

# 퍼지제어를 이용한 바이올린 연주 연습 알고리즘 개발

## Development of Violin Self-Training Algorithm using Fuzzy Logic

민병철\* · 김동한\*\* · 김윤혁\*\* · 김기열\*\*\* · 박종국\*

Byung Cheol Min\*, Donghan Kim\*\*, Yoon Hyuk Kim\*\*, Ki Yeoul Kim\*\*\* and Chongkug Park\*

\* 경희대학교 전자전파공학과

\*\* 경희대학교 기계공학과

\*\*\* 부천대학 컴퓨터제어과

### 요 약

바이올린은 아름다운 음색과 풍부한 표현력으로 현악기 가운데 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 바이올린 연주를 처음 시작하는 초보자들에게는 정확한 연주를 하기가 쉽지 않다. 이는 연주 시 활의 힘과 활을 켜는 속력 그리고 활과 현과의 접촉점 및 현을 잡는 손가락 위치의 부정성에서 기인된다. 따라서 본 논문에서는 이 점을 해결하기 위해 전문 바이올리니스트의 운궁법에 대한 데이터베이스를 사전 구축하고, 연주자가 실제 바이올린을 켤 때 얻어지는 데이터를 구축된 데이터베이스와 실시간으로 비교하고 그 결과를 퍼지 Logic을 사용한 성능평가함수로 성능평가를 한 후 Monitor상에 결과를 보이도록 하였다.

**키워드** : 퍼지 제어, 바이올린, 운궁법, 자기교육

### Abstract

A violin plays an essential role among string instruments. It has an extremely strong expressive power that can be conveyed through beautiful timbre when played correctly. However, a beginner who attempts to play the violin will be most likely to face difficulties in placing his or her fingers on a specific point of the fingerboard or in bowing the violin on a specific string. In order to resolve this difficulty, the database of a professional violinist's bowing skills were inserted beforehand. By doing so, a beginner can emulate professional's violin by comparing his playing with the constructed database that is programmed in the computer. Accordingly, the results are displayed on the monitor after being evaluated by the performance evaluation function using a fuzzy logic.

**Key Words** : Fuzzy control, Violin, Bowing, Self-training

## 1. 서 론

바이올린은 대표적인 현악기로 오랜 기간 동안 많은 연주자들에 의해 사용되어 왔다. 초보자가 바이올린을 올바르게 연주하기 위해서는 무엇보다도 올바른 운궁법(bowing)을 숙지해야 하며, 현을 누르는 활의 힘, 활을 켜는 속력 그리고 활과 현과의 정확한 접촉점 등의 요소들을 잘 인지하고 연주하여야 한다. 그러나 바이올린 연주를 처음 배우는 초보자들에게는 이러한 요소들을 고려하여 연주하기가 쉽지 않으며, 잘못된 활 켜기의 습관으로 인한 고통을 호소하기도 한다. 따라서 전문교사의 올바른 운궁법에 대한 지도가 필요하게 되며, 전문교사의 지도 없이 스스로 학습하기 위해서는 문헌과 관련서적[1][2]을 통하여 방법을 터득하여

야 한다. 그러나 문헌과 관련서적을 통한 방법은 투자된 노력과 시간에 비하여 상대적으로 전문교사의 직접적인 지도보다 효과적이지 못하다는데 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 개인용 컴퓨터에서 실행되는 바이올린 연주 연습 알고리즘을 개발하여 전문교사의 직접적인 지도 없이도 바이올린 연주를 처음 시작하는 초보자들이 올바른 운궁법을 효과적으로 학습, 연습할 수 있게 하는 방안을 제안하고자 한다.

먼저, 알고리즘에는 전문가의 운궁법에 대한 데이터베이스가 사전 구축되고, 연주자가 실제 바이올린을 켤 때 얻어지는 여러 데이터를 전문가의 데이터와 비교하여 퍼지 Logic을 사용한 성능평가함수로 성능평가를 한 후 올바른 활 켜기에 대한 학습 방법을 실시간으로 Monitor상에 결과를 보인다. 이러한 데이터를 참조하여 연주자는 보다 쉽고 효과적으로 올바른 활 켜기를 연습하고 터득할 수 있게 될 것이다.

