KBR 제22권 제2호 2018년 5월 http://dx.doi.org/10.17287/kbr.2018.22.2.99

창의혁신을 위한 모순해결 방법론과 사례

현 정 석*
박 찬 정**

과학기술과 비즈니스의 역사에서 모순을 해결하여 혁신을 이룬 사례가 많다. Altshuller와 그의 동료들은 발명특허를 귀납적으로 분석하여 문제해결의 공통패턴을 트리즈(TRIZ)로 정립하였다. 발명특허를 모순해결에서 바라보는 트리즈의 독보적인 관점에도 불구하고 트리즈는 브레인스토밍처럼 문제해결에 시행착오적인 특성이 있다. 이론의 발전은 귀납적으로 자료를 수집하고 분류하여 이론을 구축하는 단계에서 일반화를 위해 연역적으로 이론을 증명하는 과정을 밟는다. 피타고라스보다 천년 정도 일찍 고대 이집트와 중국은 직각 삼각형에서 세 변의 길이가 3, 4, 5인 것을 경험적으로 알았지만 기호를 이용하여 논리적으로 $a^2+b^2=c^2$을 증명하지는 않았다. 문제해결에 기호를 도입하면 문제의 핵심을 간결하게 나타내면서도 시행착오 없이 일반화된 결과를 이끈다. 아이디어 창출과 창의적 문제해결에 관한 많은 연구들이 귀납적 추론을 이용한 반면에 본 연구는 기호 논리학을 이용한 연역적 증명으로써 피타고라스의 수처럼 일반적 원리를 처음으로 밝혔다. 아리스토텔레스의 대당 사각형이 정언명제를 2차원으로 분석하는데 반해 본 연구의 모순해결 방법론은 딜레마 모순문제를 3차원으로 분석한다. 본 연구는 모순해결 방법론에서 사용되는 용어와 그에 대한 기호를 정의하고, 모순문제 유형 별로 문제해결목표와 올바른 문제해결전략을 진리표로 증명하였다. 본 연구는 창의혁신 사례를 가지고 모순문제 유형에 따른 모순해결 과정을 분석하였다. 브레인스토밍, 창의적 문제해결과 신상품개발에 관한 기존의 연구들은 먼저 발산적 사고로써 다양한 아이디어를 만든 뒤에 이들 아이디어 중에서 수렴적 사고를 써서 좋은 아이디어를 선택하라고 제안한다. 본 연구의 모순해결 방법론은 기존의 브레인스토밍, 창의적 문제해결, 신상품개발에 관한 연구들과 반대로 접근한다. 먼저 논리적인 수렴적 사고를 통해 모순문제 유형을 파악하고 문제 유형별로 올바른 문제해결전략을 정한다. 문제공간이 좁혀짐에 따라 임의적 대안선택을 없앰으로써 단기간에 효율적인 문제해결이 가능하다. 모순해결 방법론을 정형화하면 우연에 의하지 않고 체계적으로 혁신을 이룰 수 있다.

주제어: 혁신, 모순해결 방법론, 창의적 문제해결, 트리즈

Ⅰ. 서 론

‘모순(contradiction)’은 어떤 명제가 참이면서 동시에 거짓일 수 없는 것을 말한다. 과학기술과 비즈니스의 역사에서 모순을 해결하여 혁신을 이룬 사례가 많다. 예를 들어 James Watt는 Newcomen 엔진에서 피스톤을 위로 올리려면 실린더가 뜨거워야 하고, 피스톤을 내리려면 실린더가 차가워야 하는 모순문제를 풀었다(이경우, 김병재, 이태희, 황농문, 한송엽, 2007). Siemens는 판유리 생산 과정에서 유리를 녹이려면 용광로를 뜨겁게 가열해야 하지만, 유리불순물을 없애려고 용광로를 차갑게 하면 생산성이 떨어지는 모순문제를 풀었다(Utterback, 1994). Pasteur는 포도주를 고온으로 가열하면 포도주를 부패시키는 미생물을 살균시켜 포도주를 장

논문접수일: 2017. 12. 22. 1차 수정본 접수일: 2018. 03. 31. 게재확정일: 2018. 04. 03.
* 제주대학교 경영정보학과 교수(jshyun@jejunu.ac.kr), 제1저자
** 제주대학교 컴퓨터교육과 교수(cjpark@jejunu.ac.kr), 교신저자

기 보관할 수 있지만, 포도주의 맛과 향을 유지하려면 고온으로 가열하지 말아야 하는 모순문제를 풀었다(이재열, 2015). Gillette는 일회용 면도날을 값싸게 생산하려면 강철이 얇아야 하지만, 면도날이 담금질에 뒤틀리지 않으려면 강철이 두꺼워야 하는 모순문제를 풀었다(미국특허, 812442).

Aristotle 이후 서양의 학문은 모순을 틀린 것으로 다루어왔다. 이러한 전통에 따라 문제해결 심리학에서는 문제를 잘 정의된 문제/정의되지 않은 문제, 분석적 문제/통찰적 문제로 분류하였지만 모순해결 관점에서 살피지는 않았다(Jonassen, 1997). 심리학자 Duncker(1935/1945)는 환자의 악성종양을 치료하려면 방사선 강도가 세야 하면서도 일반세포를 보호하려면 방사선 강도가 동시에 약해야 하는 방사선 문제를 발표하였다. 많은 후속 연구들이 Duncker의 방사선 문제를 다루었지만 이들 연구들은 모두 "방사선 강도가 세면서도 동시에 약해야 하는 모순해결"에는 관심을 갖지 않았다(Anderson, Reder, and Simon, 1996; Gick and Holyoak, 1980). 심지어 Simonton(2004)은 상반된 내용을 동시에 떠올리는 것은 비논리적이기 때문에 과학 창의성은 우연적 요소가 중요하다고 주장하였다. 그는 독창적이고 혁신적인 아이디어들은 단계별로 미리 정해진 알고리즘으로 해결할 수 없다고 주장했다.

러시아의 Altshuller와 그의 동료들은 200만 건 이상의 발명특허를 분석하면서 혁신적인 발명특허들이 모순을 해결한 것을 밝혔다(신정호, 2017). Altshuller와 그의 동료들은 발명특허에서 공통적인 해결패턴을 트리즈(TRIZ)로 정립하였다. 트리즈는 발명문제해결이론(Theory of Inventive Problem Solving)의 뜻을 갖는 러시아어 머리글자의 약어이다. 트리즈의 독보적인 관점에도 불구하고 트리즈는 연역적인 방법이 아닌 귀납적인 방법을 이용하여 개발되었다(Altshuller, 1984; Philatov, Zlotin, Zusman, and Altshuller, 1999; Savransky, 2002; 신정호, 2017).

이론(theory)의 정립은 초기 단계에는 이론을 도출하고 후기 단계에는 이론을 검증하는 과정으로 나아간다. 즉, 연구의 초기 단계는 귀납적 방법을 이용하여 현상을 분석하고 중요한 특성을 기술하고 분류하는 과정을 거친다. 이론이 도출되고 나면 이를 일반화시키기 위해 연역적으로 이론을 증명하는 과정을 밟는다(김인수, 2000). 고대 이집트와 중국은 직각 삼각형에서 세 변의 길이가 3, 4, 5의 관계인 것을 경험적으로 피타고라스보다 천 년 정도 일찍 알고 있었다. 고대 이집트와 중국은 직각 삼각형에서 세 변의 길이를 3, 4, 5처럼 개별적인 수로 파악했지, 피타고라스처럼 연역적인 증명을 이용해 $a^2+b^2=c^2$으로 일반화시키지는 않았다(스티븐 크란츠, 2013).

효율적으로 문제를 해결하려면 문제를 적절히 표상하는 것이 필수적이다(Simon, 1987). 수학에서 아라비아 숫자, x와 y 등 추상적인 기호를 사용하면 개별적인 문제를 일반적인 문제로 변경시킨다. 문제해결에 일상생활에서 사용되는 모호한 언어가 아니라 명확한 뜻을 갖는 추상적 기호를 쓰면 시행착오 없이 훨씬 빠르게 일반화된 결과를 얻는다(Polya, 1981). Descartes(1637/2010)는 '방법서설'에서 어려운 문제를 풀기 위해서는 복잡한 문제를 가장 단순한 요소로 분할하여 탐구하고, 알기 쉬운 것에서 점점 더 복잡한 것에 이르는 규칙을 제시했다. Descartes와 유사하게 Simon(1987)은 제한된 합리성을 가진 문제해결자가 복잡한 문제를 해결하는 방법으로써 복잡한 문제를 '거의 분해할 수 있는 시스템(nearly decomposable systems)'으로 단순화시키는 방법을 제시했다. 문제 구조와 문제 유형을 파악할 수 있다면 그만큼 문제공간을 줄여 문제가 쉽게 풀린다(Polya, 1973, 1981). 대표적인 예가 비대칭 암호키 개발과 특수상대성이론이다. 전통적인 대칭 암호키는 자물쇠를 잠그고 여는 열쇠가 하나이다. 1976년에 Diffie와 Hellman은 자물쇠를

잠그는 키를 모르는 사람들에게 공개하고 자물쇠를 여는 키는 자기만 아는 비대칭 암호키에 관한 아이디어를 발표하였다(Diffie and Hellman, 1976). Diffie와 Hellman의 논문이 발표된 후 2년도 채 안 되어 Rivest, Shamir, Adleman이 비대칭 암호키 알고리즘을 구현하는 RSA암호키를 개발하였다(Rivest, Shamir, Adleman, 1978). 아인슈타인은 시간과 공간 그리고 빛에 대한 아이디어에서 모순이 있음을 알아차렸다. 그는 공간에 따라 시간이 달라지는 모순을 풀고 나서 단 5주 만에 특수상대성이론을 완성하였다고 말했다(송은영, 2012).

본 연구는 기호 논리학을 이용하여 모순문제를 체계적으로 해결하는 방법론을 개발하는 데 목표를 두었다. 본 연구는 트리즈와 달리 모순문제의 구성요소에 대해 정의를 내리고 기호 논리학을 이용하여 증명을 실시한다. 아울러 본 연구는 창의혁신 사례를 가지고 모순문제 유형에 따른 모순해결 과정을 분석한다(현정석, 2018). 21세기에 필수적으로 요구되는 문제해결력 함양을 위해 모순해결의 관점에서 문제를 정형화하여 논리적이고 창의적으로 문제해결을 할 수 있도록 돕는 방법론의 개발이 필요하다. 창의적 문제해결을 우연이나 통찰이 아니라 알고리즘으로 정형화하면 체계적 혁신을 위한 방법론으로 사용할 수 있다(Wing, 2006).

Ⅱ. 모순해결 방법론

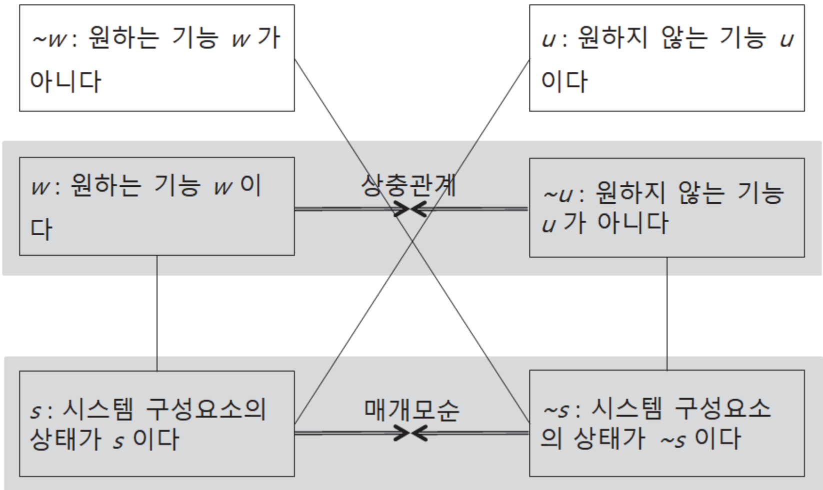
2.1 모순해결 나비모형과 나비 다이어그램

모순해결 나비모형(The Butterfly model for contradiction solving, 이하 나비모형으로 줄여 표현함)은 기호 논리학을 이용하여 모순문제의 구조를 분석하여 올바른 문제해결 방향을 정한다. 먼저 나비모형에서 사용하는 용어를 정의하면 다음과 같다.

나비모형은 문제의 구성요소를 시스템이 원하는 기능(wanted function, w)과 원하지 않는 기능(unwanted function, u) 그리고 이들 기능들을 수행하기 위한 시스템 구성요소의 상태(state, s) 그리고 이들을 부정한 $\sim w$, $\sim s$, $\sim u$로 정의한다. 기호 논리학에서 논리 연결사 '~'는 '…이 아니다(not)'의 부정을 의미한다. 나비모형은 시스템에서 좋은 일들만 있는 것이 아니라 뭔가 좋아지는 점 w가 있으면 다른 뭔가가 나빠지는 점 u가 있는 상황을 다룬다. 나비모형은 시스템이 좋은 점 w가 있으면 나쁜 점 u도 있고 또한 시스템의 나쁜 점 u가 있으면 좋은 점 w도 있게 되는 것은 시스템의 구성요소들이 상호연결성(interconnectivity)을 갖기 때문이라 가정한다(현정석, 2012).

