

한글형 Chipless RFID tag 신호의 분석

류병주*, 이제훈*, 고진환°

Signal analysis of Hangul shaped Chipless RFID Tag

Beongju Ryu*, Jehun Lee*, Jinhwan Koh°

요약

본 논문에서는 RFID tag의 한 종류이며 가격경쟁력이 뛰어난 chipless RFID tag를 한글의 형태로 제안하고 있다. 한글형 chipless RFID tag는 육안으로도 인식이 가능하면서 동시에 기계적 언어로도 인식이 가능하다는 장점을 가지며, 이러한 한글형 chipless RFID tag를 위해 대표적인 한글 자음 10가지와 모음 10가지를 조합하여 34개의 문자를 시뮬레이션 하여 RCS값을 데이터 베이스화하였다. 시뮬레이션된 특정 문자의 RCS값에 잡음을 추가하여 실측 환경을 모델링하고 데이터베이스화 된 각 문자의 RCS 데이터와의 차에 대한 분산을 구하는 알고리즘을 통해 대조함으로써 해당 문자를 인식하는 방법을 사용하였다.

Key Words : Chipless Tag, Radio-frequency identification(RFID), Character Type, Signal processing

ABSTRACT

In this paper, we proposed a Hangul type chipless RFID tag, which has better legibility than the conventional chipless RFID tag not only to a computer but also to a human. We made consonant model, vowel model and whole character model by WIPL tool and checked the applicability of Hangul type chipless RFID tag. We obtain the RCS pattern of each character by simulation. Finally, We classify the character from input data in noisy environment using a variance of the data.

I. 서론

Chipless RFID(Radio-frequency identification) Tag란 일반적인 RFID Tag가 마이크로 칩(microchip)을 포함하는 것과 달리, 마이크로 칩 없이 구성되는 RFID Tag로서, 주재료인 실리콘의 가격 때문에 상대적으로 고가인 마이크로 칩을 포함하지 않기 때문에 가격 면에서의 경쟁력을 가진다. 실제로 일반 RFID Tag의 경우 백만 개 정도의 수량을 기준으로 개당 10센트 이하의 가격으로 낮출 수 없는데 반해 Chipless RFID Tag의 경우 십만개

정도의 수량으로도 1~10센트의 가격으로 제작이 가능하다^[1]. 그렇기에 Chipless RFID Tag의 시장은 더욱 확대될 것으로 예상된다.

이러한 강점을 가진 Chipless RFID Tag는 다양한 구조를 가지고 있으며, 그 구조에 따라 다양한 인식 알고리즘을 적용 할 수 있다. 다시 말하면, 어떠한 구조라도 특정 알고리즘을 통해 비트 표현을 구분 할 수 있다면 Tag로서 사용 가능성을 의미한다^[2]. 하지만 일반적인 Tag의 경우 각종 기기를 사용하여 인식하기 때문에 사람이 아닌 기계가 인식하기 좋은 형태를 가지고 있다. 이를 기계만이 아

※본 연구는 미래창조과학부에서 시행한 「경남 창원과학연구단지육성사업」 기초·원천 R&D 과제 지원사업으로 수행되었습니다.

◆ First Author : 경상대학교 전자공학과 AWC 연구실, ryubj22@gnu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : 경상대학교 전자공학과 AWC 연구실, jikoh@gnu.ac.kr, 정회원

* 경상대학교 전자공학과 AWC 연구실, jehunlee@gnu.ac.kr

논문번호 : KICS2013-08-330, 접수일자 : 2013년 8월 8일, 심사일자 : 2013년 10월 10일, 최종논문접수일 : 2013년 11월 25일

닌 사람의 육안으로도 인식이 가능하다면, Tag가 일반적으로 어떤 물건에 대한 정보를 담고 있기 때문에 물건에 대한 추가적인 안내 글 없이 Tag만으로 물건에 대한 정보의 획득이 가능해진다. 이런 장점 때문에 외국에서는 이미 문자형 chipless RFID에 대한 연구가 진행되고 있다.

기존에 진행되고 있는 대표적인 연구로는 2011년 IEEE International Conference on RFID에서 소개된 Vena, A.의 "A Frequency Signature Based Method for the RF Identification of Letters"가 있다⁹⁾. 해당 논문에서는 영어 알파벳을 Chipless tag로 구현하여 시뮬레이션 툴을 이용해 분석한 뒤, 영문형식의 문자형 tag를 실제 제작하여 측정한 바 있다.

