

# 트리즈 분석방법을 적용한 연구 개발(R&D) 사례

이재열<sup>1\*</sup>, 함성현<sup>1</sup>, 조우영<sup>1</sup>, 송용원<sup>1</sup>

## Application example of TRIZ analysis method on R&D

J.Y. Lee\*, S.H. Ham, W.Y. Joe, Y.W. Song(\*cooljay1123@naver.com)

한국산업기술대학교 나노광공학과<sup>1</sup>

**Key Words** : Research & Development(연구개발), Small People Model(작은사람모델), Su-Field Analysis(물질-장분석), Standard Solution(표준해)

### 1. 서론

연구 활동은 문제선정, 가설수립, 실험계획 및 실험, 측정과 분석, 결과 고찰 및 차기 실험 계획 수립 등의 과정을 포함하고 이 과정은 연구자의 이상적 목표에 도달할 때까지 반복된다. 여기서 분석 결과는 차기 실험조건을 어떻게 수립할지에 대한 중요한 지표가 된다. 하지만 기존의 실험결과에 대한 분석은 연구자의 전문지식과 경험을 바탕으로 선행연구자료와 비교를 통해 이루어지므로 연구자가 소유한 지식영역에 치우치게 만들어 정확한 분석과 이해를 어렵게 한다<sup>(1)</sup>. 따라서 본 논문에서는 연구개발에 트리즈 분석방법을 적용한 사례를 통해 트리즈를 활용하여 체계적인 연구를 수행할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 제시된 연구사례에는 물질-장 분석과 표준해를 사용하여 문제에 대한 가설을 세우고, 작은 사람 모델을 사용하여 실험 과정에서 발생하는 현상을 규명하여 실험결과에 대한 정확한 원인을 파악한 후 표준해를 사용하여 새로운 계획을 수립하는 일련의 과정을 포함하고 있다.

### 2. 본론

계획을 수립하고 실험, 측정, 분석을 통한 연구개발 과정에 체계적으로 트리즈를 적용시킨 사례는 비교적 드문 편이다. 하지만 연구개발 과정에 트리즈를 활용한다면 좀더 체계적이고 창의적인 아이디어를 도출하여 성공적인 결과를 도출하게 될 것이다.

#### 2.1 개념

트리즈는 창의적 문제해결 이론이라는 의미로 특허로부터 문제해결의 규칙성과 원리를 발견하여 절차화한 이론으로서 이상적인 해결안을 도출하고, 창의력 및 문제해결능력을 향상시켜주는 효과적인 도구(Tool)를 제공한다.

Samsung, LG, SK하이닉스, 현대자동차, 인텔, BMW, 포드, 필립스, 파나소닉 등 세계 일류대기업에서도 트리즈 방법론을 채택하여 활용하고 있다. 트리즈 적용의 활용 분야가 다양하게 확장되고 있고 특히 공정시스템 개선, 제품 품질개선과 같은 현장에서 생기는 기술적인 문제의 해결과 개선에 있어서 수많은 성공사례를 보여왔다. 하지만 실험을 통해 가설을 증명하여 새로운 지식을 축적하고 창출하는 연구개발과정에서 트리즈가 구체적으로 적용된 사례는 비교적 찾아보기 어렵다.

계척되지 않은 분야에서의 R&D 과정은 알 수 없는 현상들과의 계속되는 충돌을 겪는다. 연구 개발에 참여하는 연구자가 이러한 충돌에 직면했을 때 그 원인을 정확하게 이해하지 못한다면 원하는 결과를 얻기 위한 가능성 있고 현실성 있는 가설을 세우기 힘들다. 따라서 효과적인 연구개발 수행도 어려울 것이다.

연구개발에 있어 겪게 되는 또 하나의 어려운 문제는 실험 결과에서 생각 예상치 못한 결과나 새로운 현상을 분석하는 것이 어렵다는 것이다. 실험 결과를 정확하게 분석하고 이해하는 것은 다음 실험 계획의 뼈대가 되는 가설을 정확하게 수립하는 것에 있어 매우 중요한 과정이다. 따라서 실험 결과에 대하여 물리적으로 정확하게 이해하고 규명해야 할 필요가 있다.

