

주조방안 자동설계 프레임워크 구축

조원철 · 김성민[†] · Purevdorj Nyamsuren · 손정우 · 이수홍

연세대학교 기계공학과

A Development of Casting Design Automation Framework

Wonchul Cho, Sungmin Kim[†], Purevdorj Nyamsuren, Jungwoo Sohn, and Soo-Hong Lee

School of Mechanical Engineering, Yonsei University

Received 30 December 2011 ; received in revised from 26 February 2012; accepted 27 February 2012

ABSTRACT

Use of casting simulation software, analyzing the reason for defect became easy. However, to create a practical solution, experienced casting expert's knowledge is always indispensable. In this study, we develop casting design automation system and the algorithm based on casting expert's knowledge, so that faster and more accurate design is enabled. Especially, to generate runner which can be shaped in numerous ways, we suggest the 'nexus' method to shape runner system.

Key Words: Casting Design, CAD API, Design Automation, Knowledge Based Design, Runner Element

1. 서 론

주조 해석 소프트웨어의 도입을 통해, 생산 공정에 대한 문제분석이 신속하고 정확해 졌지만, 결과를 면밀하게 분석하고, 실질적인 개선방안을 제시하기 위해서는 현장의 주조 베테랑의 의사결정이 필수적이다. 하지만, 중소 업체의 경우, 적합한 주조 전문가가 현장에 없거나, 빠른 개발과 납기를 요구 받고 있는 상황에서는 충분한 분석 및 협의 통한 의사결정이 힘들기 때문에, 고가의 주조해석 소프트웨어를 사용함에도 불구하고, 그 효과를 보지 못하는 경우가 많다.

현 상황의 문제점을 해결하기 위해서는, 초기 설

계 시에 주조전문가의 역할을 대신해줄 수 있는 설계 프로그램과, 주조해석 결과를 손쉽게 활용해서, 재설계 시에 빠르게 적용시킬 수 있는 지식 베이스의 개발이 절실하다.

지식기반 주조방안 자동설계 시스템이란, 주조해석 결과에 대한 데이터베이스를 정리하고, 기존 주조 전문가 지식을 통합한 지식베이스를 구축하여, 주조방안 설계에 대한 지식 물을 수집하고, 이를 상용 CAD 소프트웨어 및 자체 개발한 솔리드 모델러와 연동하여, 빠르고 정확한 초기 설계 및 재설계를 통해, 기존 설계 과정에서 겪는 시행착오의 횟수를 줄여줄 수 있는 시스템이다.

본 연구에서는 지식기반의 주조방안 자동설계 시스템의 핵심기능인, CAD 프로그램을 위한 자동설계 라이브러리를 개발하는 것을 목표로 한다. 주조방안 설계의 핵심요소로는 탕도, 탕구, 탕고

[†]Corresponding Author, mail@sungminkim.net
©2012 Society of CAD/CAM Engineers

입 등이 있는데, 이들의 특징형상에 대한 모델링 방법과, 치수들에 대한 설계기준 파라 미터를 데이터베이스화 하고, 각 설계요소간의 연관관계를 정의한다. 제시한 목표의 달성을 통해, 주조방안 지식 데이터베이스가 사용자의 입력을 보조하여, 실제 CAD 모델을 자동으로 빠르게 설계할 수 있는 프로그램을 구축할 수 있다.

2. 주조방안 설계

2.1 주조방안요소

- 탕구: 용융된 금속을 다이 캐비티와 탕도 사이에서 연결시키는 작은 통로이다. 탕구는 금속이 캐비티 내부로 들어가는 시작지점으로 일반적으로 유체의 흐름에 있어서, 가장 작은 저항을 받는 몰드의 가장자리 모서리에 위치하게 된다.
- 탕도: 스프루 또는 플런저의 구멍과 캐비티의 주입구를 연결시키는 용탕이 흘러가는 길을 의미한다. 다이캐스팅에 있어서 탕도 시스템은 필요한 탕구의 위치 및 개수에 따라, 일련의 통로들로 구성되어 있고, 플런저에 의해 생기는 압력을 비스킷으로 전달받아, 주입된 용탕을 밀어 캐비티에 주입하는 역할을 하게 된다.
- 비스킷: 플런저 혹은, 콜드챔버에서 가져온 용탕이 초과되어 남은 것으로, 본 플런저 부분 혹은 슬리브 부분을 지칭한다.

