

## 간격제어를 위한 유연매체 취급장치의 설계 및 제어

임도경\*(연세대학교 대학원 기계공학과) 박성원(연세대학교 대학원 기계공학과)  
양현석 박노철(연세대학교 기계공학과) 윤준현(효성 노틸러스)

### Design and control of a flexible media handling device for inter-sheet spacing control

D. K. Yim (Mechanical Eng. Dept., Yonsei Univ.), S. W. Park (Mechanical Eng. Dept., Yonsei Univ.)  
H. S. Yang, N. C. Park (Mechanical Eng. Dept., Yonsei Univ.), J. H. Yoon (Nautilus Hyosung)

#### ABSTRACT

This paper presents a method for inter-sheet spacing control in a flexible media handling device. In order to verify the performance of inter-sheet spacing control by experiment, system of section structure is introduced in the first place. In the introduced system, each section is driven by different servo motor for independent section freedom. And suitable inter-sheet spacing control algorithm that is more optimal than conventional inter-sheet spacing control algorithm is proposed. Finally experiments are performed to confirm the performance of inter-sheet spacing control. And two inter-sheet spacing control algorithms, conventional and proposed, are compared with each other.

**Key Words:** Flexible media handling device(유연매체 취급장치), Paperpath(종이 이송로), Closed-loop control(폐루프 제어), Inter-sheet spacing control(간격제어)

#### 1. 서론

최근 수년간 복사기나 팩시밀리, 프린터, ATM 등의 OA(Office Automation) 기기의 수요는 과거에 비해 비약적으로 증가하였다. 특히, 정보화 시대의 도래로 정보의 양이 크게 늘어나면서, 이들 기기에 대해 보다 높은 성능이 요구되고 있는 실정이다. 이에 [1], [2], [3], [4]등에서 이에 관련된 연구가 활발히 진행되었다. 본 논문은 OA 기기에서 사용되는 유연 매체의 피딩(feeding) 시스템의 성능향상에 관한 연구로서, 특히 유연 매체 피딩(feeding) 시스템을 더욱 빠르고 정확하게 하기 위한 것이다. 이를 위해 유연매체의 간격제어를 위한 이송 시스템을 설계, 제작한다. 그리고 제작된 시스템을 이용하여 이송 중인 유연매체 사이의 간격이 원하는 간격을 추종하도록 제어를 수행한다. 여기서 시스템은 이송되는 유연매체 사이의 간격을 제어하기 위해 보다 효율적인 섹션구조로 구성된다. 본 연구

에서는 4 개의 섹션이 사용되었는데, 각각의 섹션은 서로 다른 서보모터로 구동이 된다. 그리고 이런 섹션구조에 적합한 간격제어 알고리즘을 도입한다. 또한 향상된 제어 성능을 위하여 시스템에 폐루프 제어 원리를 도입한다. 여기서 포토센서 및 엔코더 신호를 피드백 받아 제어입력 및 이송로 내에서 매체의 위치를 추정하는 수단으로 사용한다. 또한 실험을 위해 Dspace 1103 control board 를 사용하고, 간격제어를 위한 제어부는 Matlab 의 simulink 와 연계되는 stateflow 로 구성한다. 또한 간격제어가 원활하게 구현되도록 기본 메커니즘을 설계하고, 이를 바탕으로 간격제어를 위한 시스템을 제작한 후 이에 대한 실험을 수행한다.

#### 2. 이론

##### 2.1 간격제어시스템

간격제어시스템이란 paperpath 로 이송되는 매체

의 간격이 여러 가지 외란에 의해 오차가 발생한 경우 이를 다시 요구되는 간격을 tracking 하도록 제어하는 시스템이다. 이러한 유연매체 간격제어시스템에 있어서 중요한 인자로는 먼저 인접섹션간에 매체가 전달될 때 두 섹션간의 구동속도가 동기화 되어야 한다. 이는 매체가 인접한 섹션 사이에 전달될 때 구동속도가 동기화 되지 않는다면 찢어지거나 구겨질 수 있기 때문이다. 다음으로 간격제어의 관점에서 시스템 내에서 간격제어가 수행될 수 있는 영역은 같은 섹션 내에서의 선행하는 매체가 다음 섹션으로 넘어간 순간부터 매체가 다음 섹션에 도달하기 직전까지이다. 이 순간 동안 원하는 간격조정을 위해 섹션의 속도 동기화 직전까지 간격제어가 수행된다. 다음으로 섹션간 센서를 배치하여 시스템 내에서의 속도 동기화 및 제어모드의 시점을 파악한다.

