

# 고차원펄스 스펙트럼 분석을 위한 이러닝 시스템의 설계

## Design of e-Learning System for Spectral Analysis of High-Order Pulse

오용선

목원대학교 정보통신공학과

Yong-Sun Oh(ysunoh@mokwon.ac.kr)

### 요약

본 논문에서는 고차원펄스의 스펙트럼을 유도하는 체계적인 방법을 제시하고, 이를 학습내용으로 하는 효율적인 이러닝 시스템을 설계한다. 고차원펄스의 스펙트럼은 연속미분법이나 콘볼루션법 등 기존의 방법에 의하여 유도될 수 있으나, 그 차수가 증가함에 따라 현저하게 높아지는 복잡도 때문에 사용할 수 없다. 우리는 고차원펄스의 차수에 따라 순환적으로 적용되는 알고리즘을 제시하고, 이를 찾아보기표에 의하여 함수적으로 차수에 연관된 스펙트럼의 식을 유도한다. 또한, 이를 이용하여 고차원펄스의 스펙트럼을 분석하는 과정을 학습하는 이러닝 콘텐츠를 설계한다. 여기에는 기존의 순차적 재생을 기본으로 하여 이른바 개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용하는 콘텐츠 처리방식이 사용된다. 모델링, 임펄스응답과 전달함수, 파라미터, 찾아보기표 등 전체를 네 개의 개념단위로 분할한 콘텐츠페이지를 설계하고, 이들로부터 하향식으로 분화된 개념단위들을 모듈과 서브모듈로 설정한다. 이들은 개념단위 오브젝트별 분기방식에 의하여 학습자에게 다양한 학습순서와 반복학습 등을 제공하여 상호작용을 증대하고, 저작된 이러닝 콘텐츠에 의한 학습효과를 현저히 향상시킨다. 또한, 콘텐츠 자체의 효율성 측면에서도 현저한 향상을 이룬다.

■ 중심어 : | 고차원펄스 | 이러닝 | 순환적 | 찾아보기표 | 개념단위 | 분기방식 | 학습효과 |

### Abstract

In this paper, we present a systematic method to derive spectrum of high-order pulse and a novel design of e-Learning system that deals with deriving the spectrum using concept-based branching method. Spectrum of high-order pulse can be derived using conventional methods including 'Consecutive Differentiations' or 'Convolutions', however, their complexity of calculation should be too high to be used as the order of the pulse increase. We develop a recursive algorithm according to the order of pulse, and then derive the formula of spectrum connected to the order with a newly designed look-up table. Moving along, we design an e-Learning content for studying the procedure of deriving high-order pulse spectrum described above. In this authoring, we use the concept-based object branching method including conventional page or title-type branching in sequential playing. We design all four Content-pages divided into 'Modeling', 'Impulse Response and Transfer Function', 'Parameters' and 'Look-up Table' by these conceptual objects. And modules and sub-modules are constructed hierarchically as conceptual elements from the Content-pages. Students can easily approach to the core concepts of the analysis because of the effects of our new teaching method. We offer step-by-step processes of the e-Learning content through unit-based branching scheme for difficult modules and sub-modules in our system. In addition we can offer repetitive learning processes for necessary block of given learning objects. Moreover, this method of constructing content will be considered as an advanced effectiveness of content itself.

■ keyword : | High-Order Pulse | e-Learning | Recursive | Look-Up Table | Conceptual Element | Branching Method | Learning Effect |

## I. 서론

펄스신호(pulse signal)는 시간영역에서 한정된 구간에만 크기를 갖는 신호이다. 특히, 일정한 시간 구간에 대하여 두드러진 크기를 갖고 나머지 구간에 대해서는 신호의 크기가 0이거나 매우 작아 무시할 수 있을 정도라면, 우리는 이를 펄스신호라 할 수 있다. 따라서 일반적인 관점에서 펄스신호는 하나의 에너지신호(energy signal)이다[1]. 한편 고차원펄스(high-order pulse)는 이러한 펄스신호 중 그 차수가 증가함에 따라 펄스의 폭이 현저하게 좁아지는 펄스를 특별히 지칭하며, 높은 차수의 고차원펄스의 경우, 그 펄스폭이 매우 좁아지는 특성 때문에 극초단펄스(ultrashort pulse)를 표현하는 모델로 널리 활용된다[2][3].

펄스신호의 스펙트럼을 얻기 위해서는 그 Fourier 변환을 구해야 하는데, 일반적으로 그 유도과정은 매우 복잡하다. 특히, 고차원펄스의 차수가 증가할수록 그 스펙트럼을 구하는 과정은 더욱 복잡해진다. 이를 해결하기 위한 몇 가지 전형적인 방법들이 알려져 있기는 하나, 펄스의 차수가 증가함에 따라 그 복잡도는 크게 증가하여 거의 활용할 수 없을 정도가 되는 것이 보통이다. 따라서 이 과정을 학습하는 학생들은 거의 모두 이 부분에서 크게 어려움을 겪는 것으로 나타나고 있다. 또한, 보통의 신호 스펙트럼을 배우는 과정은 오프라인상의 강의실에서 대면강의로 진행되지만, 이 과정을 이러닝(e-Learning) 콘텐츠로 제작하여 운영하는 경우, 저작의 어려움은 물론 학생들이 겪을 수 있는 학습의 어려움은 크게 가중될 것으로 예상된다[4].

본 논문에서는 고차원펄스의 스펙트럼에 대하여 용이한 과정을 통하여 학습할 수 있는 새로운 개념의 이러닝 시스템을 설계하고, 이를 통하여 구현된 콘텐츠를 운영함으로써 이 문제를 얼마나 쉽게 해결할 수 있는지 경험적 조사를 통하여 확인하고자 한다. 본 논문에서 고차원펄스의 스펙트럼을 얻기 위하여 적용할 방식은 기존의 연속미분(consecutive differentiations)이나 컨볼루션(convolution)에 의한 방법에 비하여 그 과정이 체계적이고 안정된 순환적 알고리즘이다. 이는 우선 고차원펄스의 차수가 증가함에 따라 나타나는 복잡도를

차수에 따라 달라지는 계수를 적용한 순환식(recursive formula)으로 상쇄시켜 극도로 복잡한 계산을 피할 수 있어, 학생들이 스펙트럼 유도과정에서 겪을 수 있는 난점을 어느 정도 해결할 수 있는 알고리즘이라고 본다. 또한, 본 알고리즘에 나타나는 계수들은 고차원펄스의 차수에 따라 표로 정리할 수 있는 규칙성을 가지므로 한층 학생들의 학습 스트레스를 덜어줄 것이다[5]. 특히, 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 이러닝 콘텐츠로 제작하는 경우, 우리는 이른바 개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용하는 콘텐츠 처리방식을 사용하고자 한다[6]. 체계적인 방법에 의하여 고차원펄스의 스펙트럼을 유도하기 위한 모델링, 시스템의 임펄스응답과 전달함수의 유도, 규칙적인 파라미터의 설계와 유도, 찾아보기표(look-up table)의 구성 등 개념단위로 분할된 모듈 뿐 아니라, 각 모듈에서 하향식으로 분화된 개념단위들이 유기적으로 연계된 콘텐츠 페이지로 제작된다. 또한, 이들 콘텐츠 페이지는 개념단위 오브젝트별 분기방식에 의하여 학습자에게 다양한 순서와 반복으로 학습을 이루도록 운영된다.