하지만 연구자들은 자신의 분야에서 연구활동을 진행할 때에 “안다” 라는 착각에 쉽게 빠질 수 있다. 여기서 연구자는 자신이 종사하는 전문분야에 편향되어 주변의 자원과 다른 분야의 지식들을 효율적이게 활용하지 못하여 자신의 능력에 5~25%밖에 사용하지 못하는 심리적인 관성에 빠지게 되고 이것은 정확한 실험을 방해하고 이상적인 결과에 도달하는 것을 어렵게 한다<sup>(1)</sup>.

이러한 일련의 과정에 있어서 트리즈는 문제의 원인을 체계적으로 분석하는 효율적인 도구(Tool)를 제공한다. 트리즈가 제공하는 여러 분석 방법 중 작은사람모델은 미시적인 영역에서 물리적 현상의 이해를 돕는 도구로 효율적이며, 물질-장분석은 물질(도구, 대상)사이에서 작용하는 장(Field)이라는 개념을 사용하여 두 물질 사이에서 발생하는 현상들을 도식화함으로써 관계를 규명하고 이해하도록 도우며 발생하는 문제의 종류에 따라 효과적인 해결 방법을 제시해주는 표준해라는 해결안 모델을 제공한다.

따라서 트리즈의 도구들을 R&D 과정에 효율적으로 사용하여 적용 분야를 확대하고 연구개발 능력을 높일 수 있는 노력이 필요하다.

#### 2.2 사례

우리는 연구개발 실제사례에 트리즈 도구인 물질장 분석, 표준해, 작은 사람모델분석법을 적용하여 진행한 연구개발과제에 대한 사례를 보여주고자 한다.

##### 2.2.1 연구 배경

골절 시 골절부위에 삽입되는 골접합 임플란트(Orthopedic implant)는 골절부위가 완전히 접합될 때까지 골절부위에서 기계적인 지지력을 제공하여 뼈를 고정해주는 역할을 한다.

하지만 기존의 골접합 임플란트는 골접합이 완료되면 제거를 위한 2차수술이 반드시 필요하다. 이러한 2차 수술은 환자에게 심리적 부담감을 안겨주며, 또한 상처부위에 추가 감염의 위험이 있다(Fig1).



**Fig.1** Insertion and removal process of orthopedic implant

그래서 최근 생분해성 임플란트(Biodegradable implant)가 활발히 개발되고 있다. 생분해성 임플란트는 골절부위에 삽입되어 일정기간 골절부위에 기계적 지지력을 제공해주다가, 골 접합이 완료되면 몸 속에서 자연적으로 분해되어 체내에 흡수 및 배출되어 기존의 임플란트가 갖고 있는 2차 수술의 단점을 극복할 수 있는 차세대 골 접합 임플란트이다.

생분해성 임플란트의 재료로 사용되는 마그네슘은 인체의 구성성분으로서 생체적합성이 우수하고 가벼우면서도 튼튼한 특성인 비강도가 높으며, 뼈와의 탄성계수가 비슷하여 기존의 골 접합 임플란트가 가지고 있었던 고질적인 문제인 응력차폐현상을 방지하는 등 생분해성 임플란트로서 매우 좋은 장점들을 많이 가지고 있다.