2.2 주조방안 설계 지식

성공적인 주조방안은 우선, 캐비티를 완전히 채

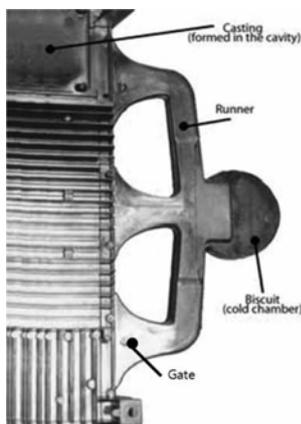


Fig. 1 Casting Design Elements

울 수 있어야 하고, 용탕이 응고되는 과정에서 결함이 발생되지 않게 해야 한다.

본 논문에서는 특히 탕도 설계 방법론에 있어 집중적인 연구를 하였고, NADCA(북미 다이캐스팅 협회)에서 제공하는 탕도 설계에 대한 가이드라인은 다음과 같다.

- * 탕도의 단면적은 슬리브 또는 스프루에서 탕구로 향할 때 줄어들어야 한다.
- * 탕도 설계는 반드시 부드럽고, 둥글게 해야 한다.
- * 구부러지는 부분에서는 3~5%로 단면적을 증가시키고, Y Junction에서는 3~10% 증가시킨다.
- * 가능하다면 캐비티에 도달하는 거리를 동일하게 한다.

2.3 관련 연구

Tai and Lin^[2]은 네트워크를 통한 탕도 형상의 최적화에 대한 연구를 수행하였다. 주조방안의 시험에 있어 탕도 부분은 항상 반복적으로 수정되고, 이를 수정하는데 많은 시간과 비용이 소요된다. 그들은 여러 종류의 삽입 가능한 탕도 조각에 대해, 동일한 조건에서의 다이캐스팅 변수에 대한 최적값을 Simulated Annealing 알고리즘을 통해 찾는 시도를 했다. 하지만 탕도의 형상을 미리 지정된 세트로 두고 출발한 점에 최적 값에 대한 지역적 한계가 있다.

Kim and Kwon^[11]은 Runner-Gate System을 자동으로 설계하기 위한 모듈을 개발하였다. 주조방안 자동 설계 시스템에 대한 사용 시나리오가 확립되었고, 탕구 설계의 경우 단면적의 결정과 종류의 설정으로 빠른 설계가 가능하다. 하지만 탕도의 경우, 한정된 공간에서, 한정된 종류의 탕도만을 제공하므로, 대상이 된 제품형상에 대해 사용의 한계가 있어 범용 성이 떨어진다.

Wu et al.^[5]는 특징형상기반의 변수 설계 자동화를 통해, 탕구 시스템의 자동화에 대해 연구하였다. 탕구의 치수계산을 위해서는 P-Q 다이어그램을 사용한 지식베이스가 활용되었다. 이 연구도 앞서의 연구와 마찬가지로, 탕도의 형상에 대해서는 한정적인 템플릿만을 제공하고 있어, 한계점이 있다.

Zhaohui^[6]는 탕도 시스템의 자동 모델링을 통한 가시화에 대해 연구하였다. 그는 앞서 두 연구와 달리, 사용자로부터 경로를 입력 받음으로써 자동

설계된 탕도의 솔리드 모델에 대한 활용성을 증가시켰다. 특히, 탕도의 경로가 부드럽게 생성되도록 B-Spline Curve를 활용한 피팅 알고리즘을 통해, 단면적을 연속적으로 스위핑하여 모델을 구현하였다. 하지만, 탕도의 설계 원칙 중 매우 중요한 탕구를 향하는 방향으로의 단면적 감소를 구현하지 못한 것에서 실용성이 떨어진다.