## 2. 운궁법의 중요한 요소

활은 처음부터 아름답고 맑은 일정한 음이 나오도록 음

접수일자 : 2009년 4월 6일

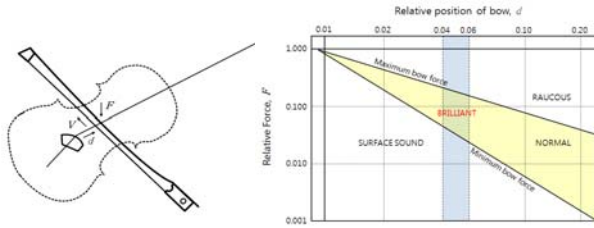
완료일자 : 2009년 6월 30일

+ 교신저자

본 연구는 2009년도 경희대학교 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

“본 논문은 본 학회 2009년도 춘계학술대회에서 선정된 우수 논문입니다.”

직여야 한다. 아름다운 음을 내려면 바르고 정확한 운궁법으로 연주해야 하는데 운궁법의 중요한 요소는 다음 그림과 같다[1][3][8].



(1)  $F$  : 활의 힘  
 $V$  : 활의 속도  
 $d$  : 활과 현과의 접촉점  
 (2) Schelleng 다이어그램

그림 1. 활 크기의 중요한 요소들.

Fig. 1. Main parameters for the bowing.

### 2.1 활의 속도

그림 1. (1)에서  $V$ 는 활의 속력이며, 수평운동속력  $V$ 는 활로 소리를 낼 때 소리의 음량과 밀접한 관련이 있으며, 음색과도 관련성을 가진다. 활의 속도조절에 따라 연주수준이 달라진다. 보통 작은 음량이 필요할 때는 활에 가하는 힘을 줄이고 활의 속력을 줄이며, 큰 음량을 필요로 할 때는 활에 가하는 힘을 증가시키고 속력을 증가시킨다.

### 2.2 활의 힘, 활과 현과의 접촉점

그림 1 (1)에서  $F$ 는 활의 힘을 나타내는데, 활을 켤 때 현에 가해지는 힘은 속력과 같이 바이올린의 음량과 음색에 영향을 미친다. 여기서, 힘이란 활자체의 무게, 활을 잡은 손과 팔의 무게를 포함하는 의미이다. 활은 일종의 지렛대로서 끝에서 가장 가볍게 느껴지고, 활 밑으로 접근함에 따라 무거워지며 활 밑에서 가장 무겁게 느껴진다. 따라서 같은 크기의 강도가 필요할 때 활 끝에서는 활 무게의 감소에 대항하기 위하여 힘은 커져야하고, 활 밑에서는 적어져야 한다. 활의 힘을 잘못 조절하면 음의 높이가 변하며 음정에 영향을 준다.

줄이 큰 진폭을 가지며 진동되도록 하는 요소는 활 속력에 대응하는 일정한 비율의 활의 힘이다. 활을 얼마나 무겁게 할 것이냐 하는 문제는 브릿지(bridge)로부터의 거리와 관계가 있다. 여기서의 거리가 바로 활과 현과의 접촉점의 위치를 말하며, 이들의 관계를 나타낸 그림이 그림1. (2)이다[4]. 그림에서와 같이 브릿지쪽에 가까워질수록 무거운 힘을 필요로 하게 되고, 브릿지 쪽에서 멀어 질수록 가벼운 힘을 필요하게 된다. 여기서 브릿지와와의 거리에 따라 최고 허용 힘(maximum bow force)과 최저 허용 힘(minimum bow force)이 존재하게 되는데, 이는 활의 힘이 너무 세면 바이올린에서 쇳소리가, 너무 낮게 되면 겹 음이 발생하는 것을 의미한다. 그림 1. (2)에서 노란색 영역은 활의 힘과 브릿지와와의 거리에 대한 안정영역이고 이를 식으로 나타내면 다음과 같다[4].

