

A Study on Dew Codensation Problem at Curling Stadium Using ARIZ-85C

ARIZ-85C를 이용한 컬링경기장 결로 문제에 관한 연구

Seock-Bum Yun¹, Yong-Won Song², Young-Pyo Sue³

윤석범¹, 송용원², 서영표³

¹ Team Leader, Uijeongbu Institution Public Corporation, Korea, acesys@siseol.or.kr

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

³ Team Leader, Korea Institute of Industrial Technology, Korea, sueyp@kitech.re.kr

Corresponding author: Yong-Won Song

Abstract: TRIZ is a methodological algorithm that helps solve complex problems by generating original ideas. It is a powerful and innovative tool in that it systematically provides a step-by-step process in order to analyze the problem, accurately define the problem, and derive an ideal solution in solving the non-standardization problem that occurs in the industrial field. The ARIZ-85C algorithm proposed by Altschuller, the founder of TRIZ, was used to solve the dew condensation problem occurring in the curling stadium. By applying the step-by-step process of the algorithm, problem analysis and problem definition were performed using the general ADRIGE algorithm, and resource utilization and ideal ideas were derived to derive an ideal solution. Afterwards, the contradiction problem defined through CECA analysis utilizes the process of the ARIZ-85C algorithm to derive a final solution by utilizing the contradiction deepening, resource search, standard solution, 40 invention principles, contradiction resolution separation principle, etc., and other knowledge did. Based on this, many expected effects were obtained by applying the solution.

Keywords: TRIZ, ARIZ-85C, ADRIGE, Curling Stadium

요약: TRIZ는 복잡한 문제를 독창적인 아이디어를 도출함으로써 문제를 해결할 수 있도록 도움을 주는 방법론적 알고리즘이다. 산업현장에서 발생하는 비 표준화 문제를 해결하는 데 있어 문제를 분석하고 문제를 정확하게 정의하여 이상적인 해결 방안을 도출하기 위해 단계별 프로세스를 체계적으로 제공한다는 점에서 강력하고 혁신적인 도구라고 할 수 있다. 트리즈의 창시자인 알츠슐러가 제안한 ARIZ-85C 알고리즘을 이용하여 컬링경기장에서 발생하는 결로 문제를 해결하였다. 알고리즘의 단계별 프로세스를 적용하여 일반적인 ADRIGE 알고리즘을 이용해 문제 분석과 문제 정의를 실시하였으며 이상적 해결안의 도출을 위해 자원 활용과 이상적 아이디어를 도출하였다. 이후 CECA 분석을 통해 정의된 모순 문제는 ARIZ-85C 알고리즘의 프로세스를 활용하여 모순 심화, 자원 탐색, 표준해, 40가지 발명 원리, 모순 해결 분리 원리 등을 활용하고 기타 지식들을 활용하여 최종 해결안을 도출하였다. 이를 토대로 해결안을 적용함으로써 많은 기대효과를 얻게 되었다.

Received: October 04, 2022; 1st Review Result: November 18, 2022; 2nd Review Result: December 17, 2022
Accepted: January 31, 2023

핵심어: 트리즈(TRIZ), 아리즈(ARIZ), ADRIGE, 컬링경기장

1. 서론

TRIZ는 논리와 데이터를 기반으로 하는 문제해결 방법론이다. 문제 해결에 대한 구조적이고 알고리즘 접근 방식을 통해 문제 해결에 대한 반복성과 예측 가능성, 그리고 신뢰성을 제공하는 강력한 틀이라 할 수 있다[1]. (구)소련의 과학자 G.S. Altshuller에 의해 개발된 “창의적 문제해결 이론”의 러시아어 약어로서 그중 ARIZ(Algorithm of Inventive Problem Solving)는 문제 해결 및 아이디어를 생성함에 있어 논리적이고 과학적인 강력한 혁신 도구 중 하나로 알려져 있다[2]. 알츠슐러가 개발한 마지막 버전인 ARIZ-85C는 9 Parts와 40 Steps, 44 Contents, 11 Rules, 그리고 2 Tables로 구성되어 있다. TRIZ 초보자가 이해하고 적용하기에는 복잡하고 학습이 어렵다는 단점이 있으나 ARIZ-85C 이후 많은 버전과 변화가 시도될 만큼 독창적으로 문제를 해결하기 위한 강력하고 효과적이라는 장점이 있다. ARIZ는 Part 별 문제가 쉽게 해결되면 복잡하지 않는 것으로 간주하여 ARIZ 후반부로 이동할 필요가 없다. 이러한 장점을 가진 문제해결 방법을 활용해 컬링경기장에서 발생하는 결로 문제를 해결하는 연구를 수행하고자 한다.

컬링경기장의 빙질은 경기와 연습에 많은 영향을 주게 되는 시설 환경으로, 천장에서 발생하는 결로에 의해 응집되어 낙하된 물방울이 빙판에 떨어져 상시 낮게 유지되는 온도에 의해 다시 결빙되어 경기에 많은 악영향을 줄 수 있는 유해한 현상이 발생한다.

이러한 결로 현상은 컬링장 내부의 운영환경과 컬링장 외부의 기상상황에 따라 발생하는 현상이다. 결로 현상은 컬링경기장으로서의 운영상 치명적인 문제를 갖게 되는 심각한 문제이다. 결로 발생 문제를 해결하기 위해 TRIZ의 문제 해결 알고리즘을 활용해 문제 분석과 문제 정의를 하고 일반적인 문제는 ADRIGE 알고리즘을 통해 자원 활용과 트리밍, 표준해를 통해 해결의 이상적 해결안(IFR)에 대한 아이디어를 모색하고, 이후 CECA(Cause Effect Chain Analysis) 분석을 통해 도출된 기술적 모순(Technical Contradiction)과 물리적 모순(Physical Contradiction)은 ARIZ 알고리즘을 통해 문제 해결 방안을 도출하고자 한다.

2. 연구목적 및 방법

2.1 연구목적

컬링경기장은 최상의 빙질을 조성하기 위해 내부 실내 온도는 7~9℃를 유지하고 있으며, 빙판은 0~4℃를 상시 유지하고 있다. 또한, 2시간 단위로 수평을 유지하기 위해 경기장 사용 후 삭빙 후 다시 페블을 도포하고 다시 삭빙을 하여 스톤이 최상의 컨디션에서 투구될 수 있도록 하는 정밀한 작업이 이루어진다. 약 20Kg에 이르는 스톤이 약 50m의 거리에서 정확하게 투구가 이루어지기 위해서는 빙질의 상태가 컬링경기장의 관리 수준을 가늠할 만큼 중요한 척도로 여겨진다.

외부 기온과 실내의 기온차가 커지는 폭염이 발생하는 하절기에 경기장 천장에서 발생하는 결로는 컬링경기장 운영에 치명적인 문제로 대두되었다. 발생한 결로는 일정한 스폿이 정해지지 않고 산발적으로 경기장에 낙하하여 빙판 위에 결빙됨으로써 스톤의 진로를 방해하는 심각한 문제가 발생한다. 이는 연습경기 뿐만이 아니라 대회를

진행하는 데 있어 반드시 해결해야 하는 중요한 문제이다.

