

논문 2005-42TC-10-3

# 극수의 순환성을 이용한 새로운 GF(3)상의 GRM 상수 생성 방법

(The New Generation Circulation Method to Generalized  
Reed-Muller(GRM) Coefficients over GF(3))

이 철 우\*, 차 문 철\*, 김 흥 수\*

(Chol-U Lee, Wenzhe Che, and Heung-Soo Kim)

## 요 약

본 논문에서는 극수의 순환성을 이용하여 GF(3)상에서 새로운 GRM(Generalized Reed-Muller:GRM)상수를 생성 하는 방법을 제안하였다. 일반적인 GRM 상수의 생성 방법은 RM 변환을 이용하여 고정 극수  $p = 0$ 의 GRM 상수를 구한 후, 이를 확장하여 모든 극수의 GRM 상수를 구하는 것이다. 이 방법은 변수의 개수가 증가함에 따라 적용되는 변환 행렬의 차수도 커지게 되므로 연산자의 숫자도 증가하게 된다. 이에 반해, 본 논문에서 제시한 방법은 극수의 순환성을 이용하여 순차적으로 상수를 생성하는 방법으로서 연산식이 가장 간단한 특정 극수의 변환 방식을 반복 적용, GRM 상수를 생성하여 병렬형의 출력을 갖는 GRM 상수 생성 방법보다 상수 생성과정에 있어서 비교적 간단하고 연산자의 수도 감소하였다. 기존에 발표된 직·병렬형의 연산 방법에 비하여 하드웨어 적인 측면에서 승산기의 사용을 제한하고 가산기만을 사용하므로 효율적인 회로 구성과 함께 시스템의 복잡도를 개선할 수 있다.

## Abstract

This paper propose a new generation method of GRM coefficients using the circulation property of polarity over GF(3). The general method to derive GRM coefficients are obtain the fixed polarity of GRM coefficients using RM expansion and expand it for the polarities. Since the general method has many operations when the number of the variables are incremented. Proposed method in this paper simplifies the generation procedure and reduces a number of operators compare to parallel type because of the cyclic property of polarity. Comparing to the proposed papers, the proposed method use only adders without multiplier. So it improves the complexity of the system with efficient composition of the circuits.

**Keywords :** 순환성, 극수, GF(3), GRM, Coefficients

## I. 서 론

현재 사용되고 있는 논리회로 시스템은 부울 함수를 기초로 한 2진 논리회로로 구성되었으며 지난 수십 년 간의 빠른 기술의 발달은 칩의 집적도 성능을 비약적으로 향상시켰다. 그러나 회로가 지나치게 집적화됨에 따라 칩내 소자간의 배선 및 회로 결선에 의한 신호선 사이의 혼선 잡음과 신호 지연 등의 문제점이 발생하게 되었다. 이러한 문제점의 해결 방안의 하나로 다치논리

를 VLSI 칩속에 적용하여 상호 연결의 수와 연결 길이를 감소하여 집적회로의 처리 능력과 신뢰성을 향상시킬 수 있는 다치논리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1-2]</sup>. 다치논리는 하나의 신호선에 2진 이상의 신호를 전송하여 시스템을 구성하는 논리회로로 이러한 다치논리 시스템의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

첫째로 VLSI에서 칩면적의 70% 정도가 내부 결선에 할당되므로 p치의 함수로 구성된 다치 시스템은 2치 시스템에 비하여  $1/(\log_2 p)^2$ 로 감소되어서 칩밀도가 향상된다. 둘째로 저항, 콘덴서, 상호 연결 길이 등에 의하여 결정되어 지는 상호연결 지연에 대한 문제점은 상호 연

\* 정희원, 인하대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics, Inha University)  
접수일자: 2005년7월22일, 수정완료일: 2005년10월14일

결의 복잡성을 줄일 수 있으므로 상호 연결들의 전체 길이와 상호 연결 지연을 상당히 감소 할 수 있다. 셋째로 내부 결선의 전체 길이가 감소되므로 처리 속도의 향상은 물론 전력 소비도 감소된다.<sup>[3-4]</sup>

위에 열거된 것 이외에도 처리속도의 향상 및 신뢰도 향상 등의 장점을 갖는다. 이러한 다치논리에 대한 연구는 현재로서도 상당히 많은 부분이 개발되어야 하며 다치 시스템을 구현하기 위하여 기존의 2진 논리에서 적용되는 모든 연산을 다치신호로 표현해야하며 다치 하드웨어에 대한 알고리즘의 발전을 지속적으로 행하여야 한다.

