

동적계획법을 이용한 철근가공 산업용 소프트웨어 개발

김성훈*, 박충식**

A Development of Ironbar-manufacturing Industry Software using Dynamic Programming

Seong-Hoon Kim*, Choong-Sik Park **

요 약

이 논문은 철근 가공 산업 현장에서 스프레드쉬트에 의해 수작업으로 행하던 절단 작업의 계획 수립을 자동화된 시스템에 의해 최적의 절단 계획을 생성하도록 하는 소프트웨어의 개발을 다룬다. 이를 위하여, 먼저 시스템의 데이터 표현과 최적 문제 풀이를 위한 자동 계획 알고리즘의 설계가 요구된다. 이것은 다중 규격의 1차원 자재 절단 문제를 푸는 것으로, 동적계획법에 근거하여 자재 절단 문제를 재구성하고, 유한 범위의 조합 열에서도 근사 최적의 해를 찾을 수 있는 탐색 기법을 사용한 자재 절단 계획 알고리즘을 사용하였다. 그리고, 자동화된 철근 가공 산업용 소프트웨어는 작업 환경에 맞게 사용이 편리한 그래픽 화면과 사용자 인터페이스가 요구되는데, 공개 소프트웨어를 활용한 GUI 라이브러리 킷인 GTK+를 활용하여 이를 구현하였다.

▶ Keyword : Iron Bar Manufacturing, Cutting Stock Problem, Dynamic Programming, GTK+

• 제1저자 : 김성훈

* 경북대학교 소프트웨어공학과 * 영동대학교 컴퓨터공학과

1. 서론

철근 가공 작업은 건설 및 토목 현장에서 사용될 철근을 설계 도면을 통하여 필요로 한 철근의 형상과 길이 및 갯수를 산출하고서, 이러한 철근 수요의 요구 사항에 따라 적절한 길이로 철근을 절단하고, 이를 절곡하여 원하는 형상으로 가공하여 공사현장에 납품한다. 현재 많은 가공 산업 현장에서는 이러한 가공 작업 과정에서의 철근 절단 계획을 수립하는 중간 과정을 스프레드시트와 같은 단순 테이블 처리 프로그램에 의존하여 수작업으로 하고 있어서 담당 엔지니어의 애로와 함께 비효율이 발생하고 있다. 특히, 납기마감 기한이 짧은 긴급한 주문에 대해 최적의 작업수립을 하지 못하여 많은 고철 발생으로 인한 철근 자원의 낭비를 초래하고 있다.

이러한 문제는 철근 가공 산업뿐만 아니라 섬유 산업이나 제지산업, 유리산업, 가구산업, 등의 산업현장에서 많이 필요로 하는 최적화의 문제로 전형적인 자재 절단 문제(cutting stock problem)라고 알려져 있다[1][2].

이러한 최적화 문제를 푸는 데 많이 사용되는 선형계획법에 의한 해결방법은 최적의 해를 얻을 수 있지만, 실제적인 문제를 적용하는 데 있어 산업현장에서 요구하는 복합적인 제약과 조건을 그대로 적용이 어려운 단점을 안고 있다. 그리고, 이를 그대로 선형계획법에 의해 해를 얻는 경우에 방대한 양의 조합으로 후보열이 생성되어, 메모리 부족 및 계산시간의 한계에 부딪히게 된다. 이를 해결하기 위한 방안으로 최적의 해 대신에 근사 최적의 해를 찾는 방법이 실제로 많이 사용되고 있다.[3][4][5]

철근 절단 계획 수립의 문제는 1차원 자재 형태의 철근에 대한 절단 계획을 세우는 고전적인 자재 절단 문제이지만, 철근 가공 업체로부터 요구된 추가적인 조건이 철근 자재(stock)의 규격이 하나로 동일하지 않고, 여러 단위 길이로 제공되는 다중 규격 자재를 대상으로 하고 있고, 또한 규격이 정해져 있지 않은 난척 자재도 포함되어 있으며, 공급되는 자재 재고량도 종류에 따라서 유한 갯수로 제한되어 있으며, 연고자 하는 가공 산출물의 종류가 많을 경우에는 20가지 이상의 조합된 결과를 요구하고 있다. 이러한 제약 조건은 Gilmore와 Gomory가 제시한 선형계획법의 해법을 그대로 적용하기에는 메모리량과 계산 시간의 측면에서 한계를 가진다.