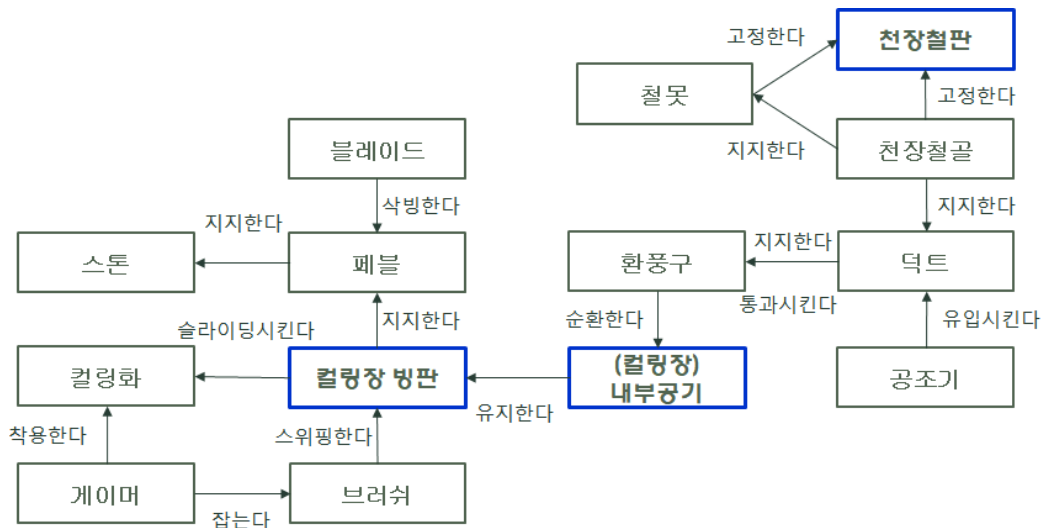
2.2 연구방법

먼저 이 문제를 해결하기 위해 시스템이 작동하는 기능(Function)을 이해하기 위해 기능도(Function Diagram)를 작성하고 TRIZ(Theory of Inventive Problem Solving)의 방법론 중 하나인 ADRIGE 알고리즘을 통해 문제 분석을 실시한다. ADRIGE 알고리즘은 ARIZ-85C가 문제를 해결하는 과정에서 사전 학습이 필요하고 사용이 어려운 점을 보완하기 위해 개발된 알고리즘이다[3]. 문제 분석은 근본 원인 분석(Root Cause Analysis, RCA)과 인과관계 분석(Cause Effect Chain Analysis, CECA)을 실시한다. CECA 분석을 통해 원하지 않는 현상이 무엇인지 정의하고 이 현상이 발생하는 장소(OZ)와 발생하는 시간(OT)를 분석하며 문제를 발생시키는 요소(Component)를 확인한다. 다음으로 문제 분석을 통해 정의된 문제를 5~6개로 정의하여 해결하고자 하는 문제를 정의한다. 이 과정에서 1~2개의 핵심적인 문제를 선정하여 이용 가능한 자원을 검색하여 활용할 수 있는 아이디어를 도출하고 이상성을 평가한다. 그리고 문제 정의 과정에서 도출된 기술적 모순과 물리적 모순은 ARIZ 알고리즘을 통해 해결 방안을 도출하고자 한다. 40가지 발명 원리와 모순 해결을 위한 분리 원리 등을 적용하여 이상적 해결안을 도출하여 문제해결 방법을 찾는다. ARIZ 알고리즘은 비 표준 문제를 해결하기 위한 톨로서 단계별 해결 방법이 도출될 경우 다음 단계로 넘어가지 않고 해결안을 적용한다. 본 연구에서는 문제에 대한 해결 사례 연구로서 Part 5. 지식베이스까지의 단계를 적용해 해결 방안을 도출하여 이 과정까지 사례연구를 진행한다.

3. 창의적 문제해결 이론의 적용

3.1 컬링경기장 시스템의 기능 분석

컬링경기장이 수행하고 있는 기능(Function)을 이해하기 위해 기능도(Function Diagram)을 도식화하는 것은 단순하지만 매우 중요한 과정이다. 문제 해결에서 컬링경기장이 수행하는 기능 중에 가장 중요한 기능을 수행하는 것은 컬링경기장의 내부 공기로 상시 일정한 온도(7~9℃)를 유지하면서 컬링장 빙질을 유지하는데 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 고유한 기능은 아니지만 컬링장의 천장 철판의 온도를 낮추는 역할을 하고 있다. 그리고 중요한 기능을 수행하는 컬링장의 빙판은 상시 일정한 온도(0~4℃)를 유지하면서 얼음 알갱이(페블)를 지지하며, 수평을 유지하는 중요한 기능을 수행한다. 빙판은 2시간 사용 후 뭉개진 페블을 다시 세우기 위해 블레이드로 삭빙한 후 다시 페블을 뿌린 후 블레이드로 2차 페블의 꼭지를 삭빙하여 수평을 맞추는 등의 정교한 작업을 통해 기능을 수행한다. 하지만 유지하고 있는 낮은 온도로 인해 결로가 빙판에 낙하할 경우 빠른 시간 내 결빙이 되도록 하는 유해한 기능을 수행하고 있다. 공조기는 컬링장 내부를 일정 온도로 유지하기 위해 덕트를 통해 공기를 순환하는 기능을 수행한다. 컬링경기장의 기능도는 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 컬링경기장의 기능도

[Fig. 1] Function Diagram of Curling Stadium

3.2 문제 분석

3.2.1 근본원인 분석(Root Cause Analysis)

컬링장의 내부와 빙판은 상시 일정 온도를 유지하고, 사용 후 수평 유지를 위해 아이스테크니션들이 삭빙과 페블 도포를 통해 최상의 상태를 유지하고 있다. 하지만 봄, 가을, 그리고 겨울철에는 별다른 문제 없이 컬링장이 정상적으로 운영되고 있으나, 여름 특히 하절기에 폭염이 발생하여 실내 온도와 외부 기온 간의 차이(약 25℃ 이상)가 발생하면 천장에서 결로가 발생하여 일정 시간이 지나면 경기장 바닥으로 떨어져 응고되면서 고드름처럼 쌓여 정상적으로 스톤이 슬라이딩 되지 않는 문제가 발생한다.

이를 정리해 보면

- 언제(When): 내부온도와 외부온도의 차가 큰 하절기 폭염 시 또는 그 이후
- 어디서(Where): 컬링장 내부 천장(철판/철판못)에서
- 무엇이(What): 결로가 발생
- 왜(Why): 내부의 차가운 공기로 인한 저온의 천장(철판/철판못)과 외부의 더운 공기(습기 포함)가 접촉하여 발생

발생한 결로는 표면장력에 의해 일정한 포인트로 모여 중력에 의해 경기장 바닥에 낙하한다. 경기장 이외의 통로에 낙하할 경우는 별다른 문제가 발생하지 않지만, 경기장 빙판 위에 낙하할 경우 빙판 온도에 의해 다시 결빙되는 현상이 발생된다.