나비모형은 시스템 구성요소의 상태 s가 시스템에서 좋은 점 w와 나쁜 점 u가 함께 있는 상황을 초래한다고 가정한다. 시스템의 나쁜 점 u를 피하기 위해 시스템의 구성요소를 s가 아닌 $\sim s$를 도입하면 시스템의 나쁜 점 u가 $\sim u$가 되지만 좋은 점 w를 달성하지 못하게 된다(현정석, 박찬정, 2014a, 2014b). 나비모형은 시스템의 한 속성이 좋아지면 다른 속성이 나빠지는 것을 상충관계(trade-off relation)라 정의한다. 아울러 상충관계를 발생시키는 것은 시스템 구성요소의 상태 s, $\sim s$인데, s와 $\sim s$ 간 모순관계를 매개모순(mediating contradiction)이라 정의한다(현정석, 2018).

나비모형은 문제해결목표(problem solving objective)를 시스템의 기능 w, $\sim w$, u, $\sim u$ 중에서 어느 것을 충족할 것인지 선택하는 것으로 정의한다. 나비모형은 문제해결전략(problem solving strategy)을 문제해결목표를 충족하기 위한 구성요소의 상태로 정의한다. 나비모형은 문제해결전략이 $s \wedge \sim u(w \wedge \sim s)$일 때 $s(\sim s)$를 한층 더 강화시키는 것을 모순심화(contradiction intensification)라 정의한다.



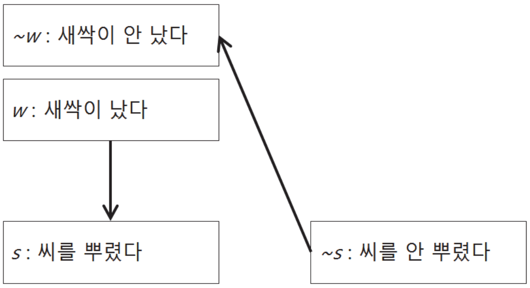
〈그림 1〉 나비 다이어그램

$s(\sim s)$를 더 강화시킨 것을 $s'(\sim s')$로 표기한다.

모순문제에 있는 상충관계와 매개모순 관계를 다이어그램으로 나타낸 것을 나비 다이어그램(the Butterfly diagram)이라 부른다. 나비 다이어그램은 모순문제의 구조를 분석하고 문제해결의 열쇠를 쥐고 있는 매개모순을 시각적으로 파악하도록 돕는다. 〈그림 1〉은 나비 다이어그램을 나타낸다(현정석, 2014, 2018).

논리학의 논리 연결사 →는 "만약 …이면, …이다."를 뜻한다. 논리학의 조건명제 $p \rightarrow q$에서 p는 충분조건이고 q는 필요조건이다. 논리 연결사 ↔는 "만약 …이면 그리고 그 때에만 …이다"를 뜻한다. 논리학의 조건명제 $p \leftrightarrow q$에서 p와 q는 서로에 대해 필요충분조건이다. 나비 다이어그램에서 w와 s, s와 u, $\sim u$와 $\sim s$, $\sim s$와 $\sim w$ 사이의 화살표 →는 논리학 조건명제의 충분조건과 필요조건 관계, 화살표 ↔는 논리학 조건명제의 필요충분조건 관계를 나타낸다.

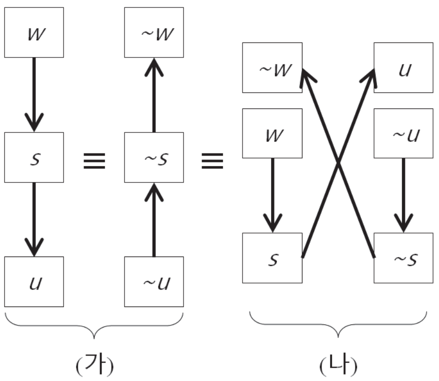
다음은 나비 다이어그램의 구조를 기호 논리학을 빌어 설명한다. 논리학의 명제에서 대우법칙(contraposition law)에 의하면 $(w \rightarrow s) \equiv (\sim s \rightarrow \sim w)$이다. 예를 들어 "만약 새싹이 났다면, 씨를 뿌렸다"라는 명제의 대우는 "만약 씨를 안 뿌렸다면, 새싹이 안 났다"이다. 이를 그림으로 나타내면 〈그림 2〉와 같다(Hyun and Park, 2014).



〈그림 2〉 명제와 대우의 예

w, s, u가 명제일 때, $w \rightarrow s$이고 $s \rightarrow u$가 성립한다고 가정하자. 사각형에 명제를 저장하고 명제들을 서로 연결하면 〈그림 3〉의 (가)와 같다. 한 명제와 그의 대우 명제는 항상 동치이다. 이 관계를 나비 다이어그램으로 표현하면 〈그림 3〉의 (나)와 같다. (가)와 (나)는 의미적으로 동치인데 나비 다이어그램에는 문제의 요소들을 잘 이해할 수 있도록 상충

관계를 갖는 w와 $\sim u$를 같은 행에 위치시키고 매개 모순 관계를 갖는 s와 $\sim s$를 같은 행에 배치시킴으로서 문제해결자들의 이해를 돕는다(현정석, 박찬정, 2014a). 명제 간의 충분조건 이외의 필요조건과 필요충분조건은 명제 간 화살표의 방향만 달라질 뿐 나비다이어그램을 그대로 활용할 수 있다. 〈그림 3〉의 (나)처럼 모순문제의 구성요소를 6개(w, s, u, $\sim w$, $\sim s$, $\sim u$)로 분석하면 공학적인 발명문제뿐만 아니라 논리학의 거짓말쟁이 역설(liar's paradox), 자연과학의 창의적 연구에서 즐겨 사용되는 귀류법, 도덕철학의 도덕딜레마 등의 모순문제를 표상할 수 있다(현정석, 2018).



〈그림 3〉 삼단논법을 나타낸 나비 다이어그램

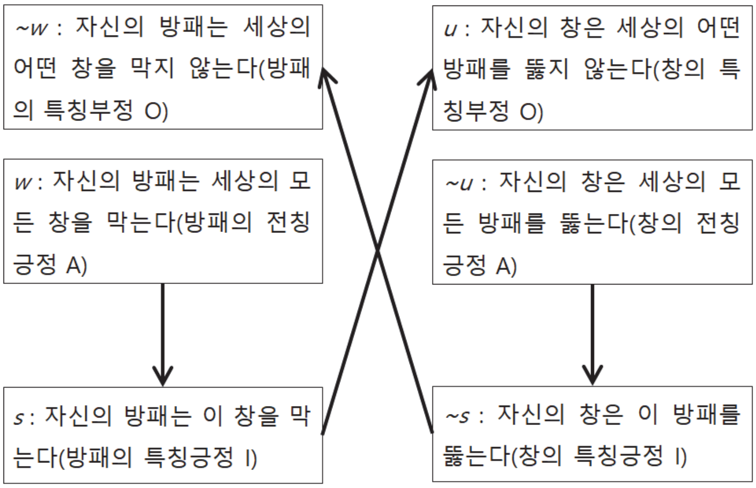
Aristotle의 대당 사각형(square of opposition)을 응용하여 상충관계에 놓여 있는 두 개의 정언명제를 나비 다이어그램으로 나타낼 수 있다. 중국고전 한비자(韓非子)에는 '모순'에 관한 고사성어가 나온다. 즉, 시장에서 방패와 창을 파는 상인이 있었다. 상인은 시장 사람들에게 자신의 방패는 세상의 모든 창을 막는다고 말하고 또한 자신의 창은 세상의 모든 방패를 뚫는다고 말하였다. 이를 지켜보던 사람이 그렇다면 그 창으로 그 방패를 찌르면 어떻게 되느냐고 묻자 상인은 아무런 대답을 하지 못했다(한비자, 1989).

한비자의 '모순'을 대당 사각형으로 분석하면 다음과 같은 나비 다이어그램을 만들 수 있다. 먼저 방패의 주장에 대한 대당 사각형에서 전칭긍정 명제 A는 "자신의 방패는 세상의 모든 창을 막는다."이다. 전칭긍정 명제 A가 참이라면 특칭긍정 명제 I는 "자신의 방패는 이 창을 막는다." 역시 참이다. 또한 특칭부정 명제 O는 "자신의 방패는 세상의 어떤 창을 막지 않는다."는 거짓이다(코피, 코헨, 2000). 마찬가지로 창의 주장에 대한 대당 사각형에서 전칭긍정 명제 A는 "자신의 창은 세상의 모든 방패를 뚫는다."이다. 전칭긍정 명제 A가 참이라면 특칭긍정 명제 I는 "자신의 창은 이 방패를 뚫는다." 역시 참이다. 또한 특칭부정 명제 O는 "자신의 창은 세상의 어떤 방패를 뚫지 않는다."는 거짓이다. 시장 상인의 방패와 창에 대한 주장을 한데 합치면 〈그림 4〉와 같은 나비 다이어그램으로 분석할 수 있다.

시장상인은 자신의 방패는 세상의 모든 창을 막는다고 주장했기에 자신의 방패가 이 창을 막는다는 주장 역시 참이다. 하지만 자신의 방패가 이 창을 막는다면 자신의 창은 세상의 어떤 방패를 뚫지 않는 결과가 된다. 이는 시장상인이 자신의 창은 세상의 모든 방패를 뚫는다는 주장과 모순된다. 마찬가지의 논리가 창에 대해서도 적용된다. 요약하면, 시장상인의 주장에서 방패와 창의 전칭긍정 A가 둘 다 참이라면 방패와 창의 특칭긍정 I가 둘 다 참이라는 모순에 봉착하게 된다. 결과적으로 시장상인의 주장은 "자신의 방패는 이 창을 막는다."와 "자신의 창은 이 방패를 뚫는다."는 모순된 결론에 이른다(현정석, 2018).

2.2 모순문제 유형별 올바른 문제해결전략

다음은 모순문제의 구성요소 w, s, u, $\sim w$, $\sim s$, $\sim u$를 이용하여 모순문제가 가질 수 있는 유형을 파악하고 모순문제 유형별로 어떤 문제해결전략이 사



〈그림 4〉 한비자의 '모순'을 분석한 나비 다이어그램

용되어야 하는지 진리표를 이용하여 증명한다. 시스템의 기능 w, u와 시스템 구성요소의 상태 s는 서로에 대해 충분조건, 필요조건, 필요충분조건 중 하나의 조건명제 관계를 갖는다. 즉, w와 s 간 조건명제 관계는 ① $w \to s$, ② $w \leftarrow s$, ③ $w \leftrightarrow s$ 중 하나를 갖는다. 마찬가지로 s와 u 간 조건명제 관계는 ① $s \to u$, ② $s \leftarrow u$, ③ $s \leftrightarrow u$ 중 하나를 갖는다. 그러므로 시스템의 기능 w와 시스템 구성요소의 상태 s, 시스템의 기능 u와 시스템 구성요소의 상태 s가 가질 수 있는 9개의 조건명제는 〈표 1〉과 같다(Hyun and Park, 2016; 현정석, 2018).

다음은 시스템 기능과 시스템 구성요소의 상태가 가질 수 있는 9개 모순문제의 경우에 어떠한 문제해결전략이 올바른지 증명한다. 다음에 사용되는 논리 연결사 ∧는 '그리고(and)'를 의미한다. 논리 연결사 ∨는 '또는(or)'를 의미한다. w와 s 간 조건명제와 s와 u 간 조건명제 관계가 $(w \to s)$이고 $(s \to u)$이면 다음의 사실을 유도할 수 있다.

$(w \to s)$이고 $(s \to u)$이면, 즉 $(w \to s) \wedge (s \to u)$로 나타낼 수 있다.

삼단논법에 의해 $w \to u$이다.

논리학의 동치관계를 이용하면 $w \to u \equiv \sim w \vee u \equiv \sim(w \wedge \sim u)$이다.

따라서 $(w \wedge \sim u) = \varnothing$이다.

모순문제 유형 ③ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \to u)$, 유형 ⑦ $(w \to s) \wedge (s \leftrightarrow u)$, 유형 ⑨ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$인 경우에도 삼단논법에 의해 $w \to u$이다. 따라서 $(w \wedge \sim u) = \varnothing$이다.

