

인타샤(Intarsia) 스웨터 직조를 위한 실 연결 방법의 유전자 알고리즘 해법 연구*

허상무¹ · 김우제^{2†}

¹서울과학기술대학교 IT정책전문대학원, ²서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

A Study on the Genetic Algorithm of Thread's Connection Method for Intarsia Sweater Weaving

Sang Moo Huh¹ · Woo Je Kim^{2†}

¹Seoul National University of Science and Technology, Graduate School of Public Policy
and Information Technology

²Seoul National University of Science and Technology, Department of Industrial and
Systems Engineering

■ Abstract ■

The purpose of this paper is to find an optimal weaving connection method of sweater threads while weaving intarsia sweater by the genetic algorithm. The objective function was devised to minimize labor cost and lessen the amount of thread usage. In order to create the parental population group in the genetic algorithm, we developed five thread connection methods. Besides, elite chromosome screening methods for the offspring group was selected both to the whole chromosome thread elite and to a color-coded elite thread chromosome. Commonly used diamond pattern in Intarsia sweater manufacturing was applied to the experiments. The experimental results showed that thread system saved the labor and material costs than woven method under the existing software. When weaving Intarsia sweater in the field, we can apply the developed genetic algorithm to improve productivity of weaving connection method.

Keywords : Genetic Algorithm, Intarsia, Sweater, Yarn Weaving, Color Elite, Heuristic Yarn's Link, Distance Factor, Yarn Cross-Link Factor

논문접수일 : 2014년 11월 06일 논문게재확정일 : 2014년 12월 19일

논문수정일 : 2014년 12월 18일

* 이 논문은 2014년 서울과학기술대학원 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

† 교신저자, wjkim@seoultech.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구 배경과 목적

섬유 분야에서 스웨터를 직조하는 장비에는 기본 판에 무늬를 심는 장비와 실을 서로 꼬아서 직조하는 인타샤(Intarsia) 장비가 있다. 기본 판에 무늬를 심으면 옷이 두꺼워져서 착용감이 좋지 않고 세탁하면 옷이 변형될 수 있다. 인타샤는 실을 꼬아서 무늬를 구현하므로 옷이 평평하고 세탁을 해도 변형이 적고 신축성이 좋은 특성을 가지고 있다. 이런 장점으로 인하여 인타샤 스웨터는 사람들이 많이 선호하는 스웨터로 알려져 있다. 수동으로 직조할 때는, 실 연결을 육안으로 판단하여 직조하므로 전문적으로 직조하는 사람이 아니면 할 수 없고 생산성도 높지 않았다. 근래에는 컴퓨터로 디자인하고 자동 인타샤로 직조하고 있다. 프로그램으로 직조된 스웨터가 사람이 직조한 스웨터보다 인건비나 실 재료비가 적으면 좋을 것이다. 하지만 다양한 스웨터 무늬가 존재하고, 실의 연결 경로가 다수 존재하고, 실 연결시 물리적인 제약조건으로 인해 인건비와 재료비가 최소화된 스웨터를 생산하는 데는 한계가 있었다. 이에, 본 연구에서는 물리적인 실 연결 제약조건을 고려하여 스웨터를 직조하며, 스웨터 직조 인건비를 최소화할 수 있도록 스웨터 뒤판의 실 매듭 공수를 최소화시키고 더 이상 실 매듭 공수가 최소화되지 않으면 실 사용량 재료비를 최소화하는 휴리스틱한 실 연결 방법을 찾고자 한다.

1.2 연구 문제와 연구방법

본 연구와 관련된 인타샤 장비에 대해 살펴보면, <그림 1>(1)은 스웨터를 직조하기 위해 여러 색상 실을 연결시킨 인타샤 장비를 예시하고 있다. <그림 1>(2)는 직조된 스웨터의 뒤판으로서 실이 연결된 모습이다. 그림에서 보듯이 실이 부유하고 있는데, 이 실을 사람이 끊어서 매듭지어야 한다. 본 논문의 연구문제는 스웨터를 직조할 때, <그림 1>(1)

과 같이 스웨터에 사용되는 실 사용량을 최소화하고, <그림 1>(2)의 스웨터 뒤판에 부유하는 실에 대해 수작업 매듭 공수를 최소화할 수 있는 휴리스틱한 실 연결 방법을 찾는 것이다.



(1) 스웨터 직조를 위해 자동 인타샤에 실을 연결한 모습

(2) 수작업으로 매듭이 필요한 부유되는 실들의 모습

<그림 1> 장비에 연결한 실과 매듭이 필요한 실

연구방법으로는 유전자 알고리즘의 적합도 목적 함수를 이용하여 휴리스틱한 실 연결 방법을 찾자 한다. 또한 유전자 알고리즘의 효과를 검증하기 위해 다이아몬드 무늬 스웨터를 대상으로 최적의 스웨터에 수렴한 결과와 기존 방식으로 직조된 스웨터의 결과를 비교하여 인건비와 재료비가 얼마나 개선되었는지를 점검하도록 한다.

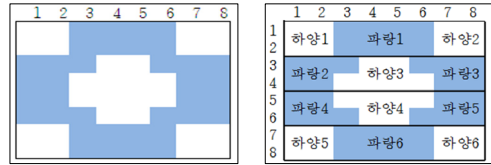
2. 인타샤 스웨터 직조 모델

2.1 인타샤 스웨터 직조 원리

인타샤 직조 원리를 살펴보면 우선 <그림 2>(1)과 같이 실을 연결해야 한다. 스웨터 무늬에 대한 첫째 행 직조가 시작되면 <그림 2>(1)의 좌측에 있는 헤드가 실판에서 실 1번을 꺼내어 바늘코에 건 후 바늘코 두 개만큼 우측으로 이동시킨다. 그 후 실 1번과 실 2번이 꼬이도록 실 1번을 실판에 넣고 실 2번을 실판에서 꺼내어 바늘코에 건다. 그 후 실 2번을 바늘코 세 개만큼 우측으로 이동시킨 후 실 3번과 꼬이도록 조작한다. 이와 같은 방식으로 우측 끝까지 이동되면 캐리지(구라, carrigage)라는 기기가 우측으로 지나가며 실제로 y축 한 코를 직조한다. 둘째 행을 직조할 때는 <그림 2>(3)과 같이

우측에 있는 헤드가 좌측으로 이동하며 실 6번, 4번, 3번, 2번, 1번을 풀면서 무늬를 구현한다. 헤드가 좌측 끝까지 이동되면 캐리지가 좌측으로 지나가며 두 번째 y축 한코를 직조한다. 첫째 행은 좌측에서 우측으로 직조하고 둘째 행은 우측에서 좌측으로 직조한다. 본 연구에서, 첫째 행 직조를 홀수 y축 직조라 하고 둘째 행 직조를 짝수 y축 직조라 부르기로 한다. 이렇게 홀수와 짝수 y축을 반복하면 스웨터가 직조된다.

