아리즈-85c의 문제해결과정을 기호논리로 표상한 나비 다이어그램

현정석†·박찬정**

The Butterfly Diagram using Symbol Logic for Representation of ARIZ-85c Process

Jung Suk Hyun and Chan Jung Park

Key Words: The Butterfly Diagram(나비 다이어그램), ARIZ(아리즈), Symbol Logic(기호논리), Contradiction Solving(모순해결)

Abstract

수학문제에서 기호의 도입은 문제의 핵심을 간결하게 표상시켜 보다 쉽게 문제해결이 되도록 만든다. 또한 수학문제의 해결과정에서 기호에 대해 정의를 내리는 것은 문제해결자마다 서로 다른 해석을 내릴 가능성을 줄임으로써 일상언어의 모호성을 극복하도록 돕는다. 창의적 문제해결에 대한 트리즈의 독보적인 기여에도 불구하고 트리즈의 이론개발은 연역법보다는 귀납법에 의존한 경우가 많다. 본 연구는 아리즈-85c의 문제해결과정을 기호논리로 표현하고 조건명제에 대한 타당성을 진리치표에 의해 논리적 증명을 실시하였다. 기존 아리즈-85c의 접근과 달리 기호논리를 도입한 나비 다이어그램(The Butterfly diagram)은 조건명제에 대한 타당한 논증구조를 증명하였다. 아울러 본 연구는 조건명제 간의 관계에서 도출되는 문제해결전략을 Fleming의 페니실린 추출문제에 적용하여 사례분석을 실시하였다. 아리즈-85c가 문제해결과정에서 시행착오의 문제점을 여전히 풀지 못하고 있는데 반해, 아리즈-85c의 문제요소를 분할하여 기호논리를 도입한 나비 다이어그램은 바른 해결전략을 설정할 수 있어 효과적이고 효율적인 문제해결이 가능해지는 이점을 갖는다.

1. 서 론

위대한 프랑스 수학자 Fermat 는 수열 5, 17, 257, 65537, ..., 을 조사하고 일반항 $2^{2^n}+1$ 을 얻었다. 그는 주어진 4 개의 항이 n=1, 2, 3, 4 의 경우에 얻어지며, 소수임을 관찰했다. 그는 다음에 오는 항도 역시 소수일 것이라 전망했다. 하지만 Euler 는 n=5 에 해당하는 항, $2^{32}+1$ 은 641 로 나누어 떨어지기에 소수가 아님을 밝혔다. Euler 는 "귀납법만을 사용하여 얻어진 결과에는 오류가 있을 수 있다" 고 말하였다[31].

모든 증명은 연쇄적(sequence)인 연역(deductions)으로 이루어져 있다[17]. 연역증명이 옳으냐 그르냐의 여부는 연역하는 근거의 진실성에 달려 있다. 예를 들어, (1) 모든 직사각형의 두 대각선의 길이는 같다. (2) 모든 정사각형은 직사각형이다. (3) 따라서, 모든 정사각형의 두 대각선은 같다를 살펴보자. 첫 번째 명제는 일반적인 법칙이고, 두 번째는 특수한 경우이다. 따라서 첫 번째 명제가 참이라면 두 번째 명제 역시 참이 된다. 타당한 명제라면 조건명제에서 전제가 참인 경우에 결론도 참이므로, 세 번째 명제 역시 참이 될 수 밖에 없다. 이처럼 연역법은 이미 알려진 법칙을 특별한 경우에 적용하여 결론에 도달하는 방법이다.

Euclid 가 쓴 원론은 나온 지 2,300 여 년이 지났지만 여전히 학교에서 가르치고 있다. Euclid 는 너무나 명백하여 누구나 사실이라고 인정되어 증명이 필요 없다고 보이는 가장 기본적인 5 개의

†현정석, 제주대학교 경영정보학과
E-mail : jshyun@jejunu.ac.kr
TEL : (064)754-3184 FAX : (064)724-3138
* 제주대학교 컴퓨터교육과

명제를 공리로 정하고 여기에 근거하여 500 여 개에 달하는 기하적 명제를 연역적 논리에 의해 증명하였다[17]. "나는 생각한다. 고로 존재한다(Cogito ergo sum)"의 말을 남긴 Descartes 는 진리탐구에 있어서 조금이라도 의심스러운 것을 배제하는 확실성을 추구하였다. 그는 Euclid 기하학처럼 아무도 부정할 수 없는 확실한 사실을 알 수 있다면 여기서부터 시작하여 진리를 찾을 수 있다고 생각했다[5]. 그는 Euclid 의 도형을 더 이상 분해할 수 없는 가장 작은 요소인 점으로 둔 직교좌표의 아이디어로써 해석기하학을 창시하였다. Euclid 기하학이 현대 자연과학의 확고부동한 초석이 되고 있는 것은 연역증명에 기초하기 때문이다[24].