〈표 1〉 시스템의 기능과 구성요소 상태 간 조건명제 유형

w와 s \ s와 u	$s \to u$	$s \leftarrow u$	$s \leftrightarrow u$
$w \to s$	① $(w \to s) \wedge (s \to u)$	④ $(w \to s) \wedge (s \leftarrow u)$	⑦ $(w \to s) \wedge (s \leftrightarrow u)$
$w \leftarrow s$	② $(w \leftarrow s) \wedge (s \to u)$	⑤ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$	⑧ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$
$w \leftrightarrow s$	③ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \to u)$	⑥ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$	⑨ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$

모순문제 유형이 ① $(w \rightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$, ③ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$, ⑦ $(w \rightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$, ⑨ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$인 경우에는 w와 $\sim u$가 배타적 선언(選言, disjunction) 관계를 갖는다. 배타적 선언 관계는 둘 중 어느 하나가 참이지 둘 다 참인 것을 배제하는 경우에 해당한다. 예를 들어, 한 기차가 기차역의 왼쪽 플랫폼에 도착하던지 아니면 오른쪽 플랫폼에 도착할 수 있다. 하지만 한 기차가 두 플랫폼 모두 동시에 다 도착하지 않는 것은 배타적 선언에 해당한다. 배타적 선언 관계는 논리 연결사 ⊕을 사용하여 나타낸다. 그러므로 모순문제 유형이 ① $(w \rightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$, ③ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$, ⑦ $(w \rightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$, ⑨ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$인 경우에 문제해결목표는 시스템의 두 기능 w와 $\sim u$는 상호배제관계를 갖는 $w \oplus \sim u$가 된다.

w와 s 간 조건명제와 s와 u 간 조건명제 관계가 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이면 귀류법을 이용하여 다음의 사실을 유도할 수 있다.

먼저 $(w \wedge \sim u) = \varnothing$라고 가정해 보자.

그렇다면 $w \equiv u$이다.

그런데 나비모형은 w와 u를 다른 기능으로 정의하고 있다. 즉 나비모형에서 w와 u는 동일하지 않은 문제의 구성요소이다.

이것은 처음에 가정한 $(w \wedge \sim u) = \varnothing$라는 가정에 위배된다.

이를 통해 처음에 가정한 것이 잘못된 것임을 알 수 있다.

그러므로 $(w \wedge \sim u) \neq \varnothing$이다.

모순문제 유형이 ② $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$, ⑧ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$, ④ $(w \rightarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$, ⑥ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$ 인 경우에 $(w \wedge \sim u) \neq \varnothing$이기에 문제해결목표는 $w \wedge \sim u$이다(현정석, 2014).

모순문제 중에는 원하지 않는 기능 u를 피할 수 없이 받아들여야만 하는 경우가 있다. 사슬은 가장 약한 고리만큼 강하다는 속담이 있다. 약한 고리가 사슬의 가장 취약한 부분이다. 전기를 잘 전송하려면 전선에 약한 부분이 있어서는 안 된다. 전선의 약한 부분은 전선을 끊어지게 하여 송전을 차단하고 전기제품의 작동을 멈추게 한다. 끊임없는 송전을 해야 하는 전기 회사 입장에서는 전선의 약한 부분이 고민거리였다. Edison은 전선의 약한 부분을 전화위복으로 삼아 '안전 퓨즈'를 발명하였다. 안전 퓨즈는 전기회로에 과전압이나 과전류가 흐르면 전기를 차단함으로써 전기제품을 보호하고 화재를 예방한다(McCormick, 2001).

모순문제 유형이 ⑤ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$이면 삼단논법에 의해 $u \rightarrow w$이다. 원하지 않는 기능 u를 회피하지 못하는 경우에는 구성요소의 상태 s가 수행하는 긍정적인 측면을 찾아 원하는 기능 w를 창출하는 것이 문제해결목표가 된다. 즉, 모순문제 유형이 ⑤ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$이면 문제해결목표는 $w \wedge u$이다.

다음은 모순문제 유형에 따라 올바른 문제해결전략을 증명한다.

모순문제 유형이 ① $(w \rightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이고 문제해결목표가 $w \oplus \sim u$이면 문제해결전략은 $s \oplus \sim s$이다.

진리표(truth table)에 의한 증명으로서, 〈표 2〉의 1행과 8행에서 전제가 참(T)인 경우 결론도 참(T)이다. 따라서 모순문제 유형 ①에 대한 논증은 타당하다(valid). 논리학에서 어떤 논증이 타당하다는 것은 곧 논증의 전제들이 T이면 결론도 역시 T인 것을 보장한다. 〈표 2〉에서 $s \oplus \sim s$의 진릿값은 항상 T로 나타났다. 조건명제는 전제가 F이면 결론이 T이거나 F인 경우에도 전체 논증의 결과가 T로 나온다. 따라서 모순문제 유형 ①에 대한 논증의 전제가 진정으로 T임을 알아보기 위해 추가적인 증명을 실시했다. 〈표 3〉은 논증의 결론을 $\sim(s \oplus \sim s)$로 두고 진리표 분석을 하였다. 결론을 $\sim(s \oplus \sim s)$로 두면 F이다. 따라서 논증의 전제가 T인 경우에만 전체 논증의 결과가 F로 나온다. 〈표 3〉의 진리표를 보면

〈표 2〉 모순문제 유형이 $(w \rightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$인 경우의 문제해결전략

$w\ s\ u$	$w \rightarrow s$	$\wedge$	$s \rightarrow u$	$\wedge$	$w \oplus \sim u$	$\rightarrow$	$s \oplus \sim s$
T T T	T	**T**	T	**T**	**T**	**T**	**T**
T T F	T	F	F	F	F	T	T
T F T	F	F	T	F	T	T	T
T F F	F	F	T	F	F	T	T
F T T	T	T	T	F	F	T	T
F T F	T	F	F	F	T	T	T
F F T	T	T	T	F	F	T	T
F F F	T	**T**	T	**T**	**T**	**T**	**T**

〈표 3〉 모순문제 유형 ①에 대한 논증의 전제가 T임을 증명

$w\ s\ u$	$w \rightarrow s$	$\wedge$	$s \rightarrow u$	$\wedge$	$w \oplus \sim u$	$\rightarrow$	$\sim(s \oplus \sim s)$
T T T	T	**T**	T	**T**	**T**	**F**	**F**
T T F	T	F	F	F	F	T	F
T F T	F	F	T	F	T	T	F
T F F	F	F	T	F	F	T	F
F T T	T	T	T	F	F	T	F
F T F	T	F	F	F	T	T	F
F F T	T	T	T	F	F	T	F
F F F	T	**T**	T	**T**	**T**	**F**	**F**

〈표 4〉 모순문제 유형이 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$인 경우의 문제해결전략

$w\ s\ u$	$w \leftarrow s$	$\wedge$	$s \rightarrow u$	$\wedge$	$w \wedge \sim u$	$\rightarrow$	$w \wedge \sim s$
T T T	T	T	T	F	F	T	F
T T F	T	F	F	F	T	T	F
T F T	T	T	T	F	F	T	T
T F F	T	**T**	T	**T**	**T**	**T**	**T**
F T T	F	F	T	F	F	T	F
F T F	F	F	F	F	F	T	F
F F T	T	T	T	F	F	T	F
F F F	T	T	T	F	F	T	F

w, s, u가 {T, T, T}인 경우와 {F, F, F}인 경우에 한하여 논증의 결과가 F로 나왔다. 따라서 모순문제 유형 ①에 대한 논증의 전제는 항상 T임을 증명하였다.

모순문제 유형이 ③ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$, ⑦ $(w \rightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$, ⑨ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$에서도 모순문제 유형 ①처럼 w, s, u가 {T, T, T}인 경우와 {F, F, F}인 경우에 전제가 T이면 결론도 T로 나타났다.

모순문제 유형이 ② $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이고 문제해결목표가 $w \wedge \sim u$이면 문제해결전략은 $w \wedge \sim s$이다. 진리표에 의한 증명으로서, 〈표 4〉의 4행에서 전제가 T인 경우 결론도 T이다. 따라서 모순문제 유형 ②에 대한 논증은 타당하다. w, s, u가 {T, F, F}인 경우에 모순문제 유형이 ⑧ ($w \leftarrow s$)∧($s \leftrightarrow u$)에서도 전제가 T이면 결론도 T로 나타났다.

모순문제 유형이 ④ ($w \rightarrow s$)∧($s \leftarrow u$)이고 문제해결목표가 $w \wedge \sim u$이면 문제해결전략은 $s \wedge \sim u$이다. 진리표에 의한 증명으로서, 〈표 5〉의 2행에서 전제가 T인 경우 결론도 T이다. 따라서 모순문제 유형 ④에 대한 논증은 타당하다. w, s, u가 {T, T, F}인 경우에 모순문제 유형이 ⑥ ($w \leftrightarrow s$)∧($s \leftarrow u$)에서도 전제가 T이면 결론도 T로 나타났다.

모순문제 유형이 ⑤ ($w \leftarrow s$)∧($s \leftarrow u$)이고 문제해결목표가 $w \wedge u$이면 문제해결전략은 $w \wedge s$이다. 진리표에 의한 증명으로서, 〈표 6〉의 1행에서 전제가 T인 경우 결론도 T이다. 따라서 모순문제 유형 ⑤에 대한 논증은 타당하다.

진리표 증명으로 밝혀진 결과를 모순문제 유형에 따라 올바른 문제해결목표와 문제해결전략을 정리하면 〈표 7〉과 같다. 즉, 문제해결목표가 $w \oplus \sim u$인 경우의 문제해결전략은 $s \oplus \sim s$이다. 문제해결목표가 $w \wedge \sim u$인 경우의 문제해결전략은 $w \wedge \sim s$ 아니면 $s \wedge \sim u$이다. 문제해결목표가 $w \wedge u$인 경우의 문제해결전략은 $w \wedge s$이다(현정석, 2018).

문제해결전략은 문제해결자의 고정관념을 탈피하는데 유용하다. 첫째, 고정관념과 불일치되는 단어를 접하는 경우가 고정관념과 일치되는 단어를 접할 때보다 창의력이 높아진다. 문제해결전략은 $s \oplus \sim s$, $w \wedge \sim s$, $s \wedge \sim u$, $w \wedge s$으로서 고정관념과 불일치된다. 예를 들어, 비밀 메시지를 의사소통하기 위해 암호키를 일반 대중에게 공개하고 또한 비밀로 해야 한다는 암호키 개발의 문제해결전략은 일상적인 문제해결의 방향이 아니다(Diffie and Hellman, 1976). 고정관념과 불일치되는 상황에 접하게 되면 문제해결을 위한 생각의 영역이 확장되어 창의력이

〈표 5〉 모순문제 유형이 ($w \rightarrow s$)∧($s \leftarrow u$)인 경우의 문제해결전략

w s u	$w \rightarrow s$	∧	$s \leftarrow u$	∧	$w \wedge \sim u$	→	$s \wedge \sim u$
T T T	T	T	T	F	F	T	F
T T F	T	**T**	T	**T**	**T**	**T**	**T**
T F T	F	F	F	F	F	T	F
T F F	F	F	T	F	T	T	F
F T T	T	T	T	F	F	T	F
F T F	T	T	T	F	F	T	T
F F T	T	F	F	F	F	T	F
F F F	T	T	T	F	F	T	F

〈표 6〉 모순문제 유형이 ($w \leftarrow s$)∧($s \leftarrow u$)인 경우의 문제해결전략

w s u	$w \leftarrow s$	∧	$s \leftarrow u$	∧	$w \wedge u$	→	$w \wedge s$
T T T	T	**T**	T	**T**	**T**	**T**	**T**
T T F	T	T	T	F	F	T	T
T F T	T	F	F	F	T	T	F
T F F	T	T	T	F	F	T	F
F T T	F	F	T	F	F	T	F
F T F	F	F	T	F	F	T	F
F F T	T	F	F	F	F	T	F
F F F	T	T	T	F	F	T	F

〈표 7〉 모순문제 유형별 문제해결목표와 문제해결전략

모순문제 유형	문제해결목표	문제해결전략
① $(w \rightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$	$w \oplus \sim u$	$s \oplus \sim s$
② $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$	$w \wedge \sim u$	$w \wedge \sim s$
③ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$	$w \oplus \sim u$	$s \oplus \sim s$
④ $(w \rightarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$	$w \wedge \sim u$	$s \wedge \sim u$
⑤ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$	$w \wedge u$	$w \wedge s$
⑥ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$	$w \wedge \sim u$	$s \wedge \sim u$
⑦ $(w \rightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$	$w \oplus \sim u$	$s \oplus \sim s$
⑧ $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$	$w \wedge \sim u$	$w \wedge \sim s$
⑨ $(w \leftrightarrow s) \wedge (s \leftrightarrow u)$	$w \oplus \sim u$	$s \oplus \sim s$

높아지는 것으로 조사되었다(Gocłowska, Crisp, and Labuschagne, 2013). 모순되는 상태를 문제해결전략으로 강제로 삼게 되면 생각하기 쉬운 고정관념을 극복할 가능성이 커진다. 문제해결자가 쉽게 떠오르는 아이디어가 아니라 문제해결의 방향을 강제적으로 정하기에 그만큼 고정관념을 줄이는 효과가 있다(Finke, 1989). 셋째, 문제 유형에 따라 올바른 문제해결전략을 정하면 문제공간이 줄어들어 효율적인 문제해결이 가능해진다(Simon, 1987; 현정석, 박찬정, 2014a; Hyun and Park, 2015).