와 같이 판별할 수 있다.



(1) 예제 무늬

(2) 색상별로 직조영역을 분리해 번호를 부여

<그림 3> 스웨터 예제무늬와 직조영역 판별 모습

2.3 직조 영역 x축 직조순서

<그림 3>(2)와 같이 스웨터 무늬에 대해 분리한 직조영역의 x축 직조순서를 살펴보면 <표 1>과 같이 홀수 y축은 좌측에서 우측으로 짝수 y축을 우측에서 좌측으로 직조된다. 이 직조 순서는 반드시 지켜야 되는 순서이다.

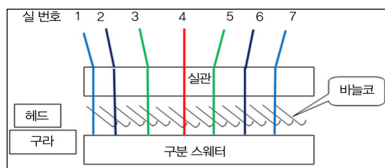
<표 1> 분리된 직조 영역 x축 직조순서

y 축	홀수(좌측 → 우측)	y 축	짝수(좌측 ← 우측)
	분리영역 직조순서		분리영역 직조순서
1	하양1 → 파랑1 → 하양2	2	하양1 ← 파랑1 ← 하양2
3	파랑2 → 하양3 → 파랑3	4	파랑2 ← 하양3 ← 파랑3
5	파랑4 → 하양4 → 파랑5	6	파랑4 ← 하양4 ← 파랑5
7	하양5 → 파랑6 → 하양6	8	하양5 ← 파랑6 ← 하양6

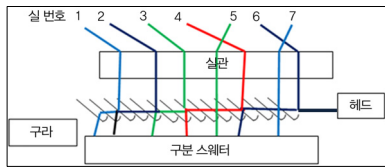
2.4 분리직조영역 실 y축 연결 방법

분리된 직조 영역에 대하여 x축 직조 순서를 살펴봐왔으므로 본 연구의 탐색 대상인 실을 y축으로 연결하는 방법을 살펴보도록 한다. <그림 3>(2)와 같이 분리된 직조 영역 중 동일 색상끼리 y축으로 연결할 수 있는 논리적인 연결 경로는 <그림 4>와 같다. 하지만 스웨터를 제작할 때는 장비의 물리적인 한계로 인하여 모든 논리적인 경로가 연결될 수 있는 것은 아니다.

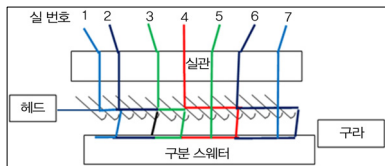
본 연구에서 탐색하고자 하는 것은, 위의 경로 중 인건비와 재료비가 최소화되는 경로를 탐색하는 것이다. 실이 연결되는 경로에 따른 실 매듭 공수와



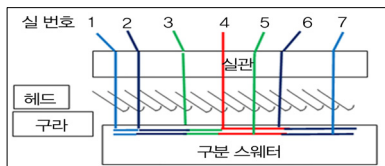
(1) 직조하기 위해 실을 준비시킨 모습



(2) 홀수 y축 한코 직조실을 우측으로 꺾면서 이동시킨 모습



(3) 짝수 y축 한코 직조실을 좌측으로 풀면서 이동시킨 모습



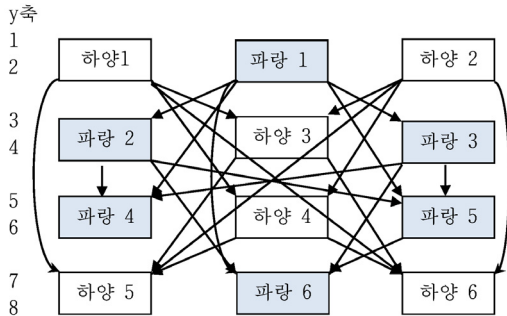
(4) 실을 원래대로 환원시킨 모습

<그림 2> 인타샤 스웨터 직조 방법

2.2 스웨터 무늬 직조 영역 판별

<그림 3>(1)과 같은 스웨터 무늬를 직조하기 위해 이를 직조 영역으로 식별하여 보면 <그림 3>(2)

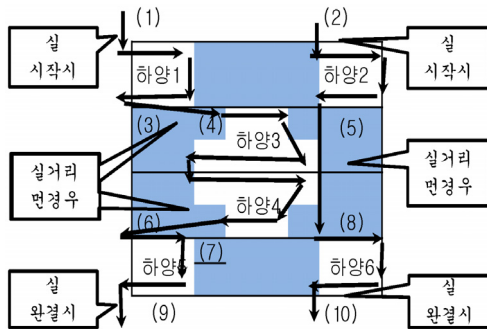
실의 사용량을 산정하는 방법은 다음과 같다,



<그림 4> <그림 3>(2)의 y축 논리적 연결 경로 수

2.5 실 매듭 공수 계산

스웨터가 직조되면 <그림 1>(2)와 같이 스웨터 뒤판에 실이 연결된 것을 확인할 수 있다. 그림에서 보듯이 부유하는 스웨터의 실이 풀리지 않도록 사람이 이 실을 끊어서 매듭지어야 하므로 수작업 공수를 최소화시키는 것이 가장 중요하다.