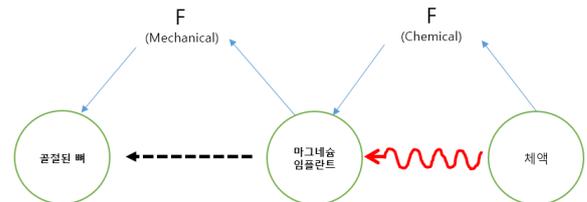
하지만 마그네슘은 표준전극전위가  $-2.37\text{eV}$ 로서 골 접합 임플란트로 사용되는 다른 금속들(티타늄, 코발트-크롬, 스테인레스스틸)보다 체내환경에서 부식이 매우 빠르게 진행된다는 치명적인 단점이 있다. 체내에서 매우 빠른 부식이 일어날 경우 부식과정 중 발생하는 수소의 양이 매우 많아져 주변 조직의 괴사를 유발하고, 골 접합이 완료되기도 전에 지지력을 잃어버려 골 접합 임플란트로서의 기능을 수행할 수 없게 된다.

생분해성 임플란트로서의 치명적 단점인 마그네슘의 빠른 부식속도를 조절하기 위해서 마그네슘을 기반으로 한 새로운 합금개발 연구가 활발히 진행되고 있지만 인체에 무해한 구성 요소만 사용하여 합금을 만들어야 하는 기술적인 제한이 있으며 실질적인 연구개발기간이 매우 길다.

### 2.2.2가설 수립 (물질-장 분석, 표준해)

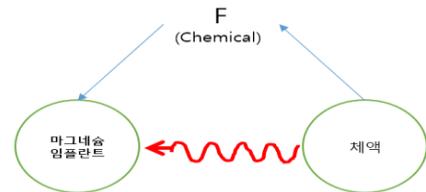
우리는 생분해성 임플란트의 부식속도를 조절하는 방법에 대한 가설을 세우기 위해 임플란트의 체내 부식 과정을 물질-장 분석법으로 분석하여 체내 부식 과정의 관계를 규명하고 표준해를 통해 해결안을 도출하였다.

물질-장 분석에서 생분해성 임플란트의 체내 부식과정에서 반응에 관여하는 물질은 (1)마그네슘 임플란트, (2)체액, (3)골절된 뼈 이다. 이 물질들의 관계를 물질-장 분석법을 사용해 분석해보면 첫째, 상호작용하는 두 물질은 부식속도가 제어되지 않은 마그네슘 임플란트(Substance)와 골절된 뼈(Object)로 구성되고 이 두 물질 사이에 작용하는 장(Field)은 지지력이 포함되는 기계장(Mechanical Field)이다. 두 번째로 상호작용하는 두 물질은 체액(Substance)과 마그네슘 임플란트(Object)으로 구성되며, 두 물질 관계에 작용하는 장(Field)은 화학장(Chemical Field)이다. 여기서 체액(Substance)이 마그네슘 임플란트(Object)를 빠르게 부식시키는 유해한 작용을 한다. 두 번째 상호 작용에서 마그네슘 임플란트(이 작용에선 Substance가 된다)는 골절된 뼈(Object)에 작용하는 지지력(Mechanical Field)을 충분히 제공하지 못하기 때문에 불충분한 작용으로 표시되며 도식화 하면 다음 Fig. 2와 같다.



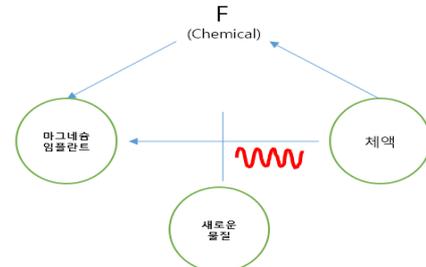
**Fig.2** Su-Field analysis model between fractured bone, magnesium implant and body fluid

여기서 유해한 작용이 일어나는 체액(Substance)과 마그네슘 임플란트(Object)의 상호관계를 주요 Conflict Triad(문제 삼각형 모델)로 선정하여 문제를 분석하였다 Fig. 3.



**Fig.3** Selected Conflict triad from Su-Field analysis

물질과 물질 사이에 유해한 현상이 발생하는 Conflict Triad모델에는 ‘표준해3과 표준해4를 적용하여 체계적으로 해결안 아이디어를 도출할 수 있다<sup>(2)</sup>. ‘표준해3’은 도구와 대상 두 물질 사이에 물질(New Substance)을 도입하여 유해작용을 제거하는 모델이며, ‘표준해4’는 새로운 장(New Field)를 도입하여 문제를 해결하는 모델이다. 이 두 가지 모델 중 우리는 두 물질 사이에 새로운 물질(New Substance)을 도입하는 ‘표준해3’을 적용하여 해결안을 도출해 보았다.