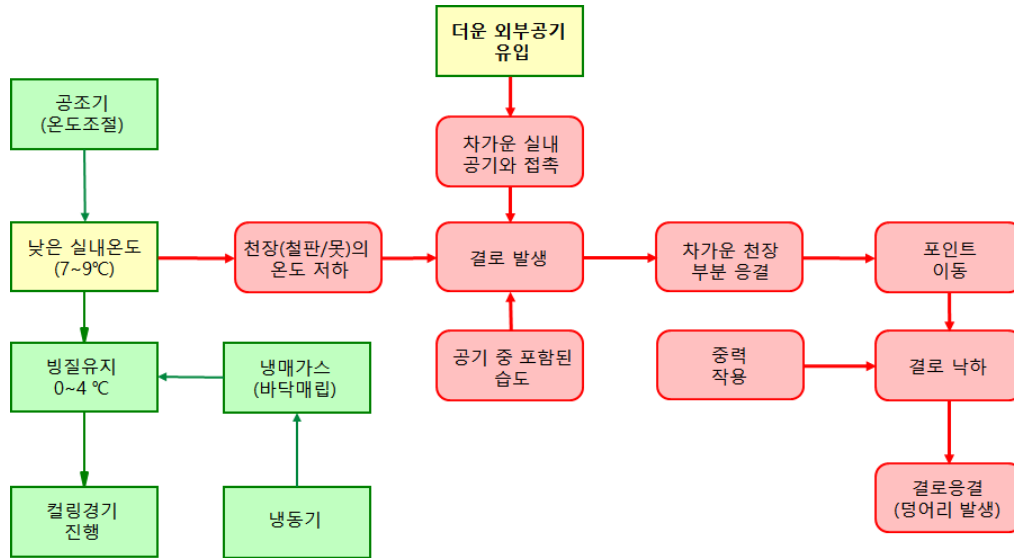
3.2.2 인과관계 분석(Cause Effect Chain Analysis)

하나의 문제를 발생시키는 원인은 여러 가지 원인이 있을 수 있는데 여러 가지 원인을 체계적으로 관찰하고 분석하는 것은 문제를 해결하는 과정에서 중요한 절차이다[4].

문제를 발생시키는 요소들을 살펴보면, 차가운 천장(철판/철판 못), 냉각된 실내공기, 뜨거운 외부 공기, 그리고 공기에 포함된 수분 입자 등으로 볼 수 있으며 문제를 발생시키는 대상은 컬링장 빙판으로 물방울이 떨어져 결빙됨으로써 문제를 발생시킨다.

차가운 실내공기로 인해 온도가 낮아진 천장의 철판 또는 철판 못과 외부에서 유입된

더운 공기가 접촉하게 되며, 주위에 습기를 포함한 공기가 접촉하면서 천장 표면에 응결하게 된다. 이후 표면장력에 의해 응집 포인트로 집결하게 되며, 다시 중력에 의해 낙하하게 되는 것이다.[그림 2]는 인과관계 분석을 도식화하여 표시한다.



[그림 2] 인과관계 분석도

[Fig. 2] Cause Effect Chain Analysis Diagram

3.3 문제 정의 모델링

근본 원인 분석(Root Cause Analysis, RCA)과 인과관계 분석(Cause Effect Chain Analysis, CECA)을 통해 문제를 분석하고, 이를 통해 문제를 정의하였다. 문제에 대한 정의는 인과관계 분석의 과정에서 발생하는 유해한 영향을 기준으로 6가지의 문제로 정의하였다.

문제 1: 실내의 차가운 공기가 천장(철판/못)의 온도를 낮게 하지 않도록 한다.

문제 2: 외부의 높은 온도가 유입되어 낮은 온도의 천장과 접촉하지 않도록 한다.

문제 3: 습기를 포함한 공기가 낮은 온도의 천장과 접촉하지 않도록 한다.

문제 4: 천장에서 발생한 결로가 낙하 포인트로 이동하여 빙판에 떨어지지 않도록 한다.

문제 5: 낙하한 결로(물방울)가 빙판 위에 결빙되지 않도록 한다.

문제 6: 결로가 발생되지 않도록 실내공기는 차갑기도 해야 하고 차갑지 않기도 해야 한다(기술/물리 모순).

문제 정의를 통해 도출된 6가지의 과제 중 근본적인 원인에 해당하는 문제 1 ~ 3번에 집중해 자원 분석을 실시한 후 표준해 또는 기타 방법을 통해 이상적 최종 해결안(IFR)을 도출한다. CECA 분석을 통해 발견된 문제 6의 기술/물리 모순은 뒤의 ARIZ 알고리즘으로 진행한다.

3.4 자원 탐색

트리즈(TRIZ)에서 자원(Resource)은 시간(Time), 공간(Space), 물질(Substance), 장(Field),

에너지(힘) 등 활용이 가능한 모든 것을 의미한다. 활용 가능한 자원은 시스템적 사고를 통해 작동하는 시스템에만 국한되지 않고 시스템을 구성하고 있는 상위 시스템(Super System)과 하위 시스템(Sub-System) 등 9-Windows을 활용하여 탐색한다. 이러한 시스템적 사고를 바탕으로 문제를 발생시키는 컬링장 내부 공기, 더운 외부 공기 등 직접적인 기능을 수행하는 요소 이외에도 활용 가능한 자원을 탐색한다.

상위 시스템에 존재하는 활용 가능한 자원으로는 내부 공기를 순환 시키는 공조기와 공조 바람의 기계장(Mechanical)이 있으며, 실내의 조도를 조절하기 위한 조명시설과 조명시설에서 발생하는 열과 실내 조절을 위해 낮은 온도의 바람을 유입하고 반대로 발생하는 높은 온도의 배기열의 열장(Thermal)이 있다.

3.5 이상적 해결안(IFR/Trimming)

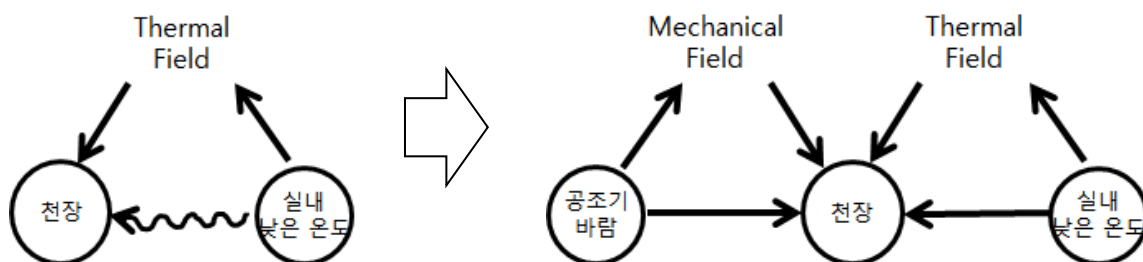
트리밍의 3가지 법칙을 활용해 문제 해결할 수 있는지를 고려하였으나 아이디어가 도출되지 않았다. 사전적 의미의 트리밍은 불필요한 것을 잘라 낸다는 의미로 시스템 내에서 낮은 중요성을 가지고 있는 요소를 제거하는 것이다[5]. 이후 자원 탐색을 통해 활용 가능한 자원으로 문제를 스스로 해결할 수 있는 3가지의 아이디어를 도출하였다.

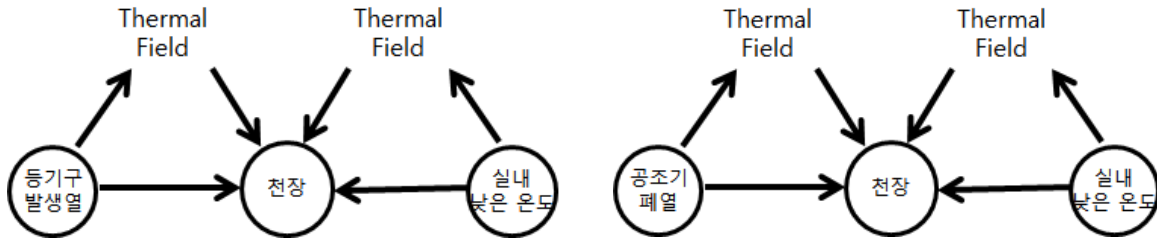
첫 번째, 실내 공기를 순환하고 온도를 조절하기 위해 설치 가동 중인 공조기를 활용하는 방법이다. 공조기에서 발생되어 실내로 유입되는 공기는 덕트와 환풍구를 통해 실내에 전달된다. 환풍구는 천장 바로 밑에서 빙질에 영향을 미치지 않도록 수평방향으로 공기를 배출하고 있다. 이러한 공조기 바람을 빙질에 영향을 미치지 않으면서 결로를 스스로 기화될 수 있도록 공기 토출 방향을 천장으로 변경하는 아이디어를 도출하였다.