본 논문에서는 다치논리 함수에 대한 연구분야의 하나로 함수의 간략화에 대한 논문으로서 Reed-Muller 전개식을 이용하여 GRM상수를 구하고 최적의 함수를 구성하는 방법에 관하여 논하였다. 다치논리 함수는 입력 값의 조합에 의해 출력 값이 주어지는 진리치표를 일반화한 연산영역(operational domain)과 입력변수를 함수적으로 표현한 함수영역(functional domain)에서 해석이 가능하며 영역사이의 변환은 RM 전개식을 이용한다. RM 전개식을 이용하는 이점은 소자 수와 게이트 상호 연결 수에 있어서 타 함수의 논리회로 실현보다 경제적이며 테스트가 용이하다. RM 전개식에 의하여 표현된 함수 영역의 유일한 함수로 존재하는 것은 아니다. 만약 입력 변수들에 대하여 입력의 형태를 달리하면 새로운 형태의 정규화 된 함수를 구성한다. 이와 같이 GF(p)상의 n개의 변수에 대하여  $p^n$ 개의 서로 다른 극수(polarity)에 대한 상수를 구하는 과정을 GRM변환이라 하며 여러 가지 방법들이 제안되었다.<sup>[5-6]</sup> Besslich는 EX-OR함수를 이용한 GRM상수의 생성 방법을 극수의 변화에 따르는 상수간의 관계를 맵(map)상에서 해석하여 순차적인 GRM상수를 구하는 방법에 관하여 나타내었다.<sup>[7]</sup> Wu 등도 2치 함수에 대하여 EX-OR함수를 이용한 GRM상수의 생성 방법을 맵을 이용하여 구하였다.<sup>[8-9]</sup> Green은 2치 함수에 대하여 Kronecker 곱에 의한 전달행렬을 구하여 이를 이용한 RM변환과 GRM상수를 구하였으며 3치와 4치 함수에 대한 GRM 상수 생성방법을 제안하였다.<sup>[10]</sup>

이러한 방법들은 변수의 개수가 많아짐에 따라 연산 과정이 복잡해지는 단점을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 극수의 순환성을 이용하여 GRM 상수를 생성하는 새로운 방법을 제안하였다.

## II. GRM 상수 생성

단일 변수에 대한 GF(3)상의 RM 함수식은 다음과 같다.

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 \quad (1)$$

GRM 함수는 입력 변수들에 대해 입력의 형태를 달리하여 새로운 형태의 정규화된 함수를 구성하는 것이므로 식(1)을 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$f(x') = c_0 + c_1x' + c_2x'^2 \quad (2)$$

위의 식에서  $x'$ 은 GF(3)의 특성에 의하여  $x, x+1, x+2$ 의 값을 가질 수 있고 이는 각각 극수  $p=1$ 과  $p=2$ 를 의미한다.

식(2)의  $x'$ 에  $x+k(k=0, 1, 2,)$ 를 대입하여  $x'$ 항을 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$[1 \ x' \ x'^2] = [1 \ x \ x^2] \begin{bmatrix} 1 & k & k^2 \\ 0 & 1 & 2k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

역변환을 하면 식(4)과 같다.

$$[1 \ x \ x^2] = [1 \ x' \ x'^2] \begin{bmatrix} 1 & 2k & k^2 \\ 0 & 1 & k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)을 식(1)에 대입하면 식(5)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 = [1 \ x \ x^2] \begin{bmatrix} 1 & 2k & k^2 \\ 0 & 1 & k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)의 극수  $k$ 에 의해 표현된 행렬에 GF(3)상에서  $k$ 가 가질 수 있는 값인  $k=1$ 과  $k=2$ 를 적용하여

표 1. GF(3)의 극수에 따른 상수 변환  
Table 1. GRM coefficients with all polarities over GF(3).