본 논문은 서론에 이어 제2장에서 문제를 정의하고, 기존의 스펙트럼 유도방식과 그 문제점들을 적시한다. 제3장에서는 기존의 유도방식의 단점들을 보완한 체계적인 순환 알고리즘과 계수 찾아보기표(look-up table)를 유도하며, 이어서 제4장에서는 유도된 알고리즘을 구현하고 이를 이러닝 콘텐츠로 제작하기 위한 개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용한 콘텐츠의 설계와 운영에 대하여 제시한다. 마지막으로 제5장에서는 본 연구의 결과로 나타난 이러닝 콘텐츠의 성능을 확인하고 향후 연구과제를 제시한다.

## II. 펄스신호와 그 스펙트럼

### 2.1 문제의 정의

본 논문에서 취급하고자 하는 신호의 형태는 펄스(pulse)이다. 펄스신호는 시간영역에서 일정한 구간에 대하여 현저한 크기를 갖고 나머지 구간에서는 0이 되는 에너지신호를 말한다.

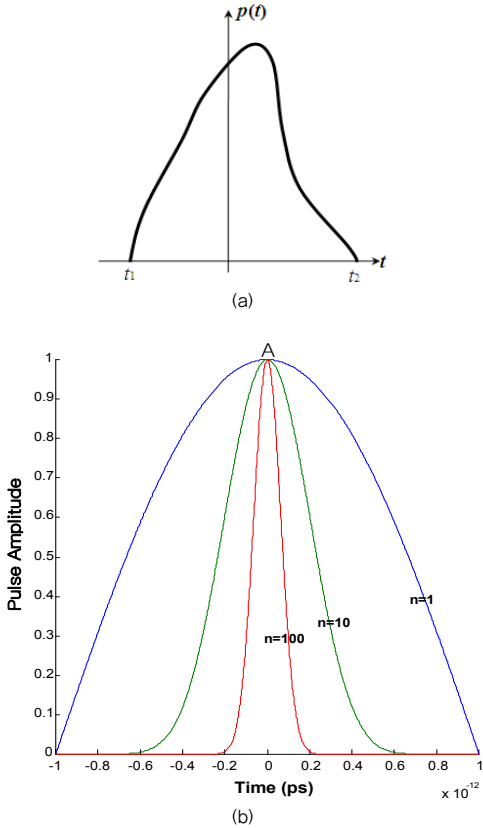


그림 1. 전형적인 펄스신호  
(a) 펄스의 정의 (b) 고차원펄스

[그림 1](a)에 전형적인 펄스신호  $p(t)$ 를 도시하였다. 이 신호는 시간구간  $[t_1, t_2]$ 에서 현저한 에너지를 가지며, 나머지 구간에서는 0이 된다. 또한, 이 신호가 갖는 에너지는 유한하여 일반적으로 에너지신호로 평가된다. 우리는 이러한 특성을 갖는 신호를 펄스신호라 한다. [그림 1](b)에 도시된 신호는 Cosine 펄스이다. 이 신호는 [그림 1](a)의 신호에 비하여 훨씬 정형화된 느낌을 준다. 특히, 이 Cosine 펄스는 차수  $n$ 이 증가할수록 그 펄스폭(FWHM: full width half maximum)이 현저하게 감소한다. 그래프의 가로축은 ps(pico second) 단위로 표시되었으며,  $n = 100$ 인 경우 펄스폭은 약 0.2ps에 해당된다. 이와 같이 차수의 증가에 따라 그 펄스폭이 현저하게 감소하는 펄스를 고차원펄스(high-order pulse)라 하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과

같다.

$$p_n(t) = A \left( \cos \frac{\pi t}{2\tau} \right)^n \text{rect} \left( \frac{t}{2\tau} \right), \quad (1)$$

for  $n = 1, 2, 3, \dots$

임의의 차수  $n$ 에 대하여 펄스는 시간구간  $[-\tau, \tau]$  내에 존재하며, 최대 크기  $A$ 는 일정하게 유지된다. [그림 1](b)는 펄스의 시간구간을  $[-1, 1]$ 로, 펄스의 최대크기를 1로 정규화(normalizing)하여 그린 것이다. 펄스폭으로 사용하고 있는 FWHM은 최대크기의 절반(0.5: half maximum) 높이에서 측정된 펄스의 양폭(full width)을 말한다. 주지하는 바와 같이, 이 고차원펄스의 FWHM은 차수  $n$ 이 증가함에 따라 현저하게 감소함을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제기하는 문제는 Fourier 변환을 이용하여 바로 이러한 고차원펄스의 스펙트럼을 차수에 따라 체계적으로 구할 수 있는 방법을 마련하고, 이에 대한 학습을 위하여 효율적인 이더닝 콘텐츠를 설계하는 것이다. 여기서 사용하는 Fourier 변환은 다음과 같이 정의한다.

$$P_n(f) = \int_{-\infty}^{\infty} p_n(t) e^{-j2\pi ft} dt, \quad (2)$$

for  $n = 1, 2, 3, \dots$

원래 펄스신호의 스펙트럼은 그 유도과정이 매우 복잡하여, 이를 학생들이 학습하고자 할 때 많은 어려움을 호소하는 과정이며, 교수자들도 이 부분을 매우 어렵게 교육할 수밖에 없는 상황이다. 특히 이더닝 콘텐츠 제작을 위한 교수자 설계 부분은 매우 철저한 체계화를 요구한다. 특히, 본 논문에서 제시하는 문제에 대해서는 그 특성상 고차원펄스의 차수에 따른 체계화가 필수적이다.

## 2.2 기존의 방법과 문제점

기존에 펄스신호의 스펙트럼을 유도하는 방법으로는 Fourier 변환의 미분성질(differentiation theorem)을 활

용한 연속미분법(consecutive differentiations)과 콘볼루션법(convolution method) 등 두 가지를 제시할 수 있다[1]. 일반적으로 이들을 이용한 스펙트럼의 유도에 있어서는 매우 복잡한 계산이 요구될 뿐 아니라 고차원 펄스의 차수가 변화하는 양상을 추적하여 체계화할 수 없다는 한계를 가진다. 고차원펄스의 차수  $n$ 이 비교적 낮을 때에는 우리가 목적하는 스펙트럼의 유도는 가능하다. 그러나  $n \geq 3$ 의 경우, 기존의 두 방법을 적용한다면, 극도로 복잡한 유도과정과 너무 큰 계산량 때문에 스펙트럼의 유도가 거의 불가능해진다. 이러한 양상은 고차원펄스의 차수가 높아질수록 더욱 심화된다. 여기서 학습자들은 기본적인 차수  $n = 1$  혹은 2에 대한 스펙트럼을 유도해보는 정도로 그 심각한 스트레스 수준을 벗어나려 할 것이다.

