

# DTW 알고리즘을 이용한 토질 분류 알고리즘 개발

## Development of soil classification algorithm using DTW algorithm

\*배장호<sup>1</sup>, #홍대희<sup>1</sup>, 김기영<sup>1</sup>, 이창섭<sup>1</sup>

\*J. H. Bae<sup>1</sup>, #D. H. Hong(dhhong@korea.ac.kr)<sup>1</sup>, K. Y. Kim<sup>1</sup>, C. S. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과

Key words : automated excavator, DTW algorithm, soil classification

### 1. 서론

오늘날 굴삭기는 기계 자체가 갖는 기구학적 유연성과 유압 액추에이터를 이용한 고출력에 의해 기존의 건설 현장은 물론 제조업, 농업, 임업 나아가 해저 영역까지 다양한 작업을 수행하고 있다. 하지만 이러한 작업을 하는 동안 운전자는 위험한 작업 환경에 노출되며 단순하고 반복적인 작업을 수행하게 된다. 또한 운전자가 굴삭기를 사용하여 수평 굴삭이나 수직 굴삭, 또는 일정한 경사각을 갖는 굴삭을 행하는 데는 작업장치들을 동시에 조작해야 하므로 10 년에서 15 년 정도의 고도의 숙련이 필요하며, 숙련된 작업자라 할지라도 장시간 운전 시 상당한 피로를 느끼게 된다. 따라서 작업의 정도 및 작업 효율이 운전자의 능력에 좌우된다. 이에 따라, 최근 국내외에서는 작업 효율을 증대시키고 일관된 작업 품질을 제공하며 작업 환경의 안정성 향상을 위해 굴삭기의 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

굴삭기 작업에 있어서 작업자가 가장 먼저 하는 작업은 굴삭 지역의 토질 종류를 확인하는 일이다. 그 이유는 굴삭 작업의 최종 경로를 생성할 때 중요한 요소는 토질의 특성, 굴삭기의 구조, 반력 한계 그리고 버킷의 부피 등이 있기 때문이다. 여기서 토질의 특성은 굴삭기가 받는 반력과 가장 관계가 깊은 요소이다. 물론 작업자가 굴삭 작업을 할 때는 토질의 종류를 의식하지 않고 작업 할 때 느껴지는 손의 감각으로 굴삭 경로를 생성하지만, 무인 굴삭기는 그러한 작업이 힘들기 때문에 굴삭 작업에 앞서 토질의 종류를 확인하는 일이 필요하다.<sup>1</sup>

따라서 이 논문에서는 작업자가 굴삭 작업 전에 토질의 종류를 확인하는 방법과 비슷한 방법으로 일정 경로로 굴삭 작업을 할 때 버킷 끝에 전달되는 반력 데이터를 사용하여 흙의 특성을 얻어 그 데이터를 DTW 알고리즘에 적용함으로써 토질을 분류하는 알고리즘을 개발하였다.

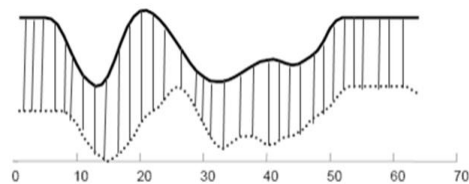
### 2. DTW algorithm 기반 토질 분류

DTW 알고리즘은 음성인식이나 문자인식에 많이 사용된다. DTW 알고리즘을 이용한 음성인식은 미지발음과 기준 단어 사이에서의 자연 시간 변화(natural timing variation)를 허용함으로써 미지발음과 기준 단어 사이의 비선형 패턴 매칭을 가능토록 한다.<sup>2</sup> DTW 알고리즘은 시간열 데이터의 패턴을 비교할 때 주로 사용한다. 시간열 데이터는 전반적인 패턴은 비슷하게 나오지만 그 패턴이 시간 축으로 일대일 대응하지는 않는다. 즉, 두 개의 같은 시간열 데이터를 비교해 보면 두 데이터의 길이가 다를 수도 있고 시간 축에 대해 한 데이터가 앞서거나 뒤쳐질 수 있다. 따라서 이러한 시간열 데이터를 단순한 거리 방법으로 비교한다면 올바른 패턴 매칭이 되었다고 할 수 없다. Fig. 1의 (a)를 보면 위에서 설명한 내용을 이해할 수 있다. 따라서 이러한 시간열 데이터의 패턴 매칭에는 DTW 알고리즘을 적용할 수 있다. Fig. 1의 (b)는 두 시간열 데이터를 DTW 알고리즘을 이용하여 비교한 것이다. 그림을 보면 알 수 있듯이, 같은 모양의 데이터끼리 비교되고 있는 것을 볼 수 있다. 각 특징이 있는 부분끼리 비교가 되어 좀 더 현실적이고 적절한 매칭율을 결정할 수 있다.

