

〈논 문〉 SAE NO. 933758

자동 도로 수리기에 의해 수리된 도로표면의 예측 구현

Synthesis of Filled-up Pothole Surface by Automatic Pothole Repair Vehicle

권 원 태
W. T. Kwon

ABSTRACT

The trajectory planning for the manipulator installed on "the automatic pothole repair vehicle" is discussed and the final surface of the patched pot hole is simulated in this work. The relationship between the accumulation data of the mixture with and without the movement of the manipulator is identified to utilize the latter data for the calculation of the former one. Based on this relationship, the method to calculate the accumulation of the mixture when the manipulator changes the speed and the direction is also introduced. The trajectory is determined to make the final surface smooth under the condition that the pothole is cut to hexahedron before patching and only the spacing and the shifting of the manipulator is controllable. Final surface is simulated by the computer to prove the adequacy of the determined trajectory.

주요기술용어 : Pothole(도로에 패인 구멍이), Manipulator, 3 Layer Pothole Patching(3층 pothole수리), Trajectory(궤적), Shifting(이동), Spacing(간격)

1. 서 론

Pothole(도로에 크고 작은 구멍이들)은 매해 봄마다 수리되어야 하는, 교통문제를 야기하는 골치 아픈 문제이다. 보통 7명이 한조가 되어 하루에 8개 내지 10개 정도의 구멍을 수리하는데 이렇게 수리된 구멍은 수명이 고작 1년 정도이다¹⁾. 이것은 돈이 많이 들뿐 아니라 자동차 정체 현상을 증가시키기까지 한다. 이러한 문제의 해결을 위해 1명 또는 2명의 인원이 하루에 50개의 pothole을 수리할 수 있는 "자동 도로 수리 자

동차"가 제안 되었고 현재 제작중에 있다²⁾. 이 자동차는 컴퓨터로 조정되는 manipulator를 통해 자갈과 특수유제(emulsion)의 혼합체가 쏟아져 나와 구멍을 메우게 된다(Fig.1). 이 자갈과 유제의 혼합체는 상온에서 곧바로 굳어져 3년 이상을 견딜 수 있다. 이렇게 혼합체가 빨리 굳어져 오랫동안 견디는 성질은 좋은 면과 나쁜 점을 동시에 보여주는데 그것은 다음과 같다. 좋은 점은 pothole수리 이후 곧바로 통행이 가능하므로 정체 현상이 크게 줄어 든다는 것이고, 나쁜 점은 만드려는 도로 표면 형상을 처음부터 정확히 만들

* 정희원, 서울대 정밀연구소 연수연구원

어야 한다는 것이다. 즉 여태까지 행해졌던 전통적인 수리에서는 비교적 부드러운 혼합물이 구멍에 부어진 다음 롤러(roller)에 의해 눌러져 평평하게 되었다. 그러나, 자동 도로 수리기에서는 혼합물이 굳는 속도가 빠를 뿐더러, 무겁고 속도가 느린 롤러가 따라 다녀야 하는 불편을 없애기 위해, 처음에 혼합물이 쏟아져 내렸을 때 manipulator의 궤적(trajectory)을 잘 조정함으로써 수리작업이 끝난 이후의 표면을 평평하게 만드는 것이 매우 중요하다. 이 논문에서는 가장 평평한 표면을 만드는 manipulator의 궤적이 결정되었고 그 궤적을 따라 manipulator가 움직였을 때 생기는 표면의 형상이 computer simulation으로 보여졌다. Pothole은 도로자동수리기의 앞쪽에 달린 절단기에 의해 상자꼴 모양으로 먼저 절단된 후 수리된 것으로 가정되어 그 상자꼴 모양의 pothole을 메우는 과정에 대하여 논술하였다.

이 논문의 전체적인 내용은 다음과 같다. 2장에서는 manipulator가 정지하였을 때 쏟아낸 혼합물의 축적상태와 측정치와, manipulator가 움직였을 때 혼합물의 축적상태의 관계가 소개되었다. 이 관계를 알아냄으로써 manipulator가 정

지하였을 때 일정시간 축적된 혼합물의 상태를 측정함으로써 manipulator가 움직일때 각 속도에 따른 혼합물의 축적상태를 계산할 수 있다. 3장에서는 2장에서 소개된 방법을 바탕으로 manipulator가 움직였을 때 그 manipulator가 지나간 궤적에서의 혼합물의 축적상태의 계산법이 소개되었다. 4장에서는 가장 평평한 표면을 얻기 위한 궤적(trajectory)의 계산방법이 소개되었고 마지막장에서는 그 궤적을 따라 manipulator가 움직였을 때 수리된 도로의 표면상태가 컴퓨터 simulation으로 보여졌다.

2. 정지상태에서의 혼합물의 축적과 동작중의 혼합물의 축적과 관계

자갈과 유체의 혼합물로 채워져 가는 pothole의 수리과정을 컴퓨터로 재현하기 위해서는 우선 manipulator가 정지되었을때 혼합물의 축적상태를 측정하는 것이 필요하다. 일단 정지상태의 축적상태가 측정되면 manipulator가 어떤 속도로 움직이든지 그 축적상태 또한 계산될 수 있는데 그 방법이 이절에서 소개되었다.

