

Solving Reliability Problems of Transfer Molding Press Equipment Using TRIZ Contradictions

TRIZ의 모순을 이용한 트랜스퍼 몰딩 프레스 장비 신뢰성 문제 해결

Soo Yeon Ko¹, Yong Won Song², Hong Kyun Shim³, Yong Mun Jeon⁴, Seong Min Seo⁵

고수연¹, 송용원², 심홍균³, 전용문⁴, 서성민⁵

¹ Engineer, SK Hynix Semiconductor Co., Ltd., Korea, arijin@naver.com

² Professor, Dept. Nano & Semiconductor Engineering, Tech University of Korea, Korea, ywsong@tukorea.ac.kr

³ Engineer, SK Hynix Semiconductor Co., Ltd., Korea, shimdnbb@naver.com

⁴ Engineer, SK Hynix Semiconductor Co., Ltd., Korea, ymjun99@gmail.com

⁵ Engineer, SK Hynix Semiconductor Co., Ltd., Korea, miniseo0101@naver.com

Corresponding author: Yong Won Song

Abstract: Demand for high-performance semiconductors is increasing as related industries develop with the commercialization of METAVERSE and Chat GPT. Such high performance semiconductors are manufactured with great precision. A very small problem in precision manufacturing can be catastrophic. Therefore, the root cause of any problem that occurs in the semiconductor manufacturing process is found and eliminated. This paper deals with cases of production defects caused by leakage of epoxy mold compound (EMC), which is a molding resin in the encapsulation process, which is one of the semiconductor post-processes. In order to find the root cause of low temperature and melting point, we used functional analysis and CECA (Cause-effect chain analysis) analysis, which are representative analytical methods of TRIZ. The effects of various influencing factors were functionally created, functional diagrams showing interactions were created and classified, and the causes of influencing factors were found based on the classified contents and analyzed in detail by CECA analysis. The analyzed true cause derives physical contradiction based on technical contradiction, utilizes part-whole separation principle to transform pellet-like EMC into powder form, low viscosity while maintaining existing process temperature presented a concrete solution that can be transformed into a melt of As a result, leakage of the epoxy mold compound was dramatically improved, thus improving the reliability of the injection fluidity test.

Keywords: EMC, TRIZ, Cause-effect Chain Analysis, Semiconductor.

요약 : METAVERSE와 Chat GPT의 상용화에 따른 관련 산업이 발달함에 따라 고성능 반도체의 수요 또한 증가하고 있다. 이러한 고성능 반도체는 매우 정밀하게 제조된다. 정밀한 제조에 아주 작은 문제의 발생은 치명적이다. 이러한 이유로 반도체 제조공정에서 발생하는 문제는 모두 근본 원인을 찾아 제거해야 한다. 본 논문에서는 반도체 후공정 중 하나인 인캡슐레이션(Encapsulation) 공정의 성형 수지인 에폭시 몰드 컴파운드(EMC : Epoxy Mold

Received: May 20, 2023; 1st Review Result: June 25, 2023; Accepted: August 25, 2023

Compound) 누출 발생에 따른 생산 불량 사례를 다루고 있다. 낮은 온도와 용융점이라는 근본 원인을 찾기 위해 TRIZ의 대표적 분석 방법인 기능 분석과 CECA(Cause-Effect Chain Analysis) 분석을 이용하였다. 여러 가지 영향 인자들의 기능적 상호 작용을 나타내는 기능도를 작성하여 영향을 분류하였으며, 분류된 내용을 바탕으로 영향 인자의 원인을 찾아 CECA 분석으로 세밀하게 분석하였다. 분석된 참 원인은 기술적 모순을 바탕으로 물리적 모순을 도출하였으며, 부분과 전체의 분리 원리를 활용하여 펠릿(Pellet) 형태의 EMC를 분말(Powder) 형태로 변형시켜 기존 공정 온도를 유지하면서 낮은 점도의 용융물로 변형시킬 수 있는 구체적인 해결안을 제시하였다. 그 결과 EMC의 누출이 획기적으로 개선되었으며, 그에 따른 사출물(Spiral Flow) 유동성 검사의 신뢰성이 향상되었다.