## 2.2 시스템 설계 및 제어

### 2.2.1 구동방안

Paperpath 구조에서 첫 번째로 제안되는 구조는 첫 번째 섹션에서 최종 목표지점까지 독립적으로 구동되는 nips 이외에는 다른 어떤 subsystem도 없는 구조이다. 독립적인 nips에 의해 이송로 내의 매체는 각각 독립적으로 제어될 수 있다.

#### Multiple independent rollers

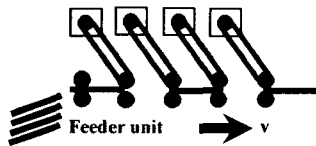


Fig. 1 Multiple independent rollers (nips)

Fig. 1에서 알 수 있듯이 paperpath는 여러 개의 독립적인 nips로 구성되어 있음을 알 수 있다. 위의 paperpath 구조에서 초기에러가 커지면 전체의 길이도 길어져야 하고, 이에 대응하여 독립적으로 구동되는 nips의 수도 증가하여야 한다. 그러나 경제적인 관점에서 독립적으로 구동되는 nips 수는 최대한으로 줄여야 한다. 이를 고려할 때 바람직한 paperpath의 구조는 paperpath의 길이는 늘리면서 요구되는 구동기의 수는 줄일 수 있는 즉, nips을 그룹화 시키는 Fig. 2와 같은 구조이다.

여기서 nips를 섹션으로 그룹화 시킨다면 더 이상 매체의 독립적인 제어는 불가능하다. 이는 매체가 이송되는 동안 같은 섹션 내의 매체들은 독립적으로 제어될 수 없기 때문이다. 하지만 섹션구조는 최소 개수의 구동기로 더 긴 길이의 paperpath를 가질 수 있으며 제어 가능한 영역을 확대할 수 있

는 장점이 있다.

#### Multiple independent sections

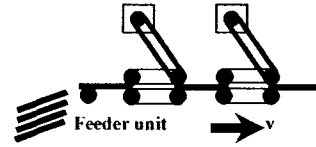


Fig. 2 Multiple independent sections

Fig. 3에서 알 수 있듯이 paperpath가 늘어남에 따라 하나의 구동기로 제어 가능한 영역이 확대된다. 이는 곧 더 큰 에러가 보정될 수 있음을 의미한다. 또한 nip 구조에서는 nip이 매체를 내보내고 난 뒤 제어와 무관하게 의미 없이 구동되는 경우가 발생하게 되지만, 섹션 구조에서는 각 섹션이 선행매체가 다음섹션으로 나간 뒤 바로 다음의 후행매체를 제어하기 위해 동작하게 되며, 따라서 구동의 효율 측면에서도 더욱 바람직함을 알 수 있다.

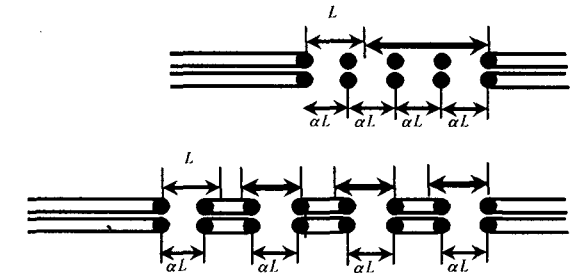


Fig. 3 Nips versus sections

### 2.2.2 설계사양

중요인자를 고려하여 하나의 섹션에 최대 3개의 매체가 동시에 이송되는 것을 가정하여, 구성된 시스템설계는 다음 Fig. 4와 같다.