실질적으로 논문 [5]에서는, 연속미분법에 의하여  $P_1(f)$ ,  $P_2(f)$ 를, 콘볼루션법에 의하여  $P_3(f)$ 를 각각 구하여 제시한 바 있다. 차수가 증가함에 따라 유도 과정은 극도로 복잡해지며, 그 유도과정의 결과로 얻어진 스펙트럼들이 고차원펄스의 차수에 따라 체계적으로 정리되지 못함으로 더 이상의 차수에 대하여 스펙트럼을 유도하기란 사실상 불가능함을 알 수 있다. 더욱이 이 스펙트럼 유도를 온라인으로 학습하기 위한 이러닝 콘텐츠를 제작할 경우, 교수자들은 전혀 체계화되지 못한 방법론에 입각하여 그저 순차적 운영을 계속하는 콘텐츠를 설계할 수밖에 없을 것으로 보인다[4]. 순차적 운영만을 실시하는 콘텐츠는 학습효과 측면에서 가장 저조하며, 이른바 개념단위 분기를 적용할 수 없는 구조를 가질 수밖에 없다[6].

한편 본 논문의 초점인 고차원펄스는 그 차수의 증가에 따라 FWHM 펄스폭이 현저히 감소하는 특성을 가지므로 일정 수준 이상의 높은 차수에서 극초단펄스(short pulse)를 근사화한다[7]. 이를 위해서는 매우 높은 차수의 고차원펄스에 대한 스펙트럼을 유도해야 하는데, 위에 설명한 기존의 두 가지 방법에 의하면 학습자의 스트레스는 매우 심각해질 것이다. 또한, 이들을 이러한 기존의 방법을 사용하여 이러닝 콘텐츠로 제작하고자 하는 교수가 있다면, 이 또한 매우 어려운 과정을 각오해야 할 것이며, 만일 계획된 이러닝 콘텐

츠를 제작하였다 하더라도, 그것은 차수에 따른 체계화가 결여되어 순차적 운영을 면할 수 없으므로 충분한 학습효과를 기대할 수 없을 것이다.

이와 같이 매우 좁은 폭을 갖는 펄스의 특성을 정확히 파악하기 위해서는 결국 고차원펄스의 차수에 따라 체계적으로 스펙트럼을 유도할 수 있는 방법을 찾아야 하며, 이러한 개념을 적용하여 이러닝 콘텐츠를 설계했을 때 비로소 체계적인 학습이 이루어지고, 그 학습효과도 기대할 수 있을 것이다.

### III. 차수에 따른 스펙트럼 분석과 알고리즘

이 장에서는 앞에서 제기된 기존의 스펙트럼 분석방법의 문제점을 해결하고, 본 논문의 초점인 고차원펄스의 차수에 따라 순환적으로 적용할 수 있는 Fourier 변환 공식을 제시한다. 이 공식에 따라 우리는 학습자의 학습과정을 추적하여 새로운 개념의 이러닝 콘텐츠를 설계하고자 한다.

#### 3.1 스펙트럼 분석을 위한 모델

[그림 2]에 고차원펄스의 스펙트럼을 유도하기 위한 모델을 도시하였다. 여기서 사용된 시스템 모델은 실제로 이러닝 시스템 혹은 콘텐츠의 구조를 밝히는 것이 아니라, 단지 고차원펄스의 스펙트럼을 차수에 따라 체계적으로 유도하기 위한 가상의 모델을 설정한 것이다. 특히 이 모델은 이른바 부분응답시스템(PRS: partial response signaling) 모델을 순환적 입출력 관계를 갖도록 수정한 것으로서 고차원펄스의 스펙트럼을 차수에 따라 순환적으로 체계화시킬 수 있도록 설정한 것이다.

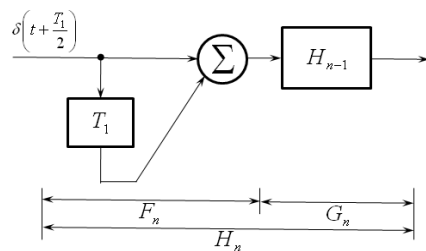


그림 2. 순환적 스펙트럼 분석을 위한 모델

원래의 모델은 Lender[8]에 의하여 제안되어 최소대역변조에 활용되던 Duobinary 시스템을 Kabal과 Pasupathy[9]가 일반화하여 부분응답시스템(partial-response signaling)이라 명명한 것으로 알려져 있다. 우리는 이 모델을 수정하여 전체적인 시스템함수가 차수에 따라 순환적 알고리즘을 갖도록 수정하였다[5]. 즉, [그림 2]에서 보는 바와 같이, 전체 전달함수  $H_n$ 은 그 바로 이전 차수의 전달함수  $H_{n-1}$ 을 시스템의 일부분으로 보유함으로써, 전체적으로 순환적 특성을 갖는 모델로 설정한 것이다.

우선, [그림 2]에 제시한 모델은 부분응답시스템의 관점에서 볼 때  $(1+D)$ 형 구조이다. 이 구조가 식(1)로 주어진 Cosine형 고차원펄스를 가장 잘 표현해준다. 물론 Kabal 등은 이를 일반화하여 다양한 구조를 제공할 수 있는 부분응답시스템 모델을 제안하였다. 우리는 모델의 구조를 달리함으로써 다른 형태의 고차원펄스를 얻을 수 있으며, 그 스펙트럼도 동일한 과정을 통하여 유도할 수 있다. 우리는 본 장의 제4절에서 그에 대한 고찰을 제시할 예정이며, 상세한 적용에 관하여는 향후의 연구과제로 제시하고자 한다.

### 3.2 순환공식의 유도

초기조건  $n=0$ 에서 [그림2]의 시스템에 대한 전달함수와 임펄스응답을 다음과 같이 가정한다.

$$H_0(f) = T_2 \text{rect}(T_1 f) \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow h_0(t) = \frac{T_2}{T_1} \text{sinc}\left(\frac{t}{T_1}\right)$$

여기서 ‘ $\Leftrightarrow$ ’은 그 양쪽의 함수가 Fourier 변환쌍임을 나타내며,  $\text{rect}(\bullet)$  함수의 역변환  $\text{sinc}(\bullet)$  함수는

$$\text{sinc}(x) \equiv \frac{\sin \pi x}{\pi x} \quad (4)$$

로 정의된다.

이제, [그림 2]에 주어진 모델의 순환 특성에 따라

$n = 1, 2, 3, \dots$ 의 차례로 적용하면, 다음과 같은 순환식을 얻는다.

$$H_n(f) = 2^n T_2 (\cos \pi f T_1)^n \text{rect}(T_1 f)$$

$$\Leftrightarrow h_n(t) = h_{n-1}\left(t + \frac{T_1}{2}\right) + h_{n-1}\left(t - \frac{T_1}{2}\right),$$

for  $n = 1, 2, 3, \dots$  (5)

여기에 Fourier 변환의 쌍대성(duality)을 적용하고[1], 식(1)의 계수를 맞추기 위하여

$$T_1 = \frac{1}{2\tau}, \quad T_2 = \frac{A}{2^n} \quad (6)$$

라 두면, 다음과 같은 순환식이 유도된다.

$$p_n(t) = A \left(\cos \frac{\pi t}{2\tau}\right)^n \text{rect}\left(\frac{t}{2\tau}\right)$$

$$\Leftrightarrow P_n(f) = h_n(f)$$

$$= h_{n-1}\left(f + \frac{1}{4\tau}\right) + h_{n-1}\left(f - \frac{1}{4\tau}\right),$$

for  $n = 1, 2, 3, \dots$  (7)

이 변환쌍의 초기조건은 식(3)으로부터

$$h_0(f) = \frac{A\tau}{2^{n-1}} \text{sinc}(2\tau f) \quad (8)$$

와 같이 주어진다.