$$F_{\max} = \frac{2ZV}{d(u_s - u_d)} \quad (1)$$

$$F_{\min} = \frac{Z^2 V}{2d^2 R(u_s - u_d)} \quad (2)$$

여기에서  $u_s, u_d$ 는 stick-slip 마찰 계수를 의미하며,  $Z$ 와  $R$ 은 현의 진동저항과 바이올린 몸체로 전달되는 에너지 손실률을 의미한다. 그리고  $V$ 는 활의 속도,  $d$ 는 브릿지로부터 활과 현과의 접촉점까지의 거리를 의미한다. 위의 식 (1), (2)에서와 같이 활의 힘은  $V/d$ 에 비례하다는 것을 알 수 있다. 또한 위의 식들로부터 얻어지는 식 (3)에서는 브릿지와와의 거리가 짧아질수록 허용 힘의 범위가 좁아지는 것을 알 수 있다. 이는 다시 말해 브릿지에 가까이 연주할수록 힘을 더욱 더 일정하게 유지해야 한다는 의미이기도 하다.

$$\frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \frac{2dR}{Z} \quad (3)$$

## 3. 퍼지논리 제어기

올바른 운궁법에는 활의 속도, 활의 힘, 그리고 활과 현과의 접촉점등 여러 가지 요소들이 중요하게 작용한다. 그러나 바이올린 연주를 처음 시작하는 초보자들에게는 이러한 요소들을 고려하여 연주하기란 쉽지 않다. 더욱이 여기에 현을 잡는 손가락에 대한 요소가 더해진다면 이들의 관계는 더욱 더 복잡해 질 것이다. 따라서 여기서는 초보자가 보다 효율적이고 효과적으로 운궁법을 터득 할 수 있게 하는 퍼지 논리 제어기를 제안한다.

### 3.1 제어 대상

본 논문의 목적은 바이올린 연주자가 운궁법을 올바르게 효과적으로 학습하는 방안을 제안하는 것이다. 따라서 연주자 자신이 퍼지논리 제어기의 제어 대상이 되며, 연주자는 이 제어기를 통하여 올바른 운궁법을 학습하게 된다.

### 3.2 제어 방법

그림 2는 올바른 운궁법 학습을 위한 퍼지 논리 제어기의 블록도이다. 그림 왼쪽의  $V_{ref}, F_{ref}$ 는 제어기의 기준 입력으로 사전구축된 전문 바이올리니스트의 운궁법에 대한 데이터베이스이며,  $V_e$ 와  $\Delta V_e$ 는 연주자가 바이올린을 켤 때 측정되는 활의 속도 오차와 속력의 오차 변화량 그리고,  $F_e$ 와  $\Delta F_e$ 는 활의 힘 오차와 힘의 오차 변화량을 의미한다. 이 값들은 퍼지논리 제어기에서 전건부의 입력 변수로 사용되며, 후건부의 제어 변수로는 제어대상인 연주자에게 전달 될 제어입력이 된다. 그리고 제어기에 대한 입력변수와 출력변수는 “IF-THEN 형식”의 언어적인 규칙으로 표현되며, 이러한 규칙은 시스템을 효과적으로 수행 할 수 있는 결정적 역할을 하게 된다. 본 논문에서는 전문 바이올리니스트가 오랜 기간의 연주에서 알게 된 올바른 운궁법과 연주지식, 경험을 바탕으로 제어규칙이 구성되어 있다.

제어 규칙은 두 가지로 나뉘는데, 첫 번째는 연주자가 활을 켤 때 측정된 활의 힘과 사전 구축된 전문 바이올리니스트의 활의 힘과의 오차와 오차의 변화율에 대한 퍼지 규칙이다. 그리고 두 번째는 활의 속도 오차와 오차의 변화율에 대한 퍼지규칙이다. 제어 규칙은 각각 9개의 “IF-THEN 형식”의 퍼지규칙으로 다음과 같이 구성되어 있다.

$$R_i : \text{IF } e \text{ is } F_e^i \text{ and } \Delta e \text{ is } \Delta F_e^i, \text{ THEN } u \text{ is } C_i \quad (4)$$

$R_i$  :  $i$  ( $i=1, \dots, n$ )번째 규칙  
 $n$  : 퍼지 규칙의 총수

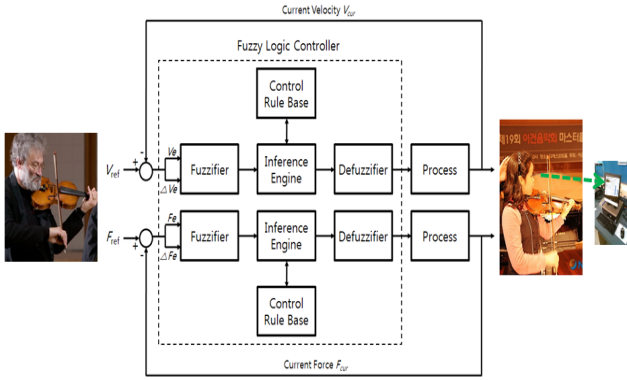


그림 2. 바이올린 연주 연습 알고리즘을 위한 퍼지 논리 제어기.

