광면과 무광면이 존재하게 된다.

(4) 소둔 (Annealing)

알루미늄박은 압연을 진행함에 따라 가공 경화를 일으켜 경질(Hard)박으로 변한다. 약품포장재에 사용되는 PTP와 같이 해당 성질이 필요한 제품의 경우엔 그대로 사용되는 경우도 있지만 일반적인 식품용 알루미늄박은 소둔 공정을 필히 거쳐 연질로 만들어 사용한다.

소둔 공정은 소둔로 라고 칭하는 별도공간에 일정온도와 시간동안 보관해 알루미늄박

의 물성을 변화하는데 주된 목적이 있다.

(5) 분리(Separating)/재단 (Slitting)

소둔로를 거친 중합압연된 알루미늄박은 2매에서 1매씩으로 분리하는 과정이 필수적으로 필요하다. 용도에 따라 최적화 된 공정으로 구성하기 때문에 분리 이후 소둔을 거쳐 재단의 과정을 거치는 경우도 있고 분리와 재단을 동시에 수행하는 경우도 있다. (Sepa-Slit)

3) 알루미늄의 환경적인 문제에 대한 고찰

알루미늄 소재는 친환경이지 않은가? 재활용이 가능하니 친환경적인 소재가 아닌가? 이러한 의문을 가지게 될 것이다.

이 부분에 대해서는 다양한 관점이 존재하기 때문에 어느 누구도 틀리다고 하기엔 모호한 부분이 있다.

알루미늄박은 원재료가 되는 Ingot 제조 과정에서 많은 전력을 소모하게 된다. 또한 이산화탄소 배출량도 많다. 이러한 부분 때문에 환경적인 문제가 있다고 할 수 있다. 그러나 모든 금속이 광석

으로부터 추출돼 제련되는 과정에서 에너지 사용이 불가피하기 때문에 알루미늄만이 환경적인 문제가 있다는 사고방식으로 접근하기보다는 상대성을 가지고 봐야 할 것이다. 구리보다는 많지만 철보다는 적기 때문이다.

탄소배출을 제한하는 전세계적인 흐름에 따라 재생에너지를 사용한 전력이 아직까지는 많지 않기 때문에 이 부분은 거시적인 관점으로 계속 풀어나가야 할 과제로 보인다.

이미 Major 제조사들은 알루미늄 생산 시 많은 전력을 소모하는 단점을 보완하기 위해 알루미늄을 수거하는데 노력을 기울이고 있다.

폐알루미늄은 이론상 100% 재활용이 가능하며, 회수된 폐알루미늄을 재생하는 것이 원석에서 생산하는 것보다 훨씬 유리하다. 재생 시 소비되는 전력은 5% 수준으로 월등히 효율이 좋기 때문이다. 따라서 이러한 측면에서는 이미 어느정도 환경 영향을 줄이기 위한 노력이 이뤄지고 있다고 볼 수 있다. 재생의 관점에서 본다면 알루미늄은 재활용이 용이한 소재이기 때문에 순환경제차원에서 노력한

다면 환경영향을 줄이기에 좋다. 그리고 전해과정에서 발생하는 이산화탄소 배출과 관련해서는 근래 탄소 무배출 알루미늄 제련법에 관한 애플의 기술지원으로 2대 Major 회사인 알코아와 리오틴토 두 회사가 합작 사업을 시작해 추진하고 있다. 애플은 아이폰에 그런 알루미늄을 적용하고 있다. 이제 흐름이 바뀌어 가고 있다.

변화하는 상황에 맞춰 알루미늄박을 생산하기까지는 이러한 관점에서 환경적인 문제가 다소 적어지고 해결의 실마리가 있다. 그러나 연포장재 즉 알루미늄박을 사용한 포장재 분야로 넘어가게 되면 환경적인 문제 해결이 어려워 이 부분을 지적하지 않을 수 없다. 기본적으로 순수 알루미늄박이라면 재활용 측면에서 용이하지만 필름과 함께 사용되는 복합재질의 포장재에서는 알루미늄박의 존재는 재활용성을 많이 저해하는 소재이기 때문이다.

4) 알루미늄 대체 포장재질 개발 동향

알루미늄이 사용된 포장재는 에너지 재활용 측면에서 고

형연료(SRF, Solid Refuse Fuel)로 만들어 폐기물 수거업체에서 시멘트나 제지회사에 공급하는 게 현재 활용 수준이다.

고형원료에도 등급이 있으며 알루미늄이 포함된 원료는 열효율이 떨어지고 재활용업체에서 선별해낼 때도 수작업으로 선별해야하는 등 재생 시 효율이 떨어지는 문제가 있기 때문에 친환경성이 떨어진다고 할 수 있다.