<그림 5> 수작업이 필요한 하양 실 번호

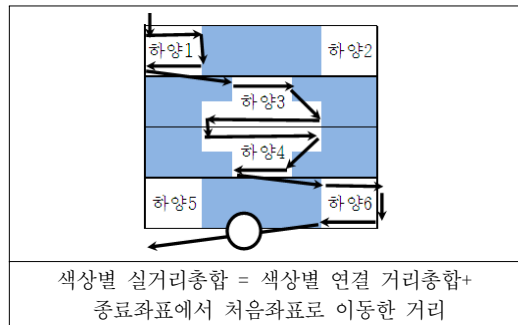
<표 2> 하양 실의 수작업 매듭 공수 계산

실 매듭 대상	해당 번호	공수
처음 시작 실	①번, ②번	각 1건
마지막 완료 실	⑨번, ⑩번	각 1건
실의 y축 연결 거리가 긴 경우	⑤번, ⑧번	각 1건

실을 수작업으로 매듭짓는 경우는 3가지로, 첫 번째는 처음 시작하는 실을 매듭지어야 하고, 두 번째는 마지막 완료되는 실을 매듭지어야 하며, 세 번째는 실의 연결이 긴 경우에는 실을 끊어서 양쪽 끝을 매듭지어야 한다. <그림 5>과 같이 실이 연결되었을 경우에 <표 2>와 같이 하양 실에 대한 매듭 공수를 계산할 수 있다.

2.6 실 사용량 산정위한 실 거리 적산

실 재료비를 최소화하려면 실 사용량을 최소화시켜야 한다. 실 사용량은 스웨터 직조 거리로 산정할 수 있으므로 직조 거리를 전부 적산하고, 다음 스웨터 직조를 위해 실을 원래 위치로 환원시켜야 하고, 환원시키는 거리도 포함시켜야 한다.



<그림 6> 처음위치로 환원되는 실과 색상별 실거리 총합 수식

2.7 목적함수 및 제약조건

2.7.1 목적함수

실 연결 경로에 따라 실 매듭 공수와 실 사용량이 달라지므로 최적의 스웨터를 직조하기 위한 실 연결 방법을 찾기 위한 목적함수로 <표 3>과 같이 (1)

<표 3> 실 연결 평가 목적함수 및 평가순서

최적 실 연결 평가 목적함수	평가순서
(1) 실 매듭 공수 적산 최소화	첫 번째
(2) 실 연결 거리 적산 최소화	두 번째

인건비인 실 매듭 공수를 최소화시켜야 하고 (2) 실 재료비인 실 연결 거리를 최소화해야 한다. 목적함수의 평가순서는 <표 3>의 평가순서와 같이 사전식 우선순위(lexicographical priority)로 평가해야 한다. 첫 번째는 실 매듭 공수 함수를 최소화해야 하고, 이 함수가 더 이상 최소화되지 않으면 두 번째 실 연결거리 함수를 최소화해야 한다.

2.7.2 제약조건

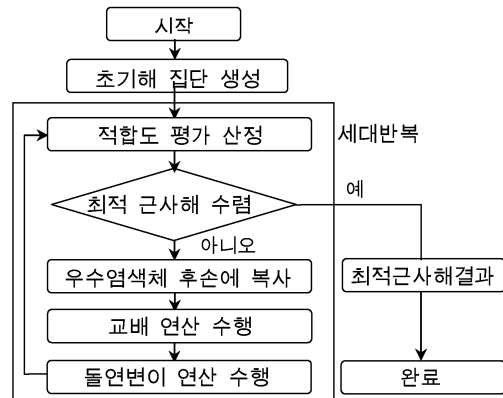
인타샤 장비는 물리적인 한계로 인하여 두 가지 제약이 존재한다. 첫 번째는 인타샤 장비에 장착된 실판이 이동할 수 있는 거리 제약이다. 실판이 좌측이나 우측으로 과도하게 이동되면 실이 끊어질 위험이 있다. <그림 4>의 하양 1에서 하양 6으로 연결되면 실이 끊어질 위험이 있으므로 연결되지 않도록 제약한다. 두 번째로 스웨터 품질에 관련된 제약조건으로 실이 너무 가깝게 연결될 경우 사람이 정리할 수 없는 경우가 발생한다. 이럴 경우 그냥 납품하는 데 스웨터가 와이셔츠 단추에 걸리는 등 품질에 문제가 발생할 수 있으므로 유클리디안 거리가 약 5cm에서 8cm 정도로 가깝게 연결되고 할 때 연결되지 않도록 제약한다.

인타샤의 직조원리를 살펴본 결과 <그림 4>의 다수의 y축 연결 경로 중 최적의 경로를 찾는 문제가 TSP(Traveling Salesman Problem) 모델과 유사성이 있으므로 <표 3>의 목적함수를 이용하여 TSP 모델로 모형화할 수 있을 것으로 판단하였다.

3. 이론적 배경 및 선행연구

3.1 유전자 알고리즘 개념

유전자 알고리즘은 환경에 적응한 개체가 더 많은 후손을 남기는 자연 선택과 진화를 모방하여 컴퓨터로 모의 실행하는 최적 근사해 알고리즘이다. 유전자 알고리즘 흐름[9]은 <그림 7>와 같이 초기해 집단을 생성한 이후 엘리트 염색체를 자식에게 유전시켜 최적 근사해를 탐색하는 알고리즘이다.



<그림 7> 유전자 알고리즘 흐름도

3.2 선행연구 검토

본 연구는 스웨터 직조시 실 연결 경로에 대하여 휴리스틱한 연결 방식을 찾는 문제로서 최적의 경로를 찾는 TSP 모델과 유사성이 있다. 선행 TSP 연구로 Goldberg and Lingle[10]은 유전자 알고리즘을 이용하여 TSP 문제를 최초로 접목시킨 연구자이다. 이경미, 이진명[5]의 연구에서는 다른 도시보다 특정 도시를 먼저 방문해야 하는 방문순서에 제약이 있는 연구로서, 도시를 방문할 때 어떤 도시 i를 다른 도시 j보다 먼저 방문해야 하는 TSP이다. 장인성, 박승현[6]은 대중교통망에 환승을 적용하여 최단 경로를 탐색하는 연구를 제시하였다. 전건욱, 김기태[7]는 원활, 지체 및 정체등 교통상황과 확률적인 수요를 고려한 현실적인 차량경로문제를 제안하였다. 문치웅, 김재균[2]은 공정순서, 생산량, 셀크기, 자재취급 능력을 고려하여 셀간의 자재이동을 최소화하는 설계 모델을 제시하였다. 양미나, 이진호[4]은 매트릭스 조직에 여러 프로젝트를 동시에 수행할 때 개발 자원을 스케줄링하여 각 프로젝트 수행기간을 최소화하는 모델을 제시하였다. 김광백, 송두현[1]은 출발지 노드부터 도착지 노드까지 모든 노드들을 탐색하면서 최적의 경로를 탐색하는 방법을 제안하였다. 정성훈[8]은 유전자 알고리즘의 조속수렴 현상을 완화하여 성능을 향상하기 위한 선택적 돌연변이 방법을 제안하였다. Sallab