이 논문에서는 효율적으로 다중 규격의 자재 절단 문제를 풀기 위하여 동적계획법(dynamic programming)에 근거하여 자재 절단 문제를 재구성하고, 주어진 실제 조건의 문제영역에서 얻을 수 있는 활용 가능한 휴리스틱을 적용하여 유한

범위의 조합 열에서도 근사 최적의 해를 찾을 수 있는 탐색 기법을 사용하는 자재 절단 계획 알고리즘을 사용하였다.[6]

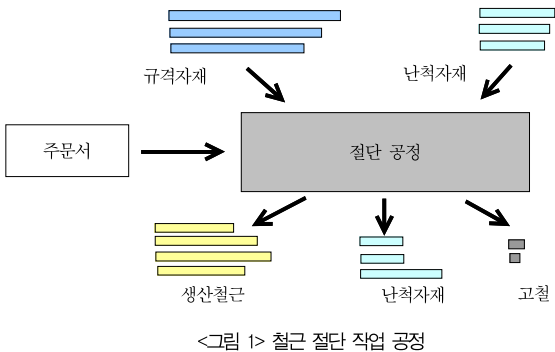
이와 더불어 철근 절단 계획을 자동으로 생성하는 소프트웨어를 GUI방식으로 구현하는데 있어서 개발비용의 절감을 위해 오픈소스 소프트웨어의 개발환경과 도구를 활용할 것을 모색하였다. 이 소프트웨어의 GUI를 설계하는데 있어서 고려되어야 할 사항으로, 철근 절단 생산 현장에서의 사용자와 환경의 제약과 기존 업무와의 연결성을 유지해야 하는 기능적인 요구사항을 만족시키면서, 사용이 편리한 GUI 인터페이스를 설계해야 한다. 이를 위해서 데스크 기반의 GUI 모델링 방법에 의해 화면 구성과 인터페이스 설계를 행하였다.[9][10] 설계된 GUI는 GTK+ 라이브러리 툴킷으로 빠른 프로토타입을 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 설계하려는 소프트웨어의 요구사항을 분석하였고, 3장에서는 시스템 설계와 개발 환경을 기술하고, 4장에서는 프로토타입의 구현 결과를 고찰하고, 5장에서는 결론과 향후의 연구 방향에 대해 기술한다.

2. 요구사항 분석

2-1 절단 계획 수립 문제의 분석

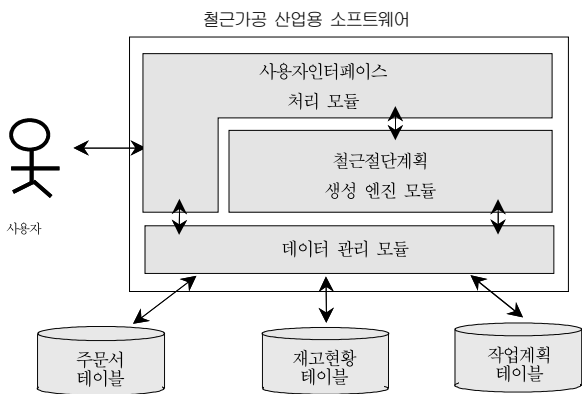
철근 절단 계획 수립의 문제는 <그림 1>에서 보는 것처럼, 주문 사항에 따라 재고 철근의 투입량을 최소로 하면서 주문 철근을 생산하기 위해, 가공 작업에서 발생하는 고철의 양을 최소화하는 절단 계획을 생성하는 것이다. 이때, 공급되는 재고 철근은 길이가 규격화된 규격 자재와 다른 절단 작업에서 발생된 난척 자재가 있다. 주문서는 철근의 길이별로 요구되는 갯수를 담고 있다. 이 과정에서 생산되는 철근은 다음 가공 단계인 절곡 과정으로 제공되고, 재활용이 가능한 난척 자재는 다른 절단 작업이나 창고에 보관하게 된다. 이와 함께, 이 절단 공정에서 재활용이 되지 않는 남은 조각이 발생되게 되는데, 이 조각은 일정 크기 이하이면 더 이상 활용되지 못하고 고철로 버려지게 된다.