Altshuller와 그의 동료들은 발명특허에 관해 공통해결원리가 있음을 귀납적으로 알아내어 이를 트리즈(TRIZ)로 정립하였다[33, 9]. Altshuller와 그의 동료들은 창의적 문제해결의 공통점은 '모순'을 해결한다는 점을 알아냈다. 트리즈는 어느 한 특성이 좋아지면 다른 특성이 나빠지는 것을 기술적 모순(technical contradiction)이라 지칭하고, 하나의 특성이 상반되는 특성을 모두 충족시켜야 하는 것을 물리적 모순(physical contradiction)이라 지칭한다[18, 19].

Altshuller는 문제해결의 시행착오를 줄이기 위해 아리즈(ARIZ)를 만들었다[18]. 아리즈는 발명문제해결의 알고리즘(Algorithm of Inventive Problem Solving)이라는 뜻을 갖는 러시아 머리글자를 의미한다. Altshuller가 가장 심혈을 기울여 만든 것이 아리즈이다[4]. Altshuller에 의해 만들어진 아리즈 완결판은 아리즈-85c이다[2]. 아리즈는 풀기 어려운 비전형적인 문제를 풀기 쉬운 전형적인 문제로 변형시키는 알고리즘을 내포한다[15]. 트리즈 연구자들은 브레인스토밍이 수많은 시행착오를 거쳐 좋은 해결안을 내놓지만 트리즈는 이상적인 최종결과(ideal final result)를 문제해결의 목표로 정하기에 훨씬 효율적이라 주장한다[18, 19, 32, 33, 4. 8, 3].

아리즈-85c의 단계 1.4에서 어느 기술적 모순을 선택하느냐에 따라 이상적 최종해결안이 달라진다는 점에서 중요한 문제해결 단계이지만 아리즈-85c는 구체적 지침을 제시하지 않고 있다[28, 4, 2]. 아리즈-85c의 단계 1.4에서는 "시스템의 주요 기능에 부합되는 기술적 모순을 선택하라."고 제시했다. 아리즈-85c를 적용하는 과정에서 두 개의 기술적 모순 중에서 어느 모순을 선택해야 하는지 아리즈-85c는 구체적인 설명을 하지 않고 있다. 이런 결과로 인해 결국 아리즈-85c의 단계 6.3에서는 "지금 단계까지 문제가 풀리지 않았다면 단계 1.4로 되돌아가 두 개 기술적 모순 중에서 선택하지 않았던 다른 기술적 모순을 선택하여 다시 분석을 실시하라."고 제시했다[15].

탱크개발자들마다 탱크의 방어력과 기동성 중에 어느 기능을 주요기능으로 정의할 것인지 서로 다른 의견을 가질 수 있다. 예를 들어, 포탄을 막는 탱크는 탱크철판이 두꺼우면 방어력이 높아진다. 하지만 탱크철판이 두꺼우면 무게가 늘어나 탱크의 기동성이 나빠진다. 포탄을 막아야 하고 신속한 공격을 해야 하는 탱크에게 방어와 공격 중 어느 것이 시스템의 주요기능이라고 정의할지 기존 아리즈-85c는 정확한 정의가 제시되지 않고 있다[13].

아리즈-85c 가 문제해결과정에서 시행착오의 문제점을 여전히 풀지 못하고 있는데 반해, 본 연구는 아리즈-85c 의 문제요소를 분할하여 기호논리를 도입하여 나비 다이어그램(The Butterfly diagram)의 분석과정을 설명한다. 이를 위해 아리즈-85c 의 문제해결과정을 기호논리로 표현하고 조건명제에 대한 타당성을 진리치표에 의해 연역적인 논리증명을 실시하였다. 기존 아리즈-85c 의 접근과 달리 기호논리를 도입한 나비 다이어그램은 조건명제에 대한 타당한 논증구조를 증명하였다. 아울러 본 연구는 조건명제 간의 관계에서 도출되는 문제해결전략과 관련되는 사례를 Fleming 의 페니실린 추출문제에 적용하여 설명하였다. 나비 다이어그램은 바른 해결전략을 설정할 수 있어 효과적이고 효율적인 문제해결이 가능해지는 이점을 갖는다.