Ⅲ. 창의혁신 사례의 모순해결

3.1 문제해결목표가 $w \oplus \sim u$인 경우의 문제해결

다음은 암호의 역사에서 모순을 해결하여 혁신을 이룬 비대칭 암호키를 설명한다. 먼저 고전 암호에서 즐겨 사용되던 대체법(Substitution method)을 설명한다. 예를 들어, 알파벳을 3글자씩 오른쪽으로 이동시키는 대체법으로 암호를 만들면 〈그림 5〉와 같다.

만약 알파벳을 3글자씩 오른쪽으로 이동시킨 규칙으로 “i am happy”를 암호화시키면 “f xj exmmv”가 된다. 암호를 만드는 규칙을 알고 있는 메시지 수신자는 “f xj exmmv” 메시지를 받고 이를 “i am happy”로 암호 해독을 할 수 있다. 메시지 송신자와 메시지 수신자 둘 다 “알파벳을 3글자씩 오른쪽으로 이동시킨다.”라는 규칙을 알고 있다면 서로 비밀리에 의사소통을 할 수 있다. 이 경우 두 사람은 “알파벳을 3글자씩 오른쪽으로 이동시킨다.”라는 하나의 열쇠로 암호를 만들고 암호를 해독하고 있다.

수 천 년 동안 암호학이 발전하면서 암호를 만드는 규칙이 복잡해지기는 하였지만 암호를 만드는 키와 암호를 해독하는 키는 항상 같았다. 사람들이 사용해 온 암호는 암호를 만드는 키와 암호를 해독하는 키가 같다는 의미에서 이를 대칭키(symmetric key)라 부른다. 메시지를 송수신하는 당사자가 믿을 수 있는 극히 적은 소수의 사람들인 경우에는 대칭키가 큰 문제가 없지만 자신도 모르는 수많은 사람들과 암호 메시지를 보내고 받는 것은 상상할 수 없는 일이었다. 모르는 사람들을 일일이 만나 사전에 비밀 열쇠를 공유하는 것도 번거롭거니와 모르는 사람들이 비밀을 알아버리면 안되기 때문에 비밀키를 공유하는 것은 생각할 수 없었다(최병문, 이영환, 2012; 베루즈 포로우잔, 2008).

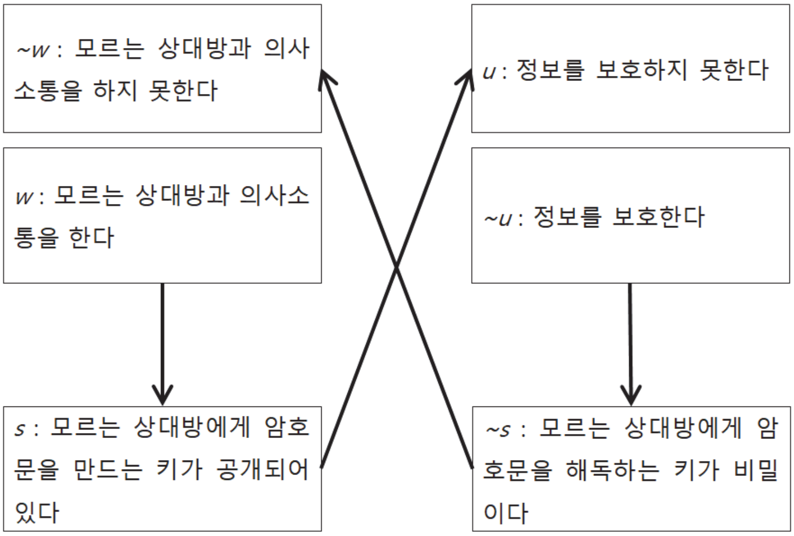
인터넷 전자상거래에서 모르는 사람과 메시지를 보내고 받고, 인터넷 결재를 하고 나면 내가 주문하

원문	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
암호문	x	y	z	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
원문	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
암호문	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w

〈그림 5〉 대체법에 의한 암호화 예

지 않았다고 발뺌도 못하는 것은 대칭키가 아닌 비대칭키(asymmetric key)를 사용하기 때문이다. Diffie와 Hellman이 처음으로 비대칭 암호키 아이디어를 1976년에 발표했다. Diffie와 Hellman은 대칭 암호키의 모순문제를 〈그림 6〉과 같이 파악하였다. 공개키 암호방식에서 모르는 상대방과 상거래와 의사소통을 하려면 암호를 만드는 키가 사전에 알려져 있어야 한다. 하지만 모르는 상대방에게 암호를 만드는 키가 사전에 알려져 있으면 정보보호를 할 수가 없다. 암호를 해독하는 키는 모르는 상대방에게 알려지면 안 된다. 암호키 문제는 모르는 상대방에게 암호문을 만드는 키가 사전에 공개되어야 하고 알려지면 안 되는 모순이 있었다. Diffie와 Hellman은 암호키의 모순문제를 공개키와 비밀키로 분해하는 것으로 해결했다($s \oplus \sim s$).

비대칭 암호키는 역설적이게도 공개키(public key) 암호방식이라고도 불린다. 일상생활에서 아파트 우편함을 사용하는 방식은 비대칭 암호키와 같다. 누구라도 아파트 우편함에 우편물을 넣을 수 있다는 의미에서 아파트 우편함은 공개키를 사용하고 있다. 하지만 우편함을 여는 것은 열쇠를 갖고 있는 주인만이 할 수 있다는 점에서 비밀키를 사용하고 있다. 아파트 우편함은 우편함에 우편물을 넣는 것과 꺼내는 것을 분리하여 문제를 해결하고 있는 셈이다. 아



〈그림 6〉 대칭 암호키의 모순문제

파트 우편함에 보낸 우편물의 내용을 아는 사람은 우편물을 보낸 사람과 우편함 주인 두 사람만 안다. 아파트 우편함처럼, 인터넷 전자상거래에서 비대칭 암호키는 일반대중에게 암호를 만들 수 있는 키를 공개하여 누구나 사용할 수 있도록 한다. 공개키로 암호화된 메시지를 받은 수신자는 자신의 비밀키를 가지고 아무도 모르게 암호문을 해독한다. 비대칭 암호키의 작동 원리는 다음과 같다.

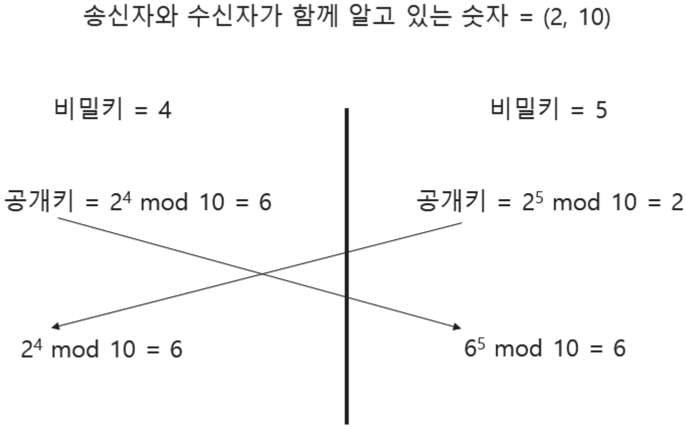
예를 들어, 〈그림 7〉과 같이 메시지 송신자와 메시지 수신자가 공통으로 2라는 숫자(n)와 10이라는 숫자(p)를 알고 있다고 하자. 메시지 송신자의 비밀키 숫자는 4, 메시지 수신자의 비밀키 숫자는 5라고 하자. 송신자는 수신자가 알고 있는 2와 10을 이용하여 다음과 같은 숫자를 만든다. 즉, $2^4 \bmod 10 = 6$ (송신자의 공개키), $2^5 \bmod 10 = 2$ (수신자의 공개키). 이 때, mod라는 연산자는 정수 나눗셈에서 나머지를 구해준다. 예를 들어, $12 \bmod 7 = 5$. mod 연산자는 단방향 연산자로 역함수가 구해지지 않는 특징을 갖는다. 송신자와 수신자는 공통으로 2와 10이라는 숫자와 상대방의 공개키, 자신의 비밀키를 알고 있다. 수신자의 공개키로 원문을 암호화한 후, 수신자에게 전송하면 수신자는 자신의 비밀키로 암호문을 해독하면 된다. 구체적인 작동 원리는 다음과 같다(현정석, 2017).

$$(\text{수신자의 공개키})^{\text{송신자의 비밀키}} \bmod 10 = (\text{송신자의 공개키})^{\text{수신자의 비밀키}} \bmod 10$$

위의 예에서 $(2^4)^5 \bmod 10 \equiv (2^5)^4 \bmod 10$이 된다.

영화 역사에서 거장으로 손꼽히는 Stanley Kubrick은 1968년에 '2001: 스페이스 오디세이'에서 혁신적인 영상을 소개했다. Kubrick은 '2001: 스페이스 오디세이' 도입부를 촬영할 때 문제에 직면했다(Cocks, 2010). 그는 스페이스 오디세이의 도입부에서 남서부 아프리카의 광활한 초원과 독특한 바위들을 배경으로 원시 인류를 등장시키고 싶었다. 배우와 장비들을 직접 아프리카로 이동시켜 촬영하는 것은 많은 비용이 들고 또한 촬영장소의 변덕스러운 날씨 때문에 Kubrick은 실내 영화촬영장에서 대형 스크린에 아프리카의 풍경을 투사하고 이를 배경으로 배우들이 스크린 앞에서 연기하는 장면을 촬영하려고 했다.

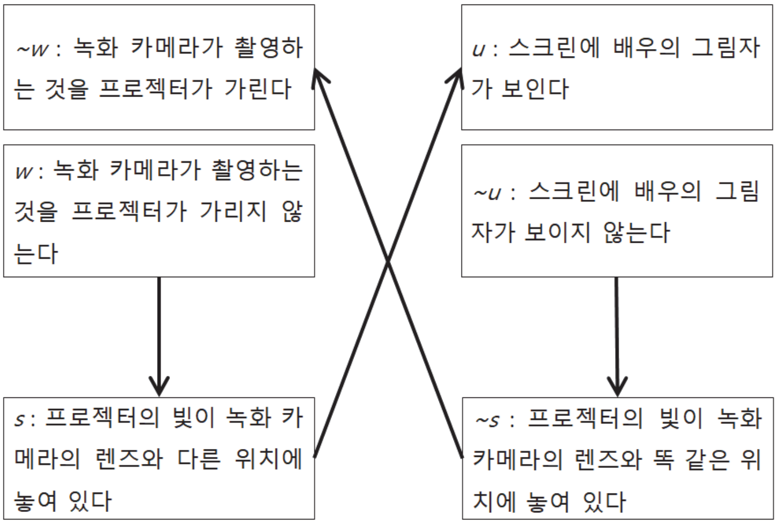
전통적인 촬영 방법은 스크린 뒤에서 배경장면을



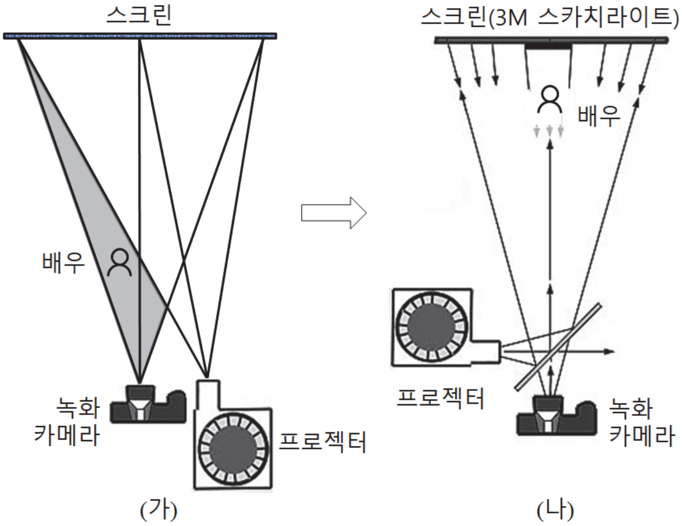
〈그림 7〉 메시지 송신자와 메시지 수신자의 의사소통

프로젝터로 투사하는 것이었다. 하지만 이 방법은 뒤에서 쏜 프로젝터의 빛이 스크린을 완전히 통과하지 못하여 배경화면이 어둡고 선명하지 못했다. 대안적인 방법은 녹화 카메라 옆에서 프로젝터가 배경화면을 스크린에 쏘아 보내어 스크린에 나타난 배경화면과 배우를 함께 녹화 카메라가 촬영하는 것이었다. 하지만 이 방법은 프로젝터가 비추는 빛이 스크린에 배우의 그림자를 비추게 되어 자연스러운 장면을 만들지 못했다. 배우의 그림자가 스크린에 나오지 않게 하려면 배우가 프로젝터의 빛을 피해 스크린 구석에서 연기해야 하는 공간제약도 있었다. Kubrick의 영화촬영 모순문제를 분석하면 〈그림 8〉과 같다. 녹화 카메라가 촬영하는 것을 프로젝터가 가리지 않으려면 프로젝터의 빛은 녹화 카메라의 렌즈와 다른 위치에 있어야 했다. 하지만 프로젝터의 빛이 녹화 카메라의 렌즈와 다른 위치에 있게 되면 스크린에 배우의 그림자가 보였다. 스크린에 배우의 그림자가 보이지 않게 하려면 프로젝터의 빛이 녹화 카메라의 렌즈와 정확히 같은 위치에 놓여 있어야 했다. 하지만 프로젝터의 빛이 녹화 카메라의 렌즈와 정확히 같은 위치에 정렬되어 있으면 녹화 카메라가 촬영하는 것을 프로젝터가 가린다. 즉, 실내 영화촬영장의 문제는 프로젝터의 빛이 녹화 카메라의 렌즈와 같은 위치에 놓여 있으면서 또한 다른 위치에 놓여 있어야 하는 모순을 갖고 있었다. Kubrick은 프로젝터의 모순을 전면 투사 스크린 기법(Front Projection Screen Method)으로써 해결했다.