<그림 1> 철근 절단 작업 공정

2-2 시스템 구조도

개발하고자 하는 소프트웨어는 철근절단 작업공정의 계획을 컴퓨터 시스템에 의해 자동으로 수립해주는 프로그램이다. 이러한 철근 절단 계획 소프트웨어의 구조도는 <그림 2>와 같다. 작업 계획 수립이 요구되는 주문서가 입력되면 이를 주문서 테이블에 저장하고, 투입 철근의 재고량은 재고현황 테이블에 저장되어 있다. 사용자가 특정 주문서에 대한 철근 절단 계획을 수립하려면, 철근 절단 계획 생성 엔진에 계획 수립 작업을 요청하여 작업 계획을 생성하고 작업 계획 테이블에 저장하도록 한다. 계획 생성 엔진은 근사 최적의 해를 산출하는 절단 계획 수립 알고리즘을 실행하는 독립적인 모듈이 되며, 주문서 테이블과 재고 현황 테이블, 작업계획 테이블의 데이터베이스 관리를 담당하는 데이터 관리 모듈은 사용자 인터페이스 모듈과 연결되어 동작함으로써 사용자가 주문서와 재고현황을 검토하거나 수정과 편집을 할 수 있도록 한다. 계획 생성 엔진 모듈과 연결 동작하여 계획 수립에 필요한 데이터를 공급하고, 최적의 작업계획을 생성하도록 한다.



<그림 2> 구조도

3. 시스템 설계

3-1 절단 계획 알고리즘의 문제 모형

자재 절단 문제를 선형계획법으로 풀기 위한 문제 모형의 수학적 표현은 간단하지만, 최적의 해를 구하는 과정은 알고리즘의 특성상 NP-hard 문제로 알려져 그 풀이 과정은 매우 복잡하고 느리다.[7] 더욱이 변수의 개수가 커지는 경우에는 해를 구하는 시간을 예측하기 어렵다. 이에 대한 대안으로 동적계획법을 사용하여 자재 절단 문제를 재구성하고, 보다 효율적인 계획 수립 알고리즘을 사용하고자 한다. 동적계획법을 자재 절단 문제에 응용한 사례로 Raffensperger[8]는 선형계획법과 동적계획법을 혼합하여, 최적화 문제의 주(master) 알고리즘은 선형계획법의 일종인 정수계획법으로 하고 부분제(subproblem)를 동적계획법으로 해결하는 부분적인 활용 방법을 소개한 바 있다. 여기서는 해를 구하는 주(master) 알고리즘을 동적계획법으로 행하여 근사 최적의 해를 구하는 방안을 제시하고자 하는 것이므로, 전체 문제에 대한 동적 계획법을 위한 모델링이 필요하다.[6]

자재 절단 문제를 동적계획법으로 풀어내는 것은, 기본적으로 다음과 같은 가정 하에서 이루어진다. 즉, 현재 상태에서 앞으로 취해질 최적 탐색 전략은 이전에 취해져서 얻어진 탐색결과와 무관하다고 가정한다. 그렇게 되면, 현재 단계에서 취해야 할 최적 탐색 전략을 현재 단계의 상태 정보에 의존하여 최선의 선택을 수행함으로써 전체적으로 최적의 탐색을 행할 수 있다. 자재 절단 문제는 이러한 가정이 성립되는 문제는 아니다. 하지만, 최적의 해를 찾기 보다는 근사최적의 해를 위한 효율적인 접근법의 하나로 동적 계획법을 사용하려고 하는 것이므로, 이 가정을 최대한으로 만족시킬 수 있는 조건으로 각 단계에서 진행되는 휴리스틱을 활용한 탐색 전략을 취하도록 한다.