3. 전체 방법론

3.1 시스템 구조

구조방안 자동설계 라이브러리의 전반적인 구조는 그림과 같다. 유저인터페이스에서 어떤 객체를 그릴지 결정하게 되면, 그에 해당하는 객체를 AnyShape클래스에서 하위클래스를 검색해서 반환하게 된다. 솔리드 모델러에서 주어진 정보를 유저인터페이스를 통해서 객체 생성에 필요한 추가적인 정보를 입력하게 되고, 객체 생성을 위해서는 자체적으로 구성된 수학 클래스를 통해 기하학적인 계산을 수행하게 된다.

모델이 솔리드 모델러에서 생성되기 이전에, 생성의 준비가 객체들은 Data Center에서 3단계로 저장되게 된다. 우선 Ready Que는 생성의 준비를 완료한 모든 객체들을 의미한다. Ready Que는 유저인터페이스를 통해 사용자가 확인 및 차후 수정을 할 수 있고, 사용자의 확인이 끝난 Ready Que 들은 Confirm list로 이동하게 된다.

Confirm list에 저장된 객체들은 생성을 대기하고 있으며, 다른 AnyShape객체 생성에 영향을 줄 수 있게 된다. 예시로, Confirm list에 탕구 객체가 존재하면, 탕도 생성 시에 탕구의 위치를 고려하여 생성하게 된다.

최종적으로 유저인터페이스에서 생성확인 버튼

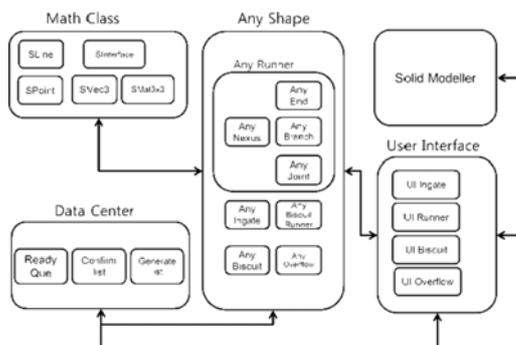


Fig. 2 Overall System Framework

을 누르게 되면 솔리드모델러를 통해, 구조방안 요소들을 가시화 시킨다.

3.2 연결체 개념

탕도의 모델링은 다른 구조방안 요소와 다르게, 경로에 대한 일반적인 규칙성을 찾을 수 없으므로, 사용자의 입력에 따라 동적으로 템플릿이 변경되어야만 한다.

기존의 사용자들이 매뉴얼로 모델링 하는 방법은 사용자들의 개인적인 방법이나 경험에 따라 달라질 수 있지만, 일반적으로, 파팅라인을 포함하는 면 위에 2D 스케치를 하고, 이 2D 스케치를 돌출시키는 형태로, 플런저와 탕구를 연결시키는 탕도를 생성하게 된다.

하지만 이러한 2D 스케치로 한 번에 전체 탕도를 그리는 형상은 그 분기되는 정도나 꺾이는 정도에 따라 필요한 치수가 기하급수적으로 늘어나게 되고, 하나의 템플릿으로 구성하는 것이 일반적으로 불가능하다.

본 연구에서는 연결체 객체를 정의하여, 분기되는 탕도 혹은, 유동의 흐름에 급격한 변화가 생기는 부분을 기준으로 구분하여, 전체 탕도 시스템을 구성하였다.

연결체 객체의 종류는 다음과 같이 분류하였다

- **AnyEnd**: 탕구 혹은 비스킷 부분에 연결되는 탕도의 끝부분. 단순히 해당된 점이 있는 부분에 단면적의 스케치를 생성한다.
- **Any Joint**: 경로에서 직선이 꺾이는 부분에 있는 점에 생성된 연결체. 탕구쪽을 향하는 점과, 비스킷을 향하는 점을 두 개의 이웃 점으로 가지고 있다.
- **AnyBranch**: 비스킷에서 나온 직선이 탕구를 향해 2개이상으로 분할되는 지점의 중심에서 생성된 객체. 1개의 용탕이 주입되는 방향의 점과, 2개 이상의 용탕이 나가는 방향에 위치한 점들을 이웃으로 가진다.

3.3 탕도 생성 알고리즘

사용자로부터 입력 받은 탕도 경로를 통해, 각 연결체들의 연결관계를 통해 연결체 객체의 타입을 유추하게 된다.