이제 식(8)의 초기조건과 식(7)을 이용하여 스펙트럼의 식을 귀납적(inductive) 방법으로 정리하고, 계수와 파라미터를 분리하여 적용하면

$$P_n(f) = \frac{A\tau}{2^{n-1}} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \text{sinc}\left(2\tau f + \frac{d_i}{2}\right), \quad (9)$$

for  $n = 1, 2, 3, \dots$

를 유도할 수 있다. 이에 관한 상세한 유도과정은 [5]의

부록에 제시되어 있다.

식(9)에서 우리는 두 가지 중요한 파라미터를 발견할 수 있는데, 그 하나는  $\text{sinc}(\cdot)$  함수의 계수인

$$\binom{n}{i} \equiv \frac{n!}{i!(n-i)!}, i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

이며, 다른 하나는  $\text{sinc}(\cdot)$  함수의 지연요소(delay factor)인

$$d_i \equiv n - 2i, i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

이다. 이들은 모두 이항전개식(binomial expansion)으로부터 쉽게 얻어지는 파라미터로, 식(10)은 일반적인 이항계수와 동일하며, 식(11)은 두 항 사이의 지수차(difference between exponents)를 나타낸다.

### 3.3 찾아보기 형식의 파라미터 표

식(9)에 주어진 스펙트럼은 기존의 연속미분법이나 콘볼루션법으로 얻을 수 있었던 스펙트럼과는 근본적으로 다른 형태의 해이다. 다시 말해서, 기존의 방법에 의하면 각각의 차수에 대하여 독립된 해가 유도되며, 이들이 고차원펄스의 차수에 따라 순환적(recursive) 혹은 함수적(functional) 관계를 갖지 못하고 있다는 점이다. 그러나 본 장의 스펙트럼은 식(7)에서 보는 바와 같이 고차원펄스의 차수에 대하여 정확히 순환적 관계를 유지하며, 그 결과식(9)는 고차원펄스의 차수에 대하여 함수적 관계를 유지하고 있음을 볼 수 있다.

이와 같은 분석은 다음과 같은 두 가지 측면에서 기존의 방법에서는 얻을 수 없었던 이점을 확보한다. 첫째, 기존의 방법들은 높은 차수의 고차원펄스에 대하여 해를 유도하는 과정이 너무 복잡하여 거의 불가능한 상태에 빠지고 마는 반면, 본 장의 분석은 임의 차수의 고차원펄스에 대하여 정확한 해를 구할 수 있다는 점이다. 둘째, 기존의 방법들에 대하여 이러닝 시스템을 설계하기 위해서는 각각의 모듈들을 순차적(sequential)으로 늘어놓는 단순한 논리를 활용할 수밖에 없었던 반면, 본 장의 분석을 활용하면 앞 절에서 유도한 과정들

을 모듈화하여 개념단위 오브젝트로 제작한 다음 이들을 다양한 논리로 운용할 수 있는 이른바 개념단위 분기를 활용하는 수준 높은 이러닝 콘텐츠를 설계할 수 있다는 점이다[6]. 이와 같이 설계된 콘텐츠는 그 학습 효과를 현저히 향상시킬 수 있음이 증명된 바 있으며, 우리는 이러한 과정을 제4장에서 논의하고자 한다.

개념단위 분기를 위해서는 유도의 각 과정이 모듈로 분리되어 각각의 개념단위를 형성해야 하는데, 식(9)를 이용한 스펙트럼 유도의 마지막 단계는 고차원펄스의 차수에 따른 파라미터들을 결정하는 일이다.

식(9)에서 하나의 차수  $n$ 이 결정되면, 이에 따라 총 세 가지 파라미터를 확정함으로써 해당 차수에 대한 스펙트럼을 얻을 수 있다. 첫째, 식(9) 전체에 대하여 붙여 놓은 계수는 단순히  $2^{n-1}$ 을 계산함으로써 결정되므로 자명한 것이라 할 수 있다. 둘째,  $\text{sinc}(\cdot)$  함수의 계수는 식(10)에 주어진 조합을 계산함으로써 결정되는데, 이것을 차수  $n$ 에 따라 정리하면 파스칼의 삼각형(Pascal triangle)이 됨은 잘 알려져 있다. 마지막으로  $\text{sinc}(\cdot)$  함수의 지연요소로 주어진 파라미터는 식(11)과 같이 주어지는 지수차(exponent difference)를 나타내므로, 차수  $n$ 에 따라 쉽게 결정할 수 있다. 따라서 우리는 식(9)에 의한 스펙트럼 분석을 위하여 다음과 같은 찾아보기표(look-up table)를 제시할 수 있다.

표 1. 고차원펄스 스펙트럼 유도를 위한 찾아보기표

차수 $n$	이항계수 $\binom{n}{i}$	지연요소 $d_i$
0	1	0
1	1 1	1 -1
2	1 2 1	2 0 -2
3	1 3 3 1	3 1 -1 -3
4	1 4 6 4 1	4 2 0 -2 -4
⋮	⋮	⋮

[표 1]에는 4차까지의 파라미터들이 정리되어 있으나, 이는 차수  $n$ 의 증가에 따라 얼마든지 확장될 수 있다. 자명한 계수는 물론이고, 이항계수와 지연요소도 차수의 증가에 따른 명백한 규칙성을 가지고 있으므로 이를 쉽게 확장할 수 있다. 이러한 사실은 임의 차수의 고차원펄

스에 대한 스펙트럼을 파라미터 찾아보기표를 이용하여 체계적으로 유도할 수 있음을 나타낸다. 이제 매우 큰 어려움을 주고 있었던 고차원펄스의 스펙트럼 분석 문제를 다소 용이하도록 수정할 수 있었으며, 학습자들은 이들 개념을 이터닝 콘텐츠로 학습한다는 가정 하에 어떠한 설계요건을 요구하고 있는지를 검토해야 할 것이다.

[그림 1](b)에 주어진  $n = 1, n = 10, n = 100$  인 고차원펄스에 대하여, 식(9)와 [표 1]을 이용하여 스펙트럼을 구하고 이를 도시하면 [그림 3]과 같이 나타난다.