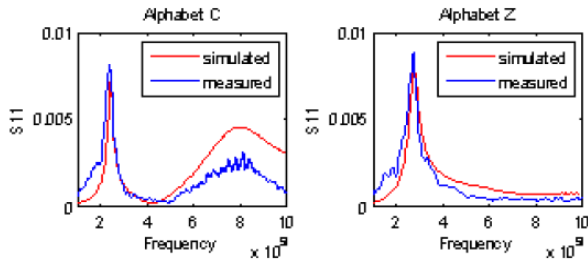


그림 1. Vena, A.의 실측 및 시뮬레이션 데이터
Fig. 1. Simulated and Measured data from Vena, A.'s paper



그림 2. Vena, A.의 논문에서 제작된 Tag
Fig. 2. Manufactured tag from Vena, A.'s paper

이처럼 관련 연구로는 영문이나 숫자에 대한 것만이 있을 뿐 한글에 대한 연구는 아직 진행된 바 없다. 본 논문에서는 한글형 Chipless Tag 및 이를 검출하는 알고리즘을 제안하고자 하며, 이를 위해 EM-Wave 시뮬레이션 툴인 WIPL¹⁰⁾을 통해 Tag를 구현하여

RCS를 측정하고 이를 통해 얻어진 신호 데이터를 분석한다.

RFID의 경우 tag의 재질이나 전자파가 통과하는 대기의 상태에 따라 결과가 달라질 수 있다. tag의 경우 주로 구리가 이용되며, RCS의 측정에 있어서는 Perfect Electric Conductor(PEC)와 구리에 대한 차이가 크지 않기 때문에 본 논문에서는 PEC로 재질을 설정하고, 대기의 경우 구성하고 있는 물질의 농도 차이, 대기중의 습도 등 다양한 환경요인이 존재하므로 모든 경우의 수를 모델링하는 방법 대신, 진공상태로 시뮬레이션 하고 White Gaussian Noise, Interferer, Blocker Issue 등을 고려한 Noise를 RCS결과에 첨가하는 방식을 사용하였다.

일차적으로, 하나의 문자에 대한 RCS(Radar Cross Section)값을 측정하여 주파수 성분을 분석, 이 문자를 이루는 각 모음과 자음의 RCS결과 값과의 비교를 통해 각 자음과 모음의 구조에 의해 나타나는 특성 주파수들에 의해 하나의 문자에 대한 RCS(Radar Cross Section)값이 결정됨을 확인 하였으며, 이는 각 문자가 서로 다른 자음과 모음으로 구성되므로 이를 통해 문자를 구분할 수 있음을 의미한다.

이차적으로 대표적인 자음과 모음을 통해 조합된 문자들의 RCS값을 측정 한 뒤, 이를 통해 해당 문자를 검출 하는 알고리즘을 개발, Noisy 환경에서 각각의 SNR에 대한 탐지율을 확인 하였다.

II. 본 론

우선적으로 한글형 Chipless tag의 구현가능성을 확인하기 위해 몇 개의 자음과 모음을 시뮬레이션 하여 RCS값을 측정한 뒤, 각 자음과 모음으로 이루어진 특정 문자의 RCS값과의 비교를 통해 각 자음과 모음의 공진주파수가 하나의 완전한 문자의 RCS값과 연관이 있음을 확인하여 각 자음과 모음의 모양이나 길이의 차이를 통해 하나의 완전한 문자들 간의 구분이 가능함을 먼저 확인하고자 한다.

이를 위해 몇 개의 자음과 모음을 시뮬레이션 툴을 통해 구현하였으며 그 모양 및 크기는 그림 3과 같다.

아래 형태의 문자를 WIPL tool을 통해 시뮬레이션 하여 RCS값을 측정하였으며, 먼저 『전』의 RCS값을 측정한 뒤, 공진되는 각 주파수 성분을 분석하였다.