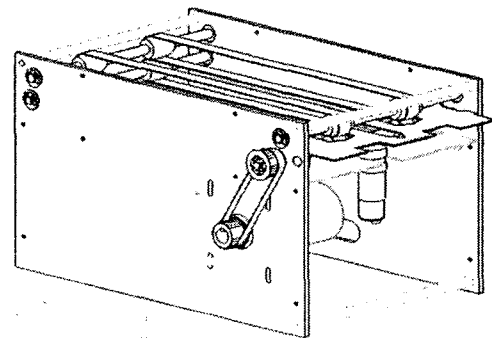


Fig. 4 Designed section module

Fig. 4에서 알 수 있듯이 모터의 풀리와 구동축의

폴리는 타이밍 벨트로 연결되어 있다. 따라서 모터가 구동되면 그 구동력은 타이밍 벨트에 의해 구동축으로 전달된다. 구동 축은 상단과 하단으로 나뉘어 있으며, 하단 폴리의 구동력은 접촉한 두 개의 고무벨트 마찰력에 의해 상단 폴리로 전달된다. 그리고 매체는 서로 맞물려 있는 벨트 사이로 이송된다.

다음은 간격제어 실험을 위한 실험구성도이다.

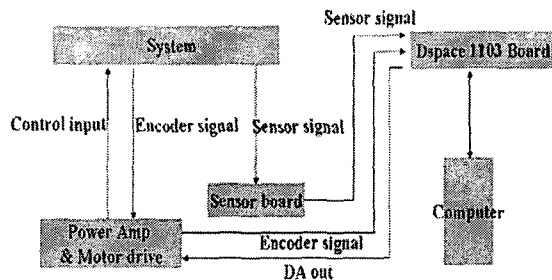


Fig. 5 Experimental set up for inter-sheet spacing control

Fig. 5 에서 알 수 있듯이 간격제어를 위해 구성된 위의 이송시스템에서 엔코더와 센서 신호가 각각의 보드를 거쳐 DSP 로 피드백 된다. 피드백 된 정보는 제어알고리즘을 통해 처리되며, 생성된 제어입력은 모터 드라이버를 거쳐 섹션의 서보모터를 구동하게 된다.

## 2.3 간격제어 알고리즘

### 2.3.1 기존 간격제어 알고리즘

먼저 [1]에서 제안한 간격제어 알고리즘에 대해 알아보면, 섹션구조의 paperpath 시스템에 대해 다음의 두 가지의 간격제어 알고리즘이 있다. 먼저 매체가 기준궤적을 추종하도록 보장해야 한다. 각 섹션의 매체는 이송 프로세스의 경우에 따라 이송순서가 최초와 최종 사이에서 임의로 정해지게 되는데, 이 때 최초 매체 및 최종 섹션의 매체의 경우 인접매체간의 간격이 정의 되지 않기 때문에 기준궤적을 생성하고 이를 추종하도록 하는 것이 필요하다. 이를 위해 사용되는 방법이 ARTC (Absolute Reference Tracking Control) 이다. 다음으로 매체의 이송 프로세스상의 순서가 최초 및 최종에 해당되지 않을 때에는 선행 매체와의 인접 간격이 정의되기 때문에 이를 제어함으로써 등 간격 제어가 가능하다. 이 간격을 ISS(Inter-Sheet Space)로 정의하고, 이것이 요구되는 매체간격을 tracking 하도록 보장하는 것이 두 번째 목적이다. 위의 두 가지 목적을 이행하기 위해 각 섹션은 네 개의 제어모드를 가진다. 여기서 두 개의 제어모드는 상기의 두 가지의 목적들과 직접적인 관련이 있고, 나머지 두 개의 제어모드는 종이 인접한 섹션에 맞물려 전달될

때와 섹션 내에 매체가 없는 경우에 대해 연관되어 있다. 이러한 간격제어를 위한 제어 알고리즘을 ISSC(Inter-Sheet Spacing Control)이라 부른다.