핵심어: EMC, 트리즈, 원인결과분석, 반도체

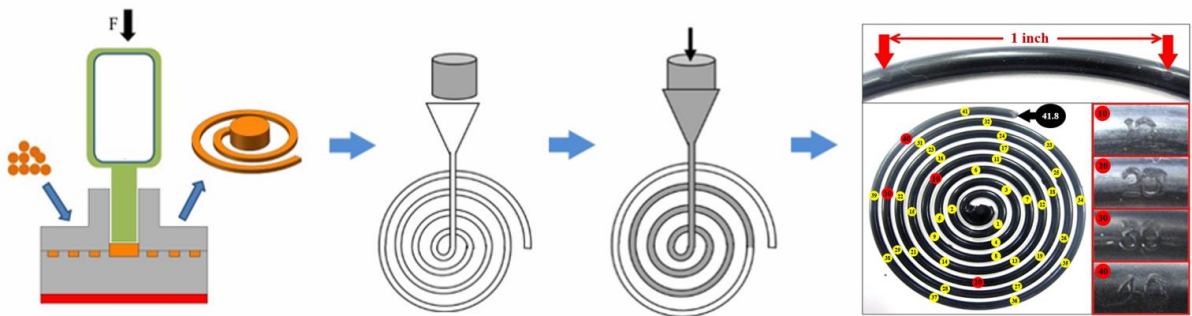
1. 서론

현시대의 반도체 제품은 Chat GPT 등의 높은 지능형 대화 서비스의 발달로 고도의 성능 개발이 요구되고 있다. 고성능이면서 작은 크기의 반도체가 개발되면서 내부 회로는 매우 얇은 두께인 50nm ~ 20nm 선폭을 이용하는 고집적도 적층화 방식의 3D 반도체 소자가 개발되고 있다[1]. 고성능 반도체의 연구개발이 완료되면 고부가가치의 추구를 위하여 고품질 반도체의 대량생산이 빠르게 이루어진다. 반도체의 제조는 크게 8대 공정으로 나뉘며 웨이퍼(Wafer) 제조, 산화, 포토, 식각, 증착 및 이온 주입, 금속 배선의 6가지 공정을 전공정(Front-End), 웨이퍼 자동 선별 (Electrical Die Sorting), 패키징 (Packaging)의 2가지 공정을 후공정(Back-End)으로 분류한다. 이러한 8대 공정 내에서도 세부적으로 분류된 몇 백 가지의 공정을 거치면 완전한 반도체가 생산된다[2]. 8대 공정의 후공정 중 하나인 패키징 공정에도 여러 세부 공정이 존재하는데 그 중 반도체를 봉합하기 위해 특수 물질로 코팅하는 인캡슐레이션 공정에 사용되는 EMC의 유동성 검증에서 문제가 발생하였다. 유동성에 문제가 발생하면 공정진행에 미세한 오차가 발생하며, 이 오차로 인하여 불량품이 발생한다. 불량품의 발생은 곧 기업의 신뢰성 하락과 이익의 감소를 초래한다. 본 논문에서는 유동성 검증에서 발생하는 문제를 해결하고 개선을 진행한 연구 사례를 다루고 있다.

1.1 에폭시 몰드 컴파운드 유동성 검증 (Epoxy Mold Compound Spiral Flow Test)

와이어 본딩(Wire Bonding)까지 진행된 반도체 칩(Die)을 봉입하는 인캡슐레이션 공정은 반도체 칩을 외부 환경으로부터 보호하기 위해 특정 물질로 감싸주는 공정이다[3]. 이 공정에서 사용되는 EMC는 레진(Resin : 충전재) 외 경화제 등의 첨가물이 혼합된 열경화성 물질로 이루어져 있으며 제품을 외부 충격 및 이물질로부터 보호하는 역할을 한다. 또한 고유의 열팽창 계수의 특성으로 제품 온도에 따른 팽창과 수축을 구현하여 완제품 내부의 열을 분산시키고 응력을 강화할 수 있어 공정 진행에 필수적으로 사용되는 봉입 재료이다. 이렇게 인캡슐레이션 공정에서 반드시 필요한 주재료인 EMC는 양질의 제품 생산을 위해 물질 특성인 유동성 및 차폐력이 항상 일정 수준으로 유지되어야 한다. 이를 위하여 수준의 변화를 확인할 수 있도록 인캡슐레이션 공정 전 IQC(Incoming Quality Control) 공정에서 사출물 유동성 검사를 진행한다[그림 1]. 이 검사는 펠릿 형태의 EMC를 일정

온도에서 용융하여 나선형의 사출물을 형성시킨 후 유동성을 수치화하는 방식으로 진행된다. 이는 실제 제품에 EMC를 봉입하였을 경우 높은 유동성이나 원활한 주입 형태를 이루는지를 소량의 견본(Sample)으로 선 검증하여 제품 불량을 미연에 방지할 수 있는 중요한 신뢰성 표준 시험이다. 사출물 유동성 판정에서 가장 중요한 요소는 유동성이다. 여기서 유동성이란 일정한 양의 EMC가 용융되었을 때 의도한 형태로 원활하게 흘러가는 정도로 정의할 수 있는데 이를 정확하게 수치화하기 위해서는 반드시 공정 조건과 동일한 온도와 압력, 견본의 형태가 유지되어야 한다. 또한 견본으로 사용되는 EMC는 전량이 온전히 사출물을 형성하는데 소진되어야 한다. 만약 견본 EMC의 전량이 용융되지 않을 경우 사출물 형성에 영향을 주게 되며, 유동성의 값을 변화시킨다. 이를 해결하기 위해 기존 검사에서 실리콘 패드(Silicone Pad)로 사출기(Transfer Mold Press Machine)의 틈을 충전하는 해결안을 시도하였으나 오히려 실리콘 패드가 온도 전달을 방해하여 EMC가 거의 용융되지 않는 문제점이 발생하였다. 그 외 트랜스퍼 홀(Transfer Hole)의 크기를 임의로 조절하여 트랜스퍼(Transfer)와 트랜스퍼 홀 사이의 틈(Gap)을 축소하였으나 마찰로 인하여 트랜스퍼의 마모도가 급격히 상승하였다. 이를 개선하기 위해 윤활제를 투입하여 마찰 반응은 축소되었으나 사출물에 이물질이 혼입되어 형태 자체가 형성되지 않는 양상이 발생하였다. 충전제의 오염은 곧 생산 불량과 직결되는 근본적인 문제이므로 이를 제거하기 위해서 일반적인 문제 해결 방법을 강구하여 보았으나 문제가 해결되지 않아 창의적 문제 해결 방법인 트리즈를 이용하여 해결안을 도출하였다.



[그림 1] EMC 사출물 유동성 검사

[Fig. 1] Epoxy Mold Compound Spiral Flow Test Process

1.2 TRIZ (Teoriya Reshniya Izobretatelskikh Zadatch)

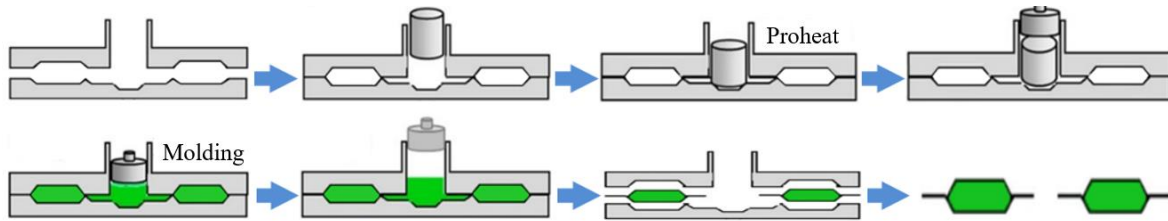
창의적 문제 해결 이론인 트리즈(Theory of Inventive Problem Solving, TRIZ)는 러시아의 발명가 겐리히 알츠슐러(Genrich Altshuller)가 자국의 특허청에 등록된 약 100만여 건의 특허를 분석하여 난이도에 따라 5단계로 분류 후 높은 난이도인 3단계에서 5단계 수준의 문제 해결 방법을 분석하여 공통 원리를 추출하여 만든 이론이다[4]. 문제 분석 단계에서의 9-Windows, 시스템 자원 분석, 기능 분석, 물질 - 장 분석, 및 문제 해결 단계에서의 이상적인 최종 결과(IFR : Ideal Final Result), 76개의 표준해, 모순 매트릭스, 40개의 발명 원칙, 분리 원칙, 기술 시스템의 진화 법칙 등 매우 다양하다[5]. 진화 패턴에 기반을 둔 미래 예측 방법은 분석가의 주관적인 관점이 아닌 객관적으로 미래 기술을 예측할 수 있게 도와준다[6]. 문제 분석 방법인 CECA 분석은 반도체 산업에서

