

유전자 알고리즘을 이용한 도로보수우선순위 결정법의 개발

Development of a Model for Pavement Rehabilitation Priority Using Genetic Algorithms

이 용 재

(중앙대학교 도시공학과 교수)

손 진 현

(영월공과대학 토목과 교수)

목 차

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| I. 서론 | 3. 도로보수우선순위 결정에 대한 적용 |
| II. 유전자 알고리즘을 이용한 도로보수방법의 도출 | 4. 유전자 알고리즘의 적용결과에 대한 분석 |
| 1. 유전자 알고리즘의 개요 | III. 결론 |
| 2. 유전자 알고리즘을 이용한 연산의 수행원리 | IV. 참고문헌 |

ABSTRACT

도로보수는 매우 고가의 사업으로서 정확한 분석이 필수적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수많은 대상구간의 도로파손에 대한 보수방법 및 보수우선순위를 정확하고 신속하게 결정하기 위해서 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)을 이용한 도로보수방법론을 개발하였다. 본 연구에서는 유전자 알고리즘의 주 분석기법인 교배연산, 돌연변이연산, 복제연산, 룰렛휠기법, 적합도함수등을 이용하였으며, 균열, 바퀴자국, 부스러짐, 플러쉬등의 4개 파손상태와 실코트, 덧씌우기, 패칭, 재포장등의 4개 보수방법만을 분석대상으로 하였다. 또한 적합도의 판정을 위해서 각 구간의 보수효과, 자원요구량, 자원제약량을 이용하였으며, 이를 통해서 적절한 보수방법 및 보수우선순위를 결정하였다.

I. 서론

폭발적인 차량의 증가로 인해 그 동안 우리 나라에서는 도로의 신설에 많은 예산을 투자해 온 반면, 도로의 유지보수관리기법의 개발에 대한 투자는 미약했다. 관련학과와 산업체에서도 도로의 설계 및 시공분야에 대한 연구 및 학문의 발전은 많은 진보를 가져왔으나 도로유지관리에 대한 부문은 몇몇 국내의 연구기관을 제외하면 상대적으로 도외시 되어 왔다. 이 부문에 대한 연구 및 개발은 국가적 관점에서 볼 때 매우 시급한 과제라 할 수 있다. 최근에는 적절한 도로의 유지관리를 수행치 않을 경우에 도로의 건설못지않은 예산의 소모가 뒤따른다는 사실을 인식하게 되었고 이에 도로의 유지관리기법의 개발에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다. 따라서 도로유

지보수방법의 적용은 매우 신중하지 않으면 안 된다. 특히 한정된 자원 하에서 어느 구간을 먼저 보수해야하며, 어떤 보수방법을 사용할 것인지는 경제적인 면에 막대한 영향을 미친다 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 도로유지보수방법 및 보수우선순위를 결정함에 있어서 그 처리속도가 매우 빠르고 신중함을 기 할 수 있는 방법을 유전자 알고리즘의 적용을 통해서 제시해 보고자 한다.

II. 유전자 알고리즘을 이용한 도로보수방법의 도출

1. 유전자 알고리즘의 개요

유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithms)은 생물진화의 원리로부터 착안된 알고리즘으로서, 확률적 탐색이나 학습 및 최적화를 위한 한가지 기법이다. 즉, 여러개의 개체가 동시에 병렬로 주어진 환경에 따라 적자생존의 방법으로 진화하여 궁극적으로는 최적의 상태에 도달한다는 생태계의 진화이론에서 따온 알고리즘이다.

이 알고리즘에서는 여러개의 개체로 구성된 군집(population)이 진화할 때 구세대가 얻은 환경에 대한 정보는 염색체(chromosome)에 저장되어 다음 세대로 전달된다. 이때 조상의 염색체가 그대로 복제(reproduction)되어 자손(offspring)에게 전달되는 것이 아니라 조상의 염색체에 교차(crossover), 돌연변이(mutation), 전위(inversion)연산등을 가하여 얻은 염색체로 전달된다. 구세대 중에서 한 개체가 선택되어 자손에게 유전정보를 남길 확률은 일반적으로 그 개체가 주위 환경 그리고 나머지 개체와 어떻게 상호작용하는가에 의존하는 최적값에 따라 변한다. 일반적으로 최적화값이 좋을수록 자손을 남길 확률이 높아지고 나쁠수록 확률이 작게되는 적자생존의 법칙이 적용된다.