Fig. 2. Fuzzy logic controller for violin self-training algorithm.

$e, \Delta e, u$  : 입, 출력 변수

$F_e^i, \Delta F_e^i, C_i$  : 퍼지 집합의 소속 함수

표 1. 활의 힘 오차와 오차의 변화율에 대한 퍼지 규칙과 속력 오차와 오차의 변화율에 대한 퍼지 규칙.

Table 1. Rules base for error and error rate of force and bowing velocity applied to bow.

$\Delta F_e \backslash F_e$	NE	ZO	PO	$\Delta V_e \backslash V_e$	NE	ZO	PO
NE	PB	PM	ZO	NE	NB	NM	ZO
ZO	PS	ZO	NS	ZO	NS	ZO	PS
PO	ZO	NM	NB	PO	ZO	PM	PB

(1) 활의 힘에 대한 규칙

(2) 활의 속력에 대한 규칙

PO : Positive

PM : Positive Medium

PB : Positive Big

PS : Positive Small

ZO : Zero

NE : Negative

NM : Negative Medium

NB : Negative Big

NS : Negative Small

표 1. (1) 힘에 대한 규칙을 살펴보면, 바이올린 활의 힘 오차가 음이고, 오차의 변화량도 음일 경우 퍼지논리 제어기 출력은 양의 최대치 PB로 하여 연주자가 현재 활에 가한 힘을 최대로 늘릴 수 있도록 출력을 내고, 그리고 힘 오차와 오차 변화량이 없을 경우 제어기 출력은 ZO로 하여 연주자가 현재 활에 가한 힘을 그대로 유지하게 한다.

위와 같은 규칙에서 사용되는 언어적 변수들의 애매함을 0에서 1까지의 범위 내에서 정량적으로 표현하기 위하여 본 논문에서는 센서에서 읽어드리는 숫자로 표현되어 있는 값들을 시스템에서 사용한 다양한 집합들의 소속정도로 표현한다. 소속 함수는 그림 3과 같이 각각의 경우에 따라 모양은 가우시안과 삼각형 형태를 사용하고, 소속 값을 달리하여 사용한다.

추론방법으로는 Mandani의 max-min 추론 방법[6]을 사용하며, 퍼지 집합으로 내려진 퍼지 추론 값을 프로세스 입력으로 사용되는 스칼라(scalar)값으로 바꾸기 위해 본 논문에서는 비퍼지화 방법에서 무게 중심법을 사용한다. 무게

중심법 비퍼지화는 퍼지 집합의 면적에서 중심을 구하여 그 중심에 해당하는 점을 제어 값으로 한다.

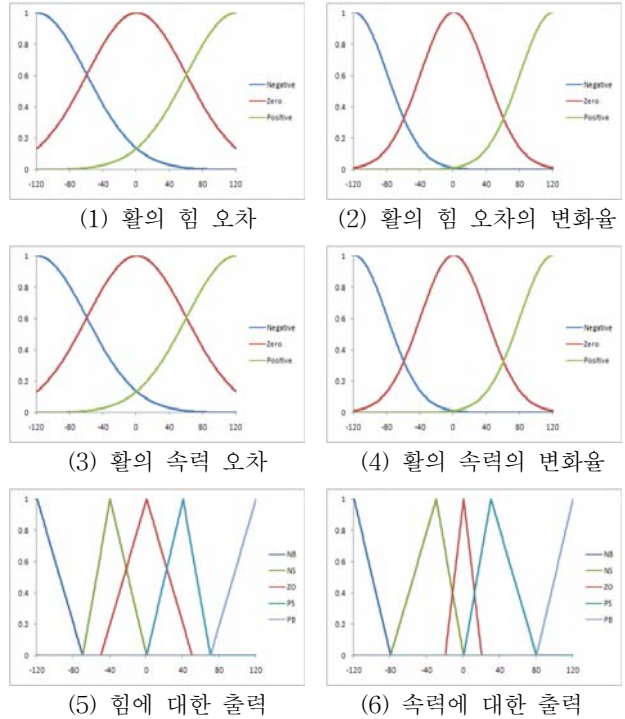


그림 3. 활의 힘, 속력, 출력에 대한 소속 함수.