문제 해결에 많이 사용이 되고 있다. 또한 기술적 모순과 물리적 모순 및 IFR을 기반으로 문제를 해결할 수 있는 프로세스 기반의 문제 해결 모듈이 구현되어 있어 기업에서 관심이 많은 문제 해결 방법이다[7]. 이러한 여러 가지 방법으로 TRIZ는 문제를 체계적으로 분석할 수 있으며, 과학적이며 논리적으로 문제를 해결할 수 있도록 도와준다[8]. 또한 모든 산업군 특히 미세 공정의 생산 현장에서 발생하는 문제를 체계적으로 분석하여 다양한 해결안을 도출할 수 있는 유용한 도구임이 증명이 되고 있다[9].

2. 문제 개요

2.1 EMC 사출물 제작

EMC IQC 공정에서는 크게 EMC의 유동성, 수지화 시간(Gel Time), 비중(Specific Gravity)에 대한 검사를 진행하며 그 중 유동성 검사는 사출물을 제작하여 확인한다. 소량의 견본 EMC를 사출기에 투입하면 트랜스퍼와 상부 열판의 온도로 펠릿 형태의 EMC가 액체 상태로 용융된다. 용융된 EMC는 장비 내부에 설치된 나선형 금형으로 이동하게 되며 일정 시간이 지나면 다시 고체의 상태로 경화되고 나선형의 사출물이 제작된다[그림 2]. 사출물에는 일정 구간마다 길이를 나타내는 숫자가 부각되어 있고 이를 해석하여 길이를 수치화하고 유동성의 대소를 판단한다. 사출물의 형태나 숫자 부각이 불명확할 경우 결과 값이 오염될 수 있어 투출된 사출물이 경화된 후 형태 및 부각 정도를 확인해야 하며 [표 1] 항목을 만족하여야 한다.



[그림 2] EMC 나선형 사출물 제작 과정

[Fig. 2] Epoxy Mold Compound Spiral Flow Production Process

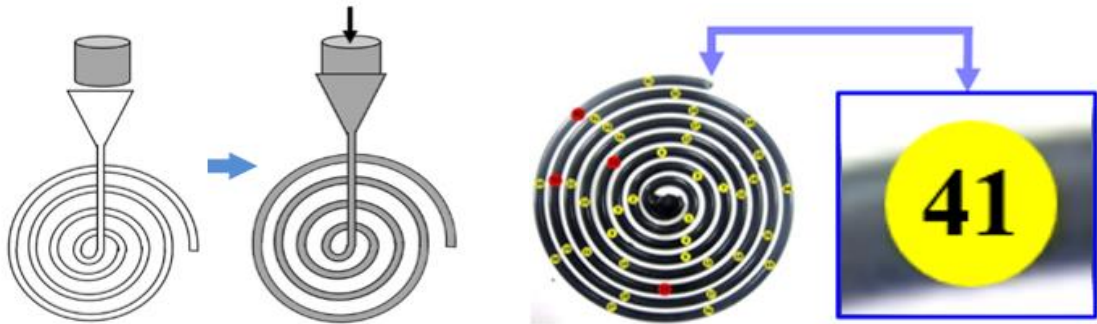
[표 1] EMC 나선형 사출물 외형 판정 항목

[Table 1] Epoxy Mold Compound Spiral Flow Appearance Judgment Item

Mode	판정 항목	판정 방법
Formative(형성)	사출물의 어느 부위에서도 미형성이 발생하면 불량이다.	육안검사 (Visual inspection)
Carbonization(탄화)	사출물의 어느 부위에서도 Carbonization이 발생하면 불량이다.	
Crack(금감)	사출물의 어느 부위에서도 Crack이 발생하면 불량이다.	
Etching(부각)	부각이 150mm 이내에서 육안으로 판별되지 않을 경우 불량이다.	
Porosity(다공)	사출물의 숫자 부각 부위에 다공이 발생하면 불량이다. 사출물의 1 inch 구간에서 다공이 1개 이상 발생하면 불량이다.	

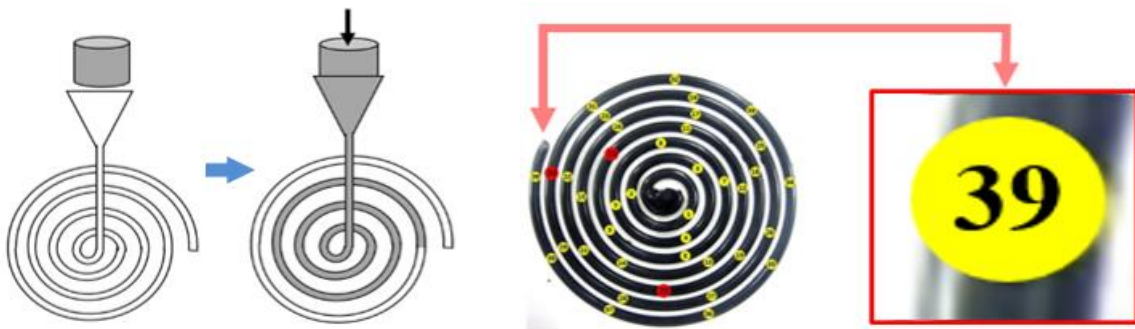
2.2 문제 상황

건본 EMC가 사출기의 트랜스퍼 홀로 투입되면 트랜스퍼의 압력과 온도, 상부 열판의 온도, 금형의 온도로 인하여 액체(Gel) 형태로 용융되기 시작한다. 용융된 액체의 EMC는 금형사입구로 흘러가게 되고 금형 내부의 설계대로 외형이 형성된다. 일정 거리를 흘러간 액체의 EMC는 투출되어 경화되지 않고 금형 내부에서 경화되며 설정한 경화시간(Cure Time)이 지나면 사출물이 형성된다. 이 과정에서 건본 EMC는 전량이 온전히 사출물을 형성하는데 소진되어야 수치에 대한 신뢰성이 확보된다[그림 3]. 문제는 투입된 건본 EMC에 트랜스퍼 플런징(Plunging)이 가해지는 순간 트랜스퍼와 트랜스퍼 홀 사이의 미세한 틈으로 일부 건본 EMC가 누출되어 미충진된 사출물이 투출된다[그림 4].