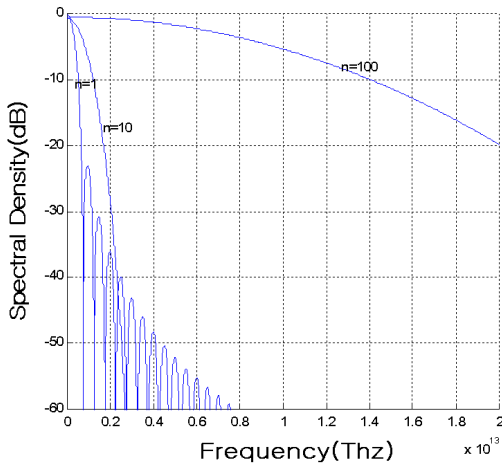


그림 3. 고차원펄스의 스펙트럼

일반적으로 나타나는 현상이지만, 본 논문의 초점인 고차원펄스에 있어서도 차수  $n$ 이 증가함에 따라 시간 영역에서의 FWHM은 점차로 좁아지고, 이를 Fourier 변환한 스펙트럼은 그 대역폭이 점차로 넓어짐을 볼 수 있으며, 특히  $n = 100$ 에 해당하는 극초단펄스의 경우 초광대역 스펙트럼을 나타냄을 볼 수 있다.

### 3.4 모델의 확장 and 다양한 고차원펄스의 형태

[그림 2]에 주어진 모델은 식(1)의 고차원펄스에 대한 스펙트럼을 분석하기 위하여 설정되었다. 우리는 이 형태가 보통의 극초단펄스를 근사화할 때 매우 유리함을 밝힌 바 있다[10]. 그러나 극초단펄스를 생성하는 다양한 방법들이 존재하므로 서로 다른 형태의 펄스들이 생성될 수 있다고 할 수 있으므로, 단지 식(1)로 주어진

고차원펄스만이 전부라고 말할 수는 없을 것이다. 따라서 우리는 다양한 형태의 극초단펄스들을 상정할 수 있는데, 이들을 근사화하기 위해서는 그림 2에 도시된  $(1 + D)$ 형 모델을 확장하여 일반적 구조를 갖는 시스템 모델을 설정할 필요가 있다. 이는 Kabal[5] 등이 제안한 부분응답시스템의 일반화된 모델을 수정한 것으로 다양한 형태의 고차원펄스를 유도할 수 있고, 그 순환성에 따라 필요한 스펙트럼을 선별적으로 확인하여 설정할 수 있다. [그림 4]에 그 확장된 모델을 도시하였다.

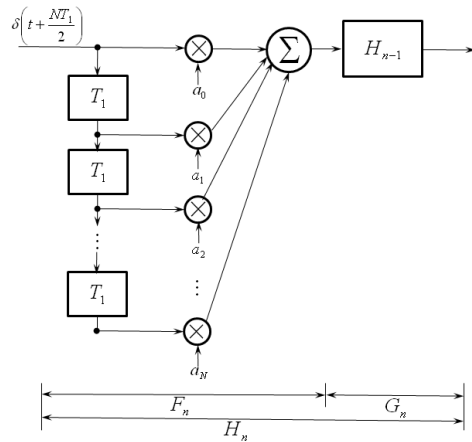


그림 4. 확장된 순환 모델

이 모델을 [그림 2]의 모델과 비교해보면, 탭(tab)과 지연요소(delay element)를 늘려 일반화하였음을 알 수 있다. [그림 2]의 모델은 [그림 4]의 일반화된 모델에서 상위 두 개의 탭만을 사용하여  $a_0 = a_1 = 1$  이고, 나머지 탭의 계수는 모두 0일 때 얻을 수 있는 특수한 경우임을 알 수 있다. 이 일반화된 모델에 있어서도, 전체 전달함수  $H_n$ 은 그 바로 이전 차수의 전달함수  $H_{n-1}$ 을 시스템의 일부분으로 보유함으로써 그 순환적 특성은 그대로 유지한다.

원래의 모델은 Kabal[5] 등에 의하여 제안된 부분응답시스템의 횡단여과기(transversal filter) 모델인데, 이는 [그림 4]의 우측에 존재하는  $H_{n-1}$  여과기를 대역 제한을 위한 이상적 저역여과기(ideal LPF)로 대체해

놓은 형태를 갖는다. 우리는 단지 고차원펄스의 스펙트럼을 순환적으로 유도하기 위하여 이를 바로 이전 차수의 전달함수로 설정한 것이다.

일반화된 모델의 형태를 수식으로 나타내면,

$$\begin{aligned}
 F_n(D) &= a_0 + a_1D + a_2D^2 + \dots + a_ND^N \\
 &= \sum_{k=0}^N a_k D^k
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

와 같다. 우리는 계수  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_N$  과 지연요소  $T_1$ 을 변경함으로써 매우 다양한 형태의 모델을 얻을 수 있다. 또한, 이러한 모델들을 이용하여 여러 가지 형태의 고차원펄스를 정의할 수 있으며, 이들은 유사한 특성을 갖는 극초단펄스 등을 근사화할 수 있을 것이다.

#### IV. 이러닝 콘텐츠의 설계

본 논문에서 주목하고 있는 펄스의 형태는 식(1)의 Cosine함수로 이루어진 고차원펄스이며, 우리는 이 펄스에 대한 스펙트럼을 차수에 따라 순환적으로 유도할 수 있는 방법과 그 과정을 학습하기 위한 이러닝 콘텐츠를 설계하고자 하는 것이다.

본 장에서는 제3장에서 설명한 스펙트럼 분석방법과 순환공식 및 찾아보기표 등을 학습자료로 제공하여 이들을 효율적으로 학습할 수 있는 이러닝 시스템을 설계한다. 여기서 설계하는 시스템의 근본적 구조는 개념단위 오브젝트별 분기방법을 적용한 맞춤형 이러닝 체계에 근간을 둔다[6].

##### 4.1 콘텐츠 페이지와 모듈

고차원펄스의 스펙트럼을 기존의 연속미분법이나 쿨블루선법에 의하여 유도한다면, 모든 차수에 대하여 독립적으로 유도하는 과정을 필요로 할 것이기 때문에, 이에 대한 학습을 위한 이러닝 콘텐츠의 논리체계는 각 모듈에 대하여 순차적 구조로 이루어질 것이다. 그림 5

에 순차적 구조를 갖는 이러닝 콘텐츠의 논리체계를 도시하였다.

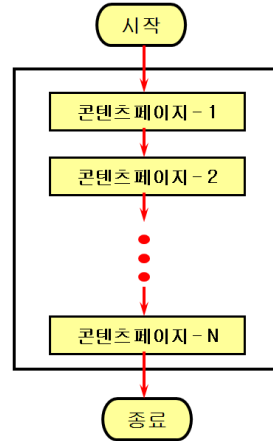


그림 5. 순차적 구조의 이러닝 콘텐츠 논리체계

각 콘텐츠페이지는 이러닝 콘텐츠의 제작자가 전체 교육내용을 적절한 크기로 구분한 것으로 콘텐츠의 학습내용에 따라 마디를 지을 수 있는 곳에서 끊어 각각의 페이지를 형성시킨 것이다. 만일 [그림 5]와 같은 콘텐츠 논리체계를 연속미분법에 의하여 1, 2, 3차의 스펙트럼 유도과정을 학습하는 이러닝 콘텐츠에 적용한다면, 우리는 다음과 같은 콘텐츠 페이지를 형성시킬 수 있을 것이다.