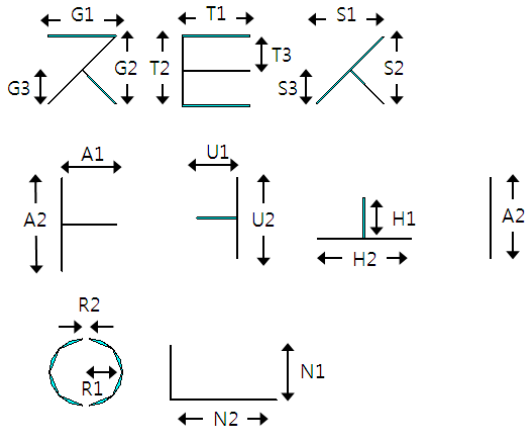


그림 3. 자음과 모음의 형태
Fig. 3. Shape of consonants and vowels

다음으로 『전』이라는 문자의 자음과 모음에 해당하는 『ㅈ』, 『ㄱ』, 『ㄴ』을 시뮬레이션 하여 각각에서 측정된 RCS값을 모두 더한 값과 하나의 온전한 문자에 대한 RCS결과값을 비교하였다. 동일한 방법으로 『전』, 『자』, 『통』, 『신』의 네 글자에 대해 분석하였다.

표 1. 자음과 모음의 길이 (단위 : mm)
Table 1. Length of consonants and vowels (Unit : mm)

Character	Length	Character	Length			
ㅈ	G1	5	ㄱ	U1	2	
	G2	5		U2	8.5	
	G3	2.5		U3	0.5	
ㅊ	T1	5	ㄴ	O1	3	
	T2	3		O2	7	
	T3	1.5		I1	5	
ㅊ	S1	5	ㄷ	N1	2	
	S2	5		N2	6.5	
	S3	2.5		R1	2.5	
ㅊ	A1	4	ㅇ	R2	0.5	
	A2	7		W(폭)		
	A3	1				0.1

『전』을 구성하고 있는 자음과 모음은 『ㅈ』, 『ㄱ』, 『ㄴ』이며 WIPL Tool을 통해 시뮬레이션 된 각 구조의 RCS 값은 그림 4와 같다.

그림 4의 값들을 토대로 『전』을 구성하는 각 자음과 모음의 RCS값을 모두 더한 값과 온전한 『전』의 RCS 값을 비교한 결과는 그림 5와 같다.

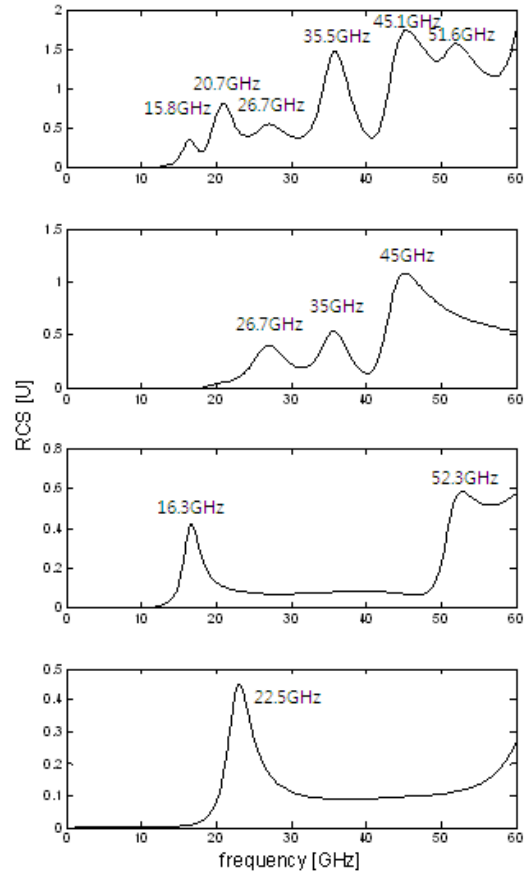


그림 4. 위부터 『전』, 『ㅈ』, 『ㄱ』, 『ㄴ』의 RCS (표기된 숫자는 특성주파수)
Fig. 4. RCS of 『전』, 『ㅈ』, 『ㄱ』, 『ㄴ』 (Marked number is characteristic frequency)

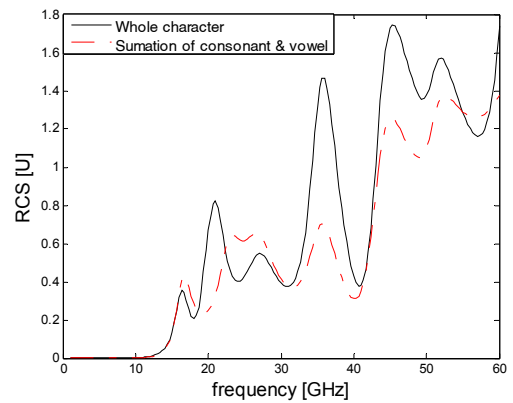


그림 5. 『전』 과 『ㅈ』 + 『ㄱ』 + 『ㄴ』의 RCS
Fig. 5. RCs of 『전』 and 『ㅈ』 + 『ㄱ』 + 『ㄴ』

동일한 방법을 사용한 『자』, 『통』, 『신』의 결과는 다음과 같다.