그렇다면 이런 부분들을 인지하고 있을 텐데 업계는 어떻게 움직여왔을까?

다행히도 관련업계에서는 알루미늄박을 대체할 소재 및 포장재질의 개발을 계속해서 이어오고 있다. 소재 개발 측면에서 가장 보편적으로 알려진 것이 알루미늄 증착필름이다. 알루미늄박이 주는 산소투과도와 수분투습도 차단 성능을 100% 구현할 수는 없지만 제품의 용도에 따라 적용 가능한 품질수준에서는 이미 해당 소재를 사용해 포장재를 적용하고 있다. 그리고 대체 가능한 제품의 용도 범위를 더 확장해 나가고 있다.

시대가 흐르면서 코팅 액에 대한 개발과 증착기술의 발

전이 이뤄졌기 때문에 증착 필름의 Barrier특성도 더 진보할 수 있었기 때문이다. 아쉬운 부분은 가격적인 부분에서 알루미늄박의 벽을 넘기가 쉽지 않은 부분이 있기 때문에 이 점은 포장재를 사용하는 고객사와 함께 풀어나가야 할 과제라 판단된다. 최근 업체들의 개발 방향은 어떠한가?

High Barrier 증착필름을 개발하던 것에서 더 나아가 이제는 재활용성을 높이기 위한 단일재질 포장재 개발에 발맞춰 소재 및 관련 기술 개발을 하고 있다.

알루미늄박을 대체하더라도 여전히 복합재질 구성인 경우가 많기 때문에 거시적인 관점에서는 친환경성이 떨어진다고 할 수 있기 때문이다. (아직 국내는 재활용 용이성에 대한 표기에서 규제가 강하지 않다.)

관련 업계는 이제 복합재질 구성을 탈피해 전체 구성을 단일재질로 할 수 있도록 하는 방향으로 가고 있다. 이미 유럽을 비롯한 해외시장은 친환경 관련 규제가 국내보다 강하며 규제의 영향을 받고 있다. 그에 발맞춰 글로벌 관점과 장기적인 시야를 가

지고 많은 관련 업체들은 준비 및 대응을 하고 있다.

알루미늄박의 대체재 역할을 할 수 있는 증착 필름의 소재가 지금까지는 PET와 CPP 필름 위주로 치중돼 있었지만 이제는 PE, OPP, 종이에 이르기까지 Base 기재를 다양하게 바꾸면서 연구개발을 하고 있다.

증착기술을 접목하지 않고 코팅액 개발 및 코팅기술, 공압출 필름화 기술 접목을 통해 다양하게 단일재질의 포장재질 구성을 시도해볼 수 있도록 다각도로 개발이 이뤄지고 있다.

III. 결론

지금까지 포장소재 중 중요한 역할을 가지고 있는 알루미늄, 범위를 좁히면 알루미늄박에 대해 포커스를 맞춰 내용을 다뤄 보았다.

소재만으로 보았을 때 알루미늄 박은 제조되기까지 에너지 사용이 많고 탄소배출이 많아 환경적인 측면에서 문제가 있을 수 있다. 그러나 재생에너지 생태 구축과 탄소배출 저감을 위한 무탄소배출 기술 등의 발전으로 거시적인 관점

에서는 환경 영향을 많이 줄여나갈 수 있으리라 본다. 최근 전기자동차의 경량화를 통한 에너지효율을 높이기 위한 목적으로 철의 대체재로 사용되면서 친환경에 기여할 수 있다는 점에서 친환경 소재로 오히려 주목받고 있다. 하지만 포장재 용도로 사용돼 복합 재질 구성이 되는 경우엔 한해서는 재활용 산업이 덜 발달된 국내 상황에서 사용을 줄이는 AL Free 재질 구성의 확대 및 재활용성을 높일 기술 개발이 더 이뤄져야 할 것으로 보인다. 단순히 기술개발만이 능사는 아니라 본다. 과거와 달리 필자가 느끼기에 소재개발 수준이 많이 올라갔고 일정 시점에는 벽에 부딪히지 않을까 하는 생각이 든다.

포장재, 소재 제조업체만 움직여서는 한계가 있고 포장재를 사용하는 업계와 더 나아가 소비자의 인식 등이 바뀌고 그에 발맞춰 정부도 움직여야 한다고 본다.

서두에 밝혔듯이 대외환경이 좋지 않지만 그래도 후손들을 위해 관련 연구개발을 끈기를 가지고 해 나가야 할 것이다. 