- 콘텐츠페이지 - 1 : 제1차 스펙트럼  $P_1(f)$ 의 유도 과정을 학습하는 페이지
- 콘텐츠페이지 - 2 : 제2차 스펙트럼  $P_2(f)$ 의 유도 과정을 학습하는 페이지
- 콘텐츠페이지 - 3 : 제3차 스펙트럼  $P_3(f)$ 의 유도 과정을 학습하는 페이지

이와 같이 형성된 콘텐츠페이지 내에는 다시 내용적으로 구분될 수 있는 마디들이 존재할 것이다. 우리는 이들을 모듈(module)이라 부른다.

위에 제시한 콘텐츠페이지-1은 다시 다음과 같은 모듈들로 구성할 수 있다.



- 모듈1.1 : 펄스  $p_1(t)$ 를 한 번 미분하는 과정을 학습하는 모듈
- 모듈1.2 : 위 모듈1.1에서 얻은 미분된 펄스  $d/dt[p_1(t)]$ 를 다시 한 번 미분하는 과정을 학습하는 모듈
- 모듈1.3 : 두 번 미분된 펄스  $d^2/dt^2[p_1(t)]$ 에서 원래의 펄스  $p_1(t)$ 를 찾아, Fourier 변환의 미분성질을 이용하여 변환하는 과정을 학습하는 모듈
- 모듈1.4 : 방정식을 정리하여  $P_1(f)$ 를 얻어내는 과정을 학습하는 모듈

그러나 불행히도 이와 같이 제작된 콘텐츠페이지-1은 다음 콘텐츠페이지-2를 구성할 때 전혀 사용될 수 없다. 왜냐하면  $P_2(f)$ 를 유도하기 위해서는  $p_2(t)$ 를 세 번 미분해야 하는데, 각 미분들이 콘텐츠페이지-1에서 얻은 미분들과는 아무런 관계가 없는 것들이기 때문이다. 이러한 상황은 콘텐츠페이지-3을 제작하는 과정에서도 마찬가지이므로 모든 콘텐츠페이지와 모듈들이 그림5와 같은 순차적 논리체계로 나열될 수밖에 없다.

이러한 논리체계를 갖는 이러닝 콘텐츠는 단순한 순차적 학습을 기본으로 하며, 스크롤이나 페이지별 분기 방식 혹은 목차별 분기 방식 등을 사용하여 운용할 수 있다. 그러나 이러한 운용에 있어서는, 콘텐츠페이지나 모듈의 일부로 존재하거나 혹은 여러 콘텐츠페이지나 여러 모듈에 걸쳐서 존재하는 개념단위(concept element)에 대해서는 개별적으로 접속할 수 없다.

이것은 순차적 구조를 갖는 이러닝 콘텐츠의 한계라고 할 수 있으며, 이를 개선하기 위한 방안은 위에 정의된 것들보다 훨씬 작은 모듈들을 만들어 이들을 개별적으로 분기할 수 있도록 운용하는 것이다. 그러나 전술된 바와 같이, 연속미분법이나 콘볼루션법에 의한 스펙트럼 유도과정은 고차원펄스의 차수와 관계없이 진행되므로, 각 콘텐츠페이지에는 수많은 소형 모듈들이 존재하게 되고, 이들이 상호 연관성을 갖지 못하므로 각각 독립적으로 운용되어야 하는 것이다. 이러한 현상은 고차원펄스의 차수가 증가할수록 더욱 심화되어,  $n \geq 4$ 의 콘텐츠페이지는 매우 무거운 프로그램을 이

루게 될 것이다. 결국 학습과정에서의 상호작용은 원활하지 못하고, 이렇게 상호작용을 원활하게 일으키지 못하므로 궁극적으로 학습효과를 저하시키는 결과를 초래하는 것이다.

## 4.2 개념단위 저작 및 운용

고차원펄스의 스펙트럼을 유도하는 과정을 학습하기 위한 이러닝 콘텐츠에 [6]의 개념단위 오브젝트별 분기 방식을 적용할 수 있는 것은 앞의 제3장에서 설명한 순환적 알고리즘을 활용할 수 있기 때문이다. 앞 절의 연속미분법에 의한 유도과정이 각 차수마다 서로 다른 콘텐츠페이지를 구축해야만 했던 반면, 우리의 순환적 알고리즘을 활용한 유도과정은 임의의 차수의 고차원펄스에 대하여 개념단위로 콘텐츠페이지들을 저작할 수 있다는 사실이다. 이에 따라, 제3장의 유도과정을 학습하기 위한 이러닝 콘텐츠를 설계하기 위하여 다음과 같이 콘텐츠페이지를 설정한다.

- 콘텐츠페이지 - 1 : (Modeling) 부분응답시스템 모델을 순환적으로 수정하여 고차원펄스의 스펙트럼을 차수에 따라 순환적으로 유도할 수 있도록 모델을 설정하는 과정을 학습하는 페이지
- 콘텐츠페이지 - 2 : (Impulse Response & Transfer Function) 초기조건을 설정하고, 이로부터 순환적 알고리즘을 유도하는 과정을 학습하는 페이지
- 콘텐츠페이지 - 3 : (Parameter Derivation) 스펙트럼의 식을 귀납적 방법으로 정리하여 계수와 파라미터들을 분리하여 적용함으로써, 하나의 자명한 계수와 두 개의 파라미터로 유도되는 과정을 학습하는 페이지
- 콘텐츠페이지 - 4 : (Look-up Table) 고차원펄스의 차수에 따라 스펙트럼을 유도할 수 있는 찾아보기표를 작성하는 과정을 학습하는 페이지

이와 같이 설정된 콘텐츠페이지들은 앞 절의 순차적 구조를 갖는 시스템에서 설정한 콘텐츠페이지와 현저히 다름을 볼 수 있다. 즉, 고차원펄스의 차수에 따라 별도로 설정되었던 콘텐츠페이지가 개념 혹은 학습내

용에 따라 설정되어, 고차원필스의 차수는 네 개의 콘텐츠페이지에 순환적으로 반영된다. 또한, 각 콘텐츠페이지의 모듈들은 모두 개념단위 오브젝트로 설정되어, 각 개별 모듈에 대하여 분기할 수 있도록 운용논리를 적용함으로써 콘텐츠의 어디에서나 개념단위로 임의의 모듈을 접속할 수 있는 융통성을 갖는다.

[그림 6]에 이러한 분기방식을 적용하여 설계된 이러한 콘텐츠의 실행 논리를 설명하는 흐름도를 도시하였다.

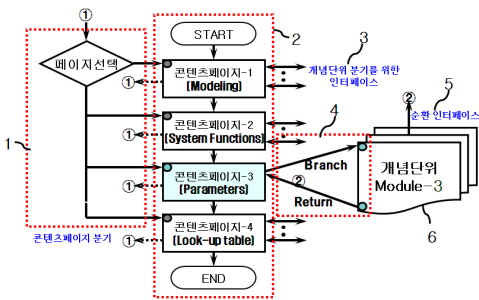


그림 6. 개념단위 분기방식을 적용한 이러한 콘텐츠 운용 논리

먼저, [그림 6]의 “2” 부분은 순차적 구조로 구성된 콘텐츠페이지들을 나열해 놓은 것이다. 다시 말해서, 이 부분만 놓고 보면 그림 5의 논리체계와 동일하나, 단지 콘텐츠페이지들의 설정이 고차원필스의 차수에 따라 이루어진 것이 아니라, 그 콘텐츠페이지가 담고 있는 개념 혹은 내용에 따라 구분·설정되었다는 사실이다.