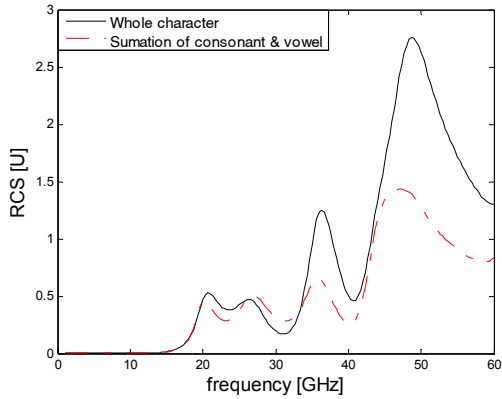


그림 6. 『자』 과 『스』 + 『ㅏ』 의 RCS
Fig. 6. RCS of 『자』 and 『스』 + 『ㅏ』

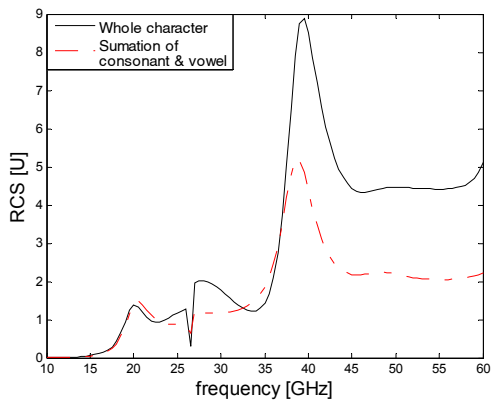


그림 7. 『통』 과 『ㅌ』 + 『ㅓ』 + 『ㅇ』 의 RCS
Fig. 7. RCS of 『통』 and 『ㅌ』 + 『ㅓ』 + 『ㅇ』

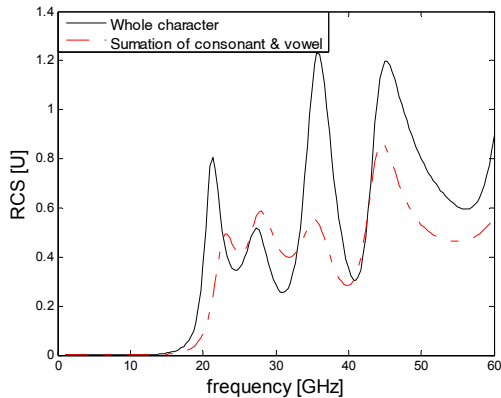


그림 8. 『신』 과 『ㅅ』 + 『ㅣ』 + 『ㄴ』 의 RCS
Fig. 8. RCS of 『신』 and 『ㅅ』 + 『ㅣ』 + 『ㄴ』

위의 그림에서 볼 수 있듯이, 각 자음 및 모음의 RCS 합에서 나타나는 특성주파수와 하나의 온전한 문자의 RCS에서 나타나는 특성주파수의 위치가 유사함을 확인할 수 있으며 이를 통해 각각의 온전한 문자는 이를 이루는 자음과 모음의 공진 주파수에 영향을

받음을 확인할 수 있다. 다시 말해 각 자음과 모음의 특성주파수를 크기와 모양의 조절을 통해 구분가능하게 배치한다면 각 문자에 대해서도 구분이 가능할 것임을 예상할 수 있다.

검출알고리즘으로는 각각의 문자에 대한 값들을 사전에 데이터베이스화 한 뒤, 해당 값과 측정된 값을 비교하는 방식을 사용하였으며 측정된 값을 각 데이터베이스화 된 값들의 차를 측정된 값으로 한번 나눠줌으로써 정규화 시킨 뒤, 분산을 구해 이중가장 낮은 분산을 가지는 값을 검출하는 방법을 사용하였으며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$result = var\left(\frac{Input - Database}{Input}\right)$$

여기에, 보다 높은 탐지율을 위해 수직방향의 길이에 의해 반사되는 특성 주파수가 결정되는 선형 편파와 수평 방향의 길이에 의해 반사되는 특성 주파수가 결정되는 수평 편파 두 가지를 사용하여, 각각에 대해 위의 검출알고리즘을 적용한 뒤, 선형 편파에 대한 분산과 수직 편파에 대한 분산 값의 합을 분석하여 가장 작은 값을 가지는 문자를 검출된 문자로 인식하도록 하였다. 이를 통해 그림 12와 같이 수직편파에 의한 RCS 결과가 유사한 두 개의 문자가 있을 시, 그림 13과 같이 수직편파를 통해 둘을 보다 정확하게 구분할 수 있게 되며, 반대의 상황 또한 가능하다.