이는 천장 철판과 철판 못의 온도 변화를 가져오면서 공기흐름을 통해 결로가 중력에 의해 낙화될 정도의 물방울로 응집되기 전에 기화 시키고자 하는 의도이다.

두 번째, 실내의 조도조절을 위해 설치된 조명은 조도 조절과 관리가 용이하도록 리프트 방식으로 설계되었다. 이는 조명기구의 높이를 조절할 수 있는 장점이 있다. 180w의 등 기구가 경기장에 전체에 144개로 나뉘어 설치되어 있어, 등 기구에서 발생하는 열장(Thermal)을 천장 방향으로 집중하여 발생하는 결로를 기화시키도록 하는 아이디어를 도출할 수 있다

세 번째, 컬링장 기계실에 설치된 공조기는 온도조절과 공기의 순환을 덕트와 환풍구를 통해 공기를 흡입과 배기를 한다. 하절기 차가운 공기를 실내에 공급하고 반대로 버려지는 공기는 더운 공기를 포함한다. 이를 다시 회수하여 차가워진 천장/못으로 유도하여 천장의 온도를 상승시킬 수 있도록 하는 아이디어를 도출할 수 있다.





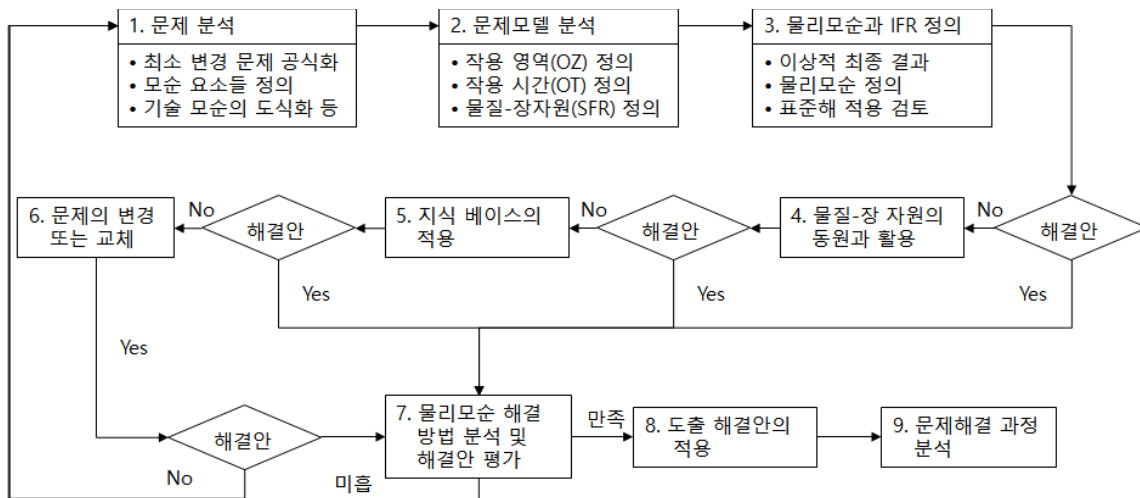
[그림 3] 이상적 해결안에 대한 표준

[Fig. 3] Standard Solution of Ideal Final Result

4. ARIZ-85C의 적용 문제 해결

4.1 ARIZ의 이론적 배경

ARIZ(Algorithm of Inventive Problem Solving)는 모순을 도출하고 공식화하여 문제를 해결하기 위해 문제를 분석하는 단계별 방법이다[6]. 알츠슐러에 의해 개발된 ARIZ는 기술 발명 과정에서 발생하는 기술혁신 문제를 해결하기 위한 방법을 체계화하기 위해 정립한 알고리즘이다. 1956년 ARIZ 초기 버전을 시작으로 1985년 ARIZ-85C 버전까지 다양한 연구를 거쳐 정립되었다. ARIZ는 복잡하고 어려운 도구로 최소 80시간 이상의 사전학습이 없다면 실제 문제를 해결하는 데 적용하지 말기를 권하고 있다[7][8].



[그림 4] ARIZ-85C 진행 과정(김정선, 2008; 박일우 최성훈, 2015을 참고하여 재작성)

[Fig. 4] Process of ARIZ-85C

이렇듯 ARIZ-85C는 사전에 기본 개념 없이 접근하기 어려운 단점을 가지고 있다. 그럼에도 많은 TRIZ를 연구하는 자들에 의해 많은 버전과 변화가 시도될 만큼 혁신적인 도구로 여겨지고 있다. 마지막 버전인 ARIZ-85C는 9 Parts와 40 Steps, 44 Contents, 11 Rules, 그리고 2 Tables로 구성되어 있다. 9 Part는 단계별로 추진되며 단계별 프로세스는 [그림 4]와 같다[9][10].

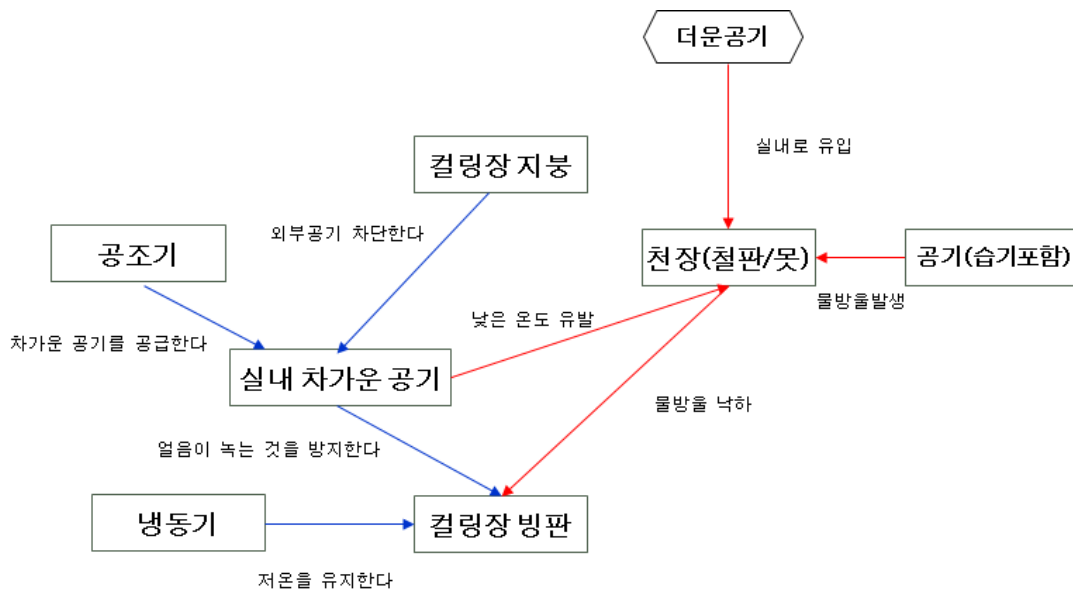
4.2 기술적 모순 및 물리적 모순

인과관계 분석(CECA)을 통한 문제 정의 모델링에서 문제 6을 정의하였다. 문제 6은 “결로가 발생되지 않도록 실내공기는 차갑기도 해야 하고 차갑지 않기도 해야 한다.”로 정의하였다. 이는 물리적 모순에 해당된다. 이를 기술적 모순으로 규정해 보면

TC 1: 컬링장 내부 온도가 낮으면, 빙질은 좋아지지만 결로가 발생한다.