연결체 객체들의 타입이 얻어진 이후에는, 해당 연결체의 모양을 생성하기 위한 단면적 계산 알고리즘이 수행된다. 연결된 탕구들로부터, 시작된 단

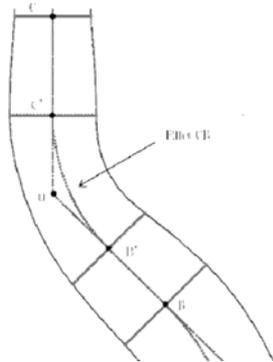


Fig. 3 Joint Element

면적 연산은 순차적으로 용탕 주입구 방향을 향해 진행되고, 모든 연결체의 단면적 계산이 진행된 후에, 솔리드 모델러로 데이터를 넘겨준다.

3.3.1 Joint 연결체

B 방향에서 용탕이 유입되어 C 방향으로 나가게 되는 Bend에서 생긴 Joint객체의 형상이다.

Joint구간에서의 알고리즘은 C 좌표, O좌표, B 좌표를 이미 알고 있고, C 지점 단면적의 너비를 알고 있을 때, 이를 통해, Fillet CB의 반경, B에서 생기는 단면적, B' 및 C'의 위치 및 해당 지점의 단면적을 구하는 방정식을 포함한다.

3.3.2 Branch 연결체

Joint 부분과 유사하게, A', B', C'는 Fillet이 끝나는 지점에서의 좌표를 의미한다. C지점은 용탕이 유입되는 방향이고, A, B 방향으로 분기되어 흘러나가게 된다. A, B 지점은 다른 AnyNexus 객체의 중심점 혹은, Interface 면의 단면적 너비가 확정된 지점이 된다.

용탕이 주입되는 방향에서의 단면적은 용탕이 나가는 방향에서의 단면적들의 합보다 크거나 같아야 한다. 이에 따라서, 깊이가 일정한 경우에는 $C' = A' + B'$ 의 조건을 부여한다.

이후 Joint와 같은 방식으로, Fillet CA와 Fillet CB를 구한 후, 두 개의 반경 중, 원점 O에서 A' 혹은 B'까지의 거리를 가장 크게 하는 반경을 선택하여 A', B'의 위치 및 너비를 결정한다.

이후 A', B'의 합을 통해 C'을 결정하고, C'에서 직선이 일정하게 내려온다고 생각하고, 중점 O에서의 단면적을 계산할 수 있다. 계산된 단면적은 해당 AnyNexus 객체의 InNexus의 단면적 계산을

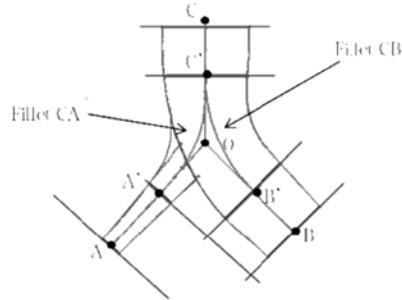


Fig. 4 Branch(3) Element

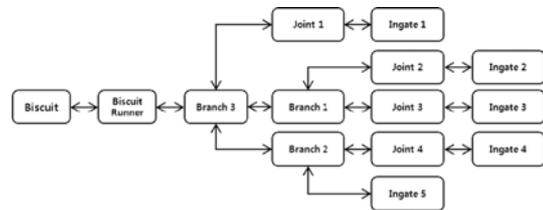


Fig. 5 Area Calculation in Nexus Elements

위한 변수로 전달된다.

3.3.3 연결체간 단면적 계산

Ingate에 직접 연결된 연결체들인 Ingate1, Ingate 2.. 의 객체들부터, 차례로 계산이 수행된다. 단면적 계산이 끝난 연결체들의 In방향 연결체들로 다음 계산순서가 진행된다.

Joint2의 연산이 완료되면, 다음 순서는 Branch2가 된다. 하지만, Branch2의 계산을 시작하기 위해서는 Joint3의 연산이 완료되어야 한다. 따라서, Branch2의 계산은 대기하게 되며, 이후 순서가 돌아서 Joint3의 계산이 완료된 후에, Branch2의 계산이 시작되게 된다.