[11]는 새로운 교배방법과 모집단 생성방법과 다중 돌연변이 기법을 적용하여 속도를 개선하였다. 이와 같이 TSP 모델은 전체 도시를 최단거리로 이동할 수 있는 경로를 찾는 것이 주된 목표로 볼 수 있다.

인타샤 스웨터 직조 최적화는 최단거리 최적화 이외에도 스웨터의 뒤판에 대한 수작업 매듭 최소화라는 추가적인 목적함수가 존재하여 기존 TSP 연구와는 차별성을 가지고 있다. 안타샤 스웨터 직조 최적화를 위하여 유전자 알고리즘을 적용한 연구는 아직 미진하여, 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

4. 유전자 알고리즘 설계

4.1 유전자 알고리즘 적용 필요성

본 연구에서 유전자 알고리즘을 적용해야 하는 이유는 크게 두 가지로 정리할 수 있다. 첫 번째, 실 매듭 최소화는 수리식으로 모델링하기 어렵고 선형 계획법과 같은 수리모델로 풀 수 없다. 두 번째, 실이 연결될 수 있는 모든 경우를 시도하여 최적해를 찾을 수는 있지만 속도가 너무 느리기 때문에 고속으로 최적 근사해를 찾기 위해 유전자 알고리즘을 적용하였다.

4.2 실 연결에 대한 염색체 해 표현

실이 연결되는 것에 대한 염색체 해 표현을 살펴해보도록 한다. <그림 3>(2)와 같이 분리된 직조 영역에 대해 실 연결 방법을 설명하면 분리된 하양 직조 영역은 하양 1부터 하양 6까지 총 6개이므로

<그림 3>(2)영역을 직조하기 위한 유전자(Gene)

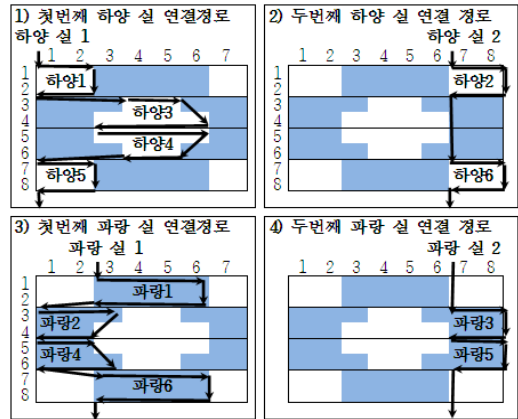
G1	G2	G3	G4	G5	G6
2	1	3	2	2	1

번호 영역을 직조하는 담당 실번호
G1, G2~G6 : <그림 3>(2) 색상별 영역번호

<그림 8> 유전자 염색체 색상별 해 표현방법

염색체 유전자(Gene)은 <그림 8>과 같이 G1부터 G6까지 총 6개가 필요하고 유전자 값에는 직조영역을 직조하는 실 번호를 기입한다.

<그림 9>의 실을 기준으로 염색체 표현을 살펴보면 직조 영역은 하양과 파랑 두 개가 존재한다.



<그림 9> 하양 및 파랑 실 연결 모습

하양 영역은 두 개의 실이 사용되었고 첫 번째 하양 실은 하양 1→하양 3→하양 4→하양 5를 직조하였고 두 번째 하양 실은 하양 2→하양 6을 직조하였다. 이렇게 직조된 실 연결 경로를 염색체로 표현하면 <표 4>와 같이 하양 염색체에 하양 실 번호를 기입하면 하양 실에 대한 염색체 해 표현이 완료된다. 파랑 직조 영역도 두 개의 실이 사용되었다. 첫 번째 파랑 실은 파랑 1→파랑 2→파랑 4→파랑 6을 직조하였고 두 번째 파랑 실은 파랑 3→파랑 5을 직조하였다. 실 연결 경로의 염색체 표현은 <표 4>와 같이 파랑 염색체에 파랑 실 번호를 기입하면 파랑 실에 대한 염색체 해 표현이 완료된다. <표 4>의 염색체 해 표현은 예제

<표 4> 하양 및 파랑 실 염색체 해 표현

하양 염색체 번호	G1	G2	G3	G4	G5	G6
하양 실 번호	1	2	1	1	1	2
파랑 염색체 번호	G1	G2	G3	G4	G5	G6
파랑 실 번호	1	1	2	1	2	1

무늬의 실 연결 경로에 대한 완전한 염색체 표현이라고 볼 수 있다.

4.3 휴리스틱한 y축 실 연결 고안

y축 실 연결 방법을 찾기 위하여, 처음에는 실을 y축으로 연결할 때 무작위로 연결하는 방법을 적용하였다. 무작위법의 특성은 y축 아래로 연결할 때 거리에 상관없이 무작위로 연결되고, 실끼리 서로 교차시켜도 되는 연결 방식이다. 그래서 무작위법의 두 가지 특성을 조작하여 몇 가지 연결 방법을 추가적으로 고안하였다. 첫 번째는 실이 y축으로 연결될 때 거리가 가까운 직조영역을 우선적으로 연결시키는 방법이고, 두 번째는 다른 실의 연결 경로를 파악하여 실끼리 서로 교차되지 않도록 연결하는 방법이다. 또한 이 두 가지 방법을 조합하면 무작위법을 포함하여 총 4가지 연결방법이 도출된다. 3가지 방법을 추가했지만 추가된 연결방법이 최적해에 수렴하는 지 알 수 없으므로 총 4가지 연결방식을 혼합한 방식을 추가하여 <표 5>와 같이 총 5가지 연결방법을 고안하였다.