Fig.2a에서 보여지듯이 혼합물의 평평한 평면에 T_g 초 동안 발사되었을 때 그물눈(mesh)에서의 축적높이가 측정되면 그 형태가 컴퓨터에서 재현될 수 있다. 그물눈의 크기가 작으면 작을수록 재구성된 축적물의 모양은 실제 모양과 유사하게 되지만, 그 만큼 데이터 갯수가 늘어나므로 시간은 더 오래 걸리게 된다. 이 논문에서는 그물눈의 한쪽 길이를 5.08mm로 하여 계산을 수행하였다. 혼합물의 축적상태는, 대칭인 구멍을 통해 쏟아져 나오는 것을 감안하여 축적모양과 절단모양(cross section)이 대칭이라고 가정되었다. 그러나 실제 측정에서는 완벽한 대칭이 아니므로 중심점에서 같은 거리에 있는 높이들이 측정된 이후 평균값을 취하여 그 곳에서의 축적높이로 이용하는 방법이 이용되었다. 다음에 manipulator가 V mm/sec로 움직였을 때 manipulator가 지나가는 점 P에서의 축적량이 계산되었다. Fig.3에서 보여진 바와 같이 속도 V mm/sec로 manipulator가 움직였을 때 그 축적물의 높이가

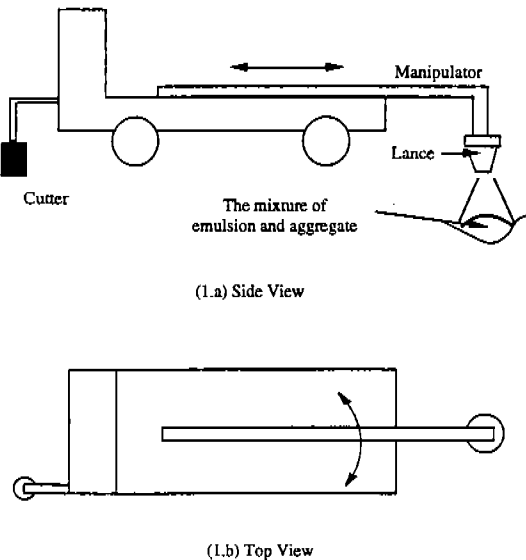


Fig.1 Schematics of the Automatic Pothole Repair Vehicle

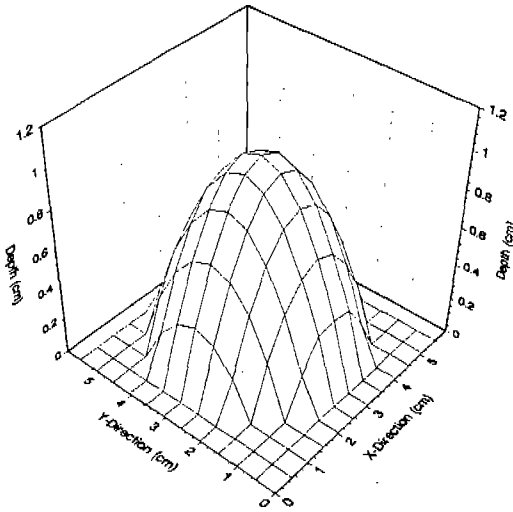


Fig.2 a) Accumulation of the Mixture at the Measuring Points

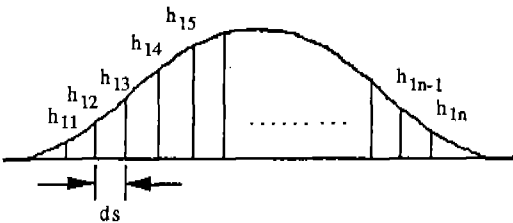


Fig.2 b) Cross-section in the Middle of Fig.2. a

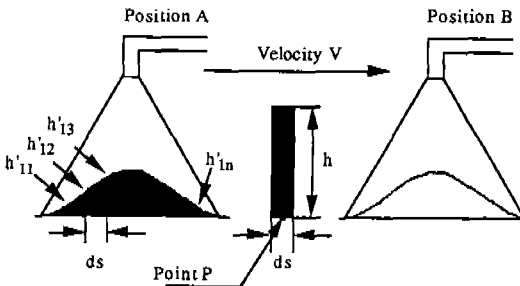


Fig.3 Accumulation of the Mixture at Point P during the Movement

$h'1i(i=1, n)$ 이라면 P지점에서의 혼합물의 축적량이 다음과 같이 계산될 수 있다.