계산을 수행해서, 자신의 단면적을 구하면, 자신의 InNexus에게, 계산신호를 넘겨주는 재귀적인 알고리즘이 비스킷에 도달할 때까지 반복되면, 모든 연결체의 계산이 완료된다.

4. 시스템 구현 및 실행 예

주조방안 설계는 우선 제품의 형상에 맞게 탕구의 위치와 치수를 선정하는 것으로 시작한다.

용탕의 흐름이 자연스럽게 나타날 만한 지점에 탕구를 위한 보조선을 스케치 하고, 본 연구에서 제안하는 프로그램에 입력하면, 자동으로 탕구를 모델링 하게 된다.

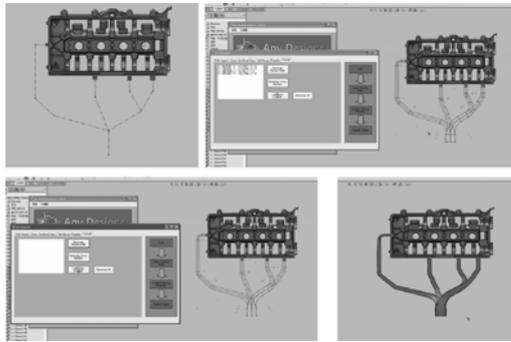


Fig. 6 Casting Design Automation System Usage Scenario

이후, 탕도의 경로를 위한 스케치를 보조선으로 CAD 프로그램에 입력하고, 이를 주조방안 자동설계 프로그램으로 연결하면, 탕구의 단면적에 기반하여, 사용자가 입력한 경로를 탕도의 중심선으로 하여, 탕도가 가이드라인에서 제시하는 해당 지점에서 가져야 할 필렛 반경과 단면적을 계산한다. 그 결과를 Fig. 6의 우 상단의 그림과 같이 표시하게 된다. 차후, 사용자의 확인을 거쳐 최종적으로 Fig. 6의 우 하단과 같은 탕도 형상을 자동으로 모델링할 수 있게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 지식기반 주조방안 자동설계 시스템을 구축함으로써, 주조방안 설계의 고품질 고속화를 추구한다. 주조방안 요소에 필요한 치수 및 입력조건을 정리하여, 자동설계 방안을 위한 기본 작업을 수행하였다. 그리고, 주조방안요소 설계에 활용되는 기본적인 원칙을 적용시켜, 복잡한 탕도 요소를 빠르게 설계하는데 연구에 주안점을 두었다.

향후, 지속적인 라이브러리의 구현이 필요하다. 탕 고입 및 비스킷요소에 대한 개발이 진행 중이고, 특히 탕구의 경우, 제품 면에 따라 해당요소가 접하는 면이 직선, 곡선, 곡면, 곡률변화가 있는 곡면 등에 위치할 수 있는데, 이에 따라 탕구요소의 모양이 변화하기 위해서는 입력된 캐비티의 형상 정보를 분석하는 연구가 선행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 서울시 산학연 협력사업으로 지원받아 연구되었음 (과제번호 JP100021).