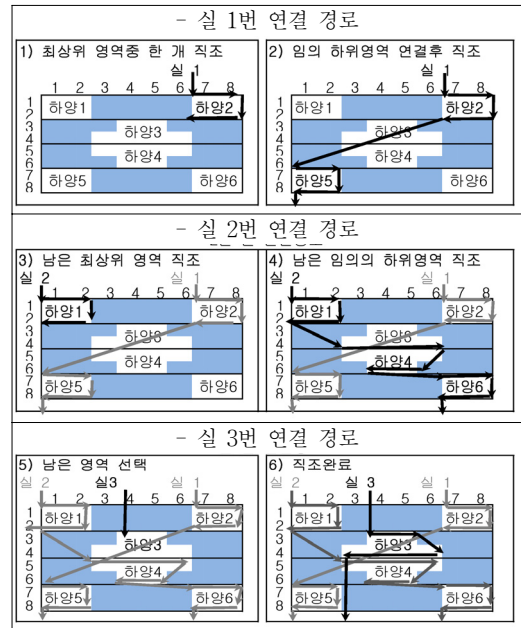
<표 5> 실 y축 연결시 거리요인과 실 교차요인을 조합하여 고안한 방법

방식	연결시 거리요인	실 교차요인
무작위법	무작위 거리로 연결	교차 허용
1번	무작위 거리로 연결	교차 불허용
2번	근접거리 우선 연결	교차 허용
3번	근접거리 우선 연결	교차 불허용
혼합	무작위법부터 3번까지 방법을 혼합	

4.3.1 실 y축 무작위 연결 및 염색체 해 생성
 실 연결과 염색체 해 생성을 하양 무늬로 설명하면, <그림 10>의 (1)에서 실 1번을 가져와 최상위 하양 무늬인 하양 1, 2중 하나를 임의로 선택한다. 하양 2가 선택됐으므로 <표 6>의 염색체 G2(하양 2)에 실 1번을 기입한다. 하양 2와 연결 가능한 하위하양 3, 4, 5, 6중 하나를 무작위로 선택한다. <그림 10>의 (2)와 같이 하양 5가 선택되면 <표

6>의 염색체 G5(하양 5)에 실 1번을 기입한다. 하양 5와 연결할 수 있는 하위 하양 무늬가 없으므로 실 1번 연결을 완료한다.

실 2번은 <그림 10>의 (3)과 같이 남은 최상위 하양 1을 선택하고 <표 6>의 염색체 G1에 실 2번을 기입한다. 하양 1과 연결 가능한 남은 하위 하양 3, 4, 6 중 <그림 10>의 (4)와 같이 하양 4가 선택되면 <표 6>의 염색체 G4에 실 2번을 기입한다. 하양 4와 연결 가능한 하위하양은 하양 6이 있으므로 <표 6>의 염색체 G6에 실 2번을 기입하여 연결을 표시하고 실 2번 직조를 완료한다. 실 3번으로 남아 있는 하양 3을 직조하고 염색체에 기입하고 하양 무늬 직조를 완료한다



<그림 10> 실 연결 경로

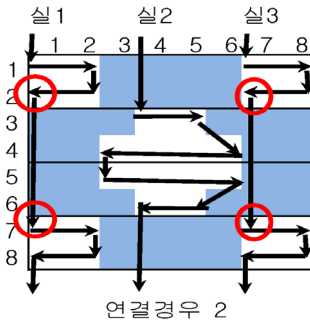
<표 6> 무작위법 하양 무늬 실 염색체 표현

하양 염색체 번호	G1	G2	G3	G4	G5	G6
하양 실 번호	2	1	3	2	1	2

4.3.2 실 y축 무작위 연결 및 교차 불허용

이 방식은 y축으로 실이 서로 교차되지 않도록

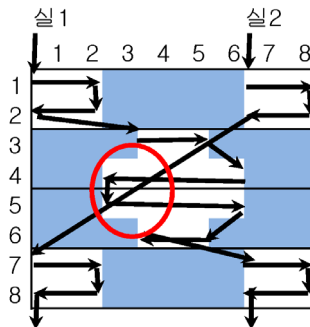
하는 방식으로 <그림 10>의 (4)와 같이 실이 교차 되는 연결은 나올 수 없고 <그림 11>과 같이 실이 교차하지 않도록 연결하는 방식이다



<그림 11> 거리무관, 실 교차 불허용 방식

4.3.3 실 y축 거리근접 및 교차 허용 연결

이 방식은 y축 연결시 무작위로 연결하지 않고 근접한 하위 무늬를 먼저 연결시키는 방식으로 실 끼리 교차를 허용한다. <그림 12>와 같이 실 1번은 하위 하양 중 근접한 하위 하양을 우선적으로 연결시켰다. 실 2번은 실 1번과 교차하도록 연결시켰다.

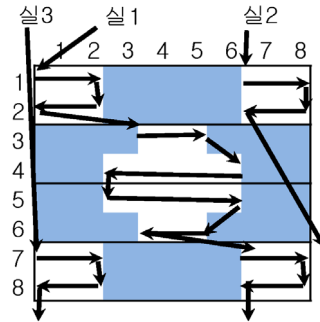


<그림 12> 거리근접, 실 교차 허용 방식

4.3.4 실 y축 거리근접 및 교차 불허용 연결

이 방식은 y축으로 근접한 하위 무늬를 먼저 연결시키고 실 교차를 불허용하는 방식으로서 <그림 13>과 같이 실 1이 먼저 연결되면 실 2는 실 1번과 교차될 수 없으므로 실 2를 직조한 후 실 3이

추가로 필요한 방식이다.