Fig. 3. Membership function of error, error rate of force and velocity applied to bow.

$$U_{flc}[e, \Delta e] = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \mu(C_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(C_i)} \quad (5)$$

$C_i$  : 소속 함수를 갖는 대 집합

$\mu(C_i)$  :  $u_i$ 의 소속 함수 값의 합

$U_{flc}$  : 무게 중심(제어 입력이 되는 비퍼지 값)

#### 4. 바이올린 연주 연습 프로그램

본 논문에서 제안한 바이올린 연주 연습 프로그램은 갈라미안(Galamian)의 교육법[5]을 바탕으로 하였다. 이반 갈라미안은 그림 4에서와 같이 브릿지와 지판사이를 다섯 개의 발음 점으로 나누어 각 점에서 개방 현을 한 활로 고르게 켜는 활 켜기 연습법을 제안 하였다. 이 방법은 활 켜기의 가장 기본이 되면서도 가장 중요하고 훌륭한 연습이 된다.

이 연습법에서 브릿지에서 가장 근접한 발음 점(sounding point) 1에서는 활의 속력을 느리고 힘을 세게 하여야 소리가 공명하게 울려 퍼지게 되고, 지판에 근접한 발음 점 5로 갈수록 활 속력은 빠르고 활의 힘은 적어져야 맑고 아름다운 일정한 소리가 나오게 된다.



그림 4. 갈라미안 교육법에서 사용되는 다섯 개의 발음 점.  
Fig. 4. Five sounding points used in Galamian teaching method.

4.1 하드웨어 구성

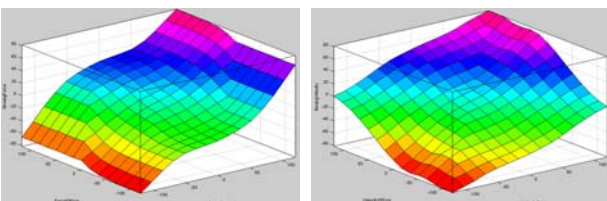
연주자가 바이올린을 쥌 때 얻어지는 데이터의 측정을 위해 제작된 바이올린 활에는 활의 힘을 측정하기 위한 FSR(Force Sensing Resistor)센서와 활의 위치를 측정할 수 있는 IR센서가 활과 바이올린 몸통에 장착되어 있다. 그리고 활의 속력은 거리감지용 센서인 PSD센서를 사용하여 활의 이동거리에 대한 변화를 시간에 대해 나누어 속력 값으로 사용하였다. 이렇게 센서들로부터 측정된 데이터들은 유선으로 PC에 전송되어 진다.



그림 5. 활의 힘, 속력, 위치를 측정하기 위한 하드웨어 장치.  
Fig. 5. Hardware devices for experiment on measuring bowing force, velocity and position.

4.2 소프트웨어 구성

퍼지 Logic을 사용한 성능평가함수로 실시간 제어하기 위해 룩업 테이블(look-up table)이 다음과 같이 구성되어 있다[7].



(1) 활의 힘에 대한 관계      (2) 활의 속력에 대한 관계  
그림 6. 퍼지 입력과 출력의 관계.  
Fig. 6. Relationship between fuzzy input and output.

PC로 전송되어진 데이터는 식 (6)의 가중치의 합으로 나누어서 평균을 구하는 가중 이동 평균 필터를 통해 노이즈

가 제거 한 뒤, 사전 구축된 데이터베이스와 비교 되어 진다.

$$y[n] = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N b_i x[n-i] \quad (6)$$

그리고 그 결과는 작성된 룩업 테이블을 참조하여 바이올린 연주에 대한 성능평가를 한 후 화면에는 최종 결과를 출력하게 된다.