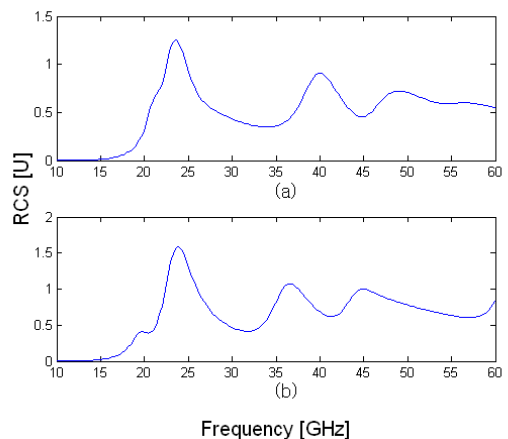


그림 9. 수직 편파에 대한 (a) 문자 『치』 와 (b) 문자 『시』 의 RCS
Fig. 9. RCS of character (a) 『치』 and (b) 『시』 by vertical linear polarization

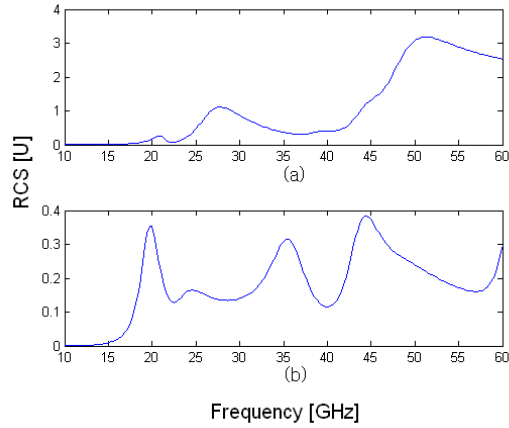


그림 10. 수평 편파에 대한 문자 『치』 (상)와 문자 『시』 (하)의 RCS
 Fig. 10. RCS of character (a) 『치』 and (b) 『시』 by horizontal linear polarization

III. 실험

본 논문에서는 한글로 구성된 문자형 chipless tag를 제안하고자 하며, 모든 한글 자음과 모음을 사용할 경우, 그 경우의 수가 매우 많아지므로, 『ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ, ㅁ, ㅂ, ㅅ, ㅇ, ㅈ, ㅊ』의 자음 10개와 『ㄲ, ㅋ, ㆁ, ㆅ, ㆆ, ㆇ, ㆈ, ㆉ, ㆊ』의 모음 10개를 3개의 집단으로 만들어 각 집단간의 자음과 모음을 합성하여 34개의 문자를 시물레이션 하였다. 해당 문자를 이루는 자음과 모음은 다음과 같다.

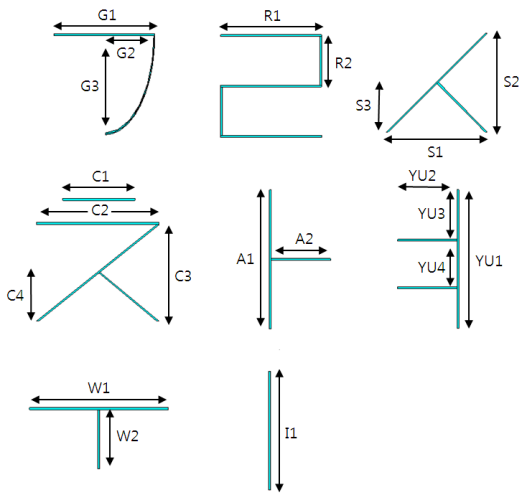


그림 11. 집단 1의 문자를 구성하는 자음과 모음
 Fig. 11. consonants and vowels which has composition of character group 1

표 2. 집단 1에 속한 자음과 모음의 길이 (단위 : mm)
 Table 2. Length of consonants and vowels which has composition of character group 1 (Unit : mm)

Group 1					
Character	Length	Character	Length		
ㄱ	G1	5	ㄲ	A1	7
	G2	2.5		A2	3.45
	G3	5		YU1	7
ㄴ	R1	5	ㅋ	YU2	3
	R2	2.45		YU3	2.4
	S1	5		YU4	2.2
ㅅ	S2	5	ㅈ	W1	7
	S3	2.46		W2	3
	C1	3		l	I1
ㅊ	C2	5	Width	h	0.1
	C3	4			
	C4	1.97			

집단 1의 자음과 모음으로 구성되는 문자는 『가, 라, 사, 차, 겨, 려, 셔, 처, 구, 루, 수, 추, 기, 리, 시, 치』가 된다.