2. 유전자 알고리즘을 이용한 연산의 수행원리

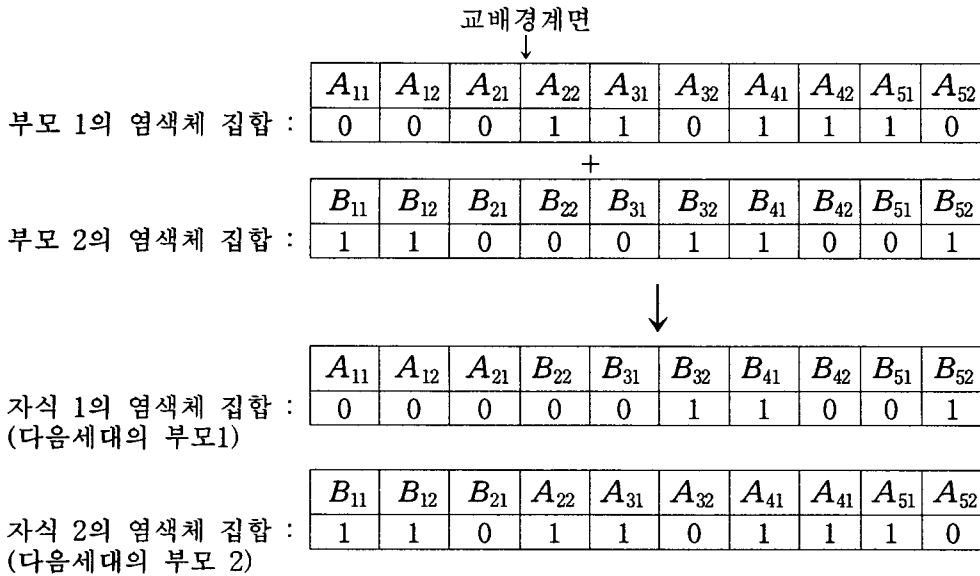
유전자 알고리즘은 탐색공간을 단일 탐색점으로 탐색하지 않고 여러 개의 탐색점으로 병행 탐색한다. 각 탐색점은 염색체에 표현되는 개체로 생각할 수 있으며 이 개체들이 모여 염색체 집단을 형성한다. 각 개체는 적합도가 계산되며, 적합도가 높은 개체는 증식되고 낮은 개체는 도태된다. 선택된 염색체에 대해서 교배연산과 돌연변이를 연산 등의 개체를 변화시키는 연산을 수행한다. 이러한 과정을 반복하여 만족할 만큼 높은 적합도를 가진 개체가 생성될 때까지 반복수행한다.

유전자 알고리즘에서는 교배, 돌연변이를 주된 연산원리로 진화를 꾀하게 된다. 또한 적합도를 산정하고 각 유전자 집합들이 자기 자신의 염색체 구조를 다음세대에 복제시킬 확률을 설정하게 된다. 이러한 확률은 룰렛휠의 원리를 이용하게 된다. 본 연구에서 사용하게 될 유전자 알고리즘의 연산원리는 다음과 같다.

- 교배연산

다음의 <그림 1>에서 A_{ij} 와 B_{ij} 염색체집합들은 어느세대에서의 5개 구간에 대한 보수방법들의 임의 결정변수들의 조합이라 할 수 있다. 각 염색체 집합들의 변수들은 0과 1로 구성된 string들의 조합이다. 여기서 i 는 구간수이고 j 는 2비트 string의 위치이다.

예를 들어서 실코우트는 0 0, 팻칭은 0 1, 덧씩우기는 1 0, 재포장은 1 1이라고 한다면 최초의 부모 유전자 집합은 다음의 그림과 같이 구성할 수 있다.