2. 나비 다이어그램

2.1 기호논리와 조건명제

대수는 단어가 아니라 기호로 이루어진 언어이다. 기호에 친숙해지면 일상 언어의 문장을 기호로 대체할 수 있다. 대수를 안다면 우연에 의지하지 않고 훨씬 효율적으로 문제를 해결할 수 있다. 일상언어와 대수로 표현한 다음의 문제를 살펴보자.

Table 1. Problem Representations

농부는 몇 마리의 닭과	x	x
몇 마리의 토끼를 가지고 있다.	y	y
이 동물들의 머리 수는 50이고	$x+y=50$	$x+y=h$
발의 수는 140이다.	$2x+4y=140$	$2x+4y=f$

Table 1의 맨 왼쪽처럼 일상언어로 표현된 문제의 답을 알아맞히려면 많은 시행착오를 거쳐야 한다. Table 1의 가운데 경우처럼, 대수로 표현된 연립방정식은 첫째 식에서 둘째 식을 빼면 y=20이고, 둘째 식으로부터 x=30을 얻는다. Table 1의 맨 오른쪽처럼 주어진 숫자를 문자로 바꾸면 보다 더 일반화된 결과를 얻을 수 있다. 두 개의 연립방정식을 풀면, $y=f/2-h$를 얻는다. 추상적 기호를 이용하여 대수로 표현된 문제를 풀면, 농부에게 닭과 토끼가 얼마나 많고 적든지 상관없이 항상 답을 얻을 수 있다[30].

일상에서 사용되는 자연언어는 산만하고 애매모호하여 부정확하기 때문에 논리학은 기호논리라는 인공적인 기호언어를 개발하여 타당한 논증을 규명하여 왔다[7]. 기호언어는 명제와 논증을 더 효과적으로 이해하고 분석할 수 있도록 만든다. 고대로마 숫자가 아라비아 숫자로 대체되었을 때 사람들의 계산력은 급격히 향상되었다. 예를 들면, XCIX 곱하기 LXXVIII보다 99 곱하기 78 계산이 훨씬 쉽다. 고대 로마인들마저 계산할 때는 로마숫자를 사용하는 대신에 동양의 주판을 차용한 서양식 주판을 사용했다는 많은 증거가 있다[26].

논리학 조건명제에는 충분조건과 필요조건이 있다. 예를 들면, 불이 나려면 산소, 열에너지, 불에 탈 수 있는 물질이 있어야 한다. 이 중에 하나라도 없으면 불이 나지 않는다. 명제 "$p \rightarrow q$"에서 필요조건은 이 조건이 충족되지 않으면 그 결과가 일어나지 않을 것이라는 뜻이 된다. "만일 불이 나면, 산소가 있다."라는 명제에서 필요조건은 "산소가 있다"이다. 왜냐하면 산소가 있지 않으면 불이 나지 않기 때문이다. 오직 산소가 있는 경우에만 불이 난다. 산소가 있다는 것은 불이 나기 위한 하나의 필요조건이다.

"만일 자동차가 달린다면, 자동차에는 연료가 있다($p \rightarrow q$)"는 명제에서 필요조건은 "자동차에 연료가 있다"이다. 자동차에 연료가 없으면 자동차가 달릴 수 없기 때문이다. 자동차가 달리기 위해서는 연료, 바퀴, 운전자, 차체 등이 필요하다. 자동차가 달린다는 것은 이를 충족하기 위한 필요조건으로서 연료가 분명히 자동차에 있다는 말이 된다. 자동차에 연료가 있으면 무조건 자동차가 달리는 것은 아니다. 그런 점에서 자동차에 연료가 있다는 명제는 자동차가 달린다는 명제의 필요조건이다.

명제 "$p \rightarrow q$"에서 충분조건은 이 조건이 충족되면 그 결과가 일어날 것이라는 뜻이 된다. "만일 불이 나면, 산소가 있다."라는 명제에서 불이 났다는 것은 산소가 있다는 것을 의미한다. 산소가 있으면 무조건 불이 나는 것은 아니다. 산소뿐만 아니라 열에너지와 불에 탈 수 있는 물질이 함께 있어야 불이 일어난다. "만일 자동차가 달린다면, 자동차에는 연료가 있다($p \rightarrow q$)"는 명제에서 충분조건은 "자동차가 달린다"이다. 자동차가 달린다는 말은 자동차에 연료가 있다는 말을 의미하기 때문이다.