TC 2: 컬링장 내부 온도가 높으면, 결로는 발생되지 않지만 빙질이 나빠진다.

기술적 모순을 가지고 있는 시스템 요소들을 살펴보면, 실내 온도(7~9℃), 빙판 온도(0~4℃), 낮은 온도의 천장(철판/못), 더운 외부 온도(35℃ 이상), 습도를 포함한 공기 등을 들 수 있다. 모순을 가지고 있는 시스템의 기능 상호작용 분석도는 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 시스템의 기능 상호작용 분석도

[Fig. 5] System Correlation Diagram

4.3 ARIZ-85C 문제 분석

4.3.1 최소 변경 문제 공식

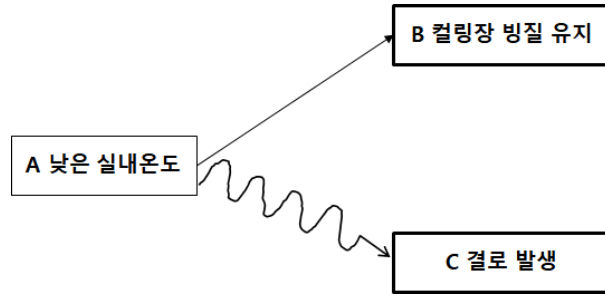
컬링장의 빙질 유지를 위한 기술 시스템은 매립된 냉매관, 낮은 실내 온도, 공조시설을 통한 내부 온도 조절장치, 컬링장 빙판, 칼날을 이용한 수평 유지 등으로 볼 수 있다. 기술적 모순이 발생하는 상황에서 문제 해결을 위해서는 결로에 의한 물방울 낙하 없이 컬링장 빙판의 빙질을 유지하기 위해서는 시스템을 최소로 변경할 필요가 있다.

4.3.2 모순 요소들 정의

모순을 발생시키는 요소들에 대해 살펴보면, 빙판의 질(0~4℃), 결로(물방울), 더운 외부 공기, 습도를 포함한 공기, 낮은 실내 공기(7~9℃) 등이다.

4.3.3 기술 모순의 모델 도식

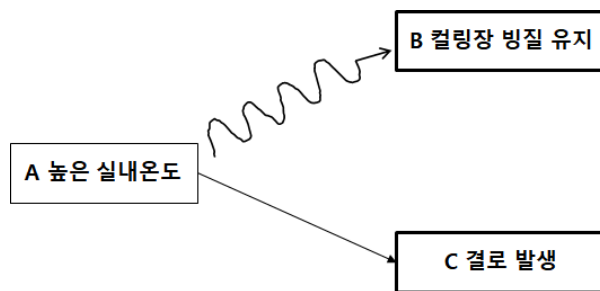
TC 1: 컬링장 내부 온도가 낮으면, 빙질은 좋아지지만 결로가 발생한다.



[그림 6] 기술모순 모델 1

[Fig. 6] Technical Contradiction Model 1

TC 2 : 컬링장 내부 온도가 높으면, 결로는 발생되지 않지만 빙질이 나빠진다.



[그림 7] 기술모순 모델 2

[Fig. 7] Technical Contradiction Model 2

4.3.4 심화 분석을 위한 도식 모델 선정

심화 분석을 위해 기술 모순 중 주요 기능을 검토한다. 컬링경기장의 주요 기능은 빙질을 좋게 하여 경기나 연습을 원활하게 진행할 수 있도록 하는 것이 컬링장 시스템의 주요 기능이라고 할 수 있다. 그러므로 기술 모순 중 “TC 1: 컬링장 내부 온도가 낮으면, 빙질은 좋아지지만 결로가 발생한다.”를 선정하여 심화 분석을 진행한다.

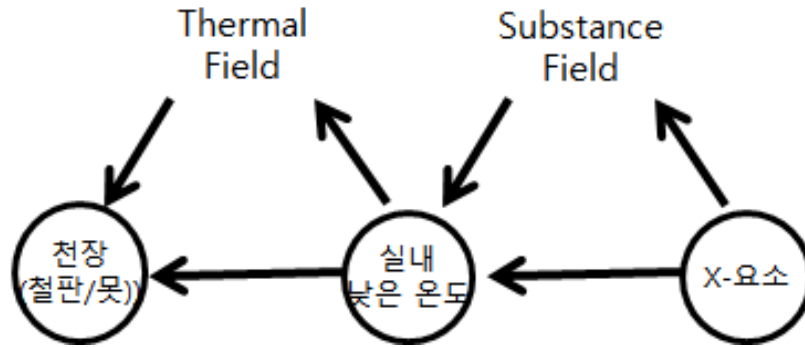
4.3.5 모순 심화

모순 심화는 선정된 기술 모순 분석에서 구성 요소의 극한 상태(작용)를 묘사하여 모순을 심화하여 문제를 분석한다. 선정된 기술 모순에서 구성 요소를 상태를 극대화하여 심화된 기술 모순을 살펴보면,

실내 온도가 극도로 낮아진다면(0 °C 이하), 빙질은 좋아지지만 결로는 더욱 심해져 천장 전체에 결로가 발생하여 경기장을 이용할 수 없을 것이다. 심화된 기술 모순에 따라 문제 변화로 천장 전체에서 발생하는 결로에 대한 해결안이 필요하다.

4.3.6 심화된 모순의 문제 모델 정리

심화된 모순으로 문제 모델을 정리하여 컬링장 실내 온도가 극도로 낮아진 상태를 제공하여 컬링 연습이나 경기를 하기 좋은 빙질 상태를 유지하면서 결로가 발생하지 않도록 하는 X-요소가 필요하다. 이를 표준해로 보면 [그림 8]과 같다.



[그림 8] 모순 문제 해결 표준해

[Fig. 8] Standard Solution of Contradiction Problem

4.4 ARIZ-85C 문제 모델 분석

4.4.1 작용 영역(OZ)

컬링장 결로 발생 문제가 발생하는 ZONE은 천장의 철판과 철판 못에서 결로가 발생하여 수분 입자들이 취약한 포인트로 이동하게 된다. 모순이 심화될 경우 문제가 발생하는 ZONE은 취약한 포인트에서 천장 전체로 확대하게 되며, 산발적 발생에서 전반적으로 지역이 확대된다.

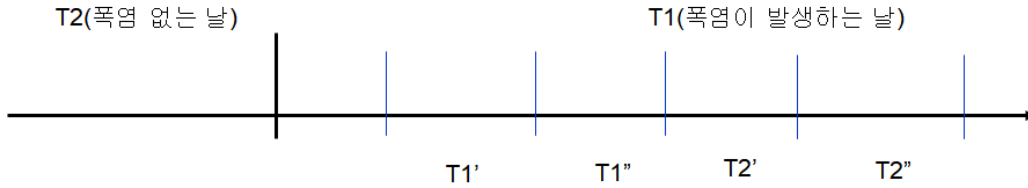


[그림 9] 문제발생 영역(OZ)

[Fig. 9] Operation Zone

4.4.2 작용 시간(OT)

컬링장 결로 발생 문제가 발생하는 TIME은 실내 온도(7~9 °C)와 25 °C 이상 기온차가 발생하는 하절기 특히, 폭염이 발생하는 기상 상황에서 발생된다. 실내 온도는 상시 7~9 °C, 내부 습도를 30~40%를 유지하고 있는 상황으로 폭염 발생 후 온도가 내부로 전달되는 시간을 고려해 보면 오후 또는 밤 사이 집중적으로 발생하고 있다. 이후 발생된 결로는 응집 과정을 거쳐 상시 산발적으로 낙하하는 문제가 발생하고 있다.