참고문헌

1. Kim, C. H. and Kwon, T. H., 2001, A Runner-gate Design System for Die Casting Dies, *Materials and Manufacturing Processes*, 16(6), pp. 789-801.
2. Tai, C. C. and Lin, J. C., 1996, A Runner-optimization Design Study of a Die-casting Die, *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1-3), pp. 1-12.
3. Rutkauskas, Ž. and Bargelis, A., 2007, Knowledge – based Method for Gate and Cold Runner Definition in Injection Mold Design, *MECHANIKA*, ISSN 1392-1207, 66(4), pp. 49-54.
4. Sulaiman, S. and Keen, T. C., 1997, Flow Analysis Along the Runner and gating System of a Casting Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 63(1-3), pp. 690-695.
5. Wu, S. H., Lee, K. S. and Fuh, J. Y. H., 2002, Feature-Based Parametric Design of a Gating System for a Die-Casting Die, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(11), pp. 821-829.
6. Zhaohui Ning, M. S., 2009, *Visualization for Runner System Design in Die Casting*, The Ohio State University, Ohio, USA.
7. Mun, D. H. and Han, S. H., 2005, Identification of Topological Entities and Naming Mapping for Parametric CAD Model Exchanges, *International Journal of CAD/CAM*, 5(1), pp. 69-82.
8. Li, W. D., Lu, W. F., Fuh, J. Y. H. and Wong, Y. S. 2005, Collaborative Computer Aided Design—research and Development Status, *Computer-Aided Design*, 37(9), pp. 931-940.
9. Toshiki Mori and Mark R. Cutkosky, 1998, Agent-Based Collaborative Design of Parts in Assembly, *ASME Design Engineering Technical Conferences*.
10. Choi, G.-H., Mun, D. H. and Han, S. H., 2002, Exchange of CAD Part Models Based on the Macro-Parametric Approach, *International Journal of CAD/CAM*.
11. Chougule, R. G., Jalan, M. K. and Ravi, B., 2004, Casting Knowledge Management for Concurrent Casting Product Process Design, *Transactions of American Foundry Society*.
12. William G Walkington, *Diecasting Defects : Cause & Solutions*, NADCA.
13. Ravi, B., 1999, *Computer-Aided Casting Design-Past, Present and Future*.
14. Lawrence P. Chao, 2004, Design Process Error-Proofing: Project Quality Function Deployment *Proceedings of DETC'04, 2004 ASME Design Engineering Technical Conferences*.

15. Dr. B. Ravi, 2003, *Casting Design Knowledge Management*, 51st Indian Foundry Congress.
16. Shin, D. J., Bae, I. J., Lee, S.-H., Rho, T. S. and Kim, S. T., 2005, An Implementation of Knowledge Based Engineering Design System for the Front Section of the Excavator with an Expert Shell, *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, pp. 3-487.
17. Bae, I. J., 2003, Master's Thesis, *A Study on an Extended Knowledge Model and a Management System of an Intelligent CAD System*, Yonsei University, Seoul.
18. Ju, S. S., 2007, Master's Thesis, *An Improvement of an Initial Design System for an Excavator Front Group with an Intelligent CAD Module*, Yonsei University, Seoul.
19. Groeneveld, T. P. and Kaiser, W. D., 1979, Effects of Metal Velocity and Die Temperature on Metal-flow Distance and Casting Quality, *Die Casting Eng.*, 23(5), pp. 44-49.
20. Trueloved, R. L., 1979, Die Casting Temperature Control: A New Locating Waterlines, *Die Casting Eng.*, 26(1), pp. 28-31.
21. Jong, S. H., Chou, H. Y., Li, C. R. and Hwang, W. S., 1992, *Application of Mold Filling Analysis in the Design of Die Casting Die*, *Chukung Quarterly*, 73, pp. 1-9.



조 원 철

2010년 2월 연세대학교 기계공학 학사
 2012년 2월 연세대학교 기계공학 석사
 2012년 3월~ 삼성중공업 연구원
 관심분야: CAD/CAM, Knowledge-Based Design, Die-Casting Engineering



김 성 민

2011년 2월 연세대학교 기계공학 학사
 2011년 3월~ 연세대학교 기계공학 석사
 관심분야: Integrated Product Development, Product Lifecycle Management, CAD/CAM



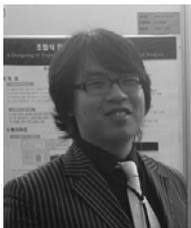
Purevdorj Nyamsuren

2000년 1월 B.A. in Mechanical Engineering, Mongolian Technical University 학사
 2001년 12월 M.S. in Mechanical Engineering, Mongolian University of Science and Technology 석사
 2009년 3월~ 연세대학교 기계공학 박사
 관심분야: Finite Element Analysis, Abrasive Wear



이 수 홍

1981년 2월 서울대학교 기계공학 학사
 1983년 2월 서울대학교 기계공학 석사
 1991년 2월 Stanford University 기계공학 박사
 1991년 6월~1992년 5월 Consultant at Lockheed Missile & Space Co.
 1994년 3월~ 연세대학교 기계공학 부 교수
 관심분야: Knowledge-Based Engineering Design, Concurrent Engineering, Product Lifecycle Management



손 정 우

2010년 3월~ 연세대학교 기계공학 학사
 관심분야: CAD/CAM, Knowledge Based Design