$c_i$	$P=0$ ( $x'=x$ )	$P=1$ ( $x'=x+1$ )	$P=2$ ( $x'=x+2$ )
$c_0$	$c_0$	$c_0 + 2c_1 + c_2$	$c_0 + c_1 + c_2$
$c_1$	$c_1$	$c_1 + c_2$	$c_1 + 2c_2$
$c_2$	$c_2$	$c_2$	$c_2$

고정극수(P=0)의 GRM 상수에 대하여 극수 P=1과 P=2의 상수를 변환한 값을 표로 나타내면 다음과 같다.

$n > 2$ 인  $n$ 변수에 대한 극수의 변환은 단일변수에 대한 변환과정을  $n$ 변수로 확장 적용하여 구하면  $3^n$ 개에 해당하는 극수의 GRM 상수를 구할 수 있다.

[정의 1]  $f^k(x)$ 는  $f(x)$ 함수의  $P=k$ 의 GRM 함수  $f^k(x)$ 를 의미한다.

### III. 극수의 순환성

표 1에서 볼 수 있듯이 GF(3)상에서 극수  $p = 1$ 인 경우 GRM 상수는 각각  $c_0 + 2c_1 + c_2$ ,  $c_1 + c_2$ ,  $c_2$ 이고 극수  $p = 2$ 인 경우 상수는  $c_0 + c_1 + c_2$ ,  $c_1 + 2c_2$ ,  $c_2$ 로서 극수  $p = 1$ 과 극수  $p = 2$ 에 대한 상수의 생성 방법이 다르다는 것을 볼 수 있다. 그러나 이와 같은 문제는 극수의 순환성을 이용하여 상수생성 연산식이 가장 간단한 특정 극수를 이용하면 모든 GRM상수 생성 시 특정 극수의 연산식을 모두 적용하여 구할 수 있다.

[정의 2]  $(f^k(x))^m$ 는 함수  $f(x)$ 에 극수  $p = k$ 를 적용한 GRM 함수  $f^k(x)$ 의 극수  $p = m$ 인 GRM 함수를 의미한다.

[정의 3]  $c_i^{(k)}$ 은  $p = k$ 변환에 의해 생성된 다항식의  $i$ 번째 상수를 의미한다.

[정리 1] 단일 변수에 대하여 극수  $p = k$ 의 GRM 함수  $f^k(x)$ 에 대한 극수  $m$ 의 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$(f^k(x))^m = f^{(k+m)} \text{mod} p(x)$$

(증명)  $p$ 차 단일 변수 함수에 대한 고정극수( $p = 0$ )의 함수식이 식(6)과 같은 경우 극수  $p = k$ 의 GRM 함수식을 나타내면 식(7)과 같다.

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_{p-1}x^{p-1} \quad (6)$$

$$f^k(x) = c_0 + c_1(x+k) + c_2(x+k)^2 + \dots + c_{p-1}(x+k)^{p-1} \quad (7)$$

극수  $k$ 에 대한 전개식을  $p = m$ 에 대한 전개식으로 나타내면 식(8)과 같다.

$$f^k(x)^m = c_0 + c_1(x+k+m) + c_2(x+k+m)^2 + \dots + c_{p-1}(x+k+m)^{p-1} \quad (8)$$

'+'는 mod- $p$  연산이므로 극수에 해당하는 부분에 mod- $p$ 의 연산을 행하면 식 (9)와 같이 표현된다.

$$f^k(x)^m = c_0 + c_1(x+(k+m) \text{mod} p) + c_2(x+(k+m) \text{mod} p)^2 + \dots + c_{p-1}(x+(k+m) \text{mod} p)^{p-1} \quad (9)$$

증명 끝.