P지점에서의 축적량은 manipulator가 그 위를 완전히 지나가므로, P지점 왼쪽에 있는 뒤집혀진 종 모양의 축적물의 총량과 같다. 그러므로 그 축적물의 총량을 계산하고 그물눈의 크기(ds)로 나눔으로써 축적량이 높이 h 의 계산이 된다. 그런데 이 계산을 하려면 manipulator가 정지하고 있을 때 측정된 높이들 $h'1i(i=1-n)$ 과, manipulator가 속도 V mm/sec로 움직이고 있을 때의 축적물의 높이 $h'1i(i=1-n)$ 와의 관계가 먼저 결정되어져야만 한다. Fig.2에서처럼 측정된 축적물의 높이 $h'1i$ 가 Tg 초 동안 쌓인 양이므로 단위시간당 쌓인 높이는 $(h'1i/Tg)$ mm/sec가 된다. 그리고 Fig.3에서 manipulator가 V mm/sec로 움직일 때 한 개의 그물눈을 지날 때 걸리는 시간은 ds/V 초가 된다. 결국 manipulator가 V mm/sec로 움직이는 동안 어떤 한점에 쌓이는 축적물의 양은 그물눈의 크기가 ds 일때 $h'ij=(h'1i/Tg) * (ds/V)$ mm가 된다. 그러므로 manipulator가 V mm/sec로 움직일 때 한점에서의 축적량 $h'ij$ 와 정지하였을 때 측정치 $h'ij$ 와의 관계가 다음과 같다.

$$h'ij = \frac{h'ij * ds}{Tg * V} \text{ mm} \tag{1}$$

이때

$h'ij$ = manipulator가 V mm/sec로 움직일 때의 (i, j)점에서의 축적량 높이(mm)

$h'ij$: manipulator가 정지해 있을 때 Tg 초동안 (i, j)점에 축적된 혼합물의 양(mm)

ds : 1개의 그물눈 격자의 길이(mm)

Tg : manipulator가 정지하였을 때 혼합물이 쏟아진 시간(second)

V : manipulator의 속도(mm/sec.)

3. 평면에서 manipulator의 움직임에 따른 축적물의 높이 계산

이 절에서는 2절에서 구해진 $h'ij$ 를 이용하여 manipulator가 움직여간 평면에서의 축적물의 높

이를 계산하는 방법이 설명되었다. Fig.4에서 처음 manipulator가 점 A에서 B로 거쳐 C로 갔을 때 축적량의 계산을 위해, I, II, III범위로 나누어 계산되었다.

3.1 Manipulator가 움직이기 시작하는 범위 (범위 I)

범위 I에서는 혼합물이 쏟아지며 동시에 manipulator 움직이기 시작한다. 이때 예로서 점 D(a1, b1)에서의 혼합물의 축적량이 계산되어 졌다. 범위 I 내에서 다른 모든 점에서의 축적량은 같은 방법으로 계산될 수 있다. 우선 중심선 \overline{AB} 에서의 거리 d1과 원주에서의 거리 p1이 계산되어야 한다. 중심선 \overline{AB} 의 방정식은 다음과 같다.

$$y = \alpha(x - x1) + y1 \tag{2}$$

이때

- $\alpha = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
- (x1, y1) : 원의 중심점 A의 좌표
- (x2, y2) : 원의 중심점 B의 좌표

그러면, 점 D(a1, b1)에서 \overline{AB} 까지의 거리는 ²⁾;

$$d1 = \frac{| \alpha a1 + (y1 - \alpha x1 - b1) |}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \tag{3}$$

식(3) 거리 p1를 구하기위해 점 D(a1, b1)에서 \overline{AB} 에 평행하게 그은 연장선과 원의 교점 G, H (Fig.4)가 다음 두 식의 교점에서 구해질 수 있다.

$$(x - x1)^2 + (y - y1)^2 = R^2 \tag{4}$$

$$y = \alpha x - \alpha a1 + b1 \tag{5}$$

D점이 manipulator가 움직임에 따라 G점과 만나느냐 H점과 만나느냐 하는 것은 manipulator가 어느 방향으로 움직였느냐에 따라 달라진다. 이 결정은 (x2-x1)의 부호(sign)와 (a1-Rx1), (a1-Rx2) 부호를 비교함으로써 내려질 수 있다. 여기서는

(a1-Rx1)의 부호가 (x2-x1)의 부호와 같으므로 G점이 우리가 원하는 교점임을 알 수 있다. 그러므로 길이 p1 이 점 D가 원주와 만나는 길이이다. 일단 중심선에서의 길이 d1과 원주에서의 길이 p1이 결정되면, 점 D에서의 혼합물의 축적 높이는 그 점에 부어진 혼합물의 총량을 그물눈의 길이 ds로 나눔으로써 구해질 수 있다. 또한 혼합물의 총량은 Fig.5에 범위 I의 면적으로 표시되어 있는데 이 면적을 계산함으로써 D점에 쌓여진 혼합물의 양을 구할 수 있다. 그러나 Fig.5에서 볼 수 있듯이 측정치에서 계산된 혼합물의 높이 hij사이에서의 축적물의 양이 곧 바로 얻어질 수 없으므로 보간법(interpolation)이 이용되었다. 보간법을 이용해 hij의 사이값 hij를 얻고 알고 있는 값 d1과 p1을 이용함으로써 점 D(a1, b1)에 축적되는 혼합물의 총량을 구해낼 수 있다.

이 혼합물의 총량을 ds로 나눔으로써 점 D(a1, b1)에서의 축적높이를 구할 수 있다.