한편, 논리학의 추이법칙(transitive law)에 의하여, $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow r)$이면, $(p \rightarrow r)$이 된다. 그러므로 논리학의 대우법칙(contraposition law)에 의하여, $(p \rightarrow q) \equiv (\sim q \rightarrow \sim p)$, $(q \rightarrow r) \equiv (\sim r \rightarrow \sim q)$, $(p \rightarrow r) \equiv (\sim r \rightarrow \sim p)$의 논리적 동치관계를 얻을 수 있다. 지금까지의 논의를 바탕으로 다음과 같이 p, q, r에 대한 관계를 Figure 1과 같이 유도할 수 있다.

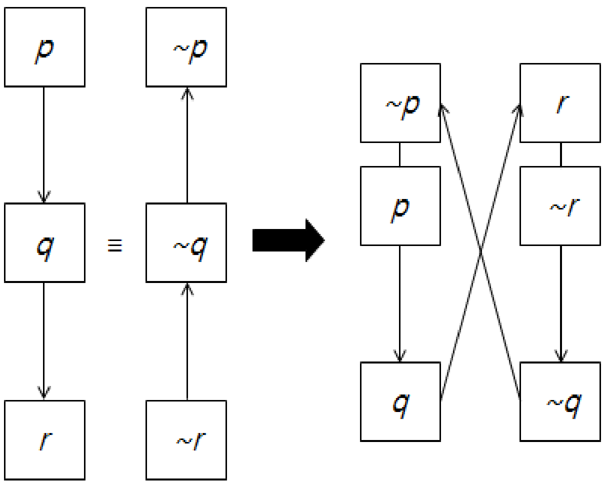

Figure 1. Conditional Proposition and Contraposition Law

2.2 나비 다이어그램의 용어 정의

모순문제를 해결하기 위한 나비 다이어그램에서 사용되는 용어에 대한 정의는 다음과 같다[16].

[정의 1] : 시스템 S는 구성요소 w, s, u로

이루어져 있다. 즉, 시스템 $S=\{w, s, u\}$. 이때, w는 시스템이 수행하기를 ‘원하는 기능(wanted function)’이다. u는 시스템이 수행하기를 ‘원하지 않는 기능(unwanted function)’이다. s는 시스템의 기능을 수행하는 ‘시스템 상태(system state)’이다. s는 $w(u)$에 대해 충분조건, 필요조건, 필요충분조건 중 하나에 속한다.

[정의 2] : w와 $\sim u$(not u, u와 모순관계)의 관계는 둘 중 어느 하나가 좋아지면 다른 하나는 나빠진다는 의미에서 ‘상충관계(trade-off relation)’라 한다.

[정의 3] : s와 $\sim s$(not s, s와 모순관계)의 관계는 둘 다 참일 수 없다는 의미에서 ‘모순관계(contradiction relation)’라 한다.

[정의 4] : 상충관계 w와 $\sim u$를 모두 충족시키는 것을 문제해결자의 ‘문제해결목표(problem solving objective)’라 한다.

[정의 5] : 문제해결목표를 충족하기 위한 시스템 상태를 ‘해결전략(solution strategy)’이라 한다.

[정의 6] : 해결전략이 $s \wedge \sim u(\sim s \wedge w)$일 때 $s(\sim s)$를 한층 더 강화시키는 것을 ‘모순심화(contradiction intensification)’라 한다. 이때, $s(\sim s)$를 더 강화시킨 것을 $s'(\sim s')$로 표기한다.

지금까지의 논의를 그림으로 나타내면 Figure 2와 같다.