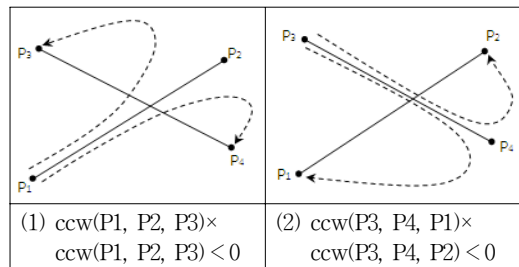
<그림 13> 거리근접, 실 교차 불허용 방식

4.3.5 무작위범부터 3번 방식까지 혼합한 방식

이와 같이 설계한 휴리스틱한 4가지 연결방식이 최적해에 수렴한다는 보장이 없으므로 각 방식을 혼합한 방식을 고안하였다. 각 방식들은 최적 근사해에 수렴하는 속도가 다를 것이므로 4가지 방식을 25%씩 균등하게 혼합하는 것은 부적합한 비율이라 판단하였고, 각 방식별로 최적해에 수렴하는 속도를 이용하여 혼합 비율을 정하는 것이 타당한 방법이라고 판단하였다. 혼합 비율은 예비 실험을 통하여 설정하였다.

4.4 실간 교차 여부 판단

실이 연결될 때 서로 교차하는 지를 점검하는 방법은 이재규[5] 선분교차 방법을 이용하였다. <그림 14>와 같이 (1)과 (2)가 만족되면 선분이 교차하는 것으로 판단한다.



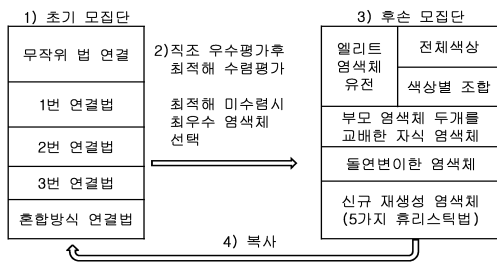
<그림 14> 선분 교차 판단

5. 유전자 알고리즘 적용

본 연구의 문제를 해결하기 위한 유전자 알고리즘을 정리하면 <그림 15>와 같다. 초기 염색체 모집단을 생성한 후 목적함수를 이용해 정렬시킨다. 후손 모집단은 4가지 방법으로 생성한다. 이와 같은 과정을 최적 근사해에 수렴할 때까지 반복한다.

5.1 초기해 모집단 및 후손 모집단 생성

<그림 15>에서 1) 초기 모집단은 <표 5>의 휴리스틱한 다섯가지 실 y축 연결 방법을 이용하여 모집단을 생성한다. 2) 생성된 모집단은 <표 3>의 목적함수를 이용하여 가장 우수한 염색체부터 가장 우수하지 않은 염색체 순으로 정렬시키고 최적 근사해에 수렴했는 지를 점검한다. 최적 근사해에 수렴하지 않았으면 정렬된 모집단을 이용하여 후손 모집단을 생성한다. 3) 후손 모집단을 생성하는 방법은 첫 번째는 부모 모집단에서 전체 엘리트와 색상별 엘리트 염색체를 유전시키고 두 번째는 부모 염색체를 교배하여 유전시키고 세 번째는 부모 염색체를 돌연변이화 하여 유전시키고 마지막으로 염색체를 재생성하여 후손 모집단을 생성한다.



<그림 15> 초기 모집단 및 자식세대 생성과정

5.2 모집단 재편성위한 엘리트 보존전략

세대 반복을 통해 우수한 염색체를 발굴하기 위해서는 부모 모집단 보존 전략이 중요하다. 엘리트 보존 전략은 생성된 염색체 적합도를 평가하여 우수한 부모 염색체를 자식에게 복제하는 전략으로

서 최적 근사 해에 신속하게 수렴시키기 위한 중요한 전략이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 두 가지 엘리트 보존 전략을 적용하였다. 첫 번째는 모든 색상에 대한 염색체를 대상으로 가장 우수한 염색체 10%를 보존시켰고 두 번째는 색상 별로 가장 우수한 1등과 2등 염색체를 추출하여 <표 7>과 같이 조합하여 5%를 보존시켰다.

<표 7> 보존할 색상별 우수 염색체 조합방식

보존 번호	녹색	보라	노랑	빨강
1번	1등	1등	1등	1등
2번	2등	1등	1등	1등
3번	1등	2등	1등	1등
4번	1등	1등	2등	1등
5번	1등	1등	1등	2등

5.3 염색체 교배(Crossover)

교배는 두 개 부모 염색체를 조합하여 자식 염색체에 유전자를 유전시키는 연산이다. 교배에는 일점 교배, 다점교배 및 일양교배[5] 등이 있다. 본 연구에서는 일점교배와 일점교배를 여러 번하는 사이클 교배를 예비 실험한 결과 사이클 교배의 수렴속도가 월등하였으므로 사이클 교배를 적용하였다.

5.3.1 부모 실 염색체 교배

교배는 두 개 부모 염색체를 교배하는 것이므로 교배시킬 기준 점을 무작위로 선택해야 한다. <그림 16>의 부모 염색체에서 유전자 3번이 교배시킬 기준점으로 무작위 선택되면 기준점인 유전자 3번은 두 자식들에게 그냥 유전시키고 3번을 기준으로

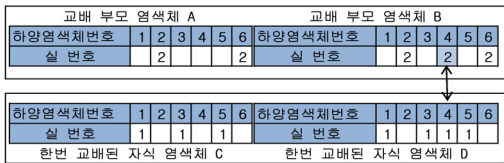


<그림 16> 3번 유전자를 중심으로 부모염색체 A, B를 자식 C, D에게 유전시키는 모습

로 부모 염색체 A, B의 좌측과 우측 염색체를 <그림 16>과 같이 자식 C, D에게 교차시키며 유전시킨다.

5.3.2 교배후 부모 자식간 겹치는 염색체 제거

부모 염색체 A, B에서 자식에게 유전시킨 염색체는 제거하고, 자식 염색체에서 부모에게 유전받은 염색체를 표시하면 <그림 17>과 같다. 그림을 살펴보면 자식 D의 4번 유전자는 이미 실 1번으로 연결되었기 때문에 다른 실로 다시 연결하면 안된다. 하지만 부모 B의 4번 유전자를 제거하지 않고 교배를 계속하면 자식 염색체 D의 4번 유전자에 다른 실이 유전될 수 있으므로 부모 B에서 4 유전자를 직조하는 실 2번을 제거한다.