그림 7은 visual studio 2008로 제작한 바이올린 연주 연습 프로그램의 실행 화면이다. 화면에서 왼쪽 위 "sounding point 1-5" 버튼은 갈라미안의 교육법에서 5개의 발음 점을 나타내며, 이 버튼 중 하나를 누르게 되면, 사전에 구축된 전문 바이올리니스트의 운궁법이 "Monitor" 창에 검은색 실선으로 표시되고, 이 선을 목표로 하여 연주자는 활 쥌기 연습을 하게 된다. 이 때 연주자의 활 쥌기에 대한 데이터들은 빨간색 실선으로 나타내어진다. 그리고 "Position"은 현재 바이올린 활의 위치를 나타내어 연주자가 자신의 활 위치를 화면을 통해 알 수 있게 되며, 화면 오른쪽의 "Advise"는 퍼지 논리 제어기에서 출력된 값으로 활의 힘과 속력의 상대적인 값을 의미한다. 다시 말해, 전문 바이올리니스트의 지식과 경험을 토대로 작성된 퍼지 논리 제어기의 출력을 나타내며, 지금 연주자의 운궁법을 평가하고 올바른 운궁법을 위한 방법을 제시하게 되는 것이다. 이를 통해 바이올린 연주를 처음 시작하는 초보자들이 자신의 운궁법에 대한 모니터링을 할 수 있게 되며, 전문 교사의 직접적인 지도 없이 화면에 표현되어지는 그래프를 통해 올바른 운궁법을 효과적으로 학습, 연습 할 수 있게 된다.

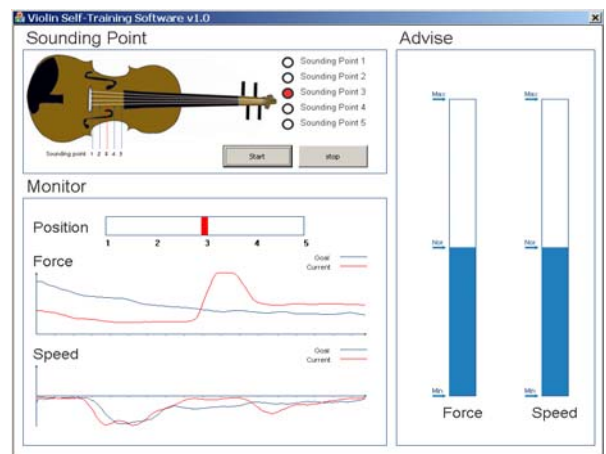


그림 7. 제안된 바이올린 연주 연습 프로그램.  
Fig. 7. Proposed violin self-training software.

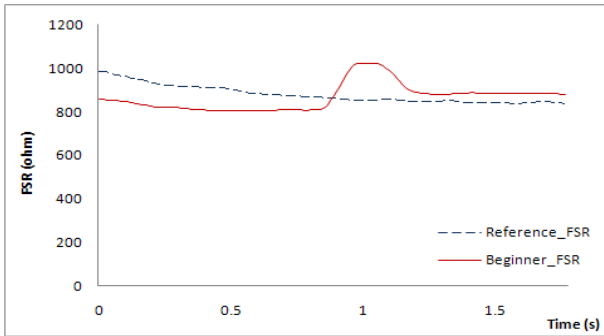
5. 실험

실험조건은 연주자에게 최대한의 긴 활로 맑고 큰 음량을 낼 수 있는 운궁법을 사용하도록 지시하였으며, 실험은 바이올린 연주를 처음 시작하는 초보자를 대상으로 진행하였다. 그림 7은 발현 점 3을 내림활로 연주했을 때의 실제 프로그램 화면이고, 이때 연주자에 의한 데이터와 사전 구축된 전문 바이올리니스트의 데이터는 아래 그림 8 (1)에서부터 (5)이며, 퍼지로지 제어기를 거쳐 룩업 테이블을 참조한 출력 값은 그림 8 (6)이다. 그림 8 (1)과 (3)에서 점선은

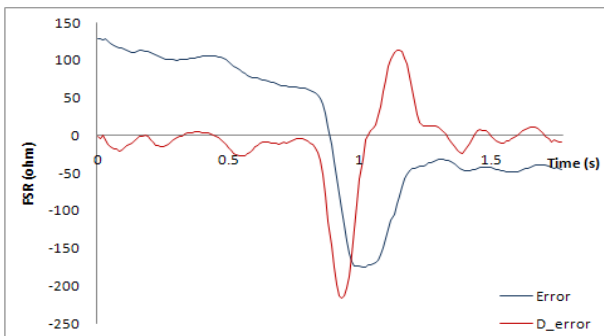
기준 값으로 사전 구축된 전문 바이올리니스트의 데이터이며, 실선은 연주자에 의해 만들어진 데이터이다.