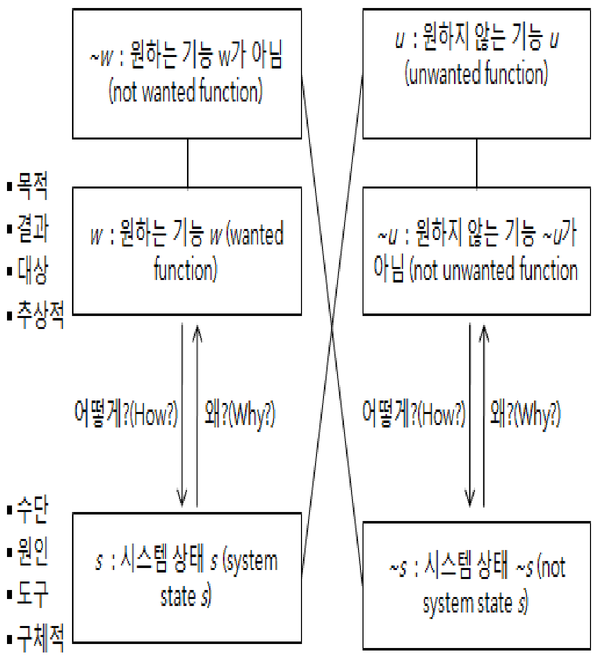

Figure 2. The Butterfly Diagram

3. 페니실린 추출문제에 대한 나비 다이어그램의 적용

3.1 페니실린 추출문제

1928년 어느 날 Fleming은 박테리아가 들어있는 배양접시를 살폈다. 푸른곰팡이 주위로 박테리아가 안 보였다. 푸른곰팡이가 박테리아를 없앤 것이었다. 순간 푸른곰팡이의 살균력을 Fleming이 알아차렸다. 그 결과 페니실륨 속에 속하는 이 곰팡이가 생산하는 물질이 여러 세균에 대해 항균작용을 하는 것을 알아냈다. 이 물질을 페니실린이라 이름 붙였다. Fleming은 페니실린을 분리 정제하는 데에 곤란을 겪어, 1929년 자신의 연구결과를 논문으로 발표하고는 더 이상 연구를 진행하지 않았다. 왜냐하면 페니실린은 수용액 속에서 2주간 유효하고, 그 후엔 살균성질을 잃어버리지만 건조시키면 오래 보관할 수 있었다[1].

세포에서 수분이 제거되면 대사활동이 일어날 수 없으므로 생리적 변화가 일어나지 않아 장기간 보존이 가능할 것이다. Fleming은 건조를 위해 수용액을 천천히 가열하였다. 그러나 건조수율을 높이기 위해 용액의 가열 온도를 높이자 푸른곰팡이는 죽어 버렸다. 기존의 증발률을 가지고 신약으로 생산하기에는 속도가 너무 느렸다. Fleming은 이 문제를 풀려고 했지만 실패하였다. Florey와 Chain이 Fleming의 문제를 해결하여 Fleming과 함께 노벨상을 받았다[1]. 보일과 샤를의 법칙에 의하면 온도가 일정할 때 압력을 낮추면 체적이 증가한다. 그러므로 체적이 증가한다는 말은 액화상태의 액체가 기화된다는 것을 의미하므로 이 원리를 이용하여 온도를 올리지 않고 증발시켜 수용액의 건조 목표를 달성한다[11].

3.2 나비 다이어그램의 적용

"페니실린 배양액을 뜨겁게 가열한다"는 진술을 s, "수분이 증발된다"라는 진술을 w, "페니실린이 죽는다"라는 진술을 u이라 하면, s이면 w이기도 하고 u이기도 하므로 s는 w의 충분조건(충분원인이기도 함)이자 u의 충분조건(충분원인이기도 함)이다. 그러므로 Fleming의 페니실린 문제를 나비 다이어그램으로 나타내면 Figure 3과 같다[14].

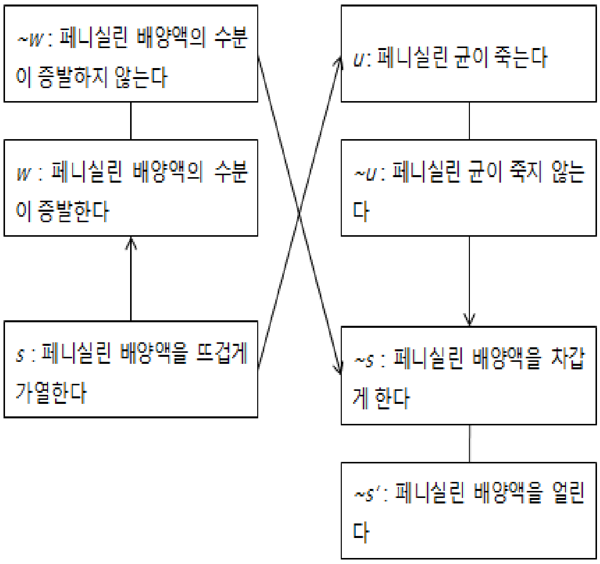

Figure 3. The Butterfly Diagram for Penicillin Separation Problem

Fleming의 페니실린 문제유형은 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이다. 문제유형이 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이라면, $w \leftarrow s$이면 대우법칙에 의하여 $\sim w \rightarrow \sim s$이다. 또한 만약 $s \rightarrow u$이면 대우법칙에 의하여 $\sim u \rightarrow \sim s$이다. 이를 그림으로 나타내면 Figure 3과 같다.