3.2 Manipulator가 완전히 지나가는 범위(범위 II)

Fig.4에서 보여진 범위II서는 manipulator가 그 점위를 완전히 지나간다. 점 E(a2, b2)가 예로써 주어져 그 범위에서의 축적물의 높이를 계산할 수 있다. 그러기 위해서는 점 E(a2, b2)와 선분 \overline{AB} 와의 거리를 구하는 것이 선행되어야 한다. 이 거리 d2는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$d2 = \frac{| \alpha a2 + (y1 - \alpha x1 - b2) |}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \tag{6}$$

d2가 계산되면 Fig.3의 범위II에서, manipulator는 점 B에 도달 한 뒤 점 C에 도달하기 위해 방향을 바꾸게 된다. 이로 인해 혼합물의 축적상태가 범위 I, II와는 달라지는 데, 이것을 조사하기 위해 점 F(a3, b3)이 선택되었다. 이 점에서의 혼합물의 축적 상태는 크게 두가지 경우로 나뉘는데 처음 상태는 manipulator가 \overline{AB} 방향으로 움직일 때의 축적이고 두번째 상태는 manipulator가 \overline{BC} 방향으로 움직일때의 축적이다. Manipulator가 점 A에서 B로 움직일 때 F 점에서의

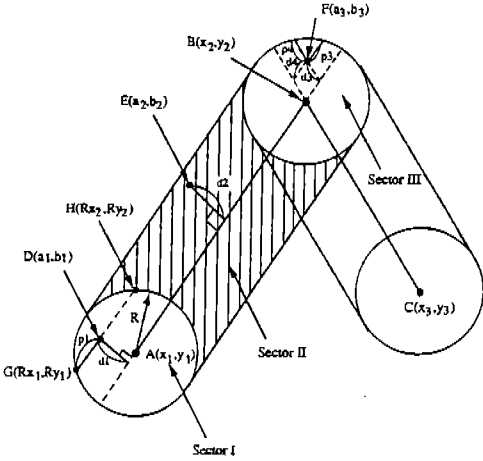


Fig.4 Division of the Sectors during Patching

혼합물의 축적은 Fig4의 p3경로에서의 축적총량에 비례한다. Manipulator가 점 B에서 C로 움직일 때는 F점에서 그동안 축적된 혼합물위에 다시 p4경로에서는 축적 총량에 비례하는 혼합물이 쌓이게 된다. 결과적으로 Fig5에서 볼수 있듯이 점 F에 축적된 양은 범위Ⅲ과 Ⅳ의 축적량을 더한 이후 그물 눈의 크기 ds로 나눔으로써 구해질 수 있다. 이 계산을 위하여, F점에서 선분 ab와의 거리 d3와 선분 BC와의 거리 d4, 그리고 경로 p3, p4의 거리 계산이 필요한 데 이것은 소단락 3.1에 소개된 방법에 의해 계산될 수 있다.

4. Manipulator의 궤적(trajecory)을 찾기 위한 2차원적인 접근 방법

자동 도로수리 자동차로 수리된 도로 표면이 가장 좋은 경우를 찾기 위하여, Fig2에서 보여진 바와 같이 혼합물의 축적물이 대칭이라는 가정하에 2차원적인 접근 방법이 시도되었다. 2차원적인 접근 방법의 근본은 상자각 모양으로 잘려진 도로의 구멍을 매우기 위해서는 manipulator를 지그재그로 움직여야 한다는 아이디어에서 시작되었다(Fig6). Manipulator를 이런식으로 움직이기로 결정한 것은 계산 방법이 간단하여 적당한 궤적을 얻기 위한 계산시간이 많이 줄어들 수 있기 때문이다. 또한 이렇게 함으로써 한 평면에서의 궤적(trajecory)들이 서로 겹치지 않는 데 일단 궤적이 겹치면 겹친 부분에 볼록 튀어난 부분이 형성되는 데 이런 것은 한번 생기면 없애기가 매우 힘들게 된다. 결과적으로 2차원 접근이 선호되었고 이것은 Fig6의 전단면 A-A의 표면을 가능한 한 평평하게 만드는 manipulator의 궤적을 찾는 노력으로 귀결되었다.

축적물의 모양은 manipulator의 움직임에 관계된 3가지 요소에 영향을 받는데 그것은 속도와 간격(spacing)과 이동(shifting)등이다. Manipulator속도는 혼합물의 유동속도와 함께 혼합물의 축적모양에 영향을 미친다. 이 논문에서는 manipulator의 속도를 고정시키고 manipulator의 간격과 이동을 조정함으로써 평평한 표면을 만드려는 노력이 시도되었다. 간격이란 같은 층에서 mani-