<그림 1> 보수방법을 유전자로 사용할 경우 교배연산 예

이러한 교배연산을 수행하고난 후의 보수방법의 변화양태는 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 1번의 교배연산후의 보수방법의 구간별 변화모습

		구분	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간
			교배연산 전	부모 1	유전자	0 0	0 1
보수방법	SC	PA			OV	RE	OV
부모 2	유전자	1 1		0 0	0 1	1 0	0 1
	보수방법	RE		SC	PA	OV	PA
교배연산 후	자식 1	유전자	0 0	0 0	0 1	1 0	0 1
		보수방법	SC	SC	PA	OV	PA
	자식 2	유전자	1 1	0 1	1 0	1 1	1 0
		보수방법	RE	PA	OV	RE	OV

주) SC : 실코우트, PA : 팻칭, OV : 덧쇠우기, RE : 재포장

- 돌연변이 연산

유전자 알고리즘의 주요한 연산과정중의 하나는 돌연변이 연산이라 할 수 있다. 돌연변이를 수행하도록 하는 주된 이유로서는 매우 희박한 확률이지만 진화를 하지 않고 퇴화를 할 수도 있는 가능성을 배제하기 위함이라 할 수 있다. 돌연변이연산에 대한 예로서 다음의 그림으로서 설명되어질수 있다. A₂₁유전자가 돌연변이의 대상이 될 경우에 <그림 2>에서와 같이 0이었던 유전인자가 1로 변이를 발생시키게 된다.



<그림 2> 돌연변이의 발생예

위의 그림에서 설명한 바와 같은 변이로 인해서 부모세대에서 보수방법중 제 2구간의 보수 방법이 실코우트에서 재포장으로 변이를 일으키게 되었다. 이를 설명하면 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 1번의 돌연변이 연산후의 보수방법의 구간별 변화모습

구분		1구간	2구간	3구간	4구간	5구간
돌연변이전의 부모	유전자	0 0	0 1	1 0	1 1	1 0
	보수방법	SC	PA	OV	RE	OV
돌연변이후의 자식	유전자	0 0	1 1	1 0	1 1	1 0
	보수방법	SC	RE	OV	RE	OV

주) SC : 실코우트, PA : 팻칭, OV : 덧씌우기, RE : 재포장

- 복제연산

앞에서 설명한 바와 같은 교배연산과 돌연변이 연산외에 또 다른 중요한 유전자 알고리즘의 요소는 룰렛휠 선택이라 할 수 있다. 현재 이전의 각각의 유전자 배열마다의 적합도 값의 적합도 총 누계값에 대한 비율을 확률로 바꾸어 다음 세대에 전달한다. 이때 이 확률을 근거로 하여 유전자 집합들은 진화하게 된다. 이를 설명하면 다음의 <표 3>과 같다.

<표 3> 룰렛휠에 필요한 변수들의 연산

세대수	적합도	복제확률
1	FT_1	P_1
2	FT_2	P_2
3	FT_3	P_3
4	FT_4	P_4
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
n	FT_n	P_n
합	ΣFT_n	1

위의 표에서 FT_n 은 n번째 세대에서의 계산되어진 적합도 함수값이고 P_n 은 n번째 세대의 유전자 집합이 n+1번째 세대의 유전자 집합에 전달될 유전자 배열의 복제 확률을 의미한다. 즉 다음세대에 전달될 유전자 배열의 복제확률 P_n 은 다음의 식과 같다.

$$P_n = \frac{FT_n}{\Sigma FT_n} \quad (1)$$

복제확률 P_n 의 갯수는 세대수가 증가함에 따라 함께 증가한다. 이 P_n 을 이용하여 마치 룰렛 휠을 돌려서 게임을 하듯이 결정된 유전자 배열이 다음세대에 영향을 미치게 된다. 따라서 세대수가 증가함에 따라 수렴의 속도에 가속이 붙게 되는 것이다.

- 적합도 함수

유전자 알고리즘을 통한 최적의 보수방법 결정변수인 적합도 함수는 본 연구에서 다음과 같은 개념으로 구성하였다. 보수효과, 필요자원량, 제약량을 변수로 하는 함수를 구성하여 판단한다. 즉 자원의 요구량과 제약량의 차이에 대한 보수효과의 비율을 이용하여 적합도 함수 $F(E, R, C)$ 를 구성한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F(E,R,C) = \frac{\sum_{j=1}^k E_j^\alpha}{\sum_{j=1}^k (C_j - R_j)} \quad (2)$$

E_j : j 번째 구간의 보수효과

R_j : j 번째 구간에 대한 자원요구량

C_j : j 번째 구간에 대한 제약량

α : 상수

여기서 요구량이 제약량보다 큰 경우에는 적합도 판정대상에서 제외시킨다.

이상과 같은 연산을 수회 반복수행하면서 각 세대에 대해서 적합도 함수를 계산하여 그 적합도가 최대의 값에서 수렴하게 되면 연산을 중단하고 그때의 유전자 집합내의 유전자 배열구조에 따른 도로보수방법을 결정하게 된다.