[그림 6]의 “1” 부분은 초기화면에서 재생할 콘텐츠 페이지를 선택하는 논리를 설명하고 있다. 전체 네 개의 콘텐츠페이지 중 임의의 페이지를 선택할 수 있고, 페이지가 재생되고 있는 도중 언제라도 다른 페이지의 선택을 위하여 초기화면으로 환원할 수 있다. 따라서 저작자는 각 콘텐츠페이지가 재생되는 화면에 초기화면으로 돌아갈 수 있는 분기①을 설치하여야 한다. 우리는 이 분기를 ‘콘텐츠페이지 분기’라 한다.

각 콘텐츠페이지는 개념에 따라 소형으로 구분된 모듈들을 보유한다. 각 콘텐츠페이지가 보유하는 모듈들의 내용은 본 논문 제3장에서 설명하고 있는 스펙트럼 분석방법 혹은 알고리즘의 유도과정을 학습하는 단위 콘텐츠라 할 수 있다. 물론 이와 같은 모듈 내에서도 더

욱 세분된 서브모듈(sub module)들을 설정할 수 있다.

본 논문에서는 위에서 설정한 콘텐츠페이지의 모듈로 다음과 같은 단위콘텐츠들을 설정하여 설계한다.

콘텐츠페이지-1에는 부분응답시스템(PRS)의 개념과 (1 + D)형 Duobinary[8] 시스템의 특성을 학습하는 모듈과 이들로부터 순환적 모델을 설정하는 과정을 학습하는 모듈 등을 설정할 수 있을 것이며, 콘텐츠페이지-2에는 제3.2절의 식(3)으로부터 식(5)가 유도되는 과정을 모듈과 그 하위에 서브모듈들을 설정함으로써 설계할 수 있을 것이다.

콘텐츠페이지-3에는;

- 모듈3.1 : 식(5)의 순환식에 대하여 Fourier 변환의 쌍대성(duality)을 적용하는 과정을 학습하는 모듈
- 모듈3.2 : 식(7)의 순환식을 얻어내는 과정을 학습하는 모듈

-서브모듈3.2.1 : 식(6)과 같이 계수를 조정하여 식(1)의 고차원필스를 얻어내는 과정

-서브모듈3.2.2 : 고차원필스의 식(7)을 차수에 따라 확인하는 과정

-서브모듈3.2.3 : 식(8) 초기조건을 얻어내는 과정

- 모듈3.3 : 계수와 파라미터를 포함하는 고차원필스 스펙트럼의 결과식(9)를 얻어내는 과정을 학습하는 모듈

-서브모듈3.3.1 : 식(8)의 초기조건과 순환식(7)을 적용하여 변수를 분리 식(9)를 얻어내는 과정

-서브모듈3.3.2 : 수학적귀납법에 의하여 식(9)를 증명하는 과정

-서브모듈3.3.3 : 계수와 파라미터에 관한 식(10), (11)을 얻어내는 과정

등을 설정할 수 있다.

마지막으로 콘텐츠페이지-4는 분리된 계수와 파라미터를 고차원필스의 차수에 따라 얻어내는 과정을 학습하는 모듈과 이로부터 찾아보기표(look-up table)를 구축하는 과정 및 임의의 차수에 대하여 적용하는 과정 등 최종적으로 고차원필스의 스펙트럼을 차수에 따라 용이하게 유도하는 실예를 학습할 수 있도록 모듈들과 서브모듈들을 설정한다.

[그림 6]의 “3”은 각 콘텐츠페이지에서 위와 같이 설

정된 모듈로 이행하는 개념단위 분기를 설명하고 있다. 학습자는 필요에 따라 언제라도 하나의 콘텐츠페이지 내에서 임의의 모듈로 분기하여 재생할 수 있으며, 분기 후 언제라도 원점으로 환원할 수 있다. 이러한 분기와 환원을 [그림 6]의 “4”에 표현하고 있다.

앞에서 설정한 콘텐츠페이지-3에서도 모듈3.1, 3.2, 3.3 등 임의의 모듈로 분기할 수 있을 뿐 아니라, 분기된 모듈로부터 원래의 위치로 환원할 수 있고, 하나의 모듈 내에서도 서브모듈3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 등으로 언제든지 분기할 수 있으며, 이러한 서브모듈로의 분기도 언제든지 환원할 수 있도록 논리체계를 구성하는 것이다.

이와 같은 이러닝 콘텐츠는 원활한 상호작용을 제공하는 효과가 있다. 특히, 고차원펄스의 스펙트럼 분석과 같이 매우 난해한 수학적 분석을 포함하는 학습자료의 경우, 분석의 내용을 개념단위로 구분하여 계층적 모듈로 설정함으로써 각 단위콘텐츠의 반복학습이나 심층 학습 등을 원활하게 제공할 수 있다. 더욱이 본 논문에서 제시하고 있는 개념단위 오브젝트별 분기방식을 기존의 페이지별 혹은 목차별 분기방식과 병행하여 구현함으로써 더욱 다양한 상호작용을 추구할 수 있고, 궁극적으로 이러닝 콘텐츠의 학습효과를 극대화할 수 있는 것이다.

### 4.3 학습효과 및 콘텐츠 효율성 검토

[그림 7]은 앞 절에서 설정한 콘텐츠페이지-3에 대하여 개념단위 인터페이스를 통하여 각 모듈과 서브모듈들이 운용되는 논리를 도시하고 있다.

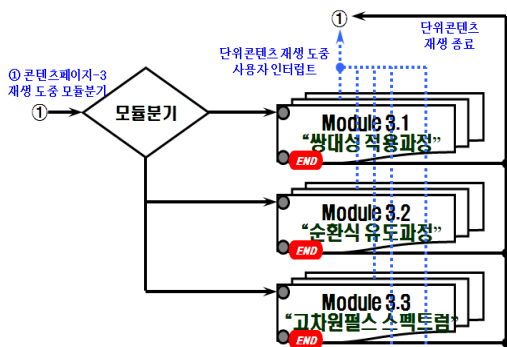


그림 7. 콘텐츠페이지-3의 모듈과 서브모듈의 운용논리

콘텐츠페이지-3에서 개념단위 오브젝트별 분기방식이 적용되면, [그림 7]에 표현된 논리로 모듈과 서브모듈들이 운용되어 학습효과를 완성한다. 콘텐츠페이지-3이 재생되는 도중 ①위치에서 사용자 인터페이스에 의한 ‘모듈분기’가 실행되었다면, 논리는 해당 단위콘텐츠의 시점(starting point)으로 분기한다. 각 단위콘텐츠는 모듈3.1, 모듈3.2, 혹은 모듈3.3 등 개념단위로 구분된 학습내용을 담고 있는 요소로서 각각 시점과 종점을 갖는다. 이와 같이 분기접속된 모듈의 단위콘텐츠가 재생되다가 그 모듈 내의 사용자 인터페이스에 의하여 서브모듈의 단위콘텐츠로 재차 분기할 수 있다. 예를 들어 모듈3.2의 단위콘텐츠가 재생되는 도중 사용자 인터페이스에 의하여 ‘서브모듈분기’가 실행된다면, 논리는 해당 단위콘텐츠의 시점으로 재차 분기하는 것이다. 이러한 분기의 깊이(depth)는 콘텐츠페이지의 설계에 따라 얼마든지 확장될 수 있다.