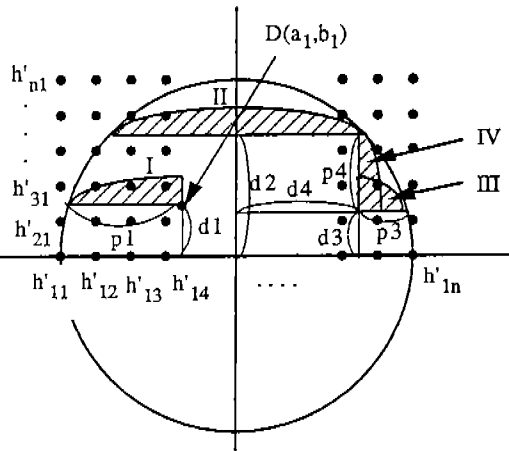


Fig.5 Accumulation on the Point at Each Sector from the Normalized Data

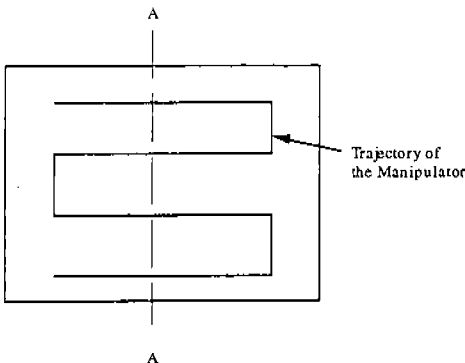


Fig.6 Top View of the Trajectory of the Manipulator

pulator 궤적의 이동을 말하며 이동이란 서로 다른 층에서 manipulator 궤적의 이동량을 말한다(Fig. 7). 간격과 이동량을 조절함으로써 표준편차가 가장 작은 표면을 내는 것이 이 절의 주목적이다.

예로써, 식(1)의 h_{ij} 가 Fig.8처럼 주어진 경우를 주어진 방법으로 궤적을 구하려는 노력이 시도되었다. 우선 혼합물을 분사하여 2층을 만듦으로써 pothole을 수리하려는 경우에 대하여 연구되었다. 이론적으로는 각층의 간격을 작게하면 할수록 표면이 평평해 지지만 이것이 실제로 적용하는 데는 한계가 있다. 간격이 너무 작아지면 같은 층에서 처음의 축적물과 2, 3, 4...번 이동한 후의 축적물이 겹치게 되어 축적물의 높이가 한 쪽은 너무 높아지고 다른쪽은 너무 낮아지기 때문이다. 그러므로 간격은 manipulator가 정지된

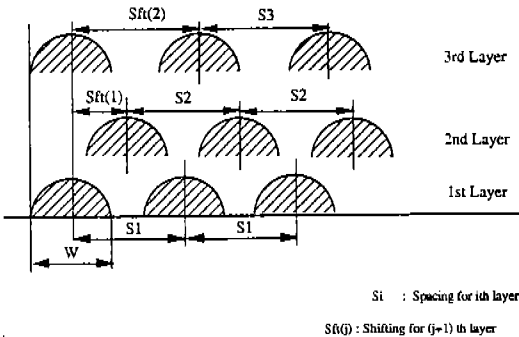


Fig.7 Spacing and Shifting for two Dimensional Patching

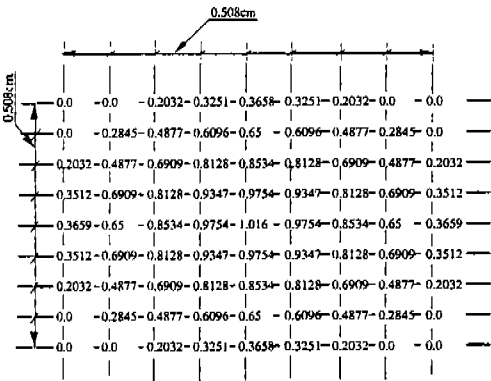


Fig.8 The Height and Mesh Size of the Normalized Accumulation Data

상태에서 얻어진 혼합물 축적의 반경보다 크다는 조건 하에 궤적이 구하여졌다. 2, 3, 4층으로 구멍수리를 할때 각각의 경우 가장 작은 표준편차를 갖는 간격과 이동량이 표 1에 주어졌는데, 예로써 3층의 경우 간격과 이동량을 구하는 방법이 다음과 같이 주어졌다.

Table 1 Spacing and Shifting for the Smoothest Surface of 2, 3, and 4 Layer Patching

		2Layer Patching	3Layer Patching	4Layer Patching
Layer 1 (cm)	Spacing	3.048	3.048	3.048
	shifting			
Layer 2 (cm)	Spacing	3.048	3.048	3.048
	shifting	2.032	0.508	0.508
Layer 3 (cm)	Spacing		3.048	3.048
	shifting		2.54	2.032
Layer 4 (cm)	Spacing			3.048
	shifting			1.016
Average Height (cm)		13.137	13.137	26.269
Standard Deviation		0.1356	0.1356	0.1356

- 1, 2, 3층의 간격과 이동량을 최소치(간격 : 축적물의 반경, 이동량 : 0)로 잡는다.
- 이때 3층의 표준편차 값을 계산한이후 저장해 둔다.
- 2층의 이동을 정해진 양만큼 증가시킨다.
- 3층의 이동과 2층과 3층의 간격을 최소값에서 최대값까지 증가시켜 가면서 각 경우의 3층의 표준 편차를 저장값과 비교한다.
- 새로 계산한 값이 저장값보다 작은 경우 그값을 저장값으로 대체하고 그때의 1, 2, 3층의 간격과 이동량을 기억한다.
- 2층의 이동량이 최대가 될때까지 3번부터 되풀이한다.