[그림 3] 이상적인 EMC 나선형 사출물

[Fig. 3] Ideal Epoxy Mold Compound Spiral Flow



[그림 4] 미충진된 EMC 나선형 사출물

[Fig. 4] Unfilled Epoxy Mold Compound Spiral Flow

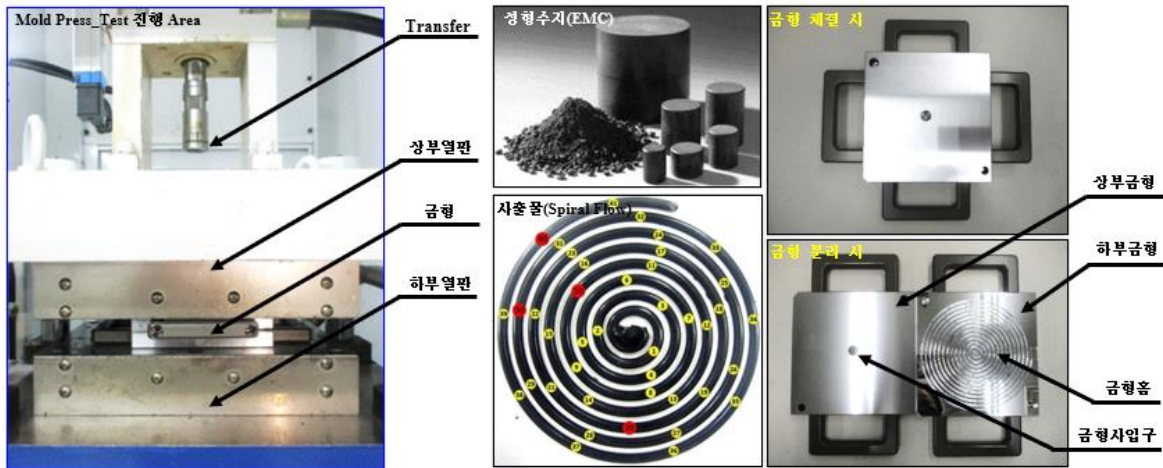
틈을 줄여 누출을 제어하는 방법을 실시할 수 있으나 사출기 변형이 필요하여 불가능하다. 그 외 트랜스퍼 및 사출기의 압력(70kgf/cm^2) 및 온도 ($175^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$), 진행 시간 (120sec)의 경우 제조 공정 조건과 동일한 상태에서 진행되어야 하므로 임의적인 변경은 불가능하다. 검사 조건과 제조 공정 조건을 동일하게 적용하며 문제를 해결해야 하는 규제 조건이 있는 문제이다.

3. 문제 분석

3.1 시스템 기능 분석 (System Functional Analysis)

3.1.1 구성 요소 분석

자세한 문제 분석을 위하여 기능 분석을 먼저 진행하였다. 기능 분석은 시스템을 구성하는 각 요소의 역할 분석 이후 관련 부품들의 상호 연관 관계 분석을 통하여 더욱 정확하고 빠르게 문제를 확인할 수 있는 트리즈의 문제 분석 기법이다[10]. 시스템의 구성요소를 정의하여 각 구성요소를 분석하였으며 [그림 5] [표 2], 정상적인 상태에서의 프로세스 구성도 [그림 6]를 작성하였다.



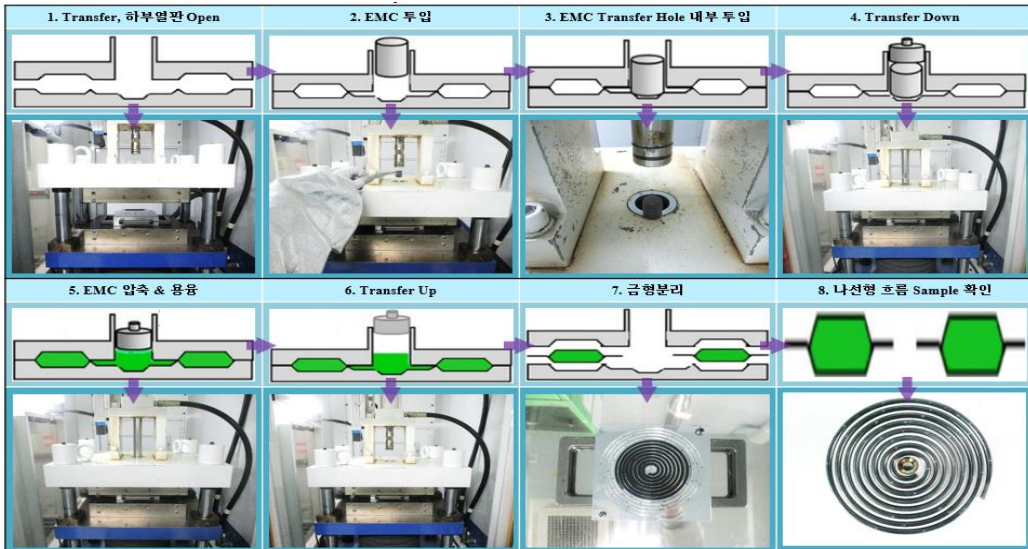
[그림 5] 시스템 구성 요소

[Fig. 5] System Component

[표 2] 구성 요소 분석

[Table 2] Component Analysis

EMC	압력과 열에 의해 성질이 변화하여 금형과 동일한 형태로 변함
트랜스퍼	EMC의 위치를 이동, 압착
금형사입구	금형 내부로 EMC 수지를 흘려보내도록 상부 금형에 뚫린 Hole
금형 홈	하부 금형에 나선형 모양으로 오목하게 팬 줄
사출물	나선형 흐름 견본을 제작하여 그 길이로서 유동성을 판단함
상·하부금형	녹은 EMC를 금형 내부 모양대로 고정함
상·하부열판	장비에 설정된 온도만큼 금형에 온도를 전달하며 금형 위치를 고정함