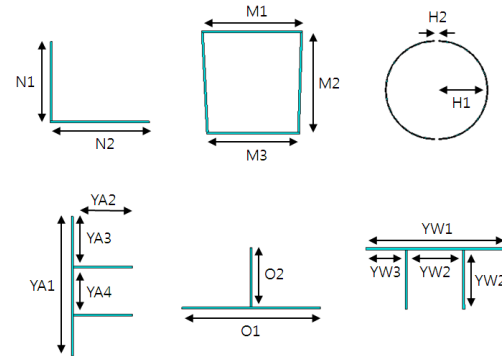


그림 12. 집단 2의 문자를 구성하는 자음과 모음
 Fig. 12. consonants and vowels which has composition of character group 2

표 3. 집단 2에 속한 자음과 모음의 길이 (단위 : mm)
 Table 3. Length of consonants and vowels which has composition of character group 2

Group 2						
ㄴ	N1	4	ㅈ	YA1	7	
	N2	5		YA2	3	
ㅁ	M1	4		ㅊ	YA3	2.5
	M2	3.7			YA4	2.4
	M3	3.7	O1		7	
ㅇ	H1	2.5	ㅈ	O2	3	
	H2	0.1		YW1	7	
Width	0.1		ㅈ	YW2	3	
				YW3	2	
				YW4	2.9	

집단 2의 자음과 모음으로 구성되는 문자는 『냐, 마, 야, 노, 모, 오, 뉴, 뮤, 유』가 된다.

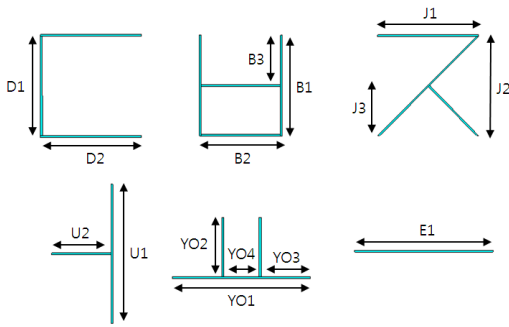


그림 13. 집단 3의 문자를 구성하는 자음과 모음
Fig. 13. consonants and vowels which has composition of character group 3

표 4. 집단 3에 속한 자음과 모음의 길이 (단위 : mm)
Table 4. Length of consonants and vowels which has composition of character group 3

Group 3					
ㄷ	D1	5	ㄱ	U1	7
	D2	5		U2	3
ㅂ	B1	5	ㄴ	YO1	7
	B2	4		YO2	3
	B3	2.4		YO3	2.5
J1	5	YO4		1.8	
ㅈ	J2	5	—	E1	7
	J3	2.46	Width	0.1	

집단 3의 자음과 모음으로 구성되는 문자는 『더, 버, 서, 도, 보, 조, 드, 브, 즈』가 된다.

측정된 문자를 검출하는 알고리즘의 결과값 중 해당 문자에 해당하는 값과 다른 문자의 값의 비교하는 예는 표 5와 같다.

표 5 에서 볼 수 있듯이, 데이터베이스화 된 문자 『가』의 결과값이 가장 낮을 것을 볼 수 있으며, 이는 곧 노이즈가 포함된 입력데이터가 문자 『가』임을 확인 가능함을 의미한다. 동일한 방법으로 모델링된 모든 문자에 적용하였다.