페니실린 추출문제처럼, 시스템의 구성요소 w와 s, s와 u간 관계가 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이고 $w \wedge \sim u$이면, $\sim s \wedge w$이다. 이에 대하여 진리치표에 의한 증명은 다음과 같다. Table 2의 7행을 보면 전제가 참인 경우 결론도 항상 참인 것을 알 수 있다. 따라서 시스템의 구성요소 w와 s, s와 u간 관계가 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$이고 $w \wedge \sim u$이면, $\sim s \wedge w$가 타당한 논증형식임을 알 수 있다. 결국, Table 2의 진리치표에 의한 증명에 의하여, 문제유형이 $(w \leftarrow s) \wedge (s \rightarrow u)$인 경우에 문제해결목표가 $w \wedge \sim u$이면, 해결전략은 $\sim s \wedge w$이 타당한 논증임을 확인할 수 있다.

Table 2. The Truth Table for Penicillin Separation Problem

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

페니실린 추출문제의 경우에 해결전략이 $\sim s \wedge w$이므로 페니실린 배양액을 뜨겁게 가열하는 방법이 해결책이 될 수 없음을 뜻한다. 수분은 증발시키고 페니실린은 죽지 않게 하는 다른 해결책을 찾아야 한다. 페니실린의 경우에 모순심화를 한다.

모순심화를 다음과 같은 이점을 얻는다. (1) 문제원인이 보다 명확해진다. 페니실린 추출문제에서 페니실린 배양액을 얼린다는 생각은 열을 가하는 것에서 생기는 문제점을 근본적으로 회피할 방안을 강구하게 된다. 열을 가하는 것이 문제원인임을 파악하고 이를 극복하는 것을 문제해결의 목표를 정하는 효과를 얻는다. (2) 시스템은 모순을 해결하는 변증법적 발전과정을 밟으며 진화한다. 시스템의 모순을 심화시킴으로써 미래에 일어날 변화를 미리 앞당겨 혁신을 가속화할 수 있다. 즉, 모순심화를 통해 문제예견이 가능해짐으로써 장차 일어날 문제점을 먼저 해결하는 성취를 이룰 수 있다[13]. (3) 지금까지 남이 생각했던 방식과 정반대의 접근을 취하기에 혁신적인 아이디어가 나올 가능성이 크다[28]. (4) 특수화란 주어진 대상의 집합보다 더 작은 집합 또는 단 하나의 대상에 대한 고찰을 말한다. 특수화는 종종 문제해결에 도움이 된다[29]. 문제범위가 $s(\sim s)$에서 $s'(\sim s')$로 좁아지기에 그만큼 문제해결력이 높아진다[34]. (5) $s \wedge \sim u(\sim s \wedge w)$인 것보다 $s' \wedge \sim u(\sim s' \wedge w)$를 해결전략으로 정하면 시스템 상태와 원하는 기능 간 간극이 더 커져 그만큼 제약이 커진다. 페니실린 배양액을 차갑게 하는 것이 아니라 얼려버리면서도 페니실린 배양액의 수분이 증발하는 것은 문제제약이 보다 강해지는 압력을 발생시킨다. 문제해결자에게 장애물은 한걸음 뒤에서(step-back) 문제를 바라보도록 함으로써 추상적 사고력이 높아져 그만큼 창의력이 향상되는 결과를 얻는다[25]. (6) 딜레마 문제를 접하면 문제가 어렵기 때문에 인지적 차원과 정서적 차원의 뇌 영역이 모두 각성상태로 활성화시키는 효과가 있다[21]. (7) 모순심화를 하면 극단화를 통해 문제에 대한 완벽한 해법, 즉 절대적으로 최선인 가능한 해법을 상상하게 되어 보다 혁신적인 아이디어를 얻을 수 있다[37]. 요약하면, 모순심화를 하면 문제원인을 좀더 파악하기 쉽고 고정관념을 타파하기에 새로운 대안을 모색하기가 용이해지는 이점이 있다.