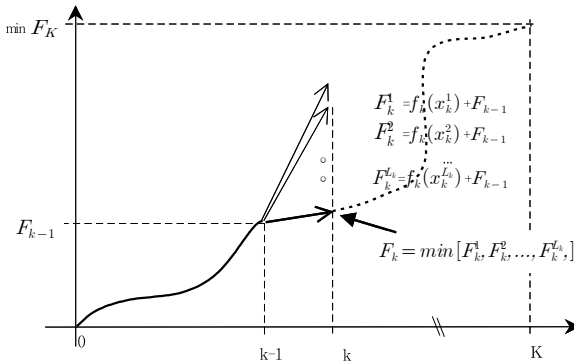
동적 계획법을 위한 회귀식은 F_k 와 F_{k-1} 로 표현하며, F_k 는 매 k 단계별로 작업이 진행될 때 생겨나는 남은 조각(waste)의 합으로 정의하고, 이것을 최소화시키는 것을 최적화 과정의 목적으로 정의한다. 초기 상태 s_0 에서는 초기값 0을 할당한다. 각 단계를 나타내는 단계변수는 k 가 되며, 각 단계의 의미는 하나의 자재 단위로 절단할 수 있는 절단 패턴 x_k 을 적용하여 절단 작업을 할 수 있는 작업의 단위로 정의한다. 각 단계의 상태를 나타내는 상태변수는 s_k , 각 단계에서 결정해야 될 결정변수는 x_k 와 w_k 가 된다.

도구가 무료로 제공되는 점도 GTK+가 널리 사용되는 이유이다.[13]

4. 구현결과

4.1 절단 계획 알고리즘

앞서 언급한 동적계획법에 필요한 가정이 성립하면 동적계획법은 <그림 4>와 같은 해 공간에서 최적의 해를 찾아가는 것을 보장한다. 철근 절단 문제에서는 이러한 가정이 성립되지 않지만, 이를 무시하여도 최적의 해와 크게 멀어지지 않도록 탐색 영역을 제한하는 휴리스틱을 활용하여 k 번째 단계마다 최선의 후보를 선택하여 전체적으로는 최적 해에 가까운 근사 해를 찾는다.[6]



<그림 4> 동적계획법의 해공간

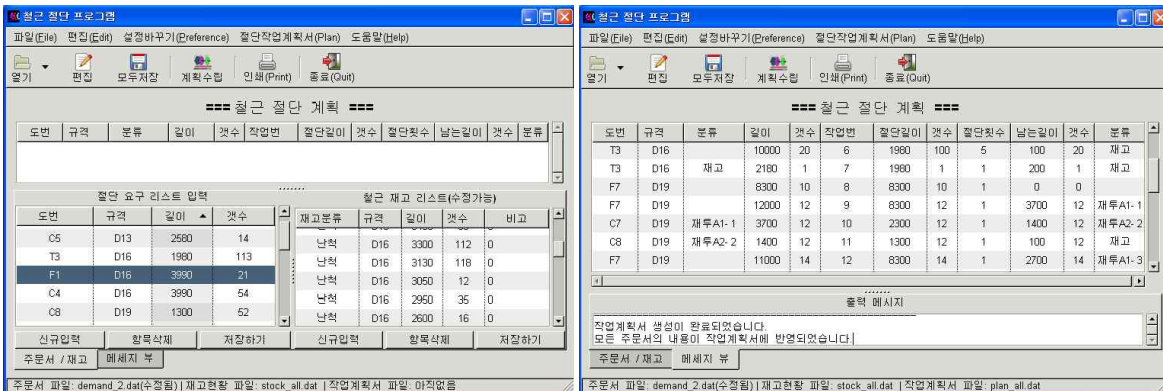
4.2 프로토타입 구현

프로토타입 구현은 LINUX 플랫폼의 GNOME 데스크탑 환경에서 C 언어로 개발되었으며, GNU C 컴파일러를 이용하였다. 또한 Windows XP급 이상의 플랫폼에서도 MinGW GNU C 컴파일러와 MSYS 셸 에뮬레이터를 이용하여 다시 컴파일하여 이식 가능함을 확인하였다.