3. 도로보수우선순위 결정에 대한 적용

1) 분석자료의 수집

앞에서 설명되어진 최적화 이론과 단계별 과정을 이용하여 아래와 같은 다중선택제약조건에서의 보수우선순위를 결정하도록 하자. 5개의 도로구간에 대해서 파손의 정도를 조사한 결과 <표 4>와 같이 분석되었다고 하자.

<표 4> 구간별 파손정도지수

구간 i \ 파손 k	균열 (k=1)	바퀴자국 (k=2)	부스러짐 (k=3)	플리쉬 (k=4)
1	15	18.75	18.75	18.75
2	45	6.25	18.75	18.75
3	15	18.75	6.25	18.75
4	45	18.75	18.75	12.25
5	45	0	18.75	18.75

본 연구에서 포장파손의 종류는 균열, 바퀴자국, 부스러짐, 플리쉬등의 4가지 만으로 한정한다고 하였다. 또한 보수방법 역시 실코우트, 덧씌우기, 팻칭, 재포장등의 4가지만을 그 대상으로 한다. 보수효과는 아래의 <표 5>와 같은 결과를 보여준다.

<표 5> 각 구간별, 보수방법별 보수효과의 비교

구간 i \ 보수방법 j	실코트(j=1)	덧씌우기(j=2)	팻칭(j=3)	재포장(j=4)
1	18.65	26.71	10.81	26.35
2	1.15	10.95	4.31	10.75
3	21.40	39.21	13.94	38.47
4	5.53	8.53	3.31	8.04
5	1.15	17.01	6.81	16.75

다음으로는 보수방법별 자원요구량들을 결정한다. <표 6>과 같이 각각의 보수방법에 대한 구간별, 자원별로 요구되어지는 자원의 양을 가정한다. 단위는 편의상 Unit로 한다. 제약량은 모든 자원이 54Unit라고 가정한다.

<표 6> 재료, 장비, 인력, 공사기간에 대한 보수방법별 요구량

보수방법 j 구간 i	실코트	덧씌우기	핏칭	재포장
1	14,14,14,4	5,12,4,5	8,9,5,13	6,13,5,7
2	14,4,6,13	12,8,13,10	9,12,4,12	13,7,10,11
3	15,12,4,13	9,14,14,12	7,4,8,7	5,10,10,10
4	15,6,6,5	13,9,11,14	8,4,8,5	5,8,12,11
5	13,5,10,9	15,11,9,15	4,4,10,5	7,8,8,5

주) 재료,장비,인력,공사기간으로 표현하였음.

2) 다중제약조건에 대한 해석의 기본 조건

다중제약조건이 주어진 경우의 도로보수우선순위 결정법의 도출을 피하기 위해서 다음과 같은 최적화 이론을 기본으로 전개하기로 한다.

$$\text{maximize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{P_i} C_{ij} X_{ij} \quad (3)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{P_i} a_{ijl} X_{ij} \leq b_l, \quad l = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^{P_i} X_{ij} \leq 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}$$