**Fig.4** General solution of 'Standard Solution 3' model

표준해는 해결안의 개념을 설명해주는 일반적인 해결안(General solution)으로 구체적인 해결안 아이디어를 도출하기 위해서 트리즈 이론에서 제안하는 장의 유형인 MATCEM을 구체적으로 적용시킨다<sup>(2)</sup>.

우리는 MATCEM에서 도출되는 여러 장(Field) 중 Chemical장을 사용하여 아이디어를 도출하였다. 체액과 화학반응을 하는 중간 매개물을 도입하여 마그네슘과의 화학반응을 보호하고 마그네슘 임플란트의 부식속도를 제어할 수 있을 것 이라는 가설을 바탕으로, 가설을 구체화 하였다.

체액과 마그네슘 임플란트 두 물질 사이에 상호작용의 상위 환경 자원들 중에는 반응성이 좋은 산소( $O_2$ )가 매우 풍부하다. 반응성이 좋은 산소와 마그네슘을 결합시켜 반응성이 낮은 세라믹 형태인 산화피막( $MgO$ )을 형성하면 마그네슘 임플란트와 체액과의 유해한 작용인 빠른 부식속도를 제어할 수 있을 것 이라는 구체화된 가설을 세웠다.

### 2.2.3 실험 계획

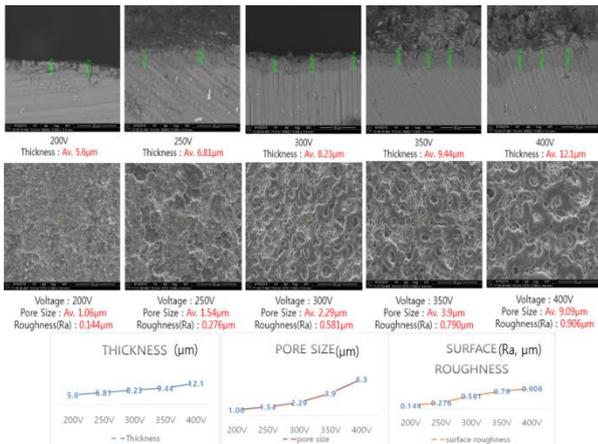
산화피막을 증착시키는 여러 가지 방법 중 PEO(Plasma Electrolytic Oxidation) 코팅법은 내마모성, 내부식성과 같은 많은 기계적 장점은 물론 특히, 생적합성 측면에서 인체 구성요소로만 이루어진 전해질을 설계할 수 있으며, 알칼리성 전해질을 사용하는 친환경 코팅방법으로<sup>(3)</sup> 체내 삽입되는 임플란트에 있어 매우 중요한 생체적합성을 구현할 수 있는 코팅 방법으로 우리가 세운 가설을 구현하는데 적합하다고 판단되어 선정되었다.

PEO 코팅법은 전해용액 속에서 부재(Substrate)에 강한 플라즈마를 발생시켜 산화피막을 증착시키는 방법으로 주파수, 전압, 전류, 공정 시간, 온도, 전해액 조성 등 매우 많은 변수들을 조절할 수 있다. 우리는 이 중에서 전압의 세기를 변수로 설정하여 실험을 진행하였다.

### 2.2.4 실험 결과

인가되는 양극의 전압을 변수로 설정하고 +200V에서 +400V까지 증가시키면서 양극의 전압을 증가시키며 실험을 진행하였다. 실험 결과는 전압이 증가할수록 산화피막의 두께는 증가하였고, 표면의 기공의 크기도 증가하였으며, 표면조도 역시 증가하였고 측정 결과는 Fig. 5와 같다.