각 단위콘텐츠로 분기접속되어 실행되던 논리가 그 분기를 요구했던 지점으로 환원되는 것은 해당 단위콘텐츠의 재생이 종점에 이르거나, 재생 도중 사용자 인터럽트가 실행된 경우로, 이 환원의 논리는 분기접속된 단위콘텐츠의 주소가 LIFO(last in first out)형의 스택으로 처리됨으로써 실현할 수 있다.

이와 같이 학습내용을 개념단위로 구분하여 간편한 사용자 인터페이스로 각 단위콘텐츠를 개별적이고 반복적으로 분기접속할 수 있도록 저작하면, 이러닝 콘텐츠는 기존의 방식에 비하여 탁월한 상호작용을 가능케 하는 효과가 있다. 본 논문에서 제기한 고차원펄스의 스펙트럼 유도과정은 실제로 학습자들이 매우 어려워 하는 분야로서, 이를 개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용하여 이러닝 콘텐츠로 저작함으로써 학습자들은 학습의 핵심내용에 원활히 접근하고 각 개념단위를 개별적이고 집중적으로 학습할 수 있는 것이다. 이는 기존에 온라인 학습의 가장 큰 문제점으로 지적되어 온 상호작용의 한계를 극복하고 학습효과를 크게 개선하는 효과가 있다.

특히, 고차원펄스의 스펙트럼을 각 차수별로 별도의 해를 유도하는 대신, 차수에 대하여 순환적 혹은 함수적으로 관계된 찾아보기 파라미터에 의하여 해결함으

로써 기존의 순차적 구조를 벗어나 매우 효율적인 개념 단위 분기를 적용할 수 있었다. [그림 6]을 통하여 밝힌 바와 같이, 본 논문의 분기방법은 기존의 순차적 재생과 페이지별 혹은 목차별 분기방법을 병행하여 구현함으로써 더욱 다양한 상호작용을 제공할 수 있으며, 이에 따라 이러닝 콘텐츠에 의한 학습효과를 극대화할 수 있을 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 고차원펄스의 스펙트럼을 그 차수에 따라 순환적 혹은 함수적으로 관련지어 유도할 수 있는 알고리즘을 제시하고, 그 과정을 학습함에 있어 개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용한 이러닝 콘텐츠를 설계하였다.

우선, 학습자들은 식(7)에 주어진 순환적(recursive) 알고리즘을 활용하면서 이미 극도로 복잡했던 유도과정에 대한 학습 스트레스에서 상당 부분 벗어났을 것으로 파악된다. 우리는 식(9)를 이용한 찾아보기 형식의 파라미터를 소개하고, 이를 적용하여 임의 차수의 고차원펄스에 대한 스펙트럼을 원활하게 유도할 수 있는 방안을 제시함은 물론, 이 과정을 개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용한 이러닝 콘텐츠로 만들어 제공함으로써 학습 스트레스를 현저히 감소시킬 수 있을 것으로 본다.

개념단위 오브젝트별 분기방식은 고차원펄스의 스펙트럼을 유도하는 과정 뿐 아니라, 그 현저한 상호작용을 활용하여 구조도나 모델의 집중적 학습, 난해한 개념에 대한 반복적 학습, 암기단위 혹은 반복단위가 다수 등장하는 콘텐츠 등에 적용되었을 때 탁월한 학습효과를 발휘할 수 있다.

우리는 본 논문을 통하여 그림 2의  $(1 + D)$ 형 모델을 적용한 Cosine형 고차원펄스의 스펙트럼을 유도하는 과정에 집중하였다. 마땅히 모델은 그림4와 같이 일반화될 수 있으며, 계수  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_N$  과 지연요소  $T_1$ 을 변경함으로써 매우 다양한 형태의 모델을 얻을 수 있다. 또한, 이러한 모델들을 적절히 조합함으로

써 실로 다양한 형태의 고차원펄스를 정의할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 이들은 유사한 특성을 갖는 극초단펄스 등을 근사화할 것이므로 매우 유용하다. 이들에 대한 구체적 실시는 향후의 연구과제로 제시한다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. P. Lathi and Z. Ding, *Modern Digital and Analog Communication Systems, 4th ed.*, Oxford Univ. Press, pp.20-90, 2010.
- [2] J. C. Diels and W. Rudolph, *Ultrashort Laser Pulse Phenomena*, Academic Press, 1996.
- [3] Y. S. Oh, "Personalized e-Learning Content of High Ordered Pulse Spectral Analysis Using Unit-Based Branching Method," *Proceedings of ICC2010, Nara Japan*, pp.423-424, 2010(12).
- [4] 오용선, "교육용 콘텐츠 설계를 위한 새로운 분기 방법", *한국콘텐츠학회논문지*, 제2권, 제4호, pp.1-8, 2002.
- [5] C. E. Kang and Y. S. Oh, "The Look-up Table for Deriving the Fourier Transforms of Cosine Pulses," *IEEE Trans. on Educ.*, Vol.37, No.3, pp.306-311, 1994.
- [6] 오용선, "개념단위 오브젝트별 분기방식을 적용한 교육용 디지털 콘텐츠 및 이를 이용한 디지털 콘텐츠 처리방법," 대한민국 특허 제10-0442417호, 2004.
- [7] J. H. Min, H. C. Chung, J. S. Jun, and Y. S. Oh, "A Novel Spectral Analysis of Untrashort Pulse Transmission Using the Pulse-Ordering Concept," *한국통신학회논문지*, 제25권, 제7A호, pp.986-993, 2000.
- [8] A. Lender, "The Duobinary Technique for High Speed Data Transmission," *IEEE Trans. Commun. Electron.*, Vol.82, pp.214-218, 1963(5).
- [9] P. Kabal and S. Pasupathy, "Partial-Response Signaling," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.COM

- 23, pp.921-934, 1975(9).

[10] 민재홍, 정희창, 오용선, “극초단펄스 스펙트럼 분석방법,” 대한민국 특허 제10-0366298호, 2002.

저 자 소 개

오 용 선(Yong-Sun Oh)

종신회원



- 1983년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1985년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

- 1984년 1월 ~ 1986년 8월 : 삼성반도체통신 연구원
- 2007년 9월 ~ 2008년 8월 : 한국전자통신연구원 (ETRI) 초빙연구원
- 1988년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 공과대학 정보통신공학과 교수
- 2006년 7월 ~ 현재 : 한국콘텐츠학회 회장

<관심분야> : 디지털통신시스템, 정보공학, 멀티미디어 콘텐츠, 맞춤형 이더닝