그림 8 (1)에서 x축(Time) 1sec 부근 전까지 연주자는 활에 너무 큰 힘을 가해 활의 힘 오차  $F_e$ 는 PO(Positive)가 되었고, 그때의 오차 변화율  $\Delta F_e$ 는 NE(Negative)와 ZO(Zero)의 상태를 반복하였다. 따라서 퍼지 룰에 의해 출력변수에는 NB(Negative Big)와 ZO가 교대로 저장되어 현재의 힘에서 23~62%의 힘을 감소라는 전문가의 조언이 출력되어져, 연주자는 이 조언을 바탕으로 적은 힘을 활에 가해 1sec 부근 이후에는 기준 값과 거의 오차 없이 힘을 유지 하였다.

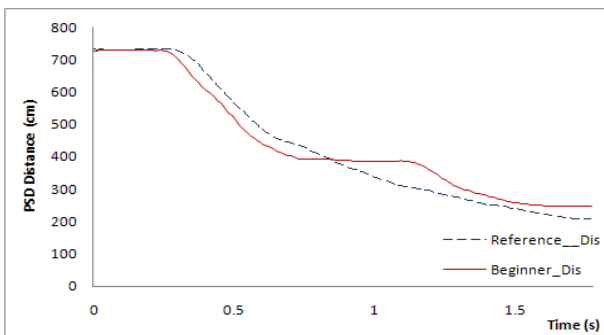
또한 그림 8 (4)에서 x축(Time) 0.7sec 부근에서 연주자가 일정한 활의 속력을 유지하지 못하고 갑자기 늦춰 활의 속력 오차  $V_e$ 는 NE가 되고 오차율  $\Delta V_e$ 도 NE가 되어 출력변수에는 NB가 저장되어졌다. 이 조건을 바탕으로 퍼지 논리 시스템은 속력을 80% 증가 시키라는 전문가의 조언을 출력시켜 연주자는 1sec 이후에 다시 활의 속력을 다시 빠르게 하였다.



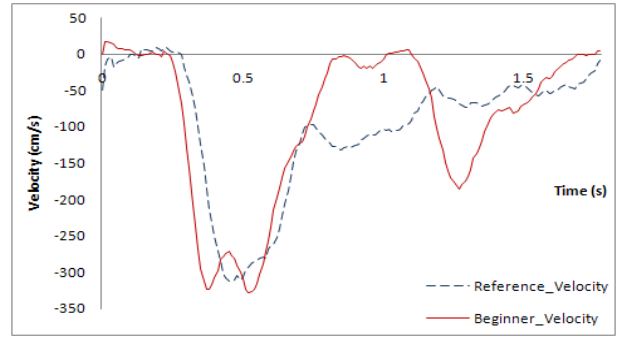
(1) 시간에 따른 활의 힘 변화



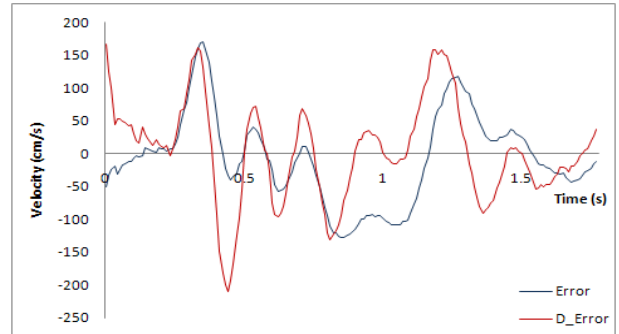
(2) 활의 힘 오차와 오차변화율



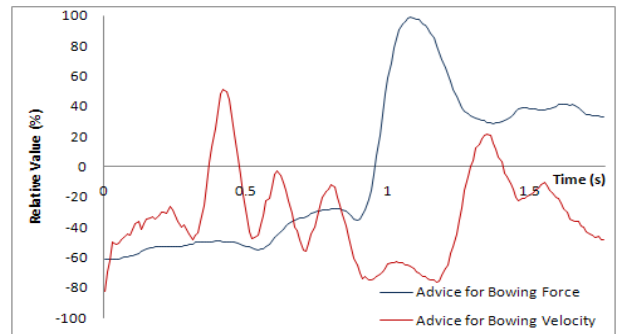
(3) 시간에 따른 활 이동거리의 변화



(4) 활 이동거리로부터 구해진 활의 속력



(5) 활의 속력 오차와 오차변화율



(6) 룩업테이블을 참조한 최종 결과 값

그림 8. 퍼지 논리 제어기의 입력 값과 최종결과.