### 2.3.2 새로운 간격제어 알고리즘

본 연구에서는 이러한 ISSC algorithm 을 응용하여 보다 optimal 한 알고리즘을 구현한다. 먼저 기존 알고리즘과의 차이점을 언급하면 기존 알고리즘에서는 무엇보다 최종목표지점과 매체와의 동기화를 목적으로 한다, 그래서 첫 번째 매체도 일정한 속도로 구동되어서는 안되고, 기준궤적을 tracking 해야 한다. 또한 ISSC control 시에 서로 인접한 두 매체 사이의 간격을 제어 대상으로 삼는다. 이로서 시스템에 피딩(feeding)되는 첫 번째 매체는 최종 목표지점과의 동기화를 위해 reference tracking control mode 로 동작되고, 그 이후의 매체에 대해서는 서로 인접한 매체 사이의 간격을 원하는 간격으로 tracking 하기 위해 제어가 수행 된다. 여기서 두 번째 매체는 첫 번째 매체와의 간격을 기준 간격으로 유지하기 위해 제어되고, 세 번째 매체는 두 번째 매체와의 간격을 기준간격으로 유지하기 위해 제어된다. 여기서 세 번째 매체는 완벽하게 기준간격을 tracking 하지 않은 두 번째 매체를 대상으로 제어가 수행되기 때문에 제어 효율의 관점에서 떨어진다고 볼 수 있다. 이러한 문제를 해결 하기 위해 첫 번째 매체 이후의 모든 매체에 대하여 첫 번째 매체와의 간격을 제어대상으로 삼아 간격제어를 수행한다. 이 알고리즘을 통하여 보다 효율적인 제어가 수행된다.

다음의 Fig. 6 을 통하여 이에 대해 좀더 자세히 알아보면, Fig. 6 (a)에서 두 번째 매체는 첫 번째 매체와 요구되는 기준 간격보다 선행되어 있다. 이에 요구되는 기준 간격을 맞추기 위하여 매체의 진행 방향의 반대 방향으로 제어 입력을 받게 된다. 그리고 세 번째 매체는 두 번째 매체와 요구되는 기준 간격을 맞추기 위하여 매체의 진행 방향으로 제어입력을 받게 된다. 이와 같은 알고리즘에서는 첫 번째와 두 번째 매체의 간격제어가 수행된 후 이를 반영하여 두 번째와 세 번째 매체의 간격제어가 수행되게 된다. (그림에서 화살표의 길이는 제어 입력의 크기를 반영한다.) 반면 Fig. 6 (b)에서 알 수 있듯이 3 장의 매체가 Fig. 6(a)와 같은 위치에 놓여 있더라도 기준간격을 첫 번째 매체와의 간격으로 정의하면 두 번째 매체의 상태와 관련 없이 세 번째 매체의 경우 제어입력의 크기가 거의 존재하지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 알고리즘 상에서 paperpath 로 이송중인 매체의 간격제어가 보다 빨리 수행됨을 알 수 있다.