[예제 1] GF(3)의 함수  $f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2$ 에서  $f^2(x)$ 와  $(f^1(x))^1$ 의 GRM 함수식이 같은 결과를 갖는다는 것을 보여라.

표 1.로부터  $p = 2$ 인 경우의 상수의 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$f^2(x) = (c_0 + c_1 + c_2) + (c_1 + 2c_2)x + c_2x^2$$

표 1.로부터  $p = 1$ 인 경우의 상수의 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$f^1(x) = (c_0 + 2c_1 + c_2) + (c_1 + c_2)x + c_2x^2$$

$f^1(x)$ 의 함수식에서 극수  $p = 1$  ( $f^1(x))^1$ 의 상수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (f^1(x))^1 &= ((c_0 + 2c_1 + c_2) + 2(c_1 + c_2) + c_2)x \\ &\quad + (c_1 + c_2)x + c_2x^2 \\ &= (c_0 + c_1 + c_2) + (c_1 + 2c_2)x + c_2x^2 \end{aligned}$$

$$\therefore f^2(x) = (f^1(x))^1$$

[정리 2] GF( $p$ )상에서  $p = k$  ( $k = 1, 2, \dots, p-1$ )의 극수의 변환과정 하나만을 사용하면 고정 극수 GRM 함수로부터 모든 극수의 GRM 함수식을 구할 수 있다.

(증명)  $p = k$  변환에 의한 함수의 변환은 다음과

같다.

$$(f^0(x))^k = f(x)^{(0+k)} = f(x)^k$$

위의 함수식에 대하여 다시 한번  $p = k$ 의 변환을 행하면 다음과 같다.

$$((f^0(x))^k)^k = f(x)^{(0+k+k)} = f(x)^{2k}$$

GF(p)상의 모든 극수에 대한 변환을 행하기 위하여  $p = k$ 의 변환을  $p-1$ 번을 반복하게 되면 극수의 변환은 다음과 같으며 modulo-p의 연산을 행한다.

$$f^0(x) \rightarrow f^1(x) \rightarrow f^2(x) \rightarrow \dots \rightarrow f^{(p-1)k}(x)$$

위의 식에서  $k$ 와  $0, 1, 2, \dots, p-1$ 은 GF(p)상의 원소로서 승산에 대한 체(field)의 성질을 적용하면 극수에 대한 변환 과정은 임의의 원소  $k$ 에 의한 극수의 변환으로 가능하다.

증명 끝.

위와 같이 극수의 순환성을 이용하면 GF(p)상에서  $p = 1, p = 2, \dots, p = p-1$ 의 극수 변환과정에서 하나의 극수 변환과정을 대입하면 모든 극수의 변환에 따른 상수를 구할 수 있다. 그림1은 단일 변수인 경우 임의의  $p = k$ 변환에 대한 p개의 극수 생성과정을 나타내었다. 극수  $p = 0$ 에 대하여  $p = k$ 의 변환을 행하면  $f^k(x)$ 가 되며  $f^k(x)$ 에 대한  $p = k$ 의 변환을 하면  $f^{2k}(x)$ 가 된다. 이와같이  $p = k$ 의 변환과정을 반복적으로 행하면 그림 1과 같이 모든 극수의 생성이 가능하다.

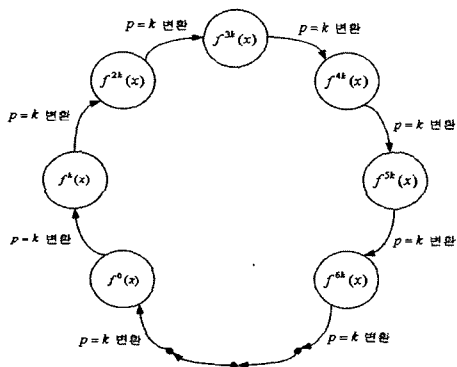


그림 1. GF(p)에 대한 극수 P=k의 순환  
Fig. 1. Circulation of polarity P=k over GF(p).