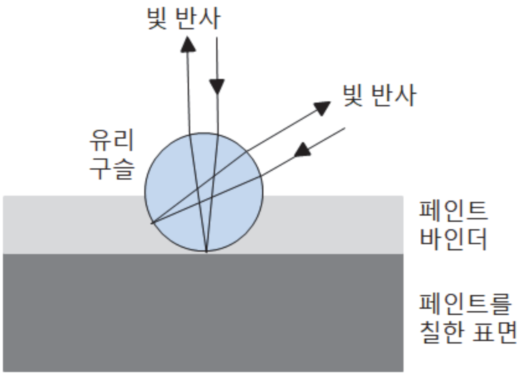
Kubrick은 프로젝터를 〈그림 9〉처럼 녹화 카메라와 90도 직각이 되도록 놓았다. 프로젝터와 녹화 카메라 앞에는 한 개의 일방향 거울(one-way mirror)을 놓았다(Davidhazy, 2008). 프로젝터가 아프리카 배경사진의 빛을 프로젝터와 45도 각도를 이루는 일방향 거울로 쏘아 보냈다. 일방향 거울은 빛의 절반은 통과하고 나머지 절반은 반사하는 특성이 있다. 일방향 거울에서 반사된 아프리카 배경사진은 스크린에 도달한 뒤 반사되어 정확히 녹화 카메라의 렌즈를 향했다. 프로젝터의 위치와 녹화 카메라의 위치는 달랐지만 일방향 거울을 사용하여 프로젝터의 빛이 녹화 카메라의 렌즈와 정확히 일치하는 방향으로 반사되었다($s \oplus \sim s$)(Cocks, 2010).



〈그림 8〉 Kubrick의 영화촬영 모순문제



〈그림 9〉 Kubrick의 전면 투사 스크린 기법



〈그림 10〉 3M의 스카치라이트

프로젝터의 빛이 절반만 일방향 거울을 통과하기에 스크린의 반사율이 높아야 선명한 배경화면을 찍을 수 있었다. 어두운 도로에서 쉽게 눈에 띄는 도로표지판은 빛을 그대로 반사하도록 아주 작은 공 모양의 반사물질이 표면에 부착되었다. 도로표지판과 매우 유사하게 3M의 스카치라이트(Scotchlite) 스크린은 미세한 공 모양의 유리구슬들이 페인트를 칠한 스크린 표면에 박혀 있다. 공 모양의 유리구슬은 〈그림 10〉처럼 어느 방향이든지 유리구슬로 온 빛을 다시 되돌리는 특성이 있어 반사율이 높다(현정석, 2017).

3.2 문제해결목표가 $w \wedge \sim u$인 경우의 문제해결

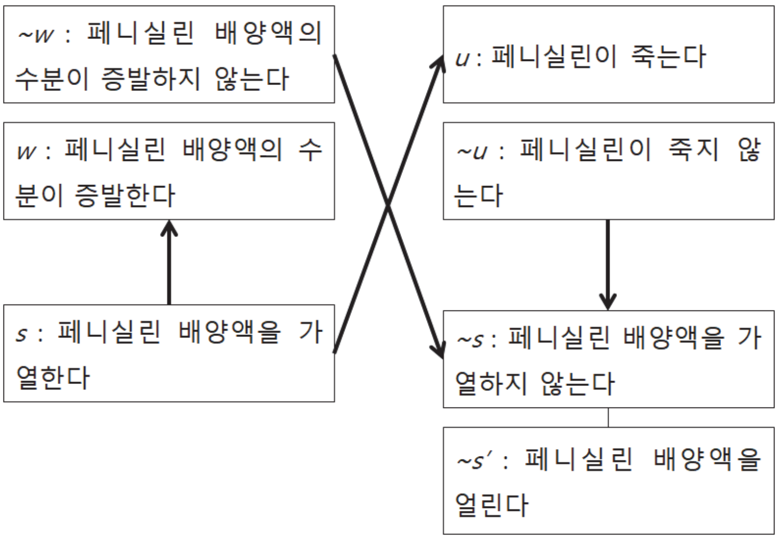
1928년 Alexander Fleming은 곰팡이가 핀 배양접시에서 곰팡이 주위가 깨끗한 것을 보고서는 페니실린의 살균작용을 알아차렸다. 푸른곰팡이에서 페니실린을 추출하여 환자들에게 투여하면 병을 치료할 수 있었다. 환자들에게 페니실린을 투여하려면 페니실린을 장기 보관해야 했다. 페니실린의 신진대사를 막아 장기 보관하기 위해서는 페니실린의 수분을 없애야 했다. Fleming은 페니실린의 수분을 없애기 위해 페니실린에 열을 가했다. 뜨거운 열을 받은 페니실린이 죽어버렸다. 페니실린을 죽이지 않으려면 페니실린에 열을 가하지 않아야 했다. 하지만 페니실린에 열을 가하지 않으면 수분증발이 되지 않았다. Fleming은 페니실린의 살균작용을 논문으로 발표하였지만 정작 페니실린 추출에는 성공하지 못하였다(김영호, 2009). Florey와 Chain 두 화학자는 페니실린의 살균작용에 관한 Fleming의 논문을

읽고서는 페니실린 추출문제에 달려들었다. Florey와 Chain의 페니실린 추출 문제를 분석하면 〈그림 11〉과 같다.

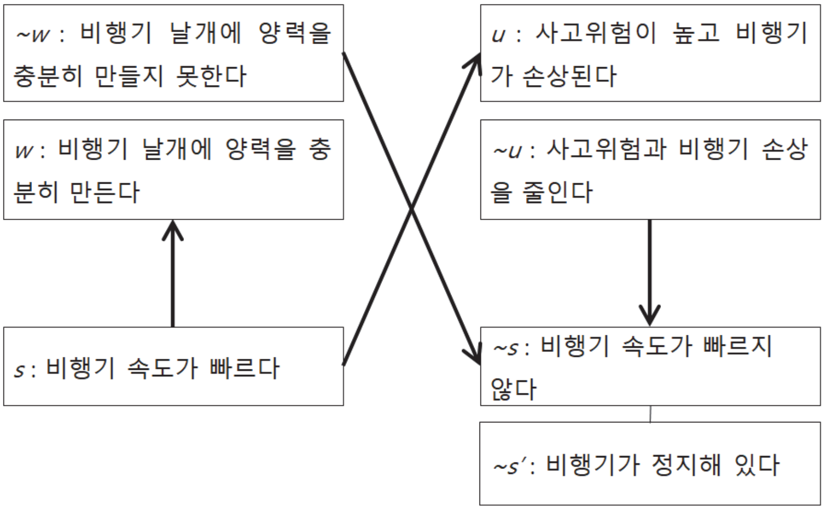
Florey와 Chain은 페니실린을 추출하는 문제를 Fleming과 반대로 접근했다. 그들은 페니실린에 열을 가하는 것이 아니라($\sim s$) 반대로 페니실린을 얼리는 접근을 취했다($\sim s'$). 페니실린에 열을 가하는 것이 아니라 아예 얼려버리는 반대의 접근방법으로 모순심화를 하여 수분을 증발시켰다($w \wedge \sim s'$). 그들은 진공동결건조의 방법을 이용하여 페니실린 추출에 성공하였다. 그들은 Fleming과 함께 1945년에 노벨상을 수상했다(현정석, 박찬정, 2014a).

모순을 심화하여 페니실린 추출에 성공했던 Florey와 Chain처럼 비행기를 발명한 Wright 형제도 비행기 문제를 모순심화로 해결하였다(미국특허, 821393). Wright 형제는 비행기 날개를 연구하기 위해 글라이더를 만들어 노스캐롤라이나 주의 키티호크로 갔다(메컬로, 2017). Wright 형제는 효율적인 비행기 날개모양을 찾아내기 위해 모래 언덕 위에서 글라이더를 하늘로 띄웠다. 비행기 날개가 충분한 양력을 만들어내려면 센 바람이 필요했다. 하지만 양력을 받아 글라이더가 하늘로 솟았다가 중심을 잃으면 땅으로 곤두박질쳤다. 손상된 글라이더를 고치려면 많은 시간과 비용이 들었다. 비행기 손상을 줄이고 비행기 조종사가 다칠 가능성을 줄이려면 비행기 속도가 빠르지 않아야 했다. 하지만 비행기 속도가 빠르지 않으면 비행기 날개에 충분한 양력을 만들기 힘들었다(현정석, 2014).

Wright 형제는 시행착오 방법으로는 효율적인 비행기 날개를 찾을 수 없다고 생각했다. 그들은 실제 비행기를 띄우지 않고 대신에 날개모형을 만들어 관찰하는 아이디어를 냈다(Wright and Kelly, 1953). Wright 형제는 비행기 속도가 느린 것이 아니라($\sim s$) 모순을 더 심화하여 아예 정지된 상태에서($\sim s'$) 양력을 만드는 접근을 취했다($w \wedge \sim s'$). 그들은 풍동(wind tunnel)을 만들고 엔진으로 바람을 풍동으로 흘려보냈다. Wright 형제는 1901년 9월~1902년 8월까지의 풍동실험을 통해 효율적인 비행기 날개를 찾아냈다(파커, 2016). 그들은 1903년에 공기보다 무거운 물체가 동력을 이용하여 원하는 방향으로 원



〈그림 11〉 페니실린의 모순문제



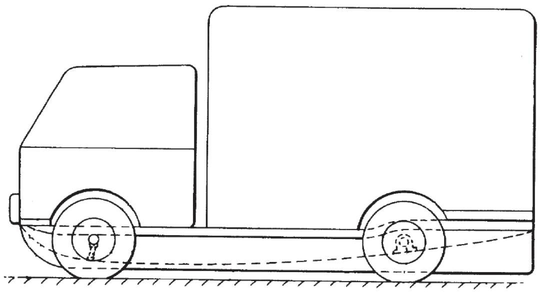
〈그림 12〉 Wright형제의 비행기 모순문제

하는 시간 동안 하늘에 머무를 수 있는 비행기를 인류 최초로 만드는데 성공했다(Grant, 2017; 현정석, 2018).

3.3 문제해결목표가 $w \wedge u$인 경우의 문제해결

전화위복은 해로운 것이 오히려 유익한 것이 된다는 고사성어이다. 상호연결성을 갖는 시스템은 시스템에 원하지 않는 나쁜 작용이 있다면 시스템의 다른 어느 곳에 어떤 좋은 작용이 있다. 즉, 모순문제 유형이 $(w \leftarrow s) \wedge (s \leftarrow u)$이면, $u \rightarrow w$이다. 시스템에서 원하지 않는 기능 u가 있다면, 시스템에 원하는 기능 w가 필요조건임을 알 수 있다. 상호연결성을 갖는 시스템에 유해작용이 있다면 유익작용이 반드시 있다는 뜻이다(현정석, 2014, 2018).

포뮬러 원 같은 자동차 경주대회에서 승부는 곡선 주행 길에서 결정된다. 직선 주행길이라면 전속력으로 그저 달려가면 되지만 곡선 주행 길에서 전속력으로 달리면 자동차는 도로 밖으로 빠져나가고 만다. 곡선 주행 길에서 천천히 달리면 도로 밖으로 빠져나가지 않지만 경쟁자들에게 뒤쳐진다. 자동차를 옆에서 보면 비행기 날개처럼 밑은 평평하고 위는 볼록한 곡선의 모양을 갖는다. 자동차는 속력이 빨라질수록 비행기처럼 자동차를 도로 바닥에서 공중으로 띄우는 양력이 생긴다. 경주용 자동차는 속력이 빨라질수록 자동차 통제가 어려워지는 문제가 있다.



〈그림 13〉 다운포스를 만드는 Chapman의 자동차 디자인

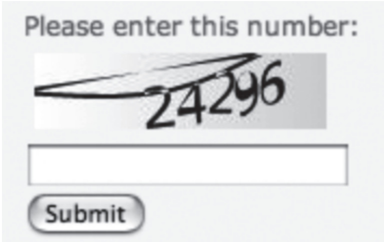
자동차가 달리는 동안 맞바람의 공기저항은 자동차 속력을 떨어뜨리는 유해작용을 한다. 자동차가 달리는 동안 맞바람을 피할 수가 없다. 맞바람을 피할 수 없다면 맞바람을 유익하게 활용하는 전화위복

의 아이디어가 나올 수 있다. Colin Chapman은 자동차의 맞바람을 반대로 유용하게 활용하는 아이디어를 냈다($w \wedge s$). 그는 자동차 밑면을 비행기 날개를 거꾸로 단 모양으로 바꾸었다. 비행기 날개를 거꾸로 단 자동차 밑바닥은 반대양력을 만들어냈다(쿠프레니스, 프레더릭, 2013). 자동차 속력이 빨라질수록 자동차를 땅에 달라붙게 하는 다운포스(downforce)를 만들었다(미국특허, 4386801).