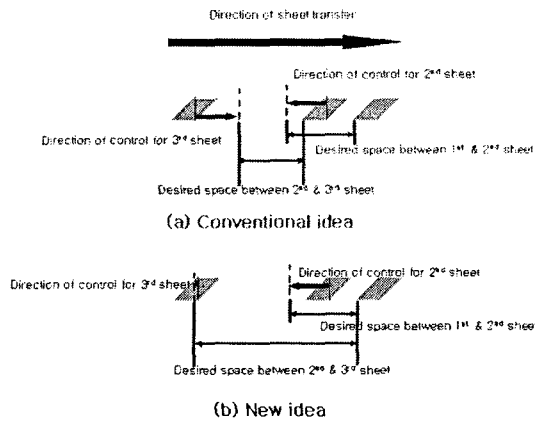


Fig. 6 Conventional idea versus new idea for inter-sheet spacing control

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 파라미터

실험에 앞선 시뮬레이션을 위한 파라미터는 다음과 같다. 먼저 시스템에 공급되는 3 장의 매체(매체 길이:  $0.2\text{ m}$ )에 대해 3 장의 매체에 의해 생성된 2 개의 간격을 desired spacing(=  $0.7\text{ m}$ )로 tracking 하는 간격제어를 시뮬레이션 한다. 여기서 각각의 섹션은 nominal velocity 가  $1.3(\text{m/s})$ 이다. 그리고 ISSC 알고리즘에 따르면 각각의 섹션을 구동하게 되는 서보모터에는 속도 및 가속도의 제한이 존재하는데, 여기서 첫 번째 섹션부터 마지막 섹션을 구동하는 모터의 속도 및 가속도한계(  $s_{\max}(\text{m/s})$ ,  $s_{\min}(\text{m/s})$ ,  $q_{\max}(\text{m/s}^2)$ ,  $q_{\min}(\text{m/s}^2)$ )를  $[1.9, 0.7, 10, -10]$ ,  $[1.7, 0.9, 5, -5]$ ,  $[1.5, 1.1, 4, -4]$ ,  $[1.3, 1.3, 2, -2]$  이라 정한다.

다음으로 첫 번째 섹션에서 두 번째 섹션까지의 거리를  $0.4\text{ m}$ , 두 번째 섹션에서 세 번째 섹션까지의 거리를  $1.2\text{ m}$ , 세 번째 섹션에서 마지막 네 번째 섹션까지의 거리를  $1.9\text{ m}$  라 정한다.

#### 3.2 시뮬레이션 결과

위의 3.1 에서 정의된 시스템에 대해 앞서 2.3 에서 설명한 두 가지 간격제어 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 여기서 매체의 초기에러는 두 번째 매체의 경우  $0.35\text{ m}$ , 세 번째 매체의 경우  $-0.3\text{ m}$  이다.

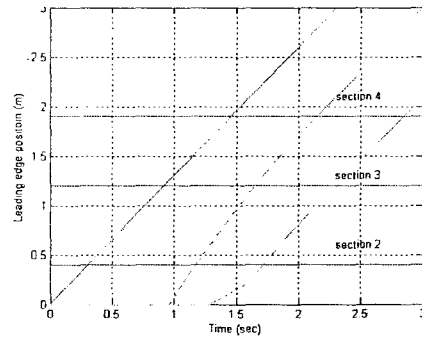


Fig. 7 Sheet trajectory using conventional algorithm

Fig. 7 를 통해 conventional algorithm 을 사용하였을 시 첫 번째 매체는 nominal velocity 로 구동이 되고, 나머지 초기 간격에러를 가진 매체들이 섹션 사이를 지남에 따라 초기에러가 줄어들어가는 것을 볼 수 있다. 여기서 그래프는 각각의 매체의 선단(先端)을 나타낸다.

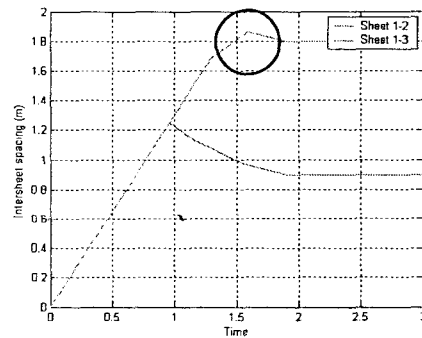


Fig. 8 Inter-sheet space using conventional algorithm

Fig. 8 은 conventional algorithm 을 사용했을 시 매체 사이의 간격이 어떻게 변화하는지 보다 상세히 보여준다. 먼저 두 번째 매체가 가진 간격에러는 paperpath 를 따라 이송되는 동안 모두 보상이 됨을 알 수 있다. 이에 세 번째 매체는 두 번째 매체와의 요구되는 간격을 tracking 하기 위해 이송 중 두 번째 매체와  $0.9\text{ m}$  의 거리를 유지하기 위해 제어가 수행됨을 알 수 있다. 이는 첫 번째 매체와의 절대적인 간격  $1.8\text{ m}$  를 초과한다는 것을 알 수 있다. 그리고 두 번째 매체가 완전히 tracking 된 시점에 세 장의 매체에 대한 제어가 완전히 수행됨을 알 수 있다.