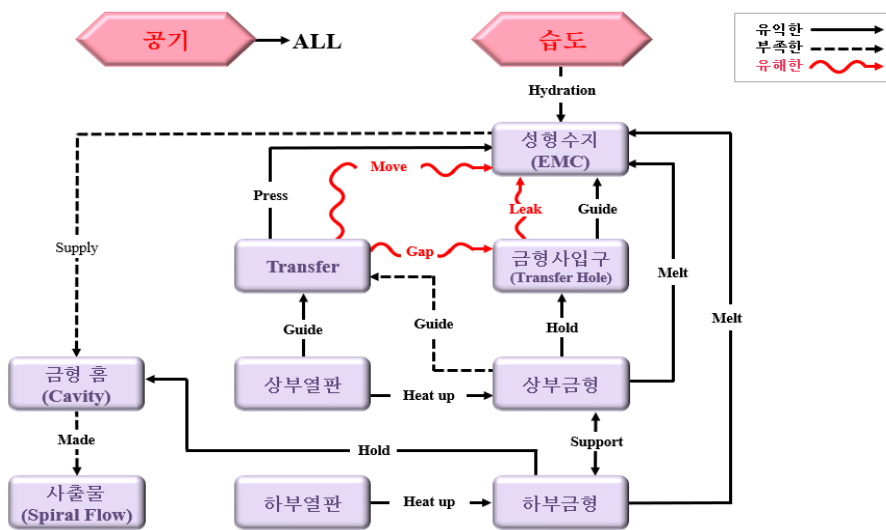


[그림 6] 프로세스 구성도

[Fig. 6] Process Diagram

3.1.2 기능 분석

각 구성요소의 작용을 바탕으로 연관성 확인이 가능한 기능도를 이용하여 분석을 진행하였다. 기능도는 각 요소간의 결합과 그로 인한 영향의 상호작용 여부를 화살표와 함께 직관적으로 확인할 수 있는 TRIZ의 대표적인 문제 분석 방법이다. 프로세스 구성도를 바탕으로 각 구성요소의 유익 / 유해 / 부족 작용 3가지로 분류하였으며, 문제 발생 시점의 기능도 [그림 7]를 작성하여 비교 분석을 진행하였다. EMC는 트랜스퍼가 압력을 가하는 시점에 금형사 입구에서 용융되어 금형 홈으로 모두 이동되어 사출물로 형성되어야 한다. 그러나 금형사입구에서 완전히 용융되지 않은 EMC로 인하여 누출이 발생하며, 모두 금형 홈으로 이동이 되지 않아 사출물의 미충진이 발생된다. EMC의 누출 문제는 트랜스퍼와 금형사입구 사이의 틈으로 인하여 발생한다는 것을 확인하였다.



[그림 7] 문제 발생 기능도

[Fig. 7] Function Diagram of Roblematic State

3.2 근본 원인 분석 (Root Cause Analysis)

문제 발생 시점인 Operating Time(OT)과 문제 발생 영역인 Operating Zone(OZ)을 확인하기 위해 기능도 분석을 바탕으로 근본 원인 분석을 실시하였다[표 3]. 근본 원인 분석은 What, Where, When, Why의 4W를 이용하여 분석하는 기법이다.

[표 3] 근본 원인 분석

[Table 3] Root Cause Analysis

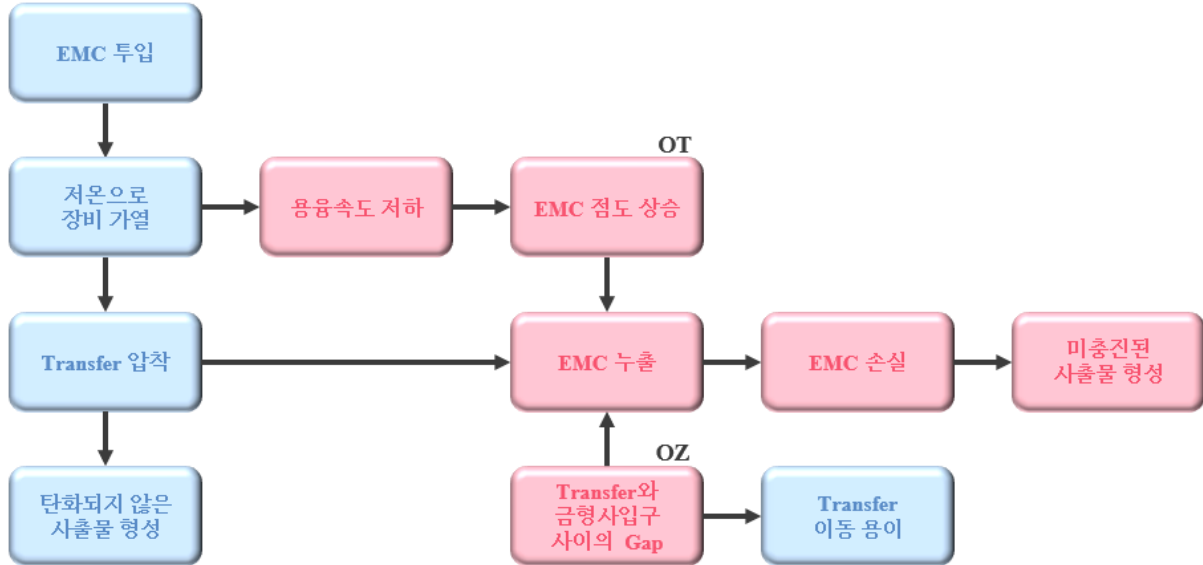
무엇이 (문제가 무엇인가?)	EMC 가 누출되어 나선형 흐름 견본에 미 충전이 발생
어디서 (문제가 어디서 발생하는가?)	금형사 입구 (OZ : Operating Zone)
언제 (문제가 언제 발생하는가?)	트랜스퍼가 EMC에 압력을 가하는 순간 (OT : Operating Time)
왜 (문제가 왜 발생하는가?)	액체가 된 EMC가 금형사 입구를 통하여 금형 내부로 흘러가야 하나 트랜스퍼 틈으로 누출되어 누출된 양만큼 나선형 흐름 견본에 미충진이 발생함