#### IV. 극수의 순환성을 이용한 GRM 함수 생성

본 절에서는 극수의 순환성을 이용하여 GRM 상수를 구하는 방법에 있어서 상수의 연산과정이 일관성을 갖는 방법을 적용하여 GRM 상수를 구할 수 있는 직렬형의 방법에 대하여 나타내었다. 단일 변수에 대한 상수 GRM상수를 구하여 본다.

GF(3)의 경우 단일 변수에 대한 극수의 상수생성 연산식은 표1에 나타내었다. 표1에 의하여  $p=1$  또는  $p=2$  상수의 변환 과정이 모두 3개의 가산과 1개의 승산으로 구성되므로 P=1 또는 P=2의 상수 생성 연산식 중 어느 것을 선택하여도 연산의 복잡도는 서로 동일하다.

하지만 회로구현 측면에서 볼 때, 승산기의 사용은 가산기보다 더 복잡도가 커지므로 승산기를 사용하지 않고 그림2과 같이 3개의 가산기만을 사용할 수 있다. 그림2의  $p=1$ 변환에서 볼 수 있는 것처럼 극수  $p=1$ 의 상수  $c_0^{(1)}$ 를 구하는데 있어서  $c_0 + c_1$ 과  $c_1 + c_2$ 의 가산을 하면 3개의 가산기만으로 원하는 상수를 구할 수 있게 되고  $p=2$ 의 경우에도 마찬가지로 3개의 가산기만으로 원하는 상수를 구할 수 있다.

2개의 변수  $x_1, x_2$ 에 대하여 특정 극수의 변환을 이용한 모든 GRM상수의 생성 과정을 그림3과 그림5에 나타내었다. 그림3은 변수  $x_1, x_2$ 에 대하여 P=0의 상수로부터 P=6까지 변수  $x_1, x_2$ 에 대한 극수의 변환 과정을 나타내었다. P=0에서 P=1의 변환은 변수  $x_1$ 에 대해 P=1변환을 적용하였고, P=2에서 P=5의 극수의 변환은 변수  $x_2$ 에 P=1변환이 적용되었다. 그림3과 같이 모든 극수를 구하는 과정은  $x_1$  또는  $x_2$ 변수에 대하여 P=1

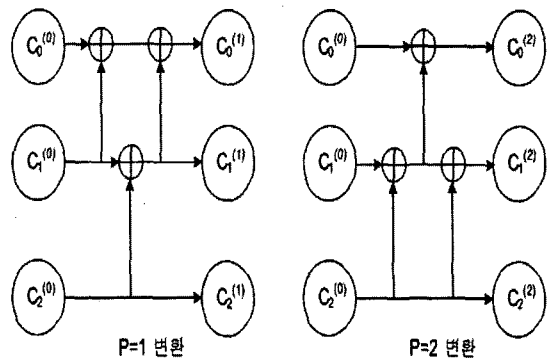


그림 2. 단일 변수에 대한 상수 생성  
Fig. 2. Coefficients generation for single variable.

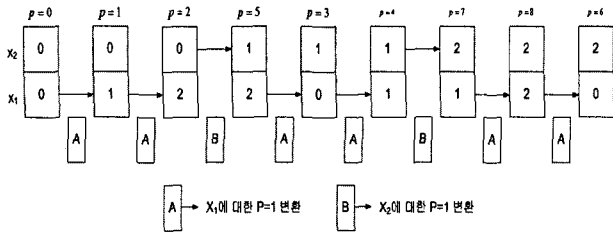


그림 3. 극수의 변환(P=1 변환의 경우)  
Fig. 3. Changes of Polarity(case P=1 changes).

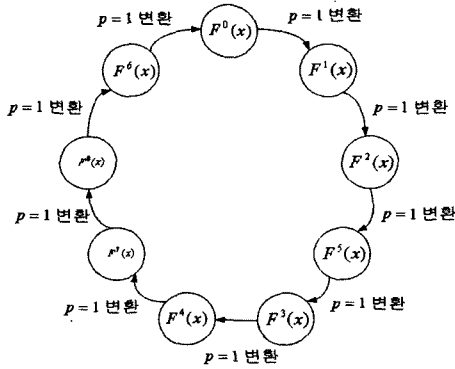


그림 4. P=1 변환에 의한 극수의 순환  
Fig. 4. Circulation of polarity for P=1 transform.