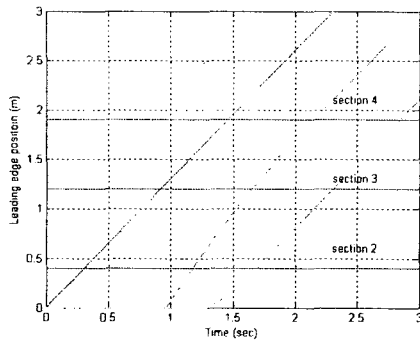


Fig. 9 Sheet trajectory using proposed algorithm

Fig. 9 를 통해 proposed algorithm 을 사용하였을 시 첫 번째 매체는 nominal velocity 로 구동이 되고, 나머지 초기 간격에러를 가진 매체들이 섹션 사이를 지나감에 따라 초기에러가 줄어들어가는 것을 볼 수 있다.

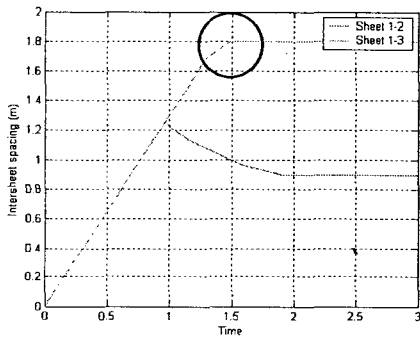


Fig. 10 Inter-sheet space using proposed algorithm

Fig. 10 는 proposed algorithm 을 사용했을 시 매체 사이의 간격이 어떻게 변화하는지 보다 상세히 보여준다. 먼저 두 번째 매체가 가진 간격에러는 conventional algorithm 일 때와 마찬가지로 두 번째 매체가 paperpath 를 따라 이동함에 따라 모두 보상이 됨을 알 수 있다.

하지만 세 번째 매체는 두 번째 매체와의 요구되는 간격과는 관계없이 첫 번째 매체와 요구되는 거리(= 1.8 m ) tracking 하는 것을 알 수 있다. 이에 보다 빨리 첫 번째 매체와 요구되는 간격을 tracking 함을 알 수 있다.

### 3.3 시뮬레이션 분석

시뮬레이션을 통해 앞서 소개한 두 가지 간격제어 알고리즘에 대해 비교해 보았다. 위의 시뮬레이션에 대해서는 proposed algorithm 이 보다 optimal 한 결과를 도출하였다. 하지만 이는 특별한 경우에 해당하는 것으로, 만약 요구되는 매체 사이의 간격이

섹션의 크기 보다 작은 경우에는 앞의 결과와는 다른 양상의 결과가 도출된다.

## 4. 실험

### 4.1 실험 파라미터

앞서 설명한 새로운 간격제어 알고리즘을 바탕으로 실제 시스템에서도 간격제어가 원활하게 이루어지는지에 대해 실험을 수행한다. 여기서 실험 파라미터는 다음과 같다. 먼저 nominal velocity 는 0.419 m/s 이다. 이는 서보모터가 400rpm 으로 구동될 때의 벨트의 구동속도이다. 다음으로 각각의 섹션의 길이는 0.29 m 이고, 섹션 사이의 간격은 0.07 m 이다. 또한 실험에 사용된 매체의 길이는 0.076 m 마지막으로 제어대상으로 요구되는 매체 사이의 간격을 0.02 m 라 정했다. 그리고 시스템으로 무작위로 피딩되는 매체에 대해 어떻게 간격제어가 이루어지는지를 본다.