- T1': 차가운 실내 온도로 천장의 철판(못)의 온도가 낮아짐.
- T1'': 외부 기온이 폭염 발생으로 외부의 더운 공기가 유입되는 시간
- T2': 온도 차이와 습도에 의해 천장(철판/못)에 결로 발생(포인트 이동)
- T2'': 발생된 결로(물방울)가 중력에 의해 낙하하여 빙판에 떨어져 응결됨

4.4.3 물질-장 자원(SFR)

물질-장 자원에 대한 정의는 모순이 발생하고 있는 영역 내·외부에 존재하여 문제 해결에 활용될 수 있는 자원을 분석하는 것으로 시스템의 내부와 외부뿐만 아니라 슈퍼 시스템을 통해 활용할 수 있는 모든 자원을 의미한다. 컬링장 내부 자원은 자체의 낮은 실내 온도와 얼음, 천장 철판 등이 있으며, 외부 자원으로는 공조기 바람, 조명등 열 등이 있다. 슈퍼 시스템의 SFR은 공조기 사용 후 버려지는 폐열 등을 활용할 수 있다.

4.5 ARIZ-85C 이상적 최종 결과 정의 및 물리 모순 도출

이 단계에서 이상적 해결안이 항상 달성되지는 않지만 이상적 최종 결과(IFR)를 공식화한다. 이상적 최종 결과(IFR)는 이상성 공식을 문제 상황에 적용하여 구체적인 문구로 설명하여 표현한 것이다. 이상적 최종 결과(IFR)를 수식화하면 [표 1]과 같다.

[표 1] 이상성

[Table 1] Ideality

$$\text{이상성(Ideality)} = \frac{\sum \text{유익한 기능}}{\sum (\text{비용} + \text{해로운 기능})} \rightarrow \infty$$

심화된 기술 모순에 대한 이상적 최종 결과(IFR)를 정의해 보면 “X-요소는 기존 시스템을 복잡하게 하지 않고 추가적인 유해 작용이 발생시키지 않으며, 폭염이 발생하는 날씨에도 낮은 실내 온도가 수행하는 연습이나 경기를 하기 좋은 빙질을 유지하면서 결로 발생을 제거한다.”

이상적 최종 결과 정의 심화 단계에서는 새로운 물질-장의 도입을 제한하고 문제 모델 분석 시 확인한 물질-장 자원(SFR)을 활용하여 해결안을 검토할 필요가 있다.

문제 모델 분석 단계에서 분석한 물질-장 자원을 대입해 보면, “공조기 바람은 기존 시스템을 복잡하게 하지 않고 추가적인 유해 작용이 발생시키지 않으며, 폭염이 발생하는 날씨에도 낮은 실내 온도가 수행하는 연습이나 경기를 하기 좋은 빙질을 유지하면서 결로 발생을 제거한다.”

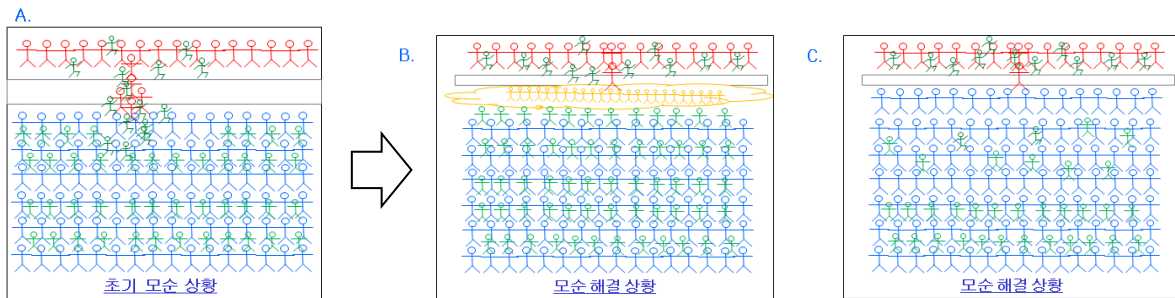
이상적 최종 결과를 공식화하고 이를 물리 모순 모델로 정리하면

“공조기 바람은 스스로 컬링장 빙질을 유지할 수 있어야 하며, 결로(물방울)를 기화시킬 수 있는 상태가 되어야만 한다.”

4.6 물질-장 자원의 동원과 활용

4.6.1 작은 사람 모델 모의시험

이 단계에서는 자원의 활용성을 증가시키기 위한 체계적인 접근법으로 시스템 주변에서 사용 가능한 자원들의 최소한의 변형을 통해 파생되는 자원을 탐색하는 과정이다. 작은 사람 모델을 통해 모순의 도식 모델을 살펴보면 [그림 10]과 같다.



[그림 10] 작은 사람 모델

[Fig. 10] Smart Little People Model

모델 A는 모순이 발생하는 상황의 모델로서 외부의 더운 공기와 내부의 차가운 공기가 접촉하며, 습기를 포함한 공기의 공급으로 결로가 발생하는 모델이다. 이상적 최종 결과로서 모델 B는 외부의 공기와 내부의 차가운 공기가 접촉하지 않도록 X 요소를 활용한 모델이며, 모델 C는 더운 외부 공기와 차가운 실내 공기가 접촉하더라도 천장에 습기를 제거함으로써 결로가 발생하지 않도록 하는 모델이다.

4.6.2 빈 공간 활용과 유도된 자원 활용

활용 가능한 물질-장 자원의 종류에는 공간 활용의 개념도 포함되어 있다. 기존 물질에 해당하는 자원을 “빈 공간”과 혼합하여 문제를 해결하는 방법을 모색할 수 있다. 이 경우 작은 사람 모델 B의 아이디어와 같이 외부의 더운 공기와 내부의 차가운 공기가 서로 접촉하지 않도록 완충공간을 조성하여 서로의 열을 차단시켜 단열시킴으로서 두 공기층의 공간을 만들어 문제를 해결하는 아이디어를 얻을 수 있다.

다음으로 유도된 자원의 활용으로 작은 사람 모델 C와 같이 내부 자원(공조기 바람)을 문제가 발생하는 천장으로 유도함으로써 발생 가능한 결로를 기화시켜 수분을 제거함으로써 문제를 해결하는 아이디어를 도출할 수 있을 것이다.

4.7 기타 지식베이스

이 단계는 TRIZ와 관련하여 정보 베이스에 축적된 경험을 이용하는 단계로 TRIZ의 표준 시스템을 활용한다.

4.7.1 40가지 발명 원리

40가지 발명 원리를 통한 아이디어 도출하기 위해 개선하려는 특징은 빙판의 질이 향상되도록 “27. 신뢰성”을 빙질이 개선되면 결로가 습기의 형태에서 물방울의 모양으로 변화하는 것으로 악화되는 특성은 “12. 모양”으로 40가지 발명 원리 매트릭스를 검색하였다.

검색 결과 “35. 속성 변환/특성 변화”, “1. 분할/세분화”, “16. 부족/과잉 조치”, “11. 사전 예방조치/사전 보호”의 아이디어를 얻을 수 있다.