이 과정의 순서도가 Fig.9에 주어져 있다. 결론적으로 각층의 간격과 이동의 모든 조합은 조사하여 그중에 가장 작은 표준 편차를 갖는 조합을

구하는 것이 목적이다. 이 계산은 시간을 무척 많이 소모하므로(4층의 경우 486컴퓨터로 72시간 정도 소요 됨), 실제 이 방법으로 궤적을 구할 경우마다 적합한 간격과 이동을 미리 구한 후 표로 만들어 저장하고 필요할 때마다 꺼내 쓰는 방법이 바람직하다. 이와 같은 방법으로 manipulator가 Vmm/sec로 움직일 때의 축적량이 Fig.8로 주어졌을 때 2, 3, 4층으로 도로를 수리할 경우 가장 평평한 표면을 만드는 간격과 이동량이 표1에 주어져 있다. 각각의 경우 간격은 3.048cm로 똑 같지만 이동량은 다르다. 즉 2층으로 수리할 때 얻어진 간격과 이동량은 3층으로 수리를 할 경우에 2번째 층의 간격과 이동량과는 무관하다는 것이다. 이 사실을 확인하기 위해 이동량의 최소값을 반경 대신 반경의 반으로 제한하고 가장 좋은 표면을 만드는 경우 간격과 이동량을 구하여 본 결과 2, 3, 4층으로 pothole을 수리하기 위해 결정된 간격과 이동량은 서로 상관관계가 없음이 밝혀졌다. 결국 층수가 다르게 pothole을 수리할 경우, 각각의 경우마다 새로운 간격과 이동량을

구해야 한다는 결론에 이르게 된다. 이미 언급된 바와 같이 이 값들은 look-up표에 저장되어 실제 pothole수리시 이용될 수 있다.

이 절에서는 가장 좋은 표면을 얻는 간격과 이동량이 구하여졌다. 여기서 주시할 것은 간격과 이동량은 조절할 수 있지만 높이는 조절할 수 없다는 점이다. 다행히 절단기를 이용 pothole을 상자과 모양으로 잘라 낼 때 그 모양과 깊이를 조절할 수 있으므로 각 층수에 맞게 깊이를 조정함으로써 이를 해결할 수 있다.

5. pothole수리 이후의 표면 예측

이 전 절에서 얻어진 간격과 이동량을 이용하여 pothole수리 하였을 때 그 표면이 어떻게 나올 것인가를 컴퓨터 simulation으로 예측하였다. 우선 잘려진 도로의 모양이 44.704cm * 44.704cm * 13.2cm의 형태를 가졌을 때 2층으로 혼합물을 분사한 경우에 대하여 simulation이 행하여 졌다.

가장 평평한 표면을 얻기 위한 간격과 이동량은 첫번째 두번째 층에서 간격이 3.048cm이고 1번째 층에 대한 2번째층의 이동량이 2.032cm 일 때마다. 이를 기준으로 지그재그 모양의 manipulator의 궤적을 구해 보면 Fig.10에 보여진 바와 같다. 중앙에 실선으로 그려진 궤적이 표1에서 주어진 간격과 이동량을 이용한 도로수리 방법이다. 이로 인한 결과가 Fig.11에 주어져 있다. 단 모퉁이를 돌때는 서로 겹침에 의한 돌출을 방지하기 위해 manipulator의 속도를 직선부에서의 속도보다 5배 빨리 하였다. manipulator를 통해 나오는 혼합물의 양이 별로 많지 않아 Fig.8과 같은 혼합물의 축적을 얻기 위해서는 manipulator가 매우 천천히 움직여야 한다는 사실을 고려하면, 모퉁이를 돌 때 manipulator가 5배 빨라 진다는 사실은 받아들여질 수 있는 가정이다. 5배로 한것은 그렇게 하였을 때 90도로 꺾어져 움직임으로써 겹친 부분의 높이가 직선으로 움직인 부분에서의 높이와 비슷해지도록 정해진 속도이다. Fig.11에서 보면, 중앙부분은 예상대로 평평하게 수리되었으나 수리된 부분과 도로 사이에 빈틈이 보인다. 이것은 우선 혼합물이 벽에 부딪치면 반사되어 그 축적