여기서 C_{ij} = j번째 보수방법이 적용될 경우 i번째 구간의 보수효과

a_{ijl} = j번째 보수방법이 적용될 경우 i번째 구간의 l번째 자원의 요구량

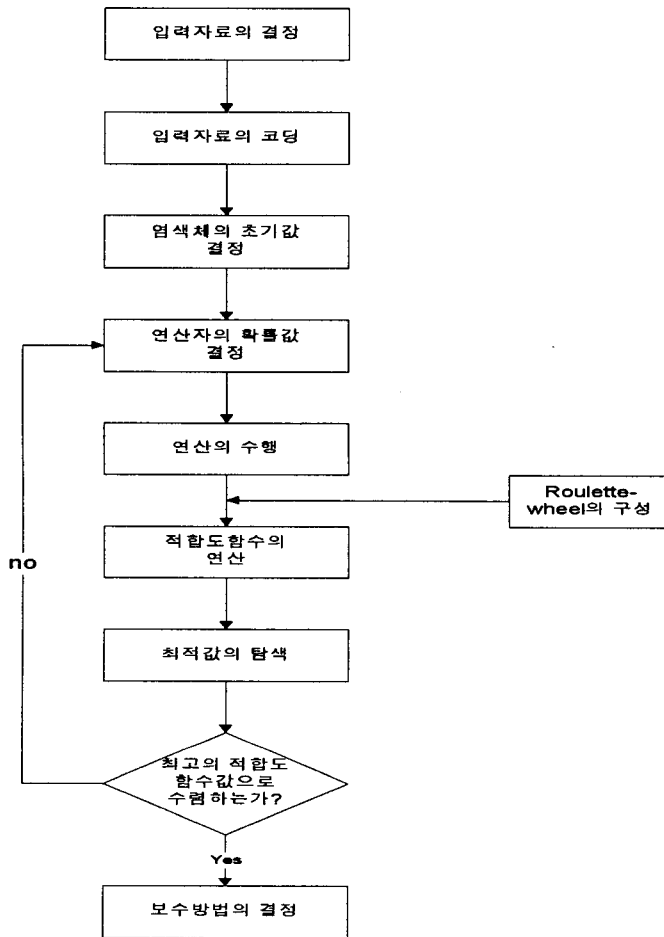
b_l = l번째 자원의 가능 용량

P_i = i번째 구간에 대해서 적용가능한 보수방법의 수

변수 X_{ij} ($j = 1, 2, \dots, P_i$)는 i번째 대상구간의 결정변수이며 여기서 $X_{ij} \in \{0, 1\}$ 가 된다. 만약 $X_{ij} = 1$ 인 경우에는 j번째 정책을 사용한 구간 i가 적용되어야 하고, $X_{ij} = 0$ 인 경우에는 j번째 정책을 사용한 구간 i가 적용되어서는 안된다.

3) 유전자 알고리즘을 적용한 결과의 분석

유전자 알고리즘은 탐색공간을 단일 탐색점으로 탐색하지 않고 여러 개의 탐색점으로 병행 탐색한다. 각 탐색점은 보수방법 코드의 배열에 표현되는 보수방법 코드 각각의 string으로 생각할 수 있으며 이 보수방법 코드 각각의 string들이 모여 보수방법 코드의 배열 집단을 형성한다. 각 보수방법 코드 각각의 string들에 대해서 적합도가 높은 보수방법 코드 각각의 string은 선택되고 낮은 보수방법 코드 각각의 string은 도태된다. 선택된 보수방법 코드의 배열에 대해서 보수방법 코드배열의 상호교환연산과 보수방법 코드배열중 1 string에 대한 임의적인 조작 연산 등의 연산을 수행한다. 이러한 과정을 반복하여 만족할 만큼 높은 적합도를 가진 보수방법 코드 생성될 때까지 반복수행한다. 이러한 탐색과정을 그림으로 표현하면 <그림 3>과 같다.