페니실린의 문제에서 시스템 상태 $\sim s$를 모순심화한 $\sim s'$는 '페니실린 배양액을 얼린다'이다. 결국, '페니실린 배양액을 얼리면서 페니실린 배양액의 수분을 증발시킨다'라는 $\sim s' \wedge w$를 해결전략으로 정하여 해결안을 모색한다. 1940년

Florey와 Chain 두 학자는 '진공 동결건조'를 통해 Fleming의 페니실린 추출 문제를 해결했다[11]. 1945년에 Fleming과 Florey와 Chain 세 사람은 노벨생리의학상을 공동수상했다.

4. 결 론

발명과 과학기술의 역사를 살펴보면 위대한 혁신사례들은 '모순'을 해결한 공통점을 갖는 경우가 많다. 예를 들어 James Watt 는 피스톤을 밀어 올리기 위해서는 실린더가 뜨거워야 하고 피스톤을 내리기 위해서는 실린더가 차가워야 하는 모순문제를 풀었다. Watt 의 증기기관은 Newcomen 엔진보다 열효율이 4 배 더 높았다[10]. Simens 社는 판유리 생산을 위해 유리 용액을 추출하기 위해서는 가마의 온도가 높아야 하지만 유리 불순물을 제거하기 위해서는 가마의 온도가 낮아야 하는 모순문제를 풀었다. Simens 社의 연속탱크가마는 같은 크기의 가마보다 2 배 더 생산효율이 높았다[36].

서양인들은 동양인들보다 논리적 사고가 강하다[27]. 이러한 전통으로 인해 서양의 학자들은 모순을 틀린 것, 가능성이 전혀 없는 공집합으로 여겨 왔다. 과학적 발견에 대해 연구한 Simonton(2004, p. 163)은 "진정으로 독창적인, 나아가 혁명적인 아이디어들은 단계별로 미리 정해진 방식을 통해 해결할 수 없다."고 주장하였다[35]. 모순을 받아들이기 어려운 서양 학자들은 문제유형을 분석적(analytic) 문제와 통찰(insight) 문제 또는 잘 정의된(well-defined) 문제와 잘 정의되지 않은(ill-defined) 문제로 분류하였지 모순문제에 많은 관심을 기울이지 않았다[20, 6, 12, 23].

Herbert Simon(1987)은 복잡한 문제를 해결하려면 문제유형을 개발하고 표상하는 것이 중요하다고 제시하였다. 간편한 기호법과 체계적인 표상이 문제해결자의 문제해결 능력을 높인다[34]. 또한 문제유형에 대한 분류가 이뤄지면 문제유형에 맞는 해법유형을 찾을 수 있다[30]. 기호 논리는 언어의 애매성을 극복하고 타당한 논리구조를 파악할 수 있게 만드는 장점을 갖는다[7, 31]. 본 연구는 나비 다이어그램을 이용하여 모순문제의 요소를 조건명제로 규정하여 논리적 기호를 도입하고 이를 증명함으로써 타당한 해결전략을 도출하였다. 그 동안 창의적 문제해결에 관한 연구와 모형은 대부분 기술적(descriptive) 이었다. 이에 반해 본 연구의 나비 다이어그램은 기호 논리를 이용하여 규범적인 규칙(normative rules)을 도출하였다. 모순문제의 구조와 문제유형을 파악할 수 있다면 문제공간이 줄어들어 그만큼 문제를 쉽게 해결 할 수 있게 된다[14].

나비 다이어그램을 배운 학생들이 발명대회에 참가하여 2007~2014 년 동안 8 년 연속 수상하였다. 이 기간 동안 나비 다이어그램을 배운 초등학생 3 명, 중학생 8 명, 고등학생 4 명, 대학생 46 명 총 61 명이 발명대회에서 수상하였다. 2014 년에는 나비 다이어그램을 배운 대학생들이 초등학생들을 지도하였는데, 지도를 한 대학생뿐만 아니라 지도를 받은 초등학생들까지도 발명대회에서 수상하는 성과를 내었다.