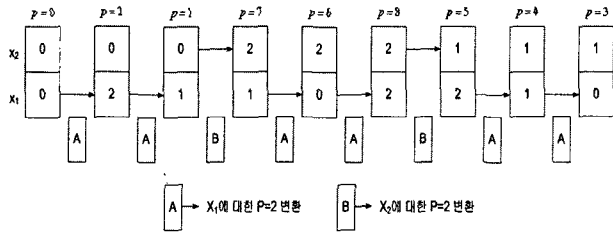


그림 5. 극수의 변환 (P=2 변환의 경우)  
Fig. 5. Changes of Polarity(case P=2 changes).

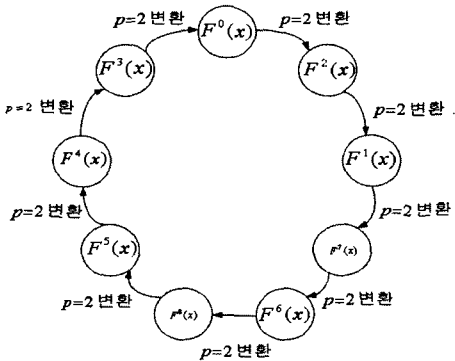


그림 6. P=2 변화에 의한 극수의 순환  
Fig. 6. Circulation of polarity for P=2 transform.

변환 과정을 적용하면 모든 극수의 상수를 구할 수 있다. 그림 4은 P=1의 변환 과정을 이용하였을 경우  $f^0(x)$ 의 함수로부터 나머지 8개의 극수를 구하는 과정을 나타내었다,

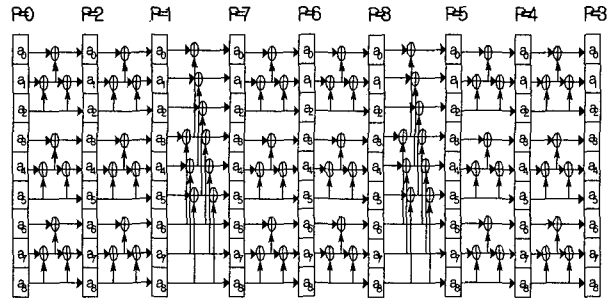


그림 7. 2 변수에 대한 GRM 상수 생성  
Fig. 7. GRM Coefficients generation for 2 variables.

그림 5는 P=2변환과정을 이용한  $x_1, x_2$  변수에 대한 극수의 변환과정을 나타내었으며 그림 6은 그림 5에서 표현된 극수의 순환성을 나타내었다.

그림 3과 그림 5에서 GF(3)상의 함수의 모든 극수를 구하는 것은  $x_1, x_2$  변수의 P=1변환만을 적용하거나(그림 4) 또는 P=2변환만을 적용하여(그림 5), 모든 극수에 해당하는 상수를 구할 수 있다.

그림 7은 P=2의 변환과정을 이용한 2변수에 대한 신호의 흐름도를 나타내었다. 그림 5에 나타난 극수의 변환과정을 적용한 것으로서 그림의 순서대로 극수 P=2, P=1, P=6, P=8, P=4, P=3은  $x_1$  변수에 대한 P=2의 변환과정을 그림 2의 P=2변환을 2변수에 대하여 확장된 개념으로 적용하여 GRM상수를 구하였다.

[예제 2]

$f(x) = x_1 + x_1^2 + x_2 + 2x_1x_2 + x_1^2x_2 + x_2^2 + 2x_1x_2^2 + x_1^2x_2^2$ 가 2변수 P=0의 함수인 경우 GRM 상수를 구하면 다음과 같다.