자동차 경주대회에서 시속 300킬로미터의 속력을 달리는 Chapman의 자동차는 갑자기 도로가 하늘 위로 뒤집어져도 다운포스 때문에 자동차는 땅에 떨어지지 않고 천정에 매달려 달릴 수 있다(트레메인, 2014). 1978년에 그랑프리 경주대회가 16번 개최되었는데 Chapman의 자동차가 8번 우승했다(볼러, 구차르디, 리초, 2007). Chapman의 아이디어를 보고 자동차 개발자들은 추가적인 반대양력을 만드는 아이디어를 냈다. 그들은 유해한 자동차의 배기가스를 유익하게 활용하는 블로운 디퓨저(blown diffuser)를 개발했다(트레메인, 2014). 자동차의 배기가스는 유해하지만 자동차의 배기가스를 자동차 밑바닥으로 흘려보내면 그만큼 더 강한 반대양력으로 다운포스를 추가한다.

인터넷을 이용하다 보면 웹 사이트에서 가끔씩 일그러진 이미지가 무엇인지 묻는 경우가 있다. 이처럼 인터넷에서는 자동화된 스팸메일을 차단하기 위해 컴퓨터 사용자가 컴퓨터인지 사람인지 묻는 캡차(CAPTCHA, Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart, 컴퓨터와 사람을 구분할 수 있게 해 주는 완전 자동화된 공개 튜링 테스트) 프로그램이 사용된다(이민형, 2012). 〈그림 14〉와 같은 캡차 문제에서 사람은 '24296'로 쉽게 인식하지만 컴퓨터는 인식하기 힘들다.

컴퓨터에 짧은 몇 초의 시간일지라도 이를 입력하려면 시간낭비를 피할 수 없다. 매일 2억 명의 컴퓨

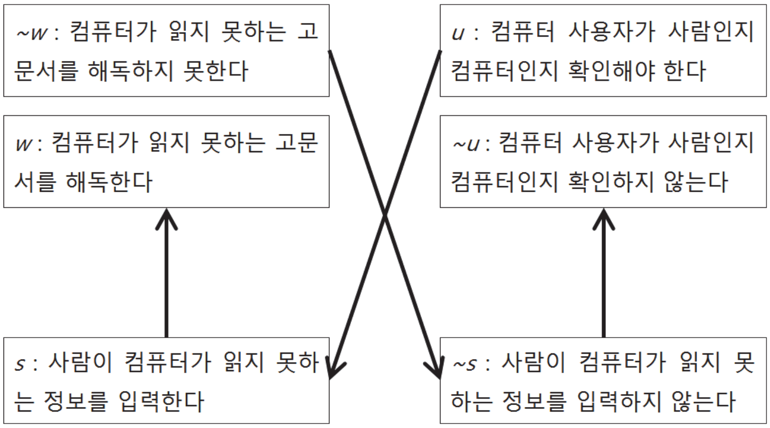


〈그림 14〉 캡차 문제의 예

터 사용자가 캡차 이미지의 단어를 10초 동안 입력하는 것은 63년에 해당하는 시간이며 3,500명이 일하는 노동가치에 해당한다(김상훈 & 비즈트렌드연구회, 2011). 루이스 폰 안(Luis Von Ahn)은 캡차를 입력하는데 들어가는 시간을 좀 더 유익하게 쓸 수 없을까 고민했다($w \wedge s$). 캡차의 문제에 대한 루이스 폰 안의 문제해결을 분석하면 〈그림 15〉와 같다(현정석, 2018).

루이스 폰 안은 컴퓨터가 인식하기 힘든 고문서를 복원하는 작업에 캡차를 활용하는 아이디어를 냈다. 즉, 컴퓨터와 사람이 각자 혼자서는 수행하지 못하는 일을 서로 결합하여 문제를 해결하는 "Human Computation"을 생각해냈다. 크라우드소싱(crowdsourcing)의 원형이라고도 불리는 그의 아이디어는 리캡차로 실현되었다.

리캡차(reCAPTCHA) 프로그램은 컴퓨터 사용자에게 두 단어를 묻는다. 하나는 컴퓨터가 모르는 고문서의 단어이고 다른 하나는 컴퓨터가 이미 아는 단어이다. 컴퓨터 이용자가 리캡차 문제를 푸는 동안에 단어해독과 사람인증을 하게 된다. 전 세계 인터넷 이용자들이 리캡차를 푸는 동안 자신도 모르는 사이에 고문서 해독작업을 하는 것이다. 구글은 2012년까지 140개 나라의 언어로 쓰인 1,500만 권의 책 스캔을 완료했다. 2020년이 되면 구글은 1억 3천만 권의 책을 디지털화하여 인류 역사에서 가장 큰 온라인 도서관을 갖게 된다(Kouroupetroglou, 2014).



〈그림 15〉 캡차에 대한 전화위복 해결

〈그림 16〉 리캡차 문제의 예

3.4 트리즈와 나비모형 비교

Altshuller가 트리즈를 개발하면서 가장 심혈을 기울여 만든 것은 아리즈(ARIZ)-85C이다(김효준, 2004). 아리즈(ARIZ)는 발명문제해결의 알고리즘(Algorithm of Inventive Problem Solving)을 뜻하는 러시아어 머리글자의 약어이다. 아리즈의 최초버전은 1956년에 만들어졌다. 이후 아리즈-61, 아리즈-68, 아리즈-71, 아리즈-77, 아리즈-85C가 개발되었다. Altshuller에 의한 아리즈 완결판은 아리즈-85C이다(김정선, 2008). 아리즈-85C는 다음과 같이 문제를 정의한다(Philatov, Zlotin, Zusman, and Altshuller, 1999).

기술적 모순 1: "만약 요소 C에 어떤 조치를 취하면, 요소 A가 좋아지는 것이 있지만 요소 B가 나빠지는 것도 있다."

기술적 모순 2: "만약 요소 C에 반대 조치를 취하면, 요소 B가 좋아지는 것이 있지만 요소 A가 나빠지는 것도 있다."

아리즈-85C는 위와 같이 문제를 정의한 후에 요소 A가 좋아지는 것과 요소 B가 좋아지는 것 중에서 기술시스템이 주요기능을 수행하는데 더 중요한 것을 선택하라고 제시한다. 예를 들어, 요소 A가 좋아지는 것이 요소 B가 좋아지는 것보다 주요기능을 수행하는데 더 중요하다고 판단하면 "요소 C에 어떤 조치를 취하면서 요소 B가 좋아지는 것"을 문제해결의 이상적인 방향으로 정하도록 요구한다. 이와 반대로 요소 B가 좋아지는 것이 요소 A가 좋아지는 것보다 주요기능을 수행하는데 더 중요하다고 판단하면 "요소 C에 반대 조치를 취하면서 요소 A가 좋아지는 것"을 문제해결의 이상적인 방향으로 정하도록 요구한다. 이처럼 아리즈-85C가 제시하는 이상적 최종결과(ideal final results)는 단 2개이다(Philatov, Zlotin, Zusman, and Altshuller, 1999; 김효준, 2004; 김정선, 2008; 김은경, 2015).

트리즈 연구자들은 브레인스토밍과 달리 아리즈는

이상적 최종결과를 문제해결의 방향으로 정하기에 문제해결에 시행착오가 없다고 주장한다. 하지만 아리즈-85C의 단계 6.3은 "지금 단계까지 문제가 풀리지 않았다면 단계 1.4로 되돌아가 다른 기술적 모순을 선정하라"고 요구한다(Philatov, Zlotin, Zusman, and Altshuller, 1999; 김정선, 2008). 아리즈-85C는 2개의 이상적 최종결과 중에서 어느 것을 선택해야 하는지 구체적인 기준을 제시하지 않는다. 아리즈-85C는 2개의 이상적 최종결과 중에서 하나를 선정하고 난 뒤에 모순을 해결하기 위해 분리원리(예: 시간 분리, 공간 분리, 전체와 부분 분리)를 적용하라고 권한다. 이때 어느 분리원리가 최고의 아이디어를 도출할지 미리 알 수 없기 때문에 모든 분리원리를 일단 적용해 보라고 권한다(김은경, 2015). 아리즈의 방법은 한 가지 대안이 답이 될 수 없으면 다른 대안을 다시 검색해보는 brute-force한 방식의 문제해결 알고리즘이다. 따라서 효율적인 알고리즘이 되기 위한 개선이 요구된다(Levitin, 2007). 더욱이 Altshuller를 비롯한 트리즈 연구자들은 타협(compromise)을 혁신적인 문제해결의 방법으로 여기지 않는다(Altshuller, 1984; Philatov, Zlotin, Zusman, and Altshuller, 1999; Savransky, 2002; 김효준, 2004; 신정호, 2017).

다음은 James Watt가 발명한 원심조속기의 사례로써 트리즈와 나비모형의 차이를 설명한다. Watt는 증기기관을 발명한 뒤에 증기기관의 속도를 일정하게 유지해야 하는 문제를 풀어야 했다. Watt가 직면한 증기기관의 모순문제는 다음과 같았다(시촌열이랑, 2006).

만약 증기기관의 스로틀밸브가 열려 있으면(s), 연료공급이 늘어나 작업부하량을 견딜 수 있지만(w) 엔진속도가 너무 빠르다(u). 이와 반대로 만약 증기기관의 스로틀밸브가 닫혀 있으면($\sim s$), 연료공급이 줄어들어 엔진속도가 너무 빠르지는 않지만($\sim u$) 작업부하량을 견디지 못한다($\sim w$). Watt는 엔진이 작업부하를 견디면서도 엔진이 너무 빠르지 않도록 조절해주는 원심조속기를 발명하였다. Watt의 원심조속기는 스로틀밸브가 열리면 연료공급이 증가되어 조속기의 중심 회전축이 빠른 속도로 회전하게 된다. 조속기의 양팔에 매달린 추가 회전하면 원심력의 작용으로 위로 들리게 된다. 조속기의 추가 위로 들리면 스로틀밸브가 닫히고 연료공급이 줄게 되어 조속기의 중심 회전축이 느린 속도로 회전하게 된다. 조속기의 양팔에 매달린 추가 중력의 작용으로 아래로 내려오면 다시 스로틀밸브가 열리고 연료공급이 증가된다. 결국 일정한 높이를 유지하는 조속기의 추가 스로틀밸브를 일정한 비율로 열어 엔진 속도를 일정하게 유지시킨다.

휴대가 편리한 키보드와 자판입력이 편리한 키보드의 모순문제는 휴대할 때와 자판입력할 때에 키보드의 크기가 변하도록 만들면 문제가 해결된다. 아리즈-85C는 물리적 모순을 해결하려면 분리원리를 적용할 것을 제안하지만 원심조속기의 발명은 분리원리가 아니라 시스템 구성요소의 상태 s와 $\sim s$의 적절한 비율의 타협점에서 혼합하여 문제가 해결되었다. 키보드 문제처럼 최적의 이상점(optimal ideal point)이 2개인 경우에는 분리원리가 적용되지만 Watt의 원심조속기처럼 이상점이 1개인 경우에는 타협에 의한 혼합원리가 적용된다. 일정한 속도를 유지해야 하는 엔진의 문제처럼 최적의 이상점이 1개인 문제는 타협이 모순문제를 해결하는 효과적인 방법이 될 수 있음에도 불구하고 트리즈는 타협을 열등한 문제해결법으로 간주한다(현정석, 2018). 나비모형은 모순문제의 유형과 이상점의 개수에 따라 적용되는 문제해결 차원을 구분하였다. 논리학의 기본으로 꼽히는 Aristotle의 대당 사각형은 단정적인 정언명제를 2차원적으로 분석한다. 나비모형은 모순문제의 구성요소 w, s, u, $\sim w$, $\sim s$, $\sim u$를 모두 표현하고 있어서 딜레마 모순문제를 3차원으로 분석한다. 나비모형은 공학적인 발명문제뿐만 아니라

거짓말쟁이 역설 같은 논리학 딜레마(손병홍, 2014), 자연과학의 창의적 연구에서 즐겨 사용되어 온 귀류법 증명(현정석, 박찬정, 2016), 도덕 철학의 도덕 딜레마(Thomson, 1985) 등을 논리적으로 분석할 수 있다.