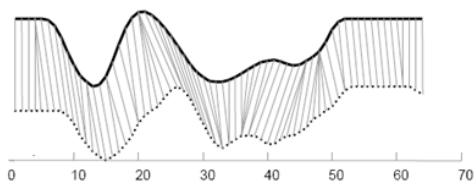
무인 굴삭기가 작업 현장에 투입 되었을 때 토질에 대해 얻을 수 있는 데이터는 기본 굴삭 경로로 굴삭 하였을 때 F/T sensor 를 통한 반력 데이터이다. 이 때 얻어지는 반력 데이터는 시간에 따른 force 값으로 얻어지기 때문에 시간열 데이터로 간주할 수 있다. 따라서 이 논문에서는 이 데이터에 DTW 알고리즘을 적용하여 5 가지 종류의 토질을 분류하였다.

### 3. 실험환경

실험에 사용된 유압 매니퓰레이터는 Fig. 2 와 같이 붐, 암, 버킷 총 3 가지 기본 동작이 가능하도록 시스템을 구축하였고 스윙은 본 연구에서 필요한 동작이 아니므로 제작에서 고려하지 않았다. 또한 버킷 끝의 반력을 측정하기 위해 6축 Force/Torque sensor 를 버킷과 암 사이에 부착하였고 각 실린더의 길이를 측정하기 위해 potentiometer 를 설치하였다.



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Poor similarity score.

(b) More intuitive similarity measure.



Fig. 2 Hydraulic manipulator equipped with F/T sensor and potentiometer.

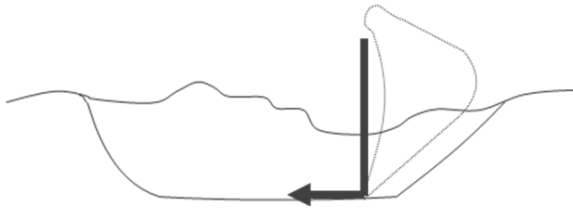


Fig. 3 Basic excavation path for soil classification

유압 매니플레이터의 위치 제어를 위해 전자식 유량 제어 밸브를 사용하였고 기본 굴삭 경로를 일정하게 주기 위해서 PI 제어를 사용하여 위치 제어를 하였다. Fig. 2는 실험에 사용한 기본 굴삭 경로이다.

### 3 실험 및 결과

실험에 총 다섯 가지 종류의 토질이 사용되었다. 다섯 가지 토질은 자갈, 모래, 세립분을 함유한 모래, 수분을 포함한 실트 및 점토와 수분을 포함하지 않은 실트 및 점토이다. 각 토질에 대해 Fig. 3 과 같은 기본 경로로 굴삭 작업을 하여 반력 데이터를 얻었다.

Fig. 4 는 각 토질 당 50 번의 실험을 통해 얻은 Reference 데이터이다. 반력 데이터를 보면 각 토질의 성질이 드러남을 알 수 있다. 자갈의 경우 알갱이가 커서 버킷이 경로를 따라 움직일 때 알갱이들의 반발력이 커서 반력이 순간순간 끊어지는 현상을 볼 수 있다. 하지만 모래의 경우 알갱이들이 쉽게 부서지기 때문에 부드러운 곡선 모양의 반력이 나오게 된다. 입자가 매우 고운 실트 및 점토의 경우, 수분이 포함되지 않으면 큰 힘 필요 없이 일정한 힘으로 굴삭 되는 것을 알 수 있고, 수분이 포함되면 입자끼리 점도가 커져서 버킷이 움직일 때 덩어리 덩어리로 이동하게 되어 다섯 번째 그래프와 같이 큰 굴곡이 생기는 것을 알 수 있다. 또한 세립분을 함유한 모래의 경우 순수한 모래와 비슷한 그래프를 가지지만 입자의 크기가 다른 세립분을 포함하고 있기 때문에 순간순간 그래프가 끊어지는 현상이 생기게 된다.