표 5. 노이즈가 포함된 문자 『가』가 입력으로 들어왔을 때의 검출 알고리즘을 통한 결과값
Table 5. Result from Noisy Input 『가』 by calibration algorithm

Character	Result	
	Vertically polarized wave	Horizontally polarized wave
가	0.001	0.013

Character	Result	
	Vertically polarized wave	Horizontally polarized wave
라	2.31	1.941
사	0.91	5.132
차	0.446	2.132
겨	0.116	0.829
려	7.136	8.294
셔	3.646	18.843
쳐	0.284	0.365
구	2.227	2.969
루	0.903	2.863
수	0.323	0.834
추	0.587	2.968
기	1.175	9.534
리	1.293	7.729
시	0.455	30.123
치	4.656	32.494
냐	2.258	45.02
마	1.82	45.125
야	2.569	29.726
노	2.476	114.73
모	0.393	28.698
오	5.244	37.202
뉴	0.6	64.422
뮤	0.457	29.781
유	6.557	40.775
더	13.8	38.016
버	7.175	59.098
저	0.029	32.689
도	1.088	29.925
보	0.016	44.501
조	0.074	0.141
드	1.287	2.956
브	0.274	5.837
즈	0.225	0.797

각각의 문자에 대해 가우시안 노이즈를 추가한 뒤 본문에서 언급한 알고리즘을 적용하였으며, 해당 알고리즘을 적용하여 검출하였을 때의 SNR(Signal-to-noise Ratio) 대비 검출확률은 다음과 같다. (각 SNR당 34개의 문자를 검출대상으로 하였으며, 각 문자 당 1000번의 시행을 통해 검출 확률을 통계하였음.)

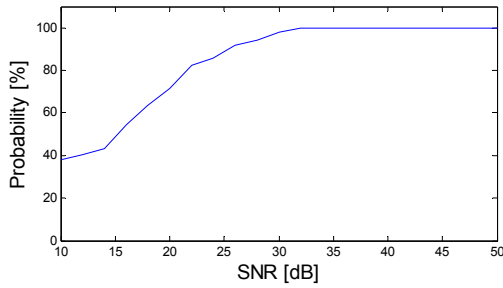


그림 14. SNR에 따른 검출 확률
Fig. 14. Detection probability with SNR

위의 그래프에서 볼 수 있듯이, 20dB이하에서는 낮은 검출 확률을 보이며, 25dB를 전후하여 약 90%의 검출 확률을 보인다. 특히, 35dB 이상에서는 100%에 근사한 검출 확률을 보임을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안된 문자형 chipless tag와 기존의 다른 chipless tag들과의 비교는 다음 표와 같다.

표 6. 제안된 문자형 Chipless Tag와 기존의 Chipless Tag 비교
Fig 6. Performance comparison between established and proposed

	Chipless RFID tag 1	Chipless RFID tag 2	Proposed Chipless RFID tag
Size (Width x Length)	88mm x 65mm	30mm x 30mm	10mm x 10mm
Data size	35 bit	19 bit	16bit (Hangul 1 character)
Bandwidth	3-7 GHz	3.1-10.6 GHz	10-60 GHz
In case of 60x60mm	Less than 35bit	76bit	576bit (36 Character)
Data Size of each 1GHz Bandwidth (60mmx60mm)	8.75 bit	10.13 bit	11.52 bit

위의 비교 표에서 Chipless RFID 1은 IEEE magazine에 게재된 'Chipless RFID : Bar Code of the Future' 논문에서 언급된 내용이며^[11], Chipless RFID 2는 IEEE에 게재된 'High-Capacity Chipless RFID Tag Insensitive to the Polarization'의 논문에서 연구된 내용으로 대용량에 초점이 맞추어져 있다^[12].

위 표에서 볼 수 있듯이, 본 제안의 문자형 Chipless RFID는 일반적인 형태인 Chipless RFID tag1 뿐만 아니라 대용량에 초점이 맞추어진 Chipless RFID 2와 비교하여도 큰 정보량을 가진다. 비교를 위해 60mm x 60mm의 크기를 가정하였으나, 실제 tag의 경우 신용카드의 크기와 비슷한 교통카드가 이미 사용되고 있으므로 신용카드의 크기인 85mm x 54mm 정도의 크기까지는 문제가 없을 것으로 생각되며, 해당 크기에서는 약 40개의 문자가 입력 가능하며 이는 한글 한글자의 bit수인 16bit의 40배인 640bit를 정보로 표현 가능함을 의미한다.

기존의 두 tag의 경우 UWB인 3-10GHz에 맞추어져 있으나, 현재는 60GHz를 사용하는 기술인 Giga-Fi 기술이 나오고 있을 정도로 높은 대역의 주파수에 대한 관심이 높으며 관련기술이 개발되고 있거나 개발 되어있다. 이에 본 논문에서는 10-60GHz의 대역을 설정하여 표현 가능한 정보량 및 tag의 크기에서 강점을 가지도록 tag를 디자인 하였다.