3.3 인과관계 분석 (Cause-Effect Chain Analysis : CECA 분석)

용융되지 않은 EMC의 누출을 자세히 파악하기 위해 TRIZ의 인과관계 분석(Cause-Effect Chain Analysis : CECA)을 실시하였다. CECA 분석은 여러 가지 원인 인자를 순서대로 나열하여 영향인자를 체계적으로 분석하는 기법이다. 인과관계에서 문제가 발생하는 시간 Operation Time(OT)과 문제 발생 영역인 Operation Zone(OZ)을 분석하여 문제 해결방법을 더 쉽고 정확하게 도와줄 수 있다[11]. 높은 검사 신뢰성 확보를 위해 공정과 동일한 조건으로 장비를 낮은 온도에서 가열한 후 EMC를 투입하였다. 낮은 온도에서 용융된 EMC는 탄화되지 않은 정상적인 사출물이 형성된다. 그러나 낮은 온도의 특성으로 인하여 EMC의 용융 속도는 저하되고 용융이 완료된 EMC와 용융되지 않은 EMC가 발생한다. 용융되지 않은 EMC는 높은 점도를 가지며 트랜스퍼의 압착이 진행되면 금형사 입구로 투입되지 못하고 트랜스퍼의 틈으로 누출이 발생한다. 그로 인한 손실로 문제 상황인 미충진된 사출물이 형성되었고 그 결과 유동성 검사 신뢰성 하락의 문제점을 확인할 수 있었다. 사출물이 탄화되지 않으면서 EMC 손실 양상을 제거할 수 있는 방법이 필요하였다.

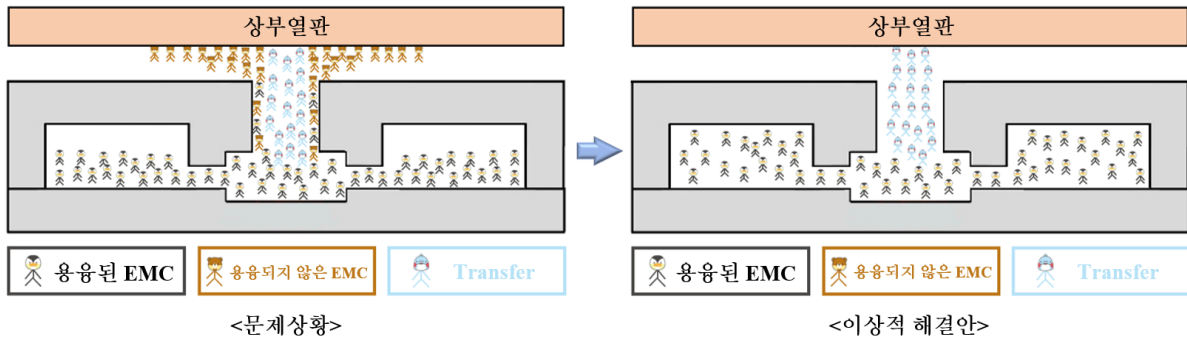
진행된 문제 분석을 바탕으로 과제를 정의하였다. 문제는 낮은 온도에서 완전히 용융되지 않은 EMC를 트랜스퍼가 압력을 가하면서 발생하였다. 완전히 용융되지 않아 점도가 높은 EMC에 트랜스퍼가 압착을 가하면 일부는 정상적으로 금형 안으로 이동되지만, 나머지 EMC는 좁은 금형사입구를 통과하지 못하고 트랜스퍼와 금형사입구 틈으로 누출된다. 이 틈은 트랜스퍼 이동의 용이성을 위해서 반드시 유지되어야 하는

요소이다. 점도가 낮아지면 액화된 EMC가 좁은 금형사입구로 더 잘 이동되어 틈으로의 누출이 발생하지 않을 것으로 예상하였고 점도 변화와 밀접한 연관이 있는 용융 속도의 저하를 주된 원인으로 규명하였다. 낮은 온도에서도 저점도를 유지하기 위해 용융 속도를 가속하여 EMC 누출을 제거하는 방법을 강구해야 한다[그림 9].



[그림 8] 인과관계 분석

[Fig. 8] Cause-Effect Chain Analysis



[그림 9] 과제 정의

[Fig. 9] Task Definition

4. 문제 해결

4.1 이상적 해결안(IFR : Ideal Final Result) 및 기술적 모순

이상적 최종 결과는 기존 시스템의 장점은 그대로 유지하면서 단점은 제거한 이상적 해결안을 의미한다. 각각의 기법을 적용하여 이상적인 해결안을 탐색한다[12]. 기술적

모순이란 하나의 시스템에서 한 가지 특성을 개선했을 때 다른 특성이 나빠지거나 새로운 문제가 발생하는 어려운 문제를 의미한다[13]. 유동성 검증을 위한 사출물 제작 시 저온으로 EMC를 용융할 경우 출물이 탄화되지 않아 신뢰성이 확보된다. 하지만 충분히 낮은 점도를 가진 상태로 변화되지 않은 EMC 용융물은 트랜스퍼와 금형사입구 사이의 미세한 틈으로 일부 누출되어 미충진된 사출물이 형성된다. 충전된 사출물 형성하기 위해서는 다 회의 검사를 진행해야 하며 이로 인하여 생산성이 저하된다. 반대로 고온으로 EMC를 용융하게 되면 낮아진 점도로 인해 누출이 발생하지 않아 단 회의 검사로 충전된 사출물이 형성되어 생산성이 향상된다. 하지만 동시에 높은 온도 때문에 사출물이 탄화하여 신뢰성이 저하된다. 본 과제는 신뢰성 확보에 그 목적이 있으므로 저온으로 EMC를 용융하는 동안 누출 반응을 제거하여 생산성을 향상시킬 수 있는 개선 방안을 찾아야 한다[그림 10].