### 4.2 실험 결과

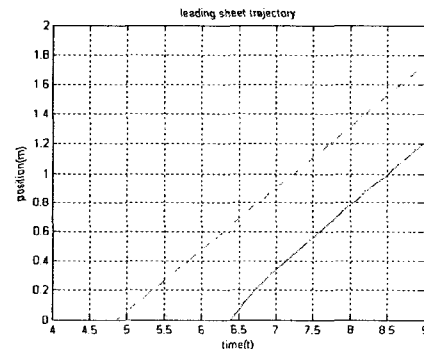


Fig. 11 Leading sheet trajectory using proposed algorithm

Fig. 11 을 통해 초기간격오차를 가진 매체들이 섹션을 지나감에 따라 그것들이 가졌던 오차들이 보정되고 있음을 알 수 있다.

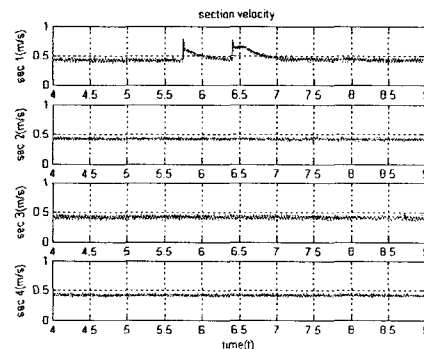


Fig. 12 section velocity using proposed algorithm

Fig. 12 는 위의 간격제어 동안 색션을 구동하는 모터들에 의한 색션의 속도를 나타내고 있다.

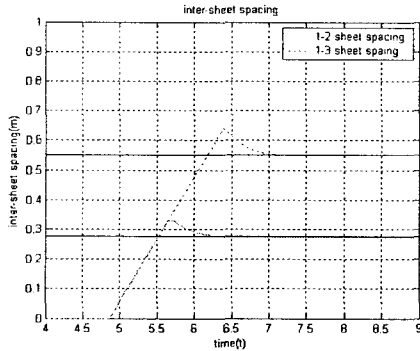


Fig. 13 Inter-sheet space using proposed algorithm

Fig. 13 는 이 때의 첫 번째와 두 번째 매체 사이의 간격과 첫 번째와 세 번째 매체 사이의 간격을 보여준다. 여기서 는 두 개의 간격 모두 한번의 제어 로 요구되는 간격을 tracking 함을 알 수 있다.

## 5. 결론

유연매체 취급장치에서의 간격제어를 위해 먼저 이를 위한 시스템을 설계, 제작하였다. 이는 매체의 간격제어를, 위한 속도 동기화 조건 및 색션 사이에서의 가제어성에 대한 분석 등을 고려하여 설계되었다. 또한 새로운 간격제어 알고리즘을 제안하였고, 앞서 제작한 시스템을 대상으로 간격제어를 적용하였다. 그 결과 실제로 매체 사이의 간격이 요구되는 간격으로 제어됨을 실험을 통해 검증하였다. 이후에 보다 정확하고 효율적인 간격제어를 위한 알고리즘 개발 및 외란 및 노이즈에 보다 강건한 제어 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 부품소재 개발사업단의 “환류식 지폐 입출금 장치 개발? (10012150) 과제를 맡은 ㈜노틸러스 효성의 위탁과제인 유연 매체의 거동 해석 및 제어”를 수행하면서 얻어진 결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Carlo Cloet ,  $\text{\textcircled{K}}$  mechatronics Approach to Copier Paperpath Design.? dissertation for the degree of Ph.D in the Graduate Division of the Univ. California at Berkeley, 2001

2. Carlo Cloet et al.,  $\text{\textcircled{K}}$ intersheet Spacing Control and Control and Controllability of a Copier Paperpath,? Proc. Of the IEEE conf. on contr. application, 1998
3. Carlo Cloet et al.,  $\text{\textcircled{K}}$  Hybrid Control Scheme for a Copier Paperpath,? proc. of the ACC, 1999
4. Carlo Cloet et al.,  $\text{\textcircled{K}}$  Design Requirements and Reference Trajectory Generation for a Copier Paperpath,? IEEE/ASME Intr. Conf. on A. I. M, 2001