위의 식을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$f(x) = (x_1 + x_1^2) + (1 + 2x_1 + x_1^2)x_2 + (1 + 2x_1 + x_1^2)x_2^2$$

그림 7을 이용하여 P=2 변환을 적용한 GRM 상수를 구하면 다음과 같은 행렬식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} B^{(0)} \\ B^{(2)} \\ B^{(1)} \\ B^{(7)} \\ B^{(6)} \\ B^{(8)} \\ B^{(5)} \\ B^{(4)} \\ B^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

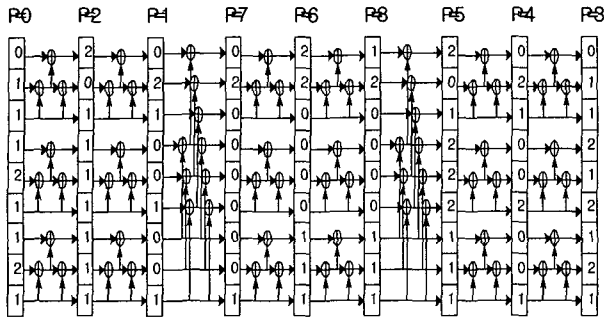


그림 8. [예제 2]에 대한 GRM 상수 생성  
Fig. 8. GRM Coefficients generation to [Example 2].

위의 행렬식에서  $B^{(i)}$ 는  $i$  번째의 상수 벡터를 의미한다.

구해진 모든 극수 중에서 최적의 극수는 극수  $P=7$ 이 0의 값을 가장 많이 갖는 상수들로 구성된 극수이며 이때의 함수식은 다음과 같다.

$$f(x) = 2x_1 + x_1^2x_2^2$$

$P=1$  변환 과정을  $P=2$  변환과 동일한 방법으로 적용하여도 같은 GRM 상수를 구할 수 있으며 상수 생성 연산식이 일정하게 적용되어 일관성 있게 GRM 상수를 구할 수 있다.

### V. 비교 및 검토

GRM 상수를 구하는 방법은 일반적으로 단일 변수에 대한 상수의 변환 행렬을 이용하여 이를 Kronecker 곱을 이용하여 확장한 행렬과 주어진 함수의 행렬연산을 이용하여 구하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 방법은 변수의 개수가 증가하면서 행렬의 차수가 증가하는 문제점이 있다. 3차 함수에서 Green은 direct, fast, Gray-code 알고리즘의 3가지 방법을 제안하였는데 이러한 방법은 상당히 효과적으로 GRM 상수를 구할 수 있는 방법으로 소개되었다.<sup>[10]</sup> Green은 변환행렬에 의한 극수의 변환 관계식을 이용하여 직렬형의 GRM 상수를 구하였으며 제안된 논문은 극수의 순환성을 이용하여 직렬형의 GRM 상수 생성과정을 나타내었다. Hong이 제안한 Fast 알고리즘의 경우는 연산자의 개수를 감소하였으나  $P$ 치의 경우  $p-1$ 개의 서로 다른 GRM 상수 생성 연산식을 적용하였고 상수 생성과정에서 서로 다른 극수를 참조해야 하며 또한 극수가 연속적 성질을 갖고 있지 않기 때문에 상수 생성시 복잡성

표 2. GF(3)상에서 연산자 비교  
Table 2. The Comparison of operations over GF(3).

n		D.H.Green	Hong	제안된 알고리즘
1	가산	6	4	6
	승산	2	0	0
2	가산	72	40	72
	승산	24	0	0
$n \geq 3$	가산	$3^n \times (3^n - 1)$	$(7^n - 3^n)$	$4^n \times (4^n - 1)$
	승산	가산/3	0	0
사용 연산식		1	2	1
상수 생성		직렬형	병렬형	직렬형
상수 참조		간단	복잡	간단

이 따른다.<sup>[12]</sup> 본 논문에서 제안한 방법은 Green의 방법보다 연산자의 개수를 줄일 수 있고 Hong의 병렬형의 방법보다 연산자의 개수는 상대적으로 많지만 직렬형의 장점인 상수 생성 과정이 간단하다. 제안된 방법은 상수 생성 연산식에서 연산자의 개수를 최소화 하는 극수의 변환을 선택하고 이를 극수의 순환성을 이용하여 모든 GRM 상수를 구함에 있어 현재의 극수의 결과를 이용하여 다음의 극수를 구하는 방법을 제안하여 연속적으로 극수를 구하는 경우를 나타내었다.