<그림 17> 교배후 부모와 자식과 겹치는 염색체

5.3.3 교배 후 자식 염색체 빈 유전자 직조

부모간의 교배는 완료했지만 자식 염색체는 아직 직조되지 않은 빈 유전자가 있으므로 무작위법으로 실을 연결한 후 교배 연산을 모두 완료한다.

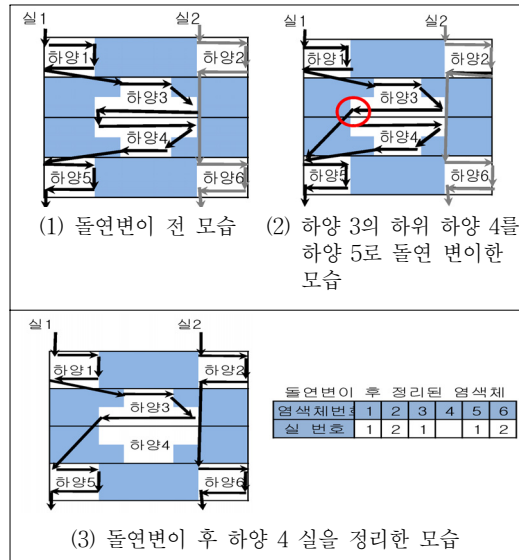
5.4 염색체 돌연변이(Mutation)

유전자 알고리즘은 반복적으로 세대를 생성하여 적합도가 우수한 염색체를 생산한다. 하지만 전체 최적해에 수렴하지 못하고 부분 최적해(local optimal solution)로 수렴할 위험이 존재한다. 돌연변이 연산은 부모 염색체 값을 임의의 다른 값으로 교체하여 부분 최적해로 수렴하는 위험을 완화시킨다.

5.4.1 무작위 하위 연결 유전자 돌연변이화

<그림 18>의 (1)에서 (2)같이 실 1번 하양 3의 하위 연결을 하양 4에서 하양 5로 돌연변이화 되었다.

이와 같이 돌연변이화 시키면 하양 4는 실이 끊기므로 직조되지 않은 것으로 변경해야 한다. 남아있는 실 2번에 대하여 돌연변이연산을 진행하고, 더 이상 남아있는 실이 없으면 돌연변이를 완료한다.



<그림 18> 돌연변이 전후 과정

5.4.2 돌연변이후 비어있는 유전자 배정

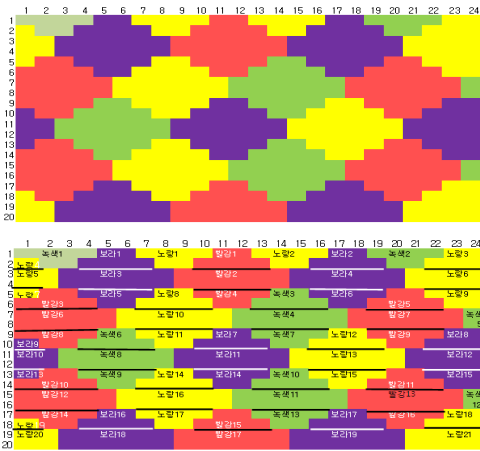
돌연변이는 완료했지만 직조되지 않은 하양 4 유전자가 있으므로 새로운 실을 가져와 무작위법으로 연결한 후 돌연변이 연산을 모두 완료한다.

6. 유전자 알고리즘 실험

본 연구에서 구현한 프로그래밍언어는 c언어이며, 실험에 사용된 컴퓨터 사양은 Intel @ 1.86GHz, 1GB 노트북에서 실험하였다. 실험 그림은 인타사 스웨터에 많이 사용하는 다이아몬드 무늬를 적용하여 실험하였다

6.1 모집단 및 파라미터 설계

실험을 위한 모집단은 100개로 설정하였고 모집단 재편성 비율은 <표 8>과 같이 설계하였다.



<그림 19> 실험을 위한 스웨터 모형그림

<표 8> 모집단 염색체별 재편성 파라미터비율

염색체	채택비율
우수 염색체	10% 보존
색상별 우수 염색체	5% 보존
교배 염색체	40% 교배
돌연변이	5% 돌연변이
염색체 재생성	40% 재생성

6.2 예비실험 : 휴리스틱 혼합방식 설계

본 실험을 하기 전에 <표 5>의 실 혼합연결비율을 결정해야 한다. 실 혼합방식은 무작위 법과 휴리스틱 3번 까지를 혼합하는 방식이므로 예비 실험을 통해 혼합 비율을 설계하였다.

<표 9> 각 휴리스틱 방식별 최적해 수렴속도

방식	(1) 수작업최적화	(2)실거리최적화
무작위	1,000세대까지 수렴하지 못함	1,000세대까지 수렴하지 못함
1번		
2번		
3번	4세대 만에 수렴함	

예비실험은 1,000세대까지 실험하였고 실험결과 <표 9>와 같이 무작위법과 휴리스틱 3번까지 모두

최적해에 수렴하지 못했다. 하지만 휴리스틱 3번은 목적 함수 (1)인 수작업 최소화에는 수렴하였다.