이 아이디어 중 “1. 분할/세분화”를 통해 두 공기 층을 분리하는 아이디어를 활용하여 빈 공간을 두어 두 가지 요소를 분리할 수 있다. 이는 모순 해결을 위한 분리의 원칙과 일맥상통하는 아이디어로서 “공간 분리”에 해당할 수 있을 것이다.

4.7.2 11 물리 모순 제거 원리

다음은 11가지 물리 모순 제거 원리를 적용하는 것으로 9번째 “상전이”의 해결 원리를 적용할 수 있다. 공간 분리를 위해서는 X-요소가 필요한 상황으로 고체의 천장/철판과 공기와의 접촉을 차단시키기 위해서는 좁은 공간과 작은 틈새까지 차단될 수 있어야 한다. 천장에 고체 물질을 활용해 공기막을 차단하는 것은 매우 어려운 상황이다. 즉 고체로는 기능이 부족하여 액체 또는 기체를 통해 차단이 가능할 것으로 판단되었으며, 이를 설치 시 액체나 기체 형태로 설치 후 분리 막의 역할을 할 수 있는 고체 형태로 상전이되는 X-요소가 필요하다. 이를 위해 11가지 물리 모순 제거 원리 중 “상전이”를 활용하는 아이디어를 도출할 수 있다.

4.7.3 이상적 해결안 도출을 위한 기타 지식베이스 활용

트리즈에서 활용하는 표준시스템 이외에 문제 해결을 위한 여러 가지 기본 지식들을 활용한 검토가 이루어졌다. 컬링장 결로 해결 문제는 비표준 문제로 인식할 수 있어 다양한 환경에 대한 아이디어와 향후 발생하는 또 다른 문제에 대한 분석이 필요하다.

이상성 향상을 위한 다양한 아이디어와 분석을 정리해 보면,

1단계 : 외부의 더운 공기가 컬링장 내부의 차가운 공기와 접촉을 차단하도록 컬링장 외부의 덮개를 씌우거나 보온재를 설치하는 방안

2단계 : 지붕 또는 천장에 공기를 차단할 수 있는 물질로서 석고보드, 스티로폼, 단열재 등을 사용하는 방안

3단계 : 지붕이나 천장에 공기를 차단하는 물질이 지속적으로 부착 여부
(지붕 설치 시 외부 강풍이나 태풍, 우천, 낙뢰 시 존치 가능 여부)

4단계 : 공기층을 분리할 때 공기의 특성상 작은 틈이나 공간으로도 유입이 수월해 작은 공간까지 차단할 수 있는 물질 필요(설치 유연성 필요)

결론 : 설치 시 액체나 기체의 형태에서 완료 시 고체로 상전이 되어 부착이 용이

4.7.4 이상적 최종 해결안 도출

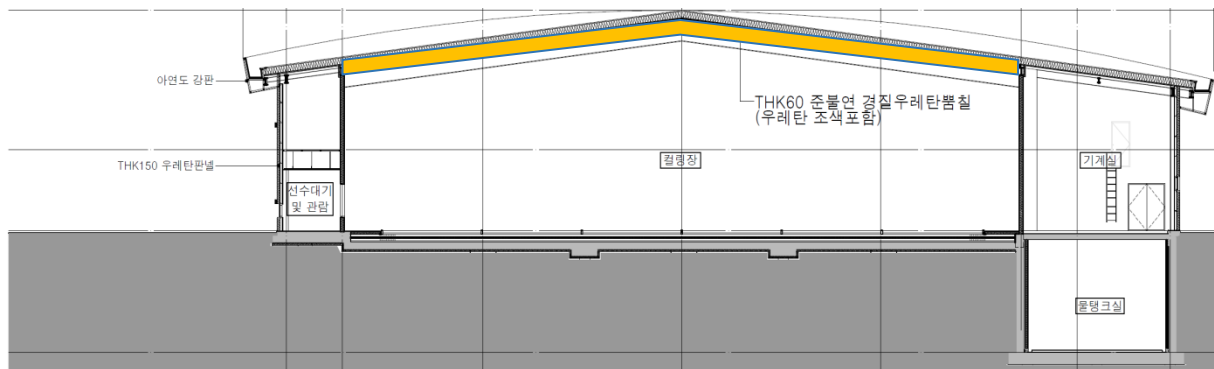
앞서 ADRIGE 알고리즘과 ARIZ-85C 알고리즘을 통해 원인을 분석하여 정의하고 다양한 자원을 검색하여 많은 아이디어를 도출하였다. 또한 여러 가지의 트리즈 표준 시스템들을 검토하고 기타 지식을 활용하여 문제 해결에 대한 아이디어를 검토하였다.

이 연구의 문제에서 가장 핵심적인 문제는 모순의 문제를 제공하는 차가운 실내공기를

변화시키지 않으면서 결로의 발생을 억제하는 데 있다. TRIZ의 이상성은 해결 비용과 해로운 기능을 최소화하면서 유익한 기능을 최대화 시키는 것이라고 할 수 있다.

컬링장 천장 결로 문제 해결에 있어 고려되어야 할 규제 및 제한조건이 몇 가지 존재하고 있다. 첫째, 과도한 예산의 투입이 어렵다는 것이다. 컬링장이 신축된 지 채 3년이 되지 않은 상황에서 과도한 예산이 투입될 경우 설계하자 또는 부실 건축에 대한 논란이 발생할 소지가 있다. 그러므로 최소한의 예산으로 시설 보강 차원에서 문제 해결이 이루어져야 하는 제약조건이 존재한다.

둘째, 결로 문제 해결 시 컬링장 미관에 저해가 되면 안 된다는 제약이 있다. 결로 문제 해결을 하기 위한 목적으로는 대규모 국내외 대회를 유치하기 위한 목적이 존재한다. 올림픽을 제외한 세계대회 유치를 목적으로 하는 시설로서 자칫 결로 문제 해결로 인해 국제 대회 행사를 저해하도록 하는 시설은 성공의 조건으로 볼 수 없기 때문이다. 또한 임시적인 대응책으로 문제가 재발되지 않도록 해야 하는 제약이 있다.



[그림 11] 최종 해결안

[Fig. 11] Ideal Final Result

셋째, 결로 문제 해결을 위해서는 조치 기간을 최대한 짧은 기간 내 처리가 되어야 하는 제약조건이 존재한다. 컬링경기장은 다중이 사용하는 공공시설로서 조치 기간이 길어질 경우 일반 사용자 및 전문 선수들의 민원에 직면할 소지가 있다. 하절기 빙판 정비를 위해 시행할 수 있는 2개월 남짓의 시간 여유가 있을 뿐으로 빠른 시간 안에서 문제 해결이 되어야 하는 제약을 안고 있다.

이렇듯 이상성을 추구하며, 제약조건에 대한 고려 사항을 충족하는 해결 방안을 모색하였다. 물질-장 분석을 통해 도출된 문제 분석으로부터 컬링장 외부의 더운 공기와 실내의 차가운 공기로 인해 발생하는 결로(물방울) 문제는 외부 공기와 실내공기를 공간 분리하도록 새로운 X-요소(물질-장)를 투입하여 해로운 기능을 기존 시스템의 변화를 최소화하여 제거하였다.