참고문헌

1. 김영호, 2009, 플레밍이 들려주는 페니실린 이야기, (주)자음과 모음.
2. 김정선, 2008, 창조적 사고훈련 알고리즘, ARIZ, MyGuru.
3. 김호종, 2012, 현업문제 해결사례 실용트리즈, 진샘미디어.
4. 김효준, 2006, 생각의 창의성 TRIZ, 도서출판지혜.
5. 르네 데카르트, 2010, 데카르트 연구 방법서설 성찰, 최명관 역, 창.
6. 박권생 (2005), “창의력과 통찰문제 해결능력,” *사고개발*, 제 1 권 제 1 호, pp. 23-40.
7. 어빙 코피, 칼 코헨 (2000), 논리학입문, 박만준, 박준건, 류시열 역, 경문사.
8. 이삭 북만, 2013, TRIZ 혁신을 위한 기술, 강병선, 송상기, 오동환, 김태수, 문용은, 김신구, 김영기 역, GS 인터비전.
9. 서승우, 박강, 2004, "TRIZ와 브레인스토밍의 연계 방법을 이용한 부식 장치 홀더 설계," *한국정밀공학회 2004년도 추계학술대회논문집*, pp. 45-51.
10. 이경우, 김병재, 이태희, 황농문, 한송엽, 2007, 공학문제해결입문, ㈜시그마프레스.
11. 조문구, 2004, 생물제약공정, 유한문화사.
12. 하주현 (2006), “문제발견과 창의성,” *지식경영연구*, 제 7 권 제 1 호, pp. 1-12.
13. 현정석, 2012, "모순해결 나비 모형의 알고리즘과 교육효과," *Korea Business Review*, 제 16 권, 제 3 호, pp. 103-134.
14. 현정석, 2014, “과학기술혁신의 모순해결을 위한 나비모형의 논리적 증명과 사례 연구,” 국문보고서, 과학기술정책연구원, pp. 1-80.
15. 현정석, 박찬정, 2014a, "아리즈(ARIZ)에서 어느 기술적 모순을 선택해야 하나? 명제논리를

사용한 나비 다이어그램 분석," *2014년도 한국지식경영학회 추계학술대회*, pp. 282-294.

16. 현정석, 박찬정, 2014b, “트리즈의 물리적 모순에 대한 모순해결 나비모형의 모순관계와 해결차원 분류,” *지식경영연구*, 제 15 권 제 4 호, pp. 15-34.
17. 홍승표, 2013, 유클리드 기하 개론, 경문사.
18. Altshuller, G. Saulovich, 1984, *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*, CRC Press.
19. Altshuller, G. Saulovich, 1999, *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*, Technical Innovation Center, Inc.
20. 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, pp. 1479-1491.
21. Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., and Cohen, J. D. (2001), "An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment," *Science*, Vol. 293, No. 5537, pp. 2105-2108.
22. 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, pp. 1-6.
23. 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, pp. 65-94. 24. Krantz, Steven G., 2007, "The History and Concept of Mathematical Proof," *Accessed via http://www. math. wustl. edu/~ sk/eolss. pdf (28 September 2007)*.
25. Marguc, Janina, Gerben A. Van Kleef, and Jens Förster, 2012, "Stepping Back While Staying Engaged When Facing an Obstacle Increases Psychological Distance," *Social Psychological and Personality Science* Vol. 3, No. 3, pp. 379-386.
26. Menninger, Karl, 1992, *Number Words and Number Symbols: A Cultural History of Numbers*, Courier Dover Publications.
27. Peng, Kaiping and Richard E. Nisbett, 1999, “Culture, Dialectics, and Reasoning about Contradiction,” *American Psychologist*, Vol. 54, No. 9, pp. 741-754.
28. Philatov, V., B. Zlotin, A. Zusman, and G. Altshuller, 1999, *Tools of Classical TRIZ*, Ideation International Inc.
29. Polya, George, 1973, *How to Solve It*, Princeton University Press.
30. Polya, George, 1981, *Mathematical Discovery: On Understanding, Learning, and Teaching Problem Solving*, John Wiley & Sons, Inc.
31. Polya, George, 1990, *Mathematics and Plausible Reasoning: Induction and Analogy in Mathematics*. Vol. 1. Princeton University Press.
32. Salamatov, Yuri, 1999, *TRIZ: The Right Solution at The Right Time: a Guide to Innovative Problem Solving*, Hattem: Insytec.
33. Savransky, Semyon D., 2002, *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*, CRC Press.
34. Simon, Herbert A., 1987, *The Sciences of the Artificial*, The MIT Press.
35. Simonton, Dean Keith (2004), *Creativity in Science*, Cambridge University Press.
36. Utterback, James M., 1994, *Mastering the Dynamics of Innovation*, Cambridge, Harvard Business School Press.
37. Weston, Anthony, 2007, *Creative Problem-solving in Ethics*, Oxford University Press.