Fig. 8. Input data for fuzzy logic controller and results.

## 5. 결 론

위 결과에서 본 논문에서 제안한 퍼지론리 제어기를 통한 바이올린 연주학습 알고리즘이 바이올린 연주를 처음 시작하는 초보자들에게 올바른 운궁법을 학습하는데 효과적이라는 것이 입증되었다. 그러나 모니터를 통해 실시간으로 알려주는 전문가의 조언에 이 프로그램에 숙달이 안 된 연주자가 갑작스럽게 반응하여 오히려 활의 힘과 속력을 일정하게 유지 하지 못하게 되는 문제를 발생시켰다. 따라서 차후 연구에서는 실시간이 아닌 연주자의 운궁법의 패턴을 저장하고 분석하여 문제점을 지적하고 개선방법을 알려주는 연구가 필요하다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 윤종립, “초보자를 위한 바이올린 활쓰기에 관한 연구”, 경희대학교 교육대학원, 2005.
- [2] Auer, *Violin Playing as I teach it*, Dover Publications, 1980.
- [3] 박보경, “바이올린 연주기법에 관한 연구: 운궁법을 중심으로”, 중앙대학교 예술대학원, 2001.
- [4] J.C. Schelleng., "The bowed string and the player," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 53, No. 1, pp. 26-41, 1973.
- [5] Ivan Galamian, *Principles of Violin: Playing & Teaching*, Prentice Hall, 1962.
- [6] Dr. E. H. Mamdani, *Fuzzy Reasoning Its Applications*, Academic Press, pp. 310-323, 1981.
- [7] Rutherford, D.A., Bloore. G.C, "The implementation of fuzzy algorithms for control", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 64. pp. 572-573, 1976
- [8] Askenfelt, A, "Measurement of the bowing parameters in violin playing", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 29, No. 1, pp. 1-30, 1988

### 저 자 소 개



**민병철(Byung Cheol Min)**  
 2008년 : 경희대학교 전자공학과 학사  
 2008년~현재 : 경희대학교 전자전파공학과 석사과정

관심분야 : 엔터테인먼트 로봇, UAV, 지능제어  
 E-mail : minbc@khu.ac.kr



**김동한(Dong Han Kim)**  
 1995년 : KAIST 전기 및 전자공학과 학사  
 1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
 2003년 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
 2007년~현재 : 경희대학교 전자정보대학 교수

관심분야 : 로봇제어, 다개체 지능제어  
 Phone : 031-201-3831  
 Fax : 031-203-4968  
 E-mail : donghani@khu.ac.kr



**김윤혁(Yoon Hyuk Kim)**  
 1992년 : KAIST 기계공학과 학사  
 1994년 : KAIST 기계공학과 석사  
 2000년 : KAIST 기계공학과 박사  
 2007년~현재 : 경희대학교 테크노공학대학 교수

관심분야 : 수술로봇, 의료로봇, 악기연주용 로봇  
 E-mail : yoonhkim@khu.ac.kr



**김기열(Ki Yeoul Kim)**  
 1993년 : 경희대학교 전자공학과 학사  
 1996년 : 경희대학교 전자공학과 석사  
 2001년 : 경희대학교 전자공학과 박사  
 2001년~현재 : 부천대학 컴퓨터제어과 교수

관심분야 : 이동로봇, 자동항법시스템  
 E-mail : kykim@bc.ac.kr



**박종국(Chong Kug Park)**  
 1971년 : 서울대학교 물리학과 학사  
 1975년 : 연세대학교 전자공학과 석사  
 1979년 : 연세대학교 전자공학과 박사  
 1980년~현재 : 경희대학교 전자정보대학 교수

관심분야 : 자동제어, 퍼지, 신경망, 유전 알고리즘  
 E-mail : ckpark@khu.ac.kr