[그림 10] 기술적 모순

[Fig. 10] Technical Contradiction

저온 EMC 용융중에 탄화 반응을 제거하기 위하여 각각의 특성을 TRIZ의 39가지 공학 변수로 변환하여 모순 행렬 표(Matrix)에 대입하였다. 기술적 모순에서 개선하려는 특성은 27. 신뢰성이며 악화하는 특성은 39. 생산성이다. 대입 결과 1. 분할/세분화, 10. 사전조치 / 예비 작용, 35. 속성 변환/특성 변환, 38. 강산 화제 / 산화 가속의 방법을 확인하였다[표 4]. EMC의 속성 및 특성을 변환하거나 산화 처리를 할 수 없으므로 10. 사전조치 / 예비 작용을 사용하였다. EMC를 사전에 용융하여 액화 후 사출기에 투입할 경우 녹는 동안 발생하는 누출 양상을 제거할 수 있다. 이로써 견본 EMC 전량이 사출물을 형성하는데 소진되고 충전된 사출물을 형성할 수 있다는 방안을 도출하였다.

[표 4] 발명 원리를 이용한 아이디어

[Table 4] Ideas Using Inventive Principles

	악화되는 특성 39. 생산성	해결 방법
개선하려는 특성 27. 신뢰성	10. 사전조치 / 예비 작용	EMC 사전 용융 후 액화된 EMC를 사출기에 투입

4.2 물리적 모순의 분리 원리

기술적 모순 안에 있는 본질적인 물리적 모순을 분석하여 문제를 해결하고자 하였다. 물리적 모순은 문제가 발생하는 특정 요소에서 서로 다른 물리적 상태가 요구되는 것이다[13]. 물리적 모순을 도출하기 위해서는 이 공정에서 원하는 결과를 얻기 위해 요구되는 물리적 상태를 파악해야 한다. 먼저 사출 공정을 효과적으로 진행하여 미충진된 사출물이 발생하지 않게 하기 위해서는 EMC 펠릿을 점도가 낮은 용융물로 만들어야 한다. EMC 펠릿 내부까지 열전달이 잘 되어 점도가 낮은 용융물로 변화시키려면 공정 온도를 높여야 한다. 하지만 온도를 높이면 EMC가 탄화되는 문제가 발생하게 되어 온도를 높일 수 없는 물리적 모순이 발생한다. 탄화가 발생하지 않게 온도를 올리지 않고 EMC 펠릿을 점도가 낮은 용융 상태로 변화시킬 수 있는 물리적 모순을 해결할 수 있는 방법을 찾아야 한다. EMC를 사출기 내부에 장시간 방치하여 더 오래 고온에 노출시켜 완전히 용융된 상태일때 트랜스퍼 압착을 진행할 수 있으나 검사 시 너무 많은 시간이 소요되어 생산성이 나빠져 적용할 수 없다. 시간과 공간 분리를 적용할 수 없는 물리 모순을 해결하는 방법은 부분과 전체 전략이 있다. 즉 EMC 펠릿을 작은 분말 상태로 만들어 입자의 표면적을 늘리면 높은 표면에너지 상태를 유지하게 되어 현재 공정온도, 즉 탄화가 일어나지 않은 상대적으로 낮은 온도에서 저점도의 액상으로 빠르게 용융이 가능하다.

[표 5] 분리 원리를 이용한 아이디어

[Table 5] Ideas Using Inventive Principles

분리 원리	해결 방법
부분과 전체 분리	펠릿 EMC 전체를 분쇄하여 분말 형태의 EMC만 투입한다.

4.3 최종 해결안 도출

문제 해결을 위해 도출한 아이디어의 각 항목별 평가를 진행하였다[그림 11]. 발명 원리, 분리 원리 2가지의 해결안 대한 이상성, 모순 해결 여부, 적용 가능성을 평가하여 점수를 산정하였다. 산정 결과 분리 원리를 사용한 해결안인 펠릿 EMC 전체를 분쇄하여 분말 형태의 EMC 투입이 가장 경제적이며 적용 가능성이 높고 다른 추가 문제를 최소화할 수 있는 아이디어로 평가되어 최종 해결안으로 채택하였다.

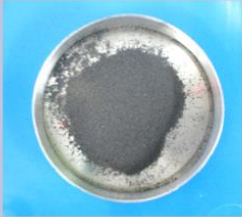


IDEA	No	IDEA 내용	IDEA 평가 (●: 5 / ○: 3 / △: 1)				순위
			이상성	모순 해결	적용 가능성	점수	
	1	EMC를 사전에 용융하여 액화 후 사출기에 투입	○	●	△	9	2
	2	펠릿 EMC 전체를 분쇄하여 분말(Powder) 형태의 EMC만 투입	●	●	●	15	1

[그림 11] 아이디어 평가표

[Fig. 11] Idea Evaluation Sheet

최종 해결안으로 채택한 펠릿 형태 EMC 분쇄 투입의 검증을 위해 추가적인 검사를 진행하였다. 분쇄 강도를 조절하여 EMC 입자의 크기를 세분화하고 각각의 사출물을 제작

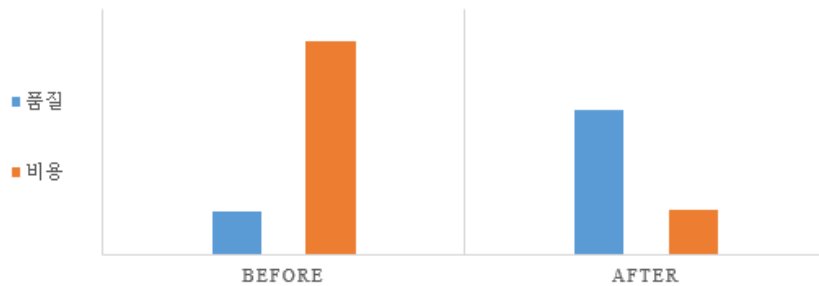
하였다. 최종적으로 분쇄한 EMC 입자 크기에 따른 사출물 길이를 비교하였을 때 입자가 작을수록 기준값에 만족하는 사출물이 제작되어 미충진 양상이 발생하지 않는 결과를 확인하였다. 충전된 사출물이 제작되는 EMC 입자의 지름은 약 0.2mm이고, 분쇄된 EMC로 검사를 진행할 경우 사출물 미충진 양상 제어에 효과적이며 이미 확보된 신뢰성을 기반으로 생산성이 향상되고 비용이 절감되는 결과를 도출하였다[그림 12][그림 13].