모순문제는 풀기 어렵고 생각하기 어려워 발명특허를 위한 좋은 대상이다. 예를 들어, 말을 타는 초보자는 불안한 마음 때문에 등자에 발을 깊숙이 넣는다. 등자에 발을 깊숙이 넣으면 말에서 떨어질 때 발이 등자에서 빠지기 어려워 자칫 큰 사고로 이어진다. 그렇다고 등자에 발을 얕게 넣으면 사고 위험이 줄어들지만 말을 탈 때 안정감이 떨어진다. 등자의 모순문제에 대해 학생들은 말을 탈 때에는 등자에 발을 깊숙이 넣다가 기수가 말에서 떨어질 때에는 안장에서 등자가 분리되도록 아이디어를 내어 특허등록을 받았다(한국특허, 10-1026509). 나무 지지대는 나무를 지지하기 위해 철사줄 등으로 나무를 단단히 조이지만 나무가 자라면서 나무의 성장에 방해된다. 그렇다고 고무줄처럼 유연한 것으로 나무를 조이면 나무의 성장을 방해하지는 않지만 나무를 단단히 조이지는 못한다. 학생들은 강의실 밖 나무 지지대에서 모순문제를 찾아내고 해결하여 특허등록을 받았다(한국특허, 10-2017-0035367).

Ⅳ. 결 론

경제학은 합리성을 가정하여 대안 중에서 가장 가치가 큰 것을 선택하는 가치 극대화(value maximization)를 공리로 삼는다(Mankiw, 2009). 행동의사결정론은 제한된 합리성을 가정하여 좋다고 여겨지는 만족스러운 대안을 선택하는 만족화(satisficing)를 공리로 삼는다(Simon, 1987; Shafir, Simonson, and Tversky, 1993). 경제학과 행동의사결정론은 둘 다 많은 대안들 중에 어느 하나를 선택(one-of-them)하고 나머지를 버리는 접근법을 취한다. 창의적 문제해결에 관한 많은 연구들도 많은 대안들 중에 특정 대안 하나를 선택하고 나머지 열등한 대안들을 포기하는 접근법을 취한다. 예를 들어, 선택대안이 갖고 있는 속성 값과 속성의 중요도를 모두 곱한 뒤에 가장 큰 값을 갖는 대안을 선택하고 나머지를 버린다(김기영, 2008). 하지만 열등한 대안이라 하더라도 선택된 대안이 갖지 못한 장점을 갖는 경우가 많다. 선택대안의 우열을 가리기 힘든 경우도 있어 선택하지 않은 대안의 장점을 포기하기 어려운 경우도 있다. 창의적이고 혁신적인 사례들은 어느 한 대안만 선택하기보다 대안들의 장점을 모두 충족하는 경우가 많다(Brandenburger and Nalebuff, 2011; Martin, 2009; 현정석, 2018).

동양인들에 비해 논리적 사고가 강한 서양인들은 모순을 논리적으로 존재하지 않는 틀린 것으로 간주하여 왔다(Peng and Nisbett, 1999). 이런 이유로 인해 창의성에 관한 대부분의 기존 연구들은 문제 유형을 통찰 문제와 분석적 문제, 잘 정의되지 않은 문제와 잘 정의된 문제로 나누어 연구하였지만 모순문제는 주의를 기울이지 않았다(Förster, Epstude, and Özelsel, 2009; Gick and Holyoak, 1980; Jonassen, 1997). Simonton(2004)은 과학적 발견과 관련하여 상반되는 내용을 동시에 떠올리는 것은 비논리적이기 때문에 과학 창의성은 의도적인 논리보다는 우연의 산물이라고 주장하였다. 그는 논리적 분석에 적합한 문제들은 수학연산이 가능하기에 독창적이기 보다 일상적인 수준에 불과하다고 주장하였다. 그는 진정으로 독창적인, 나아가 혁명적인 아이디어들은 단계별로 미리 정해진 방식을 통해 해결할 수 없다고 주장했다.

브레인스토밍, 창의적 문제해결, 신상품개발에 관한 많은 연구들은 깔때기 모양처럼 먼저 발산적 사고를 하여 창의적인 아이디어를 가급적 많이 만들어낸

다음에 수렴적 사고를 통하여 실현 가능성이 높은 소수 아이디어를 발전시키는 방법을 취한다(김영채, 2013; Aaker, Kumar, and Day, 2003; Urban and Hauser, 1993; Lilien, Kotler, and Moorthy, 1995). 가급적 많은 아이디어를 생성한 다음에 정교화 과정을 밟는 방식은 많은 아이디어 중에 어느 아이디어가 혁신적인지, 어느 아이디어가 최종적으로 문제해결안이 될지 몰라 많은 시행착오를 거쳐야 한다.

Altshuller와 그의 동료들은 200만 건이 넘는 발명특허를 귀납적으로 분석하여 문제해결의 공통 해결패턴을 트리즈로 정립하였다(Altshuller, 1984). 트리즈의 독보적인 관점과 오랜 분석에도 불구하고 브레인스토밍처럼 문제해결에 시행착오적인 특성이 있다(Savransky, 2002). 이론의 발전은 귀납적으로 자료를 수집하고 분류하여 이론을 구축하는 단계에서 일반화를 위해 연역적으로 이론을 증명하는 과정을 밟는다(김인수, 2000). 피타고라스는 직각 삼각형에서 세 변의 길이가 $a^2+b^2=c^2$을 증명하였다. 피타고라스보다 천년 정도 일찍 고대 이집트와 중국은 직각 삼각형에서 세 변의 길이가 3, 4, 5인 것을 경험적으로 알았지만 기호를 이용하여 논리적으로 $a^2+b^2=c^2$을 증명하지는 않았다. 문제해결 과정에 기호를 도입하면 문제의 핵심을 간결하게 나타내면서도 시행착오 없이 일반화된 결과를 이끈다. 기호에 대한 정의를 내리면 사람들마다 서로 다른 해석을 내릴 가능성을 줄여 일상 언어의 모호함을 극복할 수 있다.

Aristotle의 대당 사각형이 정언명제를 2차원으로 분석하는데 반해 나비모형은 딜레마 모순문제를 3차원으로 분석한다. 나비모형은 모순문제의 구성요소 6개(w, s, u, $\sim w$, $\sim s$, $\sim u$)를 모두 표현하고 있어서 공학적인 발명문제, 논리학의 딜레마, 자연과학의 창의적 연구에서 사용되어온 귀류법, 도덕철학의 도덕딜레마를 분석할 수 있다. 본 연구는 유클리드의 기하학 '원론'처럼 모순문제에 대한 용어를 명확히 정의하고 기호 논리학을 이용하여 문제유형별로 올바른 해결전략을 증명하였다. 기호 논리학은 일상 언어의 애매함을 극복하고 타당한 논리 구조를 파악하도록 도와주는 이점이 있다. 아이디어 창출과 창의적 문제해결에 관한 많은 연구들이 귀납적 추론을 이용한 반면에 본 연구는 기호 논리학을 이용한 연역적 증명으로써 피타고라스의 수처럼 일반적 원리를 처음으로 밝혔다.

본 연구는 트리즈와 차별화하여 모순문제의 구조와 유형을 분석하고 해결공간(solution space)을 줄이도록 문제를 정형화하는데 초점을 두었다. 창의적 문제해결에 관한 기존 연구와 달리 나비모형은 초기문제에서 올바른 문제해결전략에 이르는 추론과정에 대해 연역적 증명을 실행하고 단순한 기호와 시각적 다이어그램으로 문제를 표상하였다(Hyun and Park, 2012; 현정석, 2018).

본 연구는 문제의 구성요소 w와 s, s와 u가 서로 간에 가질 수 있는 조건명제 관계(충분조건, 필요조건, 필요충분조건) 9개의 문제 유형을 분석하였다. 아울러 모순문제 유형별로 타당한 문제해결목표가 무엇인지 증명하였다. 모순문제 유형은 9개로 다양하더라도 문제해결목표는 ① $w \oplus \sim u$, ② $w \wedge \sim u$, ③ $w \wedge u$이다. 문제해결목표가 $w \oplus \sim u$인 경우에 올바른 문제해결전략은 $s \oplus \sim s$이다. 문제해결목표가 $w \wedge \sim u$인 경우에 올바른 문제해결전략은 $w \wedge \sim s$, $s \wedge \sim u$이다. 문제해결목표가 $w \wedge u$인 경우에 올바른 문제해결전략은 $w \wedge s$이다.

브레인스토밍, 창의적 문제해결, 신상품개발에 관한 기존 연구들은 먼저 발산적 사고로써 다양한 아이디어를 만든 뒤에 이들 아이디어 중에서 수렴적 사고를 써서 좋은 아이디어를 선택하라고 제안한다. 본 연구의 모순해결 방법론은 브레인스토밍, 창의적 문제해결, 신상품개발에 관한 기존 연구들과 반대로 접근한다(현정석, 2012, 2014; 현정석, 박찬정,

2014a, 2014b). 먼저 연역적 증명으로 밝혀진 모순문제 유형과 그에 따른 문제해결전략에 기초하여 문제를 분석한다. 논리적인 수렴적 사고를 통해 모순문제 유형을 파악하고 문제 유형별로 올바른 문제해결전략을 정한다. 모순문제에 있는 상충관계와 매개모순을 파악함에 따라 매개모순에 있는 어느 시스템 구성요소를 변경해야 모순이 해결되는지 파악한다. 나비 다이어그램으로 문제를 분석하고 모순문제 유형을 파악하는 논리적 과정에서 문제공간이 좁혀짐에 따라 임의적 대안선택을 없앰으로써 단기간에 효율적인 문제해결이 가능하다.

모순해결 원리를 배운 학생들이 발명대회에 참가하여 2007~2016년 10년 연속 수상하였다. 총 76명의 학생(초등학생 13명, 중학생 10명, 고등학생 4명, 대학생 49명)이 수상하였다. 학생들(중학생 5명, 고등학생 4명, 대학생 36명, 대학원생 1명)은 총 26건의 특허를 등록했다. 학생들의 아이디어를 기업들이 구매하여 2건의 기술이전이 이루어졌다. 고사성어 '새옹지마'에 친숙한 학생들은 양자모두를 받아들이는 변증법적 사고를 통해 모순해결 원리를 쉽게 학습한다. 모순해결 원리를 배운 학생들은 풀기 어려운 문제를 쉽게 포기하지 않고 적극적으로 문제를 풀려고 하는 성장 마인드세트(growth mindset)를 갖는 것으로 조사되었다(현정석, 박찬정, 2013). 연역적인 증명을 통해 일반화된 해결원리를 밝힌 나비모형은 기업과 개인에게 체계적인 혁신을 이루는 방법론으로써 유용하다(현정석, 2014).

REFERENCES

Aaker, David A., V. Kumar, and George S. Day (2003), *Marketing Research*, John Wiley & Sons, Inc.

Altshuller, G. Saulovich(1984), *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*, CRC Press.

Anderson, John R., Lynne A. Reder, and Herbert A. Simon(1996), "Situated Learning and Education," *Educational Researcher*, Vol. 25, No. 4, 5-11.

Bowler, Michael, Giuseppe Guzzardi, and Enzo Rizzo (2004), *The Great Book of Automobiles*, White Star.

Brandenburger, Adam M. and Barry J. Nalebuff (2011), *Co-opetition*, Random House LLC.

Choi, B. M. and Lee, Y. H.(2012), *The World of Cryptograph*, Kyeongmunsa. 〔printed in Korean〕

Cocks, Jay(2010), *The Making of 2001: A Space Odyssey*, The Modern Library.

Copi, Irving M., Carl Cohen, Kenneth McMahon (2010), *Introduction to Logic*, Routledge.

Davidhazy, A.(2008), "Front Projection: A Useful Compositing Special Effects Technique," Accessed from http://scholarworks.rit.edu/article/437.

Descartes, Rene and Donald A. Cress(1999), *Discourse on Method and Meditations on First Philosophy*, Hackett Publishing Company.

Diffie, Whitfield and Martin E. Hellman(1976) "New Directions in Cryptography," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 22, No. 6, 644-654.

Duncker, Karl(1935/1945), "On Problem-Solving (Translated by Lynne. S. Lees)," *Psychological Monographs*, Vol. 58, No. 5(Whole No. 270), 1-111.

Gocłowska, Małgorzata A., Richard J. Crisp, and Kirsty Labuschagne(2013), "Can Counter-stereotypes Boost Flexible Thinking?" *Group Processes & Intergroup Relations*, Vol. 16, No. 2, 217-231.

Förster, Jens, Kai Epstude, and Amina Özelsel (2009), "Why Love Has Wings and Sex Has Not: How Reminders of Love and Sex Influence Creative and Analytic Thinking," *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 35; 1479-1491.

Forouzan, Behrouz(2007), *Cryptography & Network Security,* McGraw-Hill Education.

Gick, Mary L. and Keith J. Holyoak(1980), "Analogical Problem Solving," *Cognitive Psychology*, Vol. 12, 306-355.

Grant, R. G.(2017), *Flight, the Complete History*, Dorling Kindersley Ltd.

Finke, R. A.(1989), *Principles of Mental Imagery*, The MIT Press.