또한 전압에 따라 코팅된 마그네슘과 코팅되지 않은 마그네슘을 유사체액(Simulated Body Fluid)에 침지시켜 부식속도를 mdd(하루에  $dm^2$  면적에서 부식되는 무게,  $mg/dm^2/day$ ) 값으로 측정하여 비교해본 결과, Table. 1의 값과 같이 전압이 높을 수록 부식을 제어하는 비율이 높은 것으로 측정 되었다.

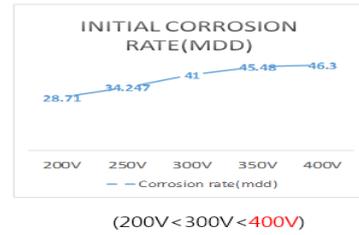


**Fig.5** Experimental results with increasing voltage (Thickness, Pore size, Roughness)

**Table. 1** Corrosion rate control ratio with increasing voltage

	Non-coating	200V/30V (+,-)	250V/30V (+,-)	300V/30V (+,-)	350V/30V (+,-)	400V/30V (+,-)
mdd (mg/dm <sup>2</sup> /day)	150.65	120.704	113.77	106.34	90.752	57.491
부식 속도 제어 비율	-	x1.25	x1.32	x1.4	x1.66	x2.6

전압이 높아질수록 전체적인 부식제어비율이 높아지는 결과를 얻었지만, 우리는 실험 결과 중 초기부식속도는 위의 결과와 다르게 Fig. 6에서 보는 것과 같이 전압이 높을수록 부식속도가 빠른 것으로 측정되었다. 초기의 빠른 부식속도는 다량의 수소기체를 발생시켜 주변 조직의 피사를 유발할 수 있으므로, 예상하지 못한 원하지 않은 측정 값이었다.

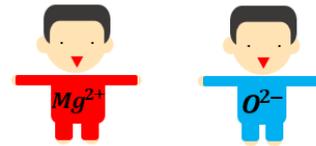


**Fig.6** Graph of Initial corrosion rate with increasing voltage

### 2.2.5 분석 (작은사람모델)

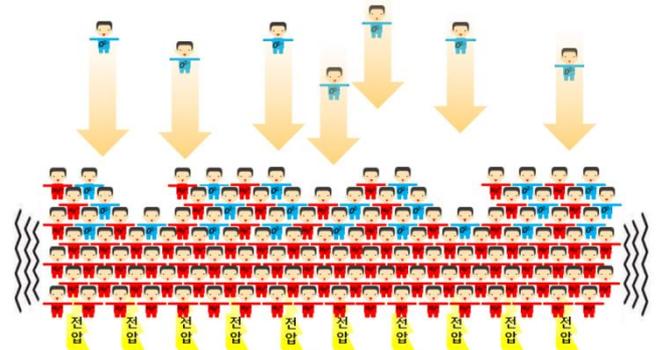
전체 부식제어비율과는 다르게 전압이 높을수록 초기 부식속도가 높아진 이유를 분석하기 위하여 작은사람모델을 적용해 보았다.

반응에 참가하는 대상을 각각 빨간색 사람(마그네슘이온)과 파란색 사람(산소이온)으로 표현하였다(문제 분석의 효율성을 위해 다른 요소의 작은 사람모델들은 생략) Fig 7.