No	건본 1	건본 2	건본 3
건본 EMC			
diameter	1.39 mm	0.42mm	0.21mm
사출물 (Spiral Flow)			
inch	39.7 (-1.3)	40.5 (-0.5)	41.8 (+0.8)

[그림 12] 분말 EMC로 제작한 나선형 사출물
 [Fig. 12] Spiral Flow Molded from Powder EMC

Diameter (mm)	1.39	0.42	0.21
S/F Length (inch)	39.7	40.5	41.8
error	-1.3	-0.5	+0.8

[그림 13] EMC 입자 지름과 나선형 사출물 길이
 [Fig. 13] Epoxy Mold Compound Particle Diameter and Spiral Flow Length



[그림 14] 개선 효과
 [Fig. 14] Improvement Effect

5. 결론

EMC의 누출은 획기적으로 감소하였으며 사출물 유동성 검사의 신뢰성이 향상되었다. 생산성은 3배 상승, 불량 감소로 인하여 비용은 30% 정도로 절감하였다. 낮은 온도와 용융점이라는 근본 원인은 TRIZ의 대표적인 분석 방법인 기능 분석과 CECA 분석으로 아주 세밀하고 정확히 분석되었다. 분석된 참 원인은 물리적 모순을 도출하여 부분과 전체의 분리 원리로 해결되었으며 빠르고 적용 가능성이 높은 해결안을 제시함으로써 비용 절감 효과가 극대화되었다. 저자는 해당 논문을 작성하며 최첨단 산업에서도 TRIZ의 대표적인 분석 방법인 기능 분석과 CECA 분석은 참 원인 도출에 매우 효율적이며 기술적 모순과 물리적 모순은 문제 해결 방법을 구상하는데 매우 획기적임을 확인하였다. 또한 본 사례를 통해 창의적 문제 해결론인 트리즈는 다양한 문제를 여러 도구를 활용하여 체계적으로 분석하고 다차원적인 해결안을 제시함으로써 산업 현장의 문제를 획기적이며 경제적으로 해결할 수 있는 방법임이 입증되었다. 저자는 향후 반도체와 같은 초미세 공정에서도 TRIZ를 활용하여 많은 문제를 빠르고 쉽게 해결하는 방안을 강구하여 많은 사람들이 사용할 수 있도록 연구를 계속 진행할 것이다.

References

- [1] D. Y. Kim, Latest semiconductor process technology, The Magazine of the IEEE, (2015), Vol.42, No.1, pp.91-98.
- [2] <https://news.samsungsemiconductor.com/kr/%EB%B0%98%EB%8F%84%EC%B2%B4-%EB%B0%B1%EA%B3%BC%EC%82%AC%EC%A0%84-%EB%B0%98%EB%8F%84%EC%B2%B4-8%EB%8C%80-%EA%B3%B5%EC%A0%95-%ED%95%9C-%EB%88%88%EC%97%90-%EB%B3%B4%EA%B8%B0/>, Jan 16 (2020)
- [3] <https://news.skhynix.co.kr/post/seal-the-package>, Dec 14 (2020)
- [4] Heung-Yeol Na, Myung-Won Song, Young-Taek Park, On the Use of TRIZ Inventive Principles by Industries: Focusing on the Awarded Patents at the Korea Invention Patent Exhibition, Journal of Engineering Education Research, (2019), Vol.22, No.2, pp.28-35.
DOI: <https://doi.org/10.18108/JEER.2019.22.2.28>
- [5] I. M. Ilevbare, D. Probert, Robert. Phaal, A Review of TRIZ and Its Benefits and Challenges in Practice, Technovation, (2013), Vol.33, No.2-3, pp.30-37.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>
- [6] Y. W. Song, Analysis of Technology Evolution Trends for Predicting Future Technologies, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2020), Vol.6, No.10, pp.123-136
DOI: <https://doi.org/10.47116/apjcri.2020.10.10>
- [7] Eun-Gyung Kim, Bon-Chul Koo, Young-Jin Kim, Development of a Software Do-TRIZ for TRIZ Learning, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, (2015), Vol.19, No.8, pp.1883-1892.
DOI: <https://doi.org/10.6109/JKIICE.2015.19.8.1883>
- [8] Yong-won Song, [Special Edition 3] Use of TRIZ for Creative Education, Industrial Engineering Magazine, (2015), Vol.22, No.3, pp.23-27.
- [9] Gwang-jun Lee, Yong-won Song, Hong-kyun Shim, Sang-ook Jun, TRIZ Analysis and Application for Innovation in Semiconductor Packaging Wire Bonding Process, Asia-pacific Journal of Convergent Research interchange, (2021), Vol.7, No.8, pp.1-14.
DOI: <https://doi.org/10.47116/apjcri.2021.08.01>
- [10] Yong-won Song, Gyeong-mo Kim, Seong-hwan Kim, book Creative Problem Solving Theory TRIZ, KSA Media,

(2017), pp.140-158.

- [11] Yong-won Song, Gyeong-mo Kim, Seong-hwan Kim, book Creative Problem Solving Theory TRIZ, KSA Media, (2017), pp.236-244.
- [12] E. G. Kim, Inventive Problem Solving using IFR, Asia-pacific journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities and Sociology, (2016), Vol.6, No.9, pp.473-481.
DOI: <https://doi.org/10.35873/AJMAHS.2016.6.9.044>
- [13] J. S. Hyun, C. J. Park, Classification of Contradiction Relations and their Solving Dimensions based on the Butterfly Model for Contradiction Solving for Physical Contradiction of TRIZ, Knowledge Management Research, (2014), Vol.15, No.4, pp.15-34.
DOI: <https://doi.org/10.15813/kmr.2015.15.4.002>