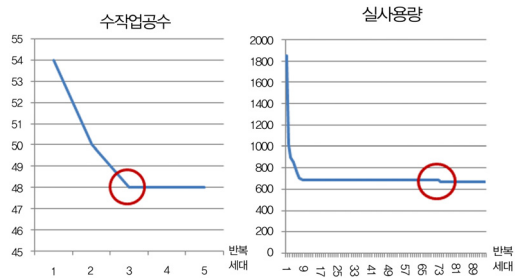
각 방식의 수렴속도를 고려하여 <표 10>과 같이 혼합방식에 대한 혼합비율을 설정하였다

<표 10> 휴리스틱 4번 : 방식별 혼합비율

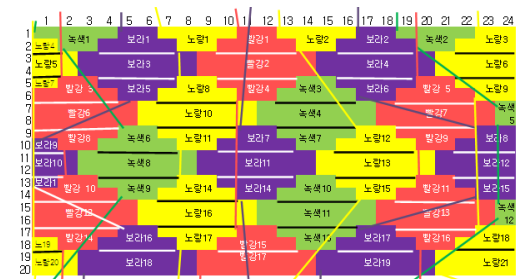
최적 근사해 수렴속도	방식	비율
수작업 최소화에도 수렴하지 못한 방식	무작위	5%
	1번	5%
	2번	20%
수작업 최소화 4세대에 수렴 실거리 최소화는 수렴 못함	3번	70%

6.3 실험 결과

설계된 방식으로 실험한 결과 <그림 20>과 같이 수작업 최소화는 3세대 만에 수렴하였고 실거리 최소화는 74세대 만에 수렴하였다. 최적화된 실 연결은 <그림 21>과 같이 나타났다.



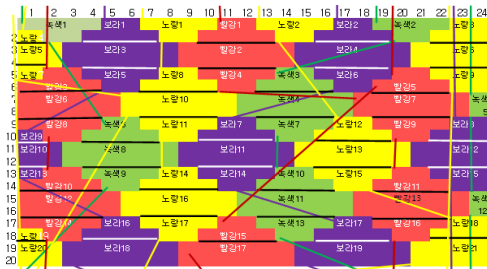
<그림 20> 실험 최적해 수렴 그래프



<그림 21> 최적화된 색상별 실 연결모습

6.4 기존 실 연결방식과의 비교

본 실험 결과와 기존 소프트웨어의 실 연결 결과를 비교해 보면, 기존 소프트웨어 스웨터 직조방식은 휴리스틱 2번 방식과 유사하며, 이 방법으로 연결한 모습을 예상하면 <그림 22>와 같다. 본 연구로 최적화된 <그림 21>과 기존 소프트웨어로 직조한 <그림 22>를 비교한 결과, 절감 효과는 <표 11>과 같이 수작업 공수는 노랑과 빨강이 절감되었고, 총 인건비는 11%가 절감되었다. 실 사용량은 모든 색상에서 절감되었고, 총 실 재료비는 7%가 절감된 것으로 나타났다.



<그림 22> 기존 방식 실 예상 연결 모습

<표 11> 기존 방식대비 최적화 연결 절감비율

구분	기존방식	본 연구	절감비율
수작업 매듭 공수	녹색 : 12건	녹색 : 12건	녹색 : 0%
	보라 : 14건	보라 : 14건	보라 : 0%
	노랑 : 18건	노랑 : 14건	노랑 : 22%
	빨강 : 10건	빨강 : 8건	빨강 : 20%
	합계 : 54건	합계 : 54건	총 11% 절감
실 사용량	녹색 : 151.8	녹색 : 128.2	녹색 : 16.2%
	보라 : 178.8	보라 : 176.4	보라 : 1.3%
	노랑 : 205.8	노랑 : 191.1	노랑 : 7.1%
	빨강 : 181.5	빨강 : 173.2	빨강 : 4.6%
	합계 : 719.9	합계 : 668.9	총 7% 절감

7. 결 론

본 연구는 최적의 스웨터 탐색을 위한 목적함수로서 TSP 모델을 적용하였고, 최적의 스웨터를 탐색하기 위하여 총 다섯 가지 실 y축 연결방법을 고

안하였다. 또한, 유전자 알고리즘의 엘리트 보존 전략 중 추가적으로 색상별 엘리트 염색체를 보존하는 전략을 적용하여 최적해에 고속으로 수렴하는 것을 규명하였다. 본 연구에서 고안한 방식을 현장에서 적용한다면 최적해에 고속으로 수렴시켜 인건비와 재료비를 절감할 수 있을 것이다.

본 연구는 비용 최소화 측면의 연구로 볼 수 있다. 향후 연구로는 스웨터 품질 측면으로, 실 연결 시실의 장력을 이용하여 스웨터의 품질을 평가하는 실 연결방법을 탐색하는 연구와 생산성 향상 측면인 실판의 움직임을 최소화하여 스웨터 직조 속도를 개선하는 연구 과제가 남겨졌다.

참 고 문 헌

- [1] 김광백, 송두현, “유전자 알고리즘을 이용한 경로탐색”, 『한국해양정보통신학회논문지』, 제15권, 제6호(2011), pp.1251-1255.
- [2] 문치웅, 김재균, “공정순서에 기초한 생산셀 설계를 위한 유전 알고리즘 접근”, 『한국경영과학회지』, 제23권, 제3호(1998), pp.123-133.
- [3] 양미나, 이건호, “유전자 알고리즘을 이용한 매트릭스 조직의 소프트웨어 개발 스케줄링”, 『한국경영과학회지』, 제23권, 제2호(2006), pp.187-198.
- [4] 이경미, 이진명, “방문순서 제약이 있는 순회 세일즈맨 문제를 위한 유전자 알고리즘”, 『정보과학회논문지』, 제25권(1998), pp.362-368.
- [5] 이재규, 『C로 배우는 알고리즘 2』, 세화, 2013.
- [6] 장인성, 박승현, “대중교통망에서의 최단경로 탐색을 위한 유전자 알고리즘”, 『한국경영과학회지』, 제18권, 제1호(2001), pp.101-118.
- [7] 전건욱, 김기태, “교통상황과 확률적 수요를 고려한 차량경로문제의 Hybrid 유전자 알고리즘”, 『대한교통학회지』, 제28권, 제5호(2010), pp.107-116.
- [8] 정성훈, “유전자 알고리즘의 성능향상을 위한 선택적 돌연변이”, 『정보처리학회논문지』, 제

- 17-B권, 제2호(2010), pp.149-156.
- [9] 정환목, 「지능정보시스템 원론」, 21세기사, 1999.
- [10] Goldberg, D. and R.A. Lingle, "loci and the traveling salesman problem," *Proc. of the 1st int conf. on Genetic Algorithm*, (1985), pp.154-159.
- [11] Sallabi, O.M., "An Improved Genetic Algorithms to Solve the Traveling Salesman Problem," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol.52, No.3(2012), pp. 471-474.