Han, B. J.(1989), *Hanbija*, Hongsinmunhwasa. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk(2012), "The Algorithms and The Education Effects of the Butterfly Model for Solving Contradictions," *Korea Business Review*, Vol. 16, No. 3, 101-132. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk(2014), "Logical Proof and Case Study of the Butterfly Model for Contradiction Solving of Science Technology Innovation," *Science and Technology Policy Institute,* 1-80. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk(2016.2.19), "Deep a well for a long time," *Maeilkyungje*. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk(2017), *Elements of Creative Innovation*, Seongminchulpansa. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk(2018), *Theory and Practices of Creative Contradiction Solving*, Chungram Publishing Company. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2012), "The Butterfly Model for Supporting Creative Problem Solving," *Knowledge, Information and Creativity Support Systems(KICSS)*, 2012 Seventh International Conference on IEEE, 28-34.

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2013), "Learning Effects of Divide-and-Combine Principles and State Models on Contradiction Problem Solving and Growth Mindset," *Knowledge Management Research*, Vol. 14, No. 4, 19-46. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2014), "The Butterfly Diagram using Symbol Logic for Representation of ARIZ-85c Process," Korea Academic TRIZ Association, *Korea TRIZ Festival 2015*, 45-51. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2014), "Classification of Contradiction Relations and their Solving Dimensions based on the Butterfly Model for Contradiction Solving for Physical Contradiction of TRIZ," *Knowledge Management Research*, Vol. 15, No. 4, 15-34. [printed in Korean]

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2014), "Logical Interpretation about Problem Types and Solution Strategies of the Butterfly Model for the Automation of Contradiction-based Problem Solving," *IEEE International Conference on Teaching Assessment, and Learning for Engineering 2014,* Vol. 1, 1-6.

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2015), "Effects of the Butterfly Diagram Education in Primary and Secondary Schools on Contradiction Problem Solving Ability," *IEEE International Conference on Frontiers in Education Conference(FIE)*, 1-8.

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2016), "The Butterfly Algorithm: A Contradiction Solving Algorithm based on Propositional Logic for TRIZ," *International Journal of Software Engineering and Its Applications,* Vol. 10, No. 1, 27-34.

Hyun, Jung Suk and Chan Jung Park(2016), "Proof by Contradiction of Creative Research's Contradiction Resolution and the Representation with the Butterfly Diagram," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergence with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 6, No. 4, 407-415. [printed in Korean]

Jonassen, David H.(1997), "Instructional Design Models for Well-structured and III-structured Problem-solving Learning Outcomes," *Educational Technology Research and Development*, Vol. 45, No. 1, 65-94.

Kim, K. Y.(2008), The Power of Creative Problem Solving, Wisdomhouse Publishing Company. [printed in Korean]

Kim, S. H. and Biztrendyunguhoi, *Management of Common Sense Destruction Trend 29*, Oneandonebooks Publishing Company. [printed in Korean]

Kim, Y. C.(2013), *Thinking Skills Education: Theory and Practices*, Youonebooks Publishing Company. [printed in Korean]

Kim, Y. H.(2009), *Fleming's Penicillin Story*, Jaeumguamoeum Publishing Company. [printed in Korean]

Kim, E. K.(2015), *Secret of Creativity and Innovation, TRIZ*, Hanbitacademy Publishing Company. [printed in Korean]

Kim, I. S.(2000), "Management Research in Korea : A Call for Change," *Korea Management Review*, Vol. 29, No. 3, 293-314. [printed in Korean]

Kim, J. S.(2008), *Creative Thinking Training Algorithm, ARIZ*, Myguru Publishing Company. [printed in Korean]

Kim, H. J.(2004), *Creativity of Thought, TRIZ*, Jihye Publishing Company. [printed in Korean]

Kouroupetroglou, Christos(2014), *Enhancing the Human Experience through Assistive Technologies and E-Accessibility*, IGI Global.

Krantz Steven G.(2013), *An Episodic History of Mathematics Mathematical Culture Through Problem Solving*, American Mathematical Society.

Kuprenas, John and Matthew Frederick(2018), *101 Things I Learned in Engineering School*, Three Rivers Press.

Lee, J. Y.(2015), *Pasteur's Pasteurization Story*, Jaeumguamoeum Publishing Company. [printed in Korean]

Lee, K. U. et al.(2007), *Introduction to Engineering Problem Solving*, Sigmapress Publishing Company. [printed in Korean]

Lee, M. H.(2012.02.03), "It Prevents Spam, It Does Good Work, …Collective Intelligence in Capcha Codes," *Digitaldaily*. [printed in Korean]

Levitin, Anany(2007), *Introduction to the Design & Analysis of Algorithms*, Pearson Addison Wesley.

Lilien, Gary L., Philip Kotler, and K. Sridhar Moorthy(1995), *Marketing Models*, Prentice Hall.

McCullough, David(2015), *The Wright Brothers*, Simon & Schuster; Book Club Edition.

Mankiw, N. Gregory(2009), *Principles of Economics*, 5th Edition, Cengage Learning.

Martin, Roger L.(2009), *The Opposable Mind: Winning through Integrative Thinking*, Harvard Business Press.

McCormick, Blaine(2001), *At Work with Thomas Edison: 10 Business Lessons from America's Greatest Innovator*, Entrepreneur Press.

Parker, Barry(2014), *The Physics of War: From Arrows to Atoms*, Prometheus Books.

Peng, Kaiping and Richard E. Nisbett(1999), "Culture, Dialectics, and Reasoning about Contradiction," *American Psychologist*, Vol. 54, No. 9, 741-754.

Philatov, V., B. Zlotin, A. Zusman G. Altshuller (1999), *Tools of Classical TRIZ*, Ideation International Inc.

Polya, George(1973), *How to Solve It*, Princeton University Press.

Polya, George(1981), *Mathematical Discovery: On Understanding, Learning, and Teaching Problem Solving*, John Wiley & Sons, Inc.

Rivest, Ronald L., Adi Shamir, and Len Adleman (1978), "A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-key Cryptosystems," *Communications of the ACM*, Vol. 21, No. 2, 120-126.

Savransky, Semyon D.(2002), *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*, CRC Press.

Shafir, Eldar, Itamar Simonson, and Amos Tversky (1993), "Reason-based Choice," *Cognition*, Vol.49, Issues 1-2, October-November, 11-36.

Shin, J. H.(2006), *TRIZ Thinking*, Wowfactory Publishing Company. 〔printed in Korean〕

Sichonyulirang(2006), *What is Automatic Control*, Sungandang Publishing Company. 〔printed in Korean〕

Simon, Herbert A.(1987), *The Sciences of the Artificial*, The MIT Press.

Simonton, Dean Keith(2004), *Creativity in Science*, Cambridge University Press.

Son, B. H.(2014), *What is Paradox?* Jangseowon Publishing Company. 〔printed in Korean〕

Song, E. Y.(2012), *Einstein's Thinking Laboratory 2*, Bookie Publishing Company. 〔printed in Korean〕

Thomson, Judith Jarvis(1985), "The Trolley Problem," *The Yale Law Journal*, Vol. 94, No. 6, 1395-1415.

Tremayne, David(2010), *The Science of F1 Design*, Haynes Publishing.

Urban, Glen L. and John R. Hauser(1993), *Design and Marketing of New Products*, Prentice Hall.

Utterback, James M.(1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Cambridge, Harvard Business School Press.

Wing, J. M.(2006), "Computational thinking," *Communications of the ACM*, Vol. 49, No. 3, 33-35.

Wright, Orville and Fred C. Kelly(1953), *How We Invented the Airplane*, McKay.

국내참고문헌

김기영(2008), **창의력 문제해결의 힘**, 위즈덤하우스.

김상훈 & 비즈트렌드연구회(2011), **상식파괴의 경영 트렌드 28**, 원앤원북스.

김영채(2013), **사고력 교육: 이론과 실제**, 유원북스.

김영호(2009), **플레밍이 들려주는 페니실린 이야기**, (주)자음과 모음.

김은경(2015), **창의와 혁신의 시크릿, 트리즈**, 한빛아카데미.

김인수(2000), "한국의 경영학연구: 이대로는 안 된다," **경영학연구**, 제29권 제3호, 293-314.

김정선(2008), **창조적 사고 훈련 알고리즘, ARIZ**, 주식회사 마이구루.

김효준(2004), **생각의 창의성 TRIZ**, 도서출판 지혜.

데이비드 메컬로(2017), **라이트 형제**, 박중서 역, 승산.

데이비드 트레메인(2014), **F1 디자인 사이언스**, 류청희 역, 양문.

르네 데카르트(1637/2010), **데카르트 연구, 방법서설 성찰**, 창.

마이클 볼러, 주세페 구차르디, 엔초 리초(2007), **자동차의 역사**, 하윤숙 역, 예담.

베루즈 포로우잔(2008), **암호학과 네트워크 보안**, 손승원, 이재광, 임종인, 전태일 역, ㈜한국맥그로힐.

배리 파커(2016), **전쟁의 물리학**, 김은영 역, 북로드.

손병홍(2014), **패러독스란 무엇인가?** 장서원.

송은영(2012), **아인슈타인의 생각실험실2**, 부키.

스티븐 크란츠(2013), **문제해결로 살펴본 수학사**, 남호영, 장영호 역, 경문사.

시촌열이랑(2006), **자동제어란 무엇인가**, 김상진 역, 성안당.

신정호(2017), **트리즈씽킹**, 와우팩토리.

어빙 코피, 칼 코헨(2000), **논리학입문**, 박만준, 박준건, 류시열 역, 경문사.

이경우, 김병재, 이태희, 황농문, 한송엽(2007), **공학문제해결입문**, ㈜시그마프레스.

이민형(2012.02.03), "스팸도 막고, 좋은 일도 하고…캡챠코드에 담긴 집단지성," 디지털데일리.

이재열(2015), **파스퇴르가 들려주는 저온 살균 이야기**, ㈜자음과모음.

존 쿠프레니스, 매튜 프레더릭(2013), **공학 교육에서 배운 101가지**, 글램북스.

최병문, 이영환(2012), **암호의 세계**, 경문사.

한비자(1989), **한비자**, 성동호 역, 홍신문화사.

현정석(2012), "모순해결 나비 모형의 알고리즘과 교육효과," **Korea Business Review**, 제16권 제3호, 101-132.

현정석(2014), "과학기술혁신의 모순해결을 위한 나비모형의 논리적 증명과 사례 연구," 국문보고서, 과학기술정책관리연구원, 1-80.

현정석(2016), "한 우물, 오래 깊게 파라 … 혁신의 끝판왕은 지구력," 매일경제, 2016년 2월19일.

현정석(2017), **창의혁신의 요소**, 성민출판사.

현정석(2018), **창의적 모순해결의 원리와 실제**, 도서출판 청람.

현정석, 박찬정(2013), "분할-결합 원리와 상태모형에 대한 학습이 모순문제 해결과 성장 마인드세트에 미치는 영향," **지식경영연구**, 제14권 제4호, 19-46.

현정석, 박찬정(2014a), "아리즈-85c의 문제해결과정을 기호논리로 표상한 나비 다이어그램," 한국트리즈학회 코리아 트리즈 페스티벌 2015, 45-51.

현정석, 박찬정(2014b), "트리즈의 물리적 모순에 대한 모순해결 나비모형의 모순관계와 해결차원 분류," **지식경영연구**, 제15권 제4호, 15-34.

현정석, 박찬정(2016), "창의적 연구의 모순해결과정에 적용된 귀류법과 이를 표상한 나비 다이어그램," **예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지**, 제6권 4호, 407-415.

Principles and Cases of Contradiction Solving for Creative Innovation

Jung Suk Hyun* · Chan Jung Park**

Abstract

There have been many examples of innovations that solved contradictions in the history of science and technology and business. Altshuller and his colleagues inductively analyzed the invention patents and established common patterns in problem solving as TRIZ. Despite TRIZ's unique view of invention patents in contradiction solving, TRIZ has a trial-and-error to solve problems like Brainstorming. The development of theory leads to the process of proving theories deductively for generalization at the stage of collecting and classifying data and constructing theories inductively. Ancient Egypt and China empirically knew that the length of the three sides of the triangle was three, four, and five in the right triangle, about a thousand years earlier than Pythagoras. However, they did not prove $a^2+b^2=c^2$ based on symbols and logics. In this paper, we define terms and symbols used in contradiction solving methodology, and prove problem solving objectives and correct problem solving strategies by truth table for each contradiction problem type. This study analyzed the process of contradiction solving based on the type of contradiction problem with creative innovative cases. While many studies on idea generation and creative problem solving use inductive reasoning, this paper firstly showed the general principle as deductive proof using symbolic logic. Existing research on brainstorming, creative problem solving, and new product development suggests that we make good various ideas by divergent thinking, followed by choosing a good idea by using convergent thinking among these ideas. The contradiction solving methodology of this paper approaches contrary to existing studies on brainstorming, creative problem solving, and new product development. First, we identify the types of contradiction problems through logical convergent thinking, and determine correct problem solving strategies for each problem type. As the problem space is

* Professor, Jeju National University, First Author
** Professor, Jeju National University, Corresponding Author

narrowed, eliminating arbitrary alternatives makes it possible to solve problems efficiently in a short period of time. By formalizing the contradiction solving methodology, innovation can be achieved systematically, not by chance.

Key Words: Innovation, Contradiction Solving Methodology, Creative Problem Solving, TRIZ