**Fig.7** Magnesium ion small person(Left) and Oxygen ion small person(Right)

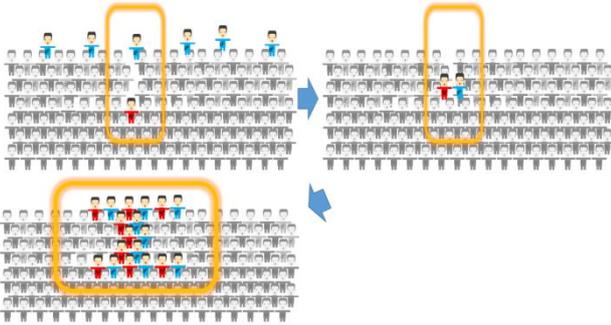
전압을 인가하면 마그네슘 시편에 양극이 가해지고 음이온 성질의 산소이온이 마그네슘 시편으로 이동하는 작은사람모델을 Fig. 8에 나타내었다. 전압이란 입자 하나당 가해주는 에너지(J/q)로 작은 사람 하나하나에 가해지는 에너지로 볼 수 있다. 따라서 Fig. 8과 같이 전압이 가해지면 작은 사람들은 가해지는 에너지로 인해 진동을 하게 될 것이며 전압(에너지)의 크기가 커질수록 더 빠르게 진동할 것이다. 작은 사람들은 진동이 커질수록 서로 손을 잡고 있기 힘들어 질 것이다(손을 거세게 흔들어 보아라 잡고 있는 손을 놓치기 쉽다). 작은 사람이 잡고 있는 손을 놓친다는 것은 결합이 끊어진다는 것을 의미하며 바깥으로 튀어 나갈 수 있는 자유로운 상태가 되었다는 것으로 볼 수 있다.



**Fig.8** Small people model in PEO coating process

하지만 작은 사람이 진동하며 다른 작은 사람과의 손을 놓고 바깥으로 튀어 나가려 해도 위에 더욱 강하게 손을 잡고 있는 마그네슘이온 사람과 산소이온 사람들에게 겹겹이 둘러 쌓여있어 튀어나가기 어렵다. 하지만 작은 사람들이 적게 쌓여있는 부분에서는 높은 에너지를 받게 되면 작은 사람들이 손을 놓고 빠져나가기 쉽기 때문에 이 부분에서 고전압의 에너지로 인해 마그네슘 기관에서 마그네슘이 이온화되어(마그네슘이온 작은 사람들끼리 손을 놓친다) 플라즈마가 발생과 함께 폭발하듯 분출하면서 마그네슘이온 작은 사람은 산소이온 작은 사람과 손을 잡는다.

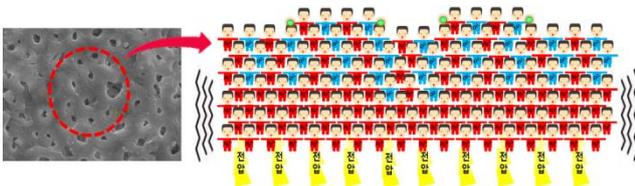
이 후 비교적 낮은 온도의 전해액을 만나게 되면 순간적으로 응고되어 산화피막(마그네슘 작은 사람 + 산소 작은 사람)으로 증착된다. 이러한 과정으로 전압이 산화피막 증착에 어떻게 작용하는지를 위와 같이 분석 및 이해하였다 Fig 9.



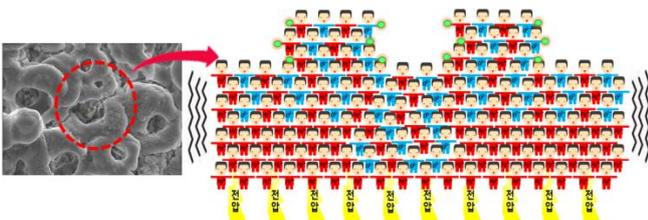
**Fig.9** Deposition process of magnesium oxide

다음으로 전압이 높아짐에 따라 부식속도가 빨라지는 원인을 분석하기 위해 인가되는 전압의 세기가 클 때와 작을 때 작은 사람의 움직임에 대해서 비교, 분석 해 보았다. 먼저 인가전압이 낮을 때 마그네슘이온 작은 사람은 진동하다가 취약한 부분으로 분출한다. 하지만 고전압과 비교하여 가해진 에너지가 작기 때문에 약한 진동을 하며 서서히 분출되어 Fig. 10에서 보는 바와 같이 표면에서 흘러내리듯이 쌓이게 될 것이다. 반대로 인가전압이 높은 경우 마그네슘이온 작은 사람들이 더 빠르게 진동하며 튀어나가기 때문에 폭발하듯 격렬하게 분출될 것이고 분출된 마그네슘이온 작은 사람들은 순식간에 식어버리게 되어 Fig. 11에서 보는 바와 같이 큰 구멍이 있는 분화구 형태로 자리잡게 될 것이다.