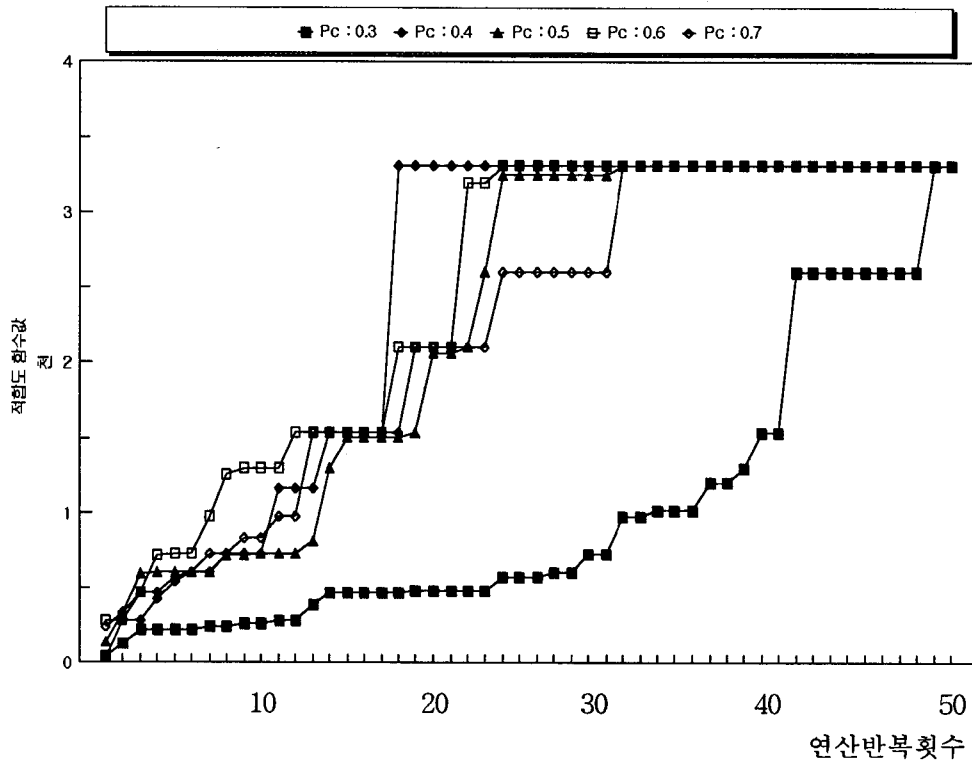


<그림 3> 유전자알고리즘을 이용한 분석의 흐름도

위의 그림에서 연산반복횟수가 증가함에 따라 각 연산과정마다 적합도를 판정하여 그 값이 최대의 값으로 수렴할 때까지 연산을 수행하게 되는 것을 보여주고 있다.

보수방법 코드의 선택은 앞서 설명되어진 룰렛 휠 방법에 의한 선택기법을 이용하기로 한다. 또한 Elitist selection방법을 적용하여 가장 큰 적합도를 갖는 보수방법 코드의 배열이 다음연산과정에 살아남아 전달되는 방법을 이용하기로 한다.

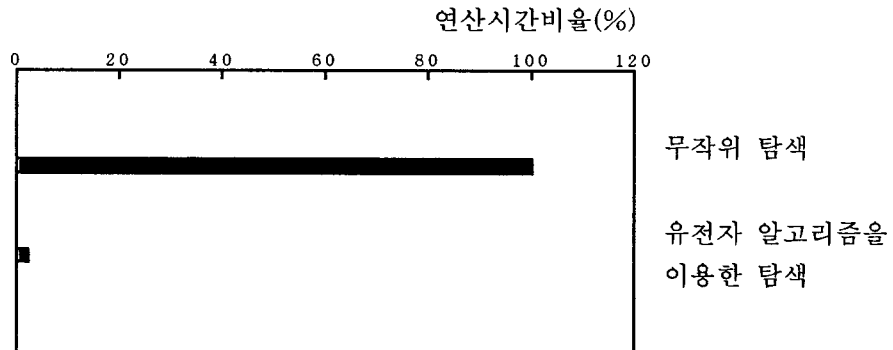
도로보수우선순위의 결정을 위한 최적화를 구축하기에 적합한 보수방법 코드배열의 상호교환 확률을 결정하기 위해서 수렴속도가 가장 높은 경우의 확률값을 결정한다. 이를 위해서 보수방법 코드배열의 상호교환 확률을 각각 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7의 경우에 대해서 각각의 연산을 수행한다.



* Pc : 보수방법별 코드배열의 상호교환 확률

<그림 4> 보수방법 코드배열의 상호교환 확률별 적합도 변화 양태

<그림 4>에서 수렴속도가 가장 빠른 것은 보수방법 코드배열의 상호교환확률을 0.4로 설정한 것이다. 따라서 본 연구에서는 보수방법 코드배열의 상호교환확률을 0.4로 설정하여 연산한 결과를 이용하여 보수우선순위를 탐색하는 것이 좋을 것이다. 그러나 이 확률값은 분석대상과 모형에서 사용되어지는 목적함수의 형태에 따라서 달라질 수도 있다. 본 연구에서와 같이 4가지 보수방법을 5개구간에 적용시켜서 최적의 보수방법을 찾기 위해서는 $4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 = 1,024$ 가지의 경우수가 분석의 대상이 된다. 그러나 위의 그림에서 알 수 있듯이 20번이 채 되지않는 연산반복횟수를 거치는 연산탐색후에 최적의 값을 찾아 내는 것을 알 수 있다. 즉 컴퓨터 연산시간이 약 2%정도로 줄어들 수 있다. 예로서 경우의 수가 46^{48} 개인 분석대상의 경우에 유전자 알고리즘을 사용함으로써 그 연산시간이 몇일에서 6시간으로 줄어들 수 있다. 따라서 보수방법과 대상구간이 매우 많은 경우에는 본 연구방법을 적용함이 매우 유리할 것으로 사료된다.



<그림 5> 연산시간의 비교

위의 기준으로 유전자 알고리즘을 이용하여 분석한 결과 보수방법은 다음의 <표 7>과 같다.