이에 실내 천장 전면에 준불연 경질 우레탄을 스프레이 분사 도포하여 외부 공기와 실내 공기를 접촉하지 않도록 분리 차단하여 결로 문제를 해결하였다. 도포시에는 스프레이 형태의 액체 상태이지만 도포 완료 후에는 고체의 형태로 미관상 문제는 향후 도색을 통해 해결할 수 있다. 또한 준불연 재질로서 공공기관 화재 방지를 위한 건축법상 추가적인 문제가 발생하지 않는다.



[그림 12] 최종 해결안 처리

[Fig. 12] Ideal Final Result Processing

5. 결론

ARIZ는 문제 해결을 위해 사고를 하기 위한 알고리즘으로 사고를 대신하지는 않으며, 문제 해결을 위해 체계적인 사고의 도구로서 다양한 관점에서의 아이디어를 제공한다. 직관적이고 단순한 문제에 적용하기에는 ARIZ 알고리즘은 꽤나 복잡하고 다양한 시도를 하도록 어렵게 유도하지만 복잡하고 비 표준화된 문제를 해결하기 위해서는 다양한 관점에서의 분석과 표준화된 해결 시스템뿐만 아니라, 독창적 아이디어의 도출할 수 있도록 도움을 준다.

본 연구에서는 컬링경기장에서 하절기에 발생하는 결로 문제를 트리즈의 ADRIGE 알고리즘과 ARIZ-85C 알고리즘을 활용하여 문제를 해결하였다. 컬링장은 건립된 지 채 4년이 되지 않은 신축 시설로서 가장 중요한 기능인 컬링 연습이나 대회 경기를 하지 못할 수도 있는 심각한 문제에 직면했다. 하지만 문제 해결을 위해 트리즈의 방법론을 통해 체계적으로 문제를 분석하였다. 문제를 가지고 있는 컬링장 시스템의 기능을 기능도를 통해 파악하였으며, 문제가 발생하는 장소(OZ)와 발생하는 시간(OT)를 분석하고 문제가 발생하는 원인과 시스템 간의 인과관계를 분석하였다. 이를 통해 결로 발생에 대한 문제를 명확하게 정의를 하였다.

문제 정의가 명확하지 않을 경우 정확한 해결안을 모색하기는 무척이나 어렵기 때문에 문제 정의는 중요한 단계라고 할 수 있다. 문제 정의를 통해 일반적인 문제에 대한 것은 ADRIGE 알고리즘을 통해 자원 활용과 표준해 등을 통해 해결 아이디어를 도출하였으며, 모순이 발생하는 문제에 대해서는 ARIZ-85C 알고리즘을 활용하여 문제를 해결하였다. 이상적 해결안 마련을 위한 시스템 내외부의 자원을 분석하였다. 공조기 바람을 활용한 아이디어는 이상성에 가까운 아이디어로서 기존 시스템이 가지고 있는 자원의 활용이라는 관점에서 좋은 대안이 되었다. 하지만 컬링장 면적이 넓고 외부 기온과의 차이가 심할 경우 충분한 문제 해결에 어려움이 있으며, 모순이 심화될 경우 공조기 가동의 용량의 한계로 아이디어 도출까지만 이루어졌다.

ARIZ 알고리즘의 비표준 문제 해결을 위한 단계에서 국지적/산발적으로 발생하는 결로 문제를 모순을 심화하여 실내 천장 전체에서 발생하는 문제로 확대하여 인지함으로써 향후 임시적인 문제 해결이 아닌 근본적인 문제에 대한 분석이 이루어졌다. 표준해, 작은 사람 모델, 40가지 발명 원리, 모순 해결 원리 등 다양한 표준 시스템을 병행하여 문제 해결의 제약조건을 극복하고 문제를 해결하였다. 당초 문제에 대한 성공 기준은 컬링장 운영 시 결로 현상으로 인해 연습이나 경기 진행이 영향을 받지 않는 것으로 성공적으로 문제 해결을 하였다.

이를 통해 안정적인 컬링장 상태를 유지함으로써 전국 대회 및 국제 대회를 유치하는데 문제가 발생되지 않으며, 양질의 빙질 상태를 유지하여 시설 대관을 활성화하여 운영 수익 증대에 기여할 수 있다. 또한 쾌적한 환경 유지와 미관상 좋은 시설을 유지함으로써 시설에 대한 대외적인 이미지 개선에도 기여하였다.

하지만 성공적인 문제 해결에도 일부 아쉬운 한계점이 존재한다. ARIZ 알고리즘은 기술 진화를 목적으로 문제를 해결하고 도출 해결안에 대한 평가를 통해 해결안의 확대 적용하도록 프로세스를 진행한다. 본 연구의 문제 해결은 전국에 4~5개소만 존재하는 컬링장이라는 특수성이 있어 해결안을 일반화하는 것에는 여러 가지로 한계점이 있다. 또한 상황별 제약조건이 상이하여 다른 컬링장에 동일한 사례를 적용하는 것 또한 적절하지 못할 수 있다.

그럼에도 복잡한 수준의 비 표준 모순이 발생하는 문제 상황에서 ARIZ 알고리즘을 적용하여 다양한 관점에서 독창적인 아이디어를 도출하여 이상성을 가진 해결 방안을 모색하는 것은 중요한 일일 것이다.

6. 감사의 글

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education in 2019 (No.2018R1D1A1B07049244).

References

- [1] K. Barry, E. Domb, E., M. S. Slocum, TRIZ-what is TRIZ, The TRIZ journal, (2010), pp.603-632.
- [2] T. Benjaboonyazit, Solving the Problem of ARIZ Using ARIZ (Algorithm of Inventive Problem Solving): Case Study on Pipeline Maintenance System Design, International Journal of Systematic Innovation, (2016), Vol.4, No.2.
DOI: [https://doi.org/10.6977/IJoSI.201610_4\(2\).0001](https://doi.org/10.6977/IJoSI.201610_4(2).0001)
- [3] Y. W. Song, K. M. Kim, S. H. Kim, Theory of Inventive Problem Solving – TRIZ, KSA Media, pp. 258-277, (2017)
- [4] Y. W. Song, K. M. Kim, S. H. Kim, Theory of Inventive Problem Solving – TRIZ, KSA Media, pp. 235-245, (2018)
- [5] I. C. Kim, Y. S. Park, Y. W. Song, J. M. Joo, S. W. Choi, Theory of Inventive Problem Solving and Case Study – TRIZ Level 2, GS Inter Vision, pp. 23-30, (2022)
- [6] T. Benjaboonyazit, Solving the Problem of ARIZ Using ARIZ (Algorithm of Inventive Problem Solving): Case Study on Pipeline Maintenance System Design, International Journal of Systematic Innovation, (2016), Vol.4, No.2, pp.1-16.
DOI: [https://doi.org/10.6977/IJoSI.201610_4\(2\).0001](https://doi.org/10.6977/IJoSI.201610_4(2).0001)
- [7] G. Altshuller, B. Zlotin, A. Zusman, V. Philatov, Tools of Classical TRIZ, US: Ideation International Inc, pp.20-68, (1999)
- [8] J. S. Hyun, C. J. Park, Which Technical Contradiction in ARIZ is Right? The Butterfly Diagram Analysis by Using Propositional Logic, The Knowledge Management Society of Korea Symposium, (2014), No.1, pp.282-294.
- [9] J. S. Kim, ARIZ-Creative Thinking Training Algorithm, MyGuru: Seoul, pp.10-25, (2013)
- [10] I. W. Park, S. H. Choi, Development of S-ARIZ for the Creative Problem Solving Process, Journal of Applied Reliability, (2015), Vol.15, No.1, pp.12-18.