Fig. 10와 Fig. 11을 비교해 보면 저전압 보다 고전압일 때 손잡지 않고 있는 작은 사람들이 더 많이 있다는 것을 볼 수 있다. 진동이 멈추고 안정적인 상태가 되면 손을 잡지 않고 있는 작은 사람들은 또다시 누군가와 손을 잡으려고 할 것이고, 이는 유사체액에서 고전압으로 만든 산화피막이 저전압으로 증착된 산화피막보다 초기부식속도가 빠른 원인을 설명할 수 있다. 초기의 이러한 손을 잡지 않고 있는 작은 사람들이 반응하고 나면 상대적으로 잡지 않은 손이 적은 안정적인 중간층이 드러나게 되므로 이 층이 가장 두꺼운 고전압의 산화피막이 전체 부식 제어비율이 높은 것으로 분석된다.



**Fig.10** Surface morphology at low voltage expressed by small people model



**Fig.11** Surface morphology at high voltage expressed by small people model

### 2.2.6가설 수립 및 차기 실험 계획 설정

전압이 높을수록 초기 부식 속도가 빠른 것은 체액과 반응할 수 있는 작은 사람의 손이 많기 때문이므로 이러한 다공성 표면의 문제를 없애기 위하여 가설을 세웠다. 산화피막 위에 생분해성 고분자를 추가로 증착시키면 다공성의 표면을 매끈하게 만들어 초기부식속도를 억제할 수 있을 것으로 가설을 세우고 현재 이와 관련된 실험을 계획하여 진행하고 있다.

### 3. 결론

R&D 과정에서 실험의 가설을 수립하는 과정에서 물질-장 분석과 표준해를 적용하여 가설을 수립하고, 실험과정에서 발생하는 원하지 않는 결과에 대한 분석을 위한 도구로 작은사람모델을 적용하였다. (1)물질-장 분석과 표준해를 통해 문제상황에 대하여 정확하게 분석하여 문제상황에 맞는 합리적인 아이디어(가설)을 도출하였다. 이를 토대로 (2)실험을 계획하여 진행하고 실험의 결과값 중 연구자가 원하지 않거나 이해되지 않는 현상을 (3)작은사람모델을 사용하여 미시적인 현상에 대해 분석하고 이해하였다. 이 분석결과를 토대로 다시 (4)가설을 수립하여 (5)차기 실험을 계획하는 일련의 과정을 진행하였다. 이러한 과정은 연구자가 참여하는 연구개발에 대한 정확한 분석과 이해를 도와 연구자로 하여금 자신의 전문분야에 편향되지 않고 정확하게 문제를 분석하여 폭넓은 시야에서 자원을 활용하여 이상적인 해결안을 도출하는 '트리즈적 사고'를 이끌어내어 R&D 과정에서 요구하는 이상적 해결안에 더욱 쉽게 다가갈 수 있도록 도와줄 것이다.

### 후기

본 연구는 한국산업기술대학교 LINC+사업 지원으로 진행되었으며, 실험과 트리즈 이론을 접목하여 창의적인 결과물을 얻을 수 있게 되었다.

### References

- (1) Iouri Belski, 2002, "Improve Your Thinking: Substance-Field Analysis, TRIZ4U
- (2) 송용원 저, 2017, 창의적 문제해결이론 TRIZ, 한국표준협회미디어
- (3) Chen-Jui Liang, 2013, In-situ Impedance Spectroscopy Studies of the Plasma Electrolytic Oxidation Coating Process, University of Sheffield
- (4) 송용원 저, 2014, 창의성의 기술, 써네스트