<표 7> 선택된 보수방법

구간	보수방법
1	덧씌우기
2	덧씌우기
3	덧씌우기
4	재포장
5	덧씌우기

보수우선순위는 예산이 허락하는 한도내에서 3구간, 1구간, 5구간, 2구간, 4구간의 순으로 보수를 시행하면 된다.

III. 결론

매우 많은 대상구간에 대한 도로보수방법 및 보수우선순위를 더욱 정확하고 신속하게 결정하기 위해서 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 사용하였다. 유전자 알고리즘의 이론중 교배연산, 돌연변이 연산, 복제연산, 룰렛휠 기법, 적합도함수등을 이용하여 분석하였으며, 이를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 타 분석기법에 비해서 월등하게 신속하고 정확한 분석을 수행할 수 있다.

둘째, 제약조건과 대상구간이 매우 많은 경우에도 간편하게 분석을 할 수 있다.

셋째, 생물학적 분석원리를 교통 및 도로공학분야에 적용할 수 있게 되어 여타 공학적인 분석시에도 이용가능함을 제시했다.

본 연구의 발전을 위한 향후 연구과제로서 우리나라에서 주로 사용되어지는 HDM-III프로그램과의 연결을 통해서 서로의 단점을 보완하는 도로유지보수관리체계를 구축하는 것은 매우 바람직한 연구과제라고 사료된다.

IV. 참고문헌

1. AASHTO, "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", pp BB.1-BB.5, 1993.
2. Ahmed, N. V., Lu, D. Y., Lytton, R. L., Mahoney, J. P., and Phillips, D. T., "Rehabilitation and Maintenance District Optimization System", *Research Report 207-3*, Texas State Department of Highways and Public Transportation, 1978.
3. Butt, A. A., "Application Of Markov Process To Pavement Managemet System At The Network Level", *Transportation Research Record 1311*, pp 7-10, Transportation Research Board, 1991.
4. Chen, X., Hudson, S., Pajoh, M., and Dickinson, W., "Development of New Network Optimization Model for Oklahoma Department of Tranportation", *Transportation Research Record 1524*, pp 103-108, Transportation Research Board, 1996.

5. Croney, D., *"The Design and Performance of Road Pavements"* 2nd Edition, McGraw-hill Book Company, 1991.
6. Davis, L., *"Handbook of Genetic Algorithms"*, Van Nostrand Reinhold, 1991.
7. Flintsch, G. W., Zaniewski, J. P., and Delton, J., "Artificial Neural Network for Selecting Pavement Rehabilitation Projects", *Transportation Research Record 1524*, pp 185-193, Transportation Research Board, 1996.
8. Forrest, S., *"Genetic Algorithms"*, University of Illinois, 1993.
9. Fwa T. F., and Chan, W. T., "Priority Rating of Highway Maintenance Needs By Neural Networks", *Journal of Transportation Engineering*, pp 419-432, vol 119, No. 3, May/June, 1993.
10. Goldberg, D. E., *"Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning"*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
11. Grivas, D. A., Schultz, B. C., and Waite, C. A., "Determination of Pavement Distress Index for Pavement Management", *Transportation Research Record 1344*, pp. 75-80, Transportation Research Board, 1992.
12. Hass, R. and Hudson, W. R., *"Modern Pavement Management"*, pp 31-38, Krieger Publishing Company, 1994b.
13. Hiller, F. S. and Lieberman, G. J., *"Introduction to Operations Research"*, 5th Edition, McGraw-hill Publishing Company, 1990.
14. Hoffmeister, F. and Baeck, T., "Genetic Algorithms and Evolution Strategies ; Similarities and Difference", Univer. of Dortmund, Dept. of Computer Science, Chairs 11, Technical Report, No. Sys-1/92, 1992.
15. Juang, C. H. and Amirkhanian, S. N., "Unified Pavement Distress Index for Managing Flexible Pavements", *Journal of Transportation Engineering*, pp 686-699, vol. 118, No. 5, Sep/Oct, ASCE, 1992.
16. Koutsopoulos, H. N., Kapotis, V. I., and Downey, A. B., "Improved Methods for Classification of Pavement Distress Images", *Transportation Research-C*, vol. 2, No. 1, pp. 19-23, 1994.
17. 기타노 히로아키, "유전자 알고리즘", 대청컴퓨터랜드, 1986.