이처럼 버킷 끝에 전달되는 반력 데이터가 토질의 특성을 어느 정도 반영한다는 것을 알 수 있다. Fig. 5 는 50 번의 실험 중 임의의 데이터이다. 이 데이터를 test 데이터로 정하였고, 각 토질의 반력 데이터를 DTW 알고리즘을 이용하여 다섯 가지 Reference 데이터와 비교해 보았다. 실험 결과 test 데이터 5 가지 종류의 토질이 모두 분류 되었다.

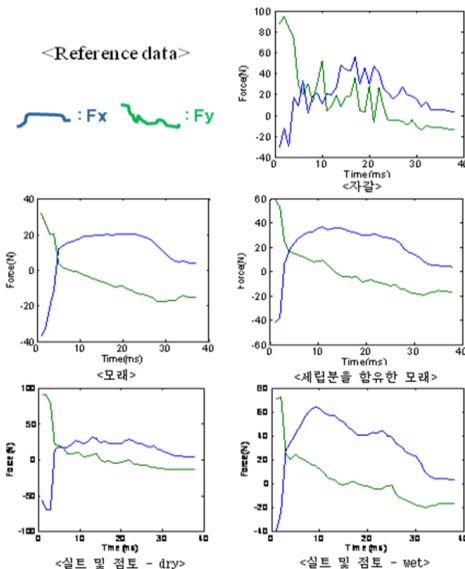


Fig. 4 Reference templates of reacted force according to type of soil

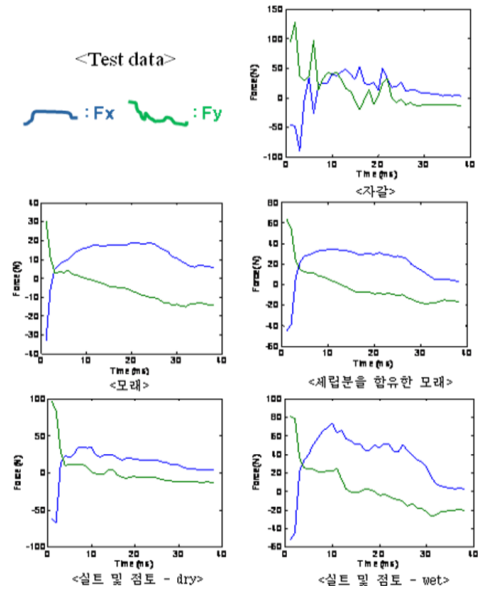


Fig. 5 Test templates of reacted force according to type of soil

```

dist =
1.0e+004 *


|        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0513 | 0.6016 | 1.6222 | 1.4716 | 2.4859 |
| 0.6326 | 0.0084 | 0.4454 | 0.3608 | 0.7799 |
| 4.1396 | 2.4533 | 1.8795 | 2.0570 | 2.4165 |
| 1.2055 | 0.4794 | 0.5386 | 0.0639 | 1.3344 |
| 4.0765 | 1.1935 | 0.9536 | 1.9921 | 0.0871 |


test soil 1은 1로 인식 test soil 2은 2로 인식 test soil 3은 3로 인식
test soil 4은 4로 인식 test soil 5은 5로 인식 >>
    
```

Fig.6 Results of soil classification using Matlab.

Fig. 6 은 Matlab 을 이용하여 DTW 알고리즘을 적용한 결과이다. 행렬의 요소들은 test 데이터의 각 토질과 reference 데이터의 토질들의 매칭율이다. 숫자가 작을수록 큰 매칭률을 나타낸다.

### 4 결론

본 논문에서는 다섯 가지 토질을 대상으로 DTW 알고리즘을 이용하여 토질을 분류하였다. 또한 반력 데이터는 각 토질의 특성을 포함하기 때문에 토질 분류를 위한 데이터로 적절함을 알았다. 무인 굴삭기의 경우 실시간 토질 분류가 필요하므로 향후에는 실시간으로 데이터를 처리하여 토질을 분류하는 연구가 필요하다. 또한 토질의 종류를 실제 공사 현장에서 자주 나타나고 분류의 의미가 있는 종류로 확장시키는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 5. 후기

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06 첨단융합 C01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 이상학, 홍대희, 박형주, 배장호, "뉴럴 네트워크 기반 토질 모델을 이용한 굴삭기의 최적 경로 생성," 한국정밀공학회:학술대회논문집, 475-476, 2008.
2. Ping Fang, ZhongHeng Wu, Fei Shen, YunJian Ge, and Bing Fang, "Improved DTW Algorithm for Online Signature Verification Based on Writing Forces," International Conference on Intelligent Computing, 631-640, 2005.