표현 가능한 정보의 양을 보다 객관적으로 비교하기 위해, 단위 대역폭당 표현가능한 bit의 수를 비교하였으며, 이 결과에서도 기존의 두 Chipless tag보다 많은 양의 데이터를 표현 가능함을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 한글형 RFID tag를 연구 하였다. 다음과 다음의 RCS 시뮬레이션 결과에 대한 함과, 이들로 이루어진 문자의 RCS 시뮬레이션 결과로서 연관성이 있음을 확인하였다. 이를 기반으로 전체 문자에 대하여 사전에 데이터베이스화 해두고 특정 문자의 RCS값에 노이즈를 첨가하여 제안된 알고리즘을 적용하였을 때에 해당 문자를 판별할 수 있음을 확인하였다.

각 SNR별 탐지율을 분석함으로써 약 25dB에서는 90%의 검출확률을, 35dB이상에서는 100%에 근사한 검출 확률을 보임을 확인 하였다. 이를 통해, 제안된 알고리즘은 잡음환경에 대해서 면역력을 가지는 알고리즘임을 확인할 수 있으며, 향후 실제 시스템에도 적용이 가능할 것으로 사료된다. 특히, 기존의 chipless tag와 비교하였을 때, 정보량 측면에서 강점을 가지고 있으며, 실제 신용카드 크기의 tag에서 640bit이상 표현 가능함을 확인할 수 있다.

References

[1] J. H. Lee, "Technology of chipless tag," *J. Korean Inst. Electromagnetic Sci. (KIEES)*, vol. 15, no. 2, pp. 54-63, Apr. 2004.

[2] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, "Chipless RFID tag using hybrid coding technique," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 59, no. 12, pp. 3356-3364, Dec. 2011.

[3] R. S. Adve and T. K. Sarkar, "The effect of noise in the data on the Cauchy method," *Microwave Optical Technol. Lett.*, vol. 7, no. 5, pp. 242-247, Apr. 1994.

[4] R. S. Adve, T. K. Sarkar, S. M. Rao, and E. K. Miller, "Application of the Cauchy method for extrapolating/interpolating narrowband system responses," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 45, no. 5, pp. 837-845, May 1997.

[5] L. E. Baum and T. Petrie, "Statistical inference for probabilistic functions of finite state Markov chains," *Ann. Math. Stat.*, vol. 37, no. 6, pp. 1554 - 1563, Dec. 1966.

[6] S. Valaee, B. Champagne, and P. Kabal, "Localization of wideband signals using least-squares and total least-squares approaches," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 47, no. 5, pp. 1213-1222, May 1999.

[7] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, Mar. 1986.

[8] W. S. Lee, H. S. Jang, K. S. Oh, and J. W. Yu, "Design of chipless tag with electromagnetic code for paper-based banknote classification," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf. (APMC)*, pp. 1406 - 1409, Melbourne, Australia, Dec. 2011.

[9] T. Singh, S. Tedjini, E. Perret, and A. Vena, "A frequency signature based method for the RF identification of letters," in *Proc. IEEE Int. Conf. RFID (RFID)*, pp. 1 - 5, Orlando, U.S.A., Apr. 2011.

[10] B. M. Kolundzija, J. S. Ognjanovic, and T. K. Sarkar, *WIPL-D: Software for Electromagnetic Modeling of Composite Wires, Plates and Dielectric Structures*, Artech House, 2000.

[11] S. Preradovic and N. C. Karmakar, "Chipless RFID: bar code of the future," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 11, no. 7, pp. 87-97, Dec. 2010.

[12] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, "High-capacity chipless RFID tag insensitive to the polarization," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 10, pp. 4509-4515, Oct. 2012.

류 병 주 (Beongju Ryu)



2012년 2월 경상대학교 전자공학과 졸업
 2012년 3월~현재 경상대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> RFID, RF design
 레이더 신호처리

이 제 훈 (Jehun Lee)



2012년 2월 경상대학교 전자공학과 졸업
 2012년 3월~현재 경상대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> 신호처리, 레이더 시뮬레이션

고 진 환 (Jinhwan Koh)



1999년 12월 시라큐스대학 전기공학과 박사
 2003년 3월~현재 경상대학교 전자공학과 교수
 <관심분야> 레이더 시스템, 전자파 측정, 신호처리