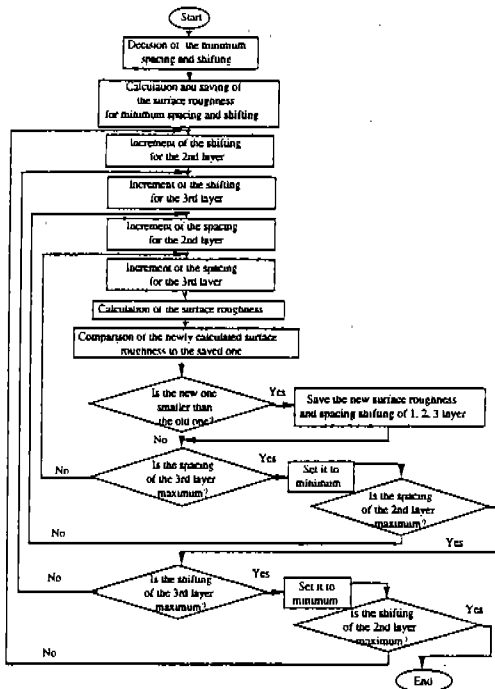


Fig.9 Flow Chart to find Best Trajectory for 3 Layer Patching

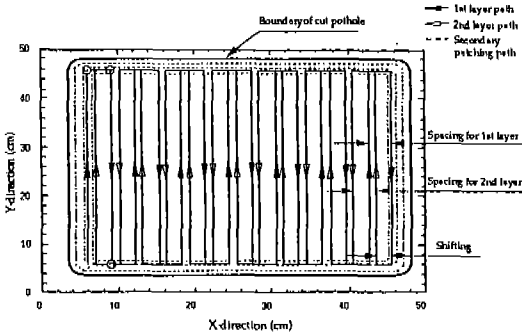


Fig.10 Trajectory of the Manipulator for 2 Layer Patching

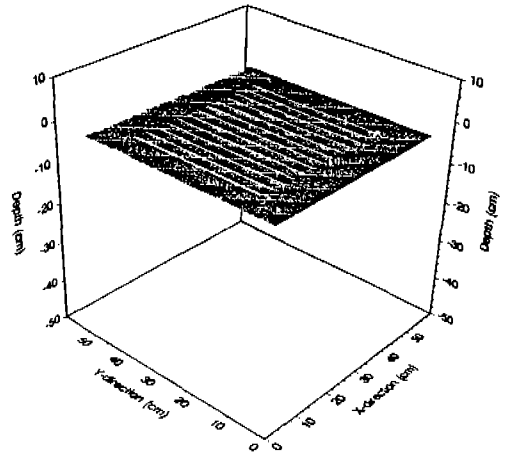


Fig.13 Synthesized Surface after the Ideal Patching of the Gap for 2 Layer Patching

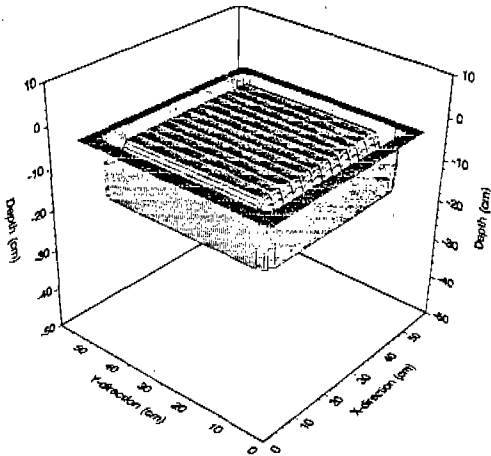


Fig.11 Synthesized Surface after the Main Patching of 2 Layer Patching

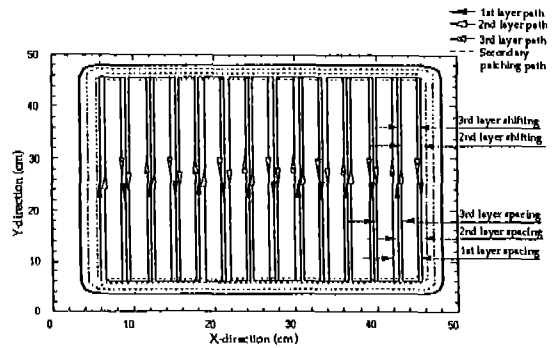


Fig.14 Trajectory of the Manipulator for 3 Layer Patching

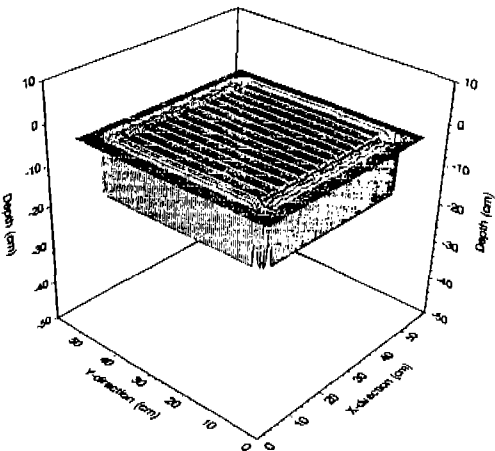


Fig.12 Synthesized Surface after the Main and the Secondary Patching of 2 Layer Patching

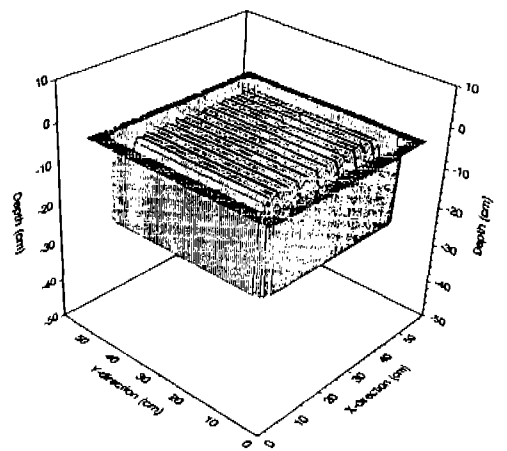


Fig.15 Synthesized Surface after the Main and the Secondary Patching of 3 Layer Patching