화면 레이아웃 설계에 맞춰서 메인 윈도우와 두개의 보조 대화창의 실제 구현 화면은 <그림 5>와 같다.[9][10] 초기 화면은 메인 윈도우 하나만 비어있는 상태로 화면에 표시된다.

5. 결론

이 논문은 철근 가공 산업 현장에서 스프레드시트에 의해 수작업으로 행하던 절단 작업의 계획 수립을 자동화된 시스템에 의해 최적의 절단 계획을 생성하도록 하는 소프트웨어의 개발을 다루었다. 철근 가공 산업용 소프트웨어는 생산 자동화 소프트웨어의 일종으로, 수작업으로 진행되던 철근 절단 계획 수립의 업무를 전산화하여 최적화된 작업계획을 생성하는 자동 절단계획 수립을 핵심 기능으로 수행하고, 주문 및 재고 현황, 등 제반 자료에 대한 정보 관리 서비스 시스템과 연계도 이루어져야 하는 요구사항을 갖는다. 이를 위하여, 먼저 다중 규격의 1차원 자재 절단 문제에 동적계획법을 적용하고, 유한 범위의 조합 열에서도 근사 최적의 해를 찾을 수 있는 탐색 기법을 사용한 자재 절단 계획 알고리즘을 사용하였다. 그리고, 자동화된 철근 가공 산업용 소프트웨어는 작업 환경에 맞게 사용이 편리한 그래픽 화면과 사용자 인터페이스가 요구되는데, 공개 소프트웨어를 활용한 GUI 라이브러리



<그림 5> 메인 윈도우의 화면 레이아웃

툴킷인 GTK+를 활용하여 이를 구현하였다.

개발된 소프트웨어는 철근 가공 산업의 현장 지식과 첨단 정보기술이 융합되어 얻어지는 결과물으로써 철강 산업 분야에서 전통적인 방식으로 운영되고 있는 많은 소규모 철근 가공 공장에서 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Gilmore, P.C. and R. E. Gomory, "A Linear Programming Approach to the Cutting-Stock Problem," *Operations Research*, vol.9, pp.849-859, 1961.
- [2] 김상열, 박순달, 자재절단문제에서 패턴의 순서화 방법에 대한 연구, 한국경영과학회 '95 추계 학술대회 논문집, 406-419, 1995.9.
- [3] Haessler, R. W., "Selection and Design of Heuristic Procedure for Solving Roll Trim Problem," *Management Science*, vol.34, no.12, pp.1460-1471, 1998.
- [4] Wang P. Y., "Two Algorithms for Constrained Two-Dimensional Cutting Stock Problems," *Operations Research*, vol.31, no.3, pp.573-586, 1983.
- [5] 김상열, 박순달, 효율적인 2차원 길로틴 평면 절단 방법, 산업공학 논문지, 제8권 제2호, pp.151-159, 1995.7.
- [6] 김성훈, 최창훈, 철근절단계획 알고리즘의 설계, 디자인 연구 논문집, 제5호, 상주대학교 산업디자인연구소, pp.83-96, 2007. 5.
- [7] Hu, T.C., *Combinatorial Algorithms*, Addison Wesley Longman Press, 1981.
- [8] Raffensperger, John F. "The marriage of dynamic programming and integer programming," *Procs. ORSNZ 34th Annual Conference*, Waikato, pp.49-58, 1999.
- [9] 김상길, 김성훈, 박충식, 김재희, 구조적 기술에 의한 전문가 시스템의 사용자 인터페이스 개발 방법, 전자공학회지 제32권 B편, 제1호, pp.161-170, 대한전자공학회, 1995년 1월.
- [10] 김성훈, 철근절단계획 소프트웨어의 그래픽 사용자 인터페이스 설계, 디자인연구 논문집, 제6호, 경북대학교 상주캠퍼스산업디자인연구소, 2008.
- [11] Andrew Krause, *Foundations of GTK+ Development*, Apress Pub., 2007.
- [12] GTK+ Team, *GTK+ Project homepage*, <http://www.gtk.org>, 2008.
- [13] Glade, *Glade Project homepage*, <http://glade.gnome.org>, 2008.