### VI. 결 론

본 논문은 극수의 순환성을 이용하여 GF(3)상에서 새로운 GRM 상수 생성 방법을 제안하였다. GRM 상수를 생성함에 있어 연산식이 가장 간단한 특정 극수의 변환 방식을 적용하였으므로 상수 생성 과정에 있어 비교적 간단하고 연산자의 수도 감소하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 기존에 발표되었던 Hong의 병렬형, Green의 직렬형 GRM 상수 생성 방법과 비교하였다. 그 결과, Green의 방법에서 사용된 승산기를 사용하지 않고, Hong의 방법에서보다 사용 연산식을 줄이므로 보다 나은 알고리즘이라 사료된다.

회로 구현의 측면에서 Green, Hong이 제안했던 알고

리즘과 비교하여 가산 연산자의 수가 각각 1/20, 1/7로 감소하여 시스템 복잡도를 상당히 개선하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] K. C. Smith, "Multiple-valued logic : a tutorial and appreciation, ", IEEE Trans. Comput., pp.17-27, Apr, 1988.
- [2] M. Kameyama, and T. Higuchi, "Multiple-Valued Information Processing System and it's realization", Trans. IEICE, vol. J72-A,no.2, pp.198-207, Feb. 1989.
- [3] M. Kameyama, "Toward the age of beyond-binary electronics and systems", Proc. IEEE 20th Int. Symposium on Multiple Valued Logic, pp.162-166, May. 1990.
- [4] B. Harking and C. Moraga, "Efficient Derivation of Reed-Muller Expansions in Multiple-Valued Logic System", IEEE Proc. of International Symposium on Multiple Valued Logic, Sendai Japan, pp.436-441, May. 1992.
- [5] Davio Green "Modern Logic Design", Addison-Wesley publishing co, 1986.
- [6] Q. Hong, B. C. Fei, H. M. Wu, M. A. Perkowski, N. Zhaung "Fast Synthesis for Ternary Reed-Muller Expansion", IEEE Proc. of International Symposium on Multiple Valued Logic, Sacramento, California, USA, pp.14-16, May 1993.
- [7] W. Bessilich, "Efficient computer method for EX-OR logic design", IEE. Proc., Part E, vol. 130, no. 6, pp.203-206, Nov. 1983.
- [8] X. Wu, X. hen, "Mapping of Reed-Nuller coefficients and the minimization of exclusive OR-switching functions.", IEE. Proc., Part E, vol. 129, no.1, pp.15-20, Jan. 1982.
- [9] X. Chen and X. Wu, "The Synthesis of ternary Functions under Fixed polarities and Ternary I2L Circuits", IEEE Proc. of International Symposium on Multiple Valued Logic, Kyoto , Japan , pp.424-429, May, 1983.
- [10] D. H. Green, "Ternary Reed-Muller switching functions with fixed and mixed polarity", Int.J.Electronics, vol. 67, no. 5, pp. 761-775 Nov.1989.

---

 저 자 소 개
 

---



이 철 우(정회원)  
 1998년 인하대학교  
 전자공학과(학사)  
 2000년 인하대학교  
 전자공학과(석사)  
 2005년 현재 인하대학교 전자  
 공학과 박사과정 재학 중  
 <주관심분야 : 회로 설계, 디지털 로직, 정보 및  
 부호이론>

차 문 철(정회원)  
 1999년 중국 심양건축대학교 자동제어학과(학사)  
 2002년 인하대학교 전자공학과 (석사)  
 2005년 현재 인하대학교 전자공학과 박사과정  
 재학 중  
 <주관심분야 : 퍼지 이론, 퍼지 제어, 회로설계>

김 흥 수(정회원)  
 제40권 SC편 3호 참조  
 2005년 현재 인하대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : 회로 및 시스템, 스위칭이론, 논리  
 회로 설계, 퍼지논리, 다치논리 등>