상태를 예측할 수 없고 둘째로 수리된 부분에 비해 그 틈새가 작기 때문에 무시할 수 있어서 우선은 혼합물의 축적이 벽에는 닿지않는 상태로 simulation이 행하여 졌기 때문이다. 이 틈새는 나중에 혼합물이 나오는 크기가 작은 구멍의 출구로 바꾸어 메꾸거나, 전통적인 부드러운 혼합물로 메꾸으로써 해결될 수 있는데 작은 구멍을 가진 출구를 통해 혼합물이 나올 때의 manipulator의 궤적은 Fig.10에서 점선으로 표시되었다. 이렇게 해서 얻어진 마지막 결과가 Fig.12에 주어져 있는데 아직도 깊고 좁은 틈새가 존재한다. Simulation에서는 이러한 틈새가 존재하지만 실제의 경우 이 틈새는 존재하기 어려운 데 그 이유는 다음과 같다. 우선은 이론적으로는 좁고 깊은 틈새 옆에 좁은 축적이 가능하지만 실제의 경우 혼합물의 축적물이 무너져 내려 그 틈새를 메우게 된다. 게다가 산발적으로 흩어져 나가는 혼합물의 파편들이 흩어져 나가다가 벽에 맞고 돌아옴으로써 그 틈새를 메우게 된다. 틈새를 메우기 위해 혼합물이 나오는 구멍을 작은 것으로 바꾸는 방법 말고 다른 방법으로 전통적인 부드러운 혼합물로 틈새를 메우는 것이다. 이 경우에는 수리된 pothole과 도로사이에 아무 틈새도 남지 않게 된다. 이렇게 그 틈새가 완벽하게 메워진다는 가정하에 이상적으로 수리된 pothole이 Fig.13에 보여졌다. 이 경우 가운데 남아있는 수리 흔적의 크기는 가로, 세로, 깊이가 2.032cm * 34.44 cm * 0.487cm로 지나가는 자동차에 지장을 주지 않을 정도로 작다.

이제까지 2층으로 도로수리 방법이 제시 되었는데 3층 방법으로 도로를 수리할 때의 manipulator의 궤적이 Fig.14에 주어져 있다. 이 때 수리되기 위해 절단된 pothole의 크기는 가로, 세로, 깊이가 44.704cm * 44.704cm * 19.7cm로 가정되었고 전과 같이 실선으로 표시된 궤적은 원래의 크기의 구멍을 통해 분사된 혼합물을 위한 것이고 점선으로 표시된 모양은 틈새를 메우기 위해 적은 구멍을 통해 분사된 혼합물을 위한 궤적을 나타낸다. 그때의 결과가 다시 Fig.15, 16에 보여졌는데 수리의 흔적으로 남은 자국의 크기가 가로, 세로, 깊이가 3.048cm * 34.544cm * 0.4cm로 무시할 수

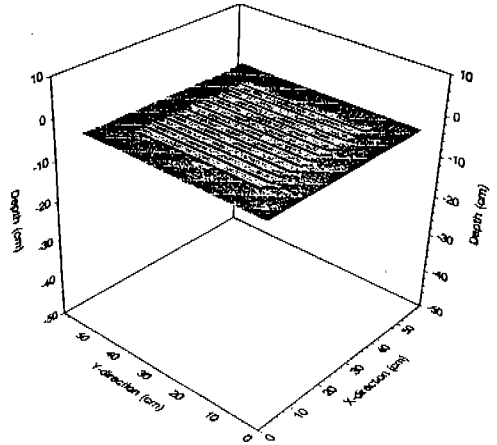


Fig.16 Synthesized Surface after the Ideal Patching of the Gap for 3 Layer Patching

있을 정도로 작다. Fig.13와 (16)에서 볼 수 있듯이 2층이나 3층 수리방법 모두 수리된 도로로써 받아들여 질만 하다. 이 절에서는 가장 평평한 도로 표면을 위한 간격과 이동량이 결정된 이후 3절에서 주어진 방법을 이용하여 도로를 수리한 이후의 마지막 결과가 주어져 있다. 원도로와 수리된 도로 사이에 생기는 틈새는 작은 구멍을 통해 분사되는 혼합물이나 전통적인 방법으로 메워졌는데 두 경우의 결과가 다 simulation으로 보여졌다.

6. 결 론

- 1) Pothole수리 결과로 어떤 표면이 생길지에 대한 예측을 위해 본 연구가 수행되었다.
- 2) 이 목적을 위해 표면의 마지막 상태를 보여 주기 위해 새로운 프로그램이 개발되었다.
- 3) 2, 3, 4층으로 도로수리 경우에 대하여 마지막 표면을 평평하게 만들기 위한 각 층에서의 간격과 이동량이 결정되었다.
- 4) 주어진 간격과 이동량으로 지그 재그로 움직이는 manipulator의 궤적이 결정 되었다.
- 5) 그 궤적을 따라 움직이며 혼합물을 분사한 manipulator에 의해 수리된 도로의 마지막 형상을 컴퓨터 simulation으로 보여 줌으로써

결정된 간격과 이동량을 이용한 manipulator의
궤적의 타당성이 증명되었다.

참 고 문 헌

1. Johnson, R. N., Blaha, J. R., "Fabrication and Testing of Maintenance Equipment used for Pavement Surface Repairs" SHRP Project H-107, 1990.
2. Faux, I. D., Pratt, M. J., Computational Geometry for Design and Manufacture, p.22, John Wiley & Sons Inc., 1979.