

C-ITS 통신기술 실증사업

채널사용 시험방안
시험절차서

2022.10

1. 개요

본 문서는 WAVE 통신 주파수 채널 확정이 예정됨에 따라 제안된 주파수 채널에서 서비스를 운영할 때 WAVE 통신 성능의 영향성을 점검하고자 하는 시험 방안이다.

2. 목적

본 문서에서 제안하는 시험을 통해 아래의 세가지 결과 지표들을 얻어내고자 한다.

- ① 각 DUT에서 수신한 안전/부가 서비스 메시지의 패킷에러율(PER)
- ② 각 DUT에서 수신한 안전/부가 서비스 메시지의 주기에 대한 송신 주기 시간 오차율(지터)
- ③ 각 DUT의 다운로드 실패율(DFR:Download Fail Rate)

3. 정의

3.1. 주파수 채널 운영 방안

주파수 채널은 기존 4개 채널에서 3개 채널로 변경되었다. 아래 [표 1]은 주파수 채널별 할당된 서비스를 나타낸다.

표 1. 주파수 채널별 서비스 할당

채널 번호	180				182	184			
중심주파수	5.90GHz				5.91GHz	5.92GHz			
용도	필수서비스				다운로드서비스	선택서비스			
제공 서비스/정보/ 메시지	V2V	필수	-	BSM	다운로드 (인증서, 펌웨어)	I2V	필수	서비스광고	WSA
	I2V	필수	교차로	MAP			선택	-	MAP
				SPAT				-	RTCM
			안전	TIM				편의	TIM
				RSA					RSA
	-						선택	-	PVD
	-					우선신호	-	SSM	
							-	SRM	

3.2. Radio 운영 방안

RSU는 Radio를 2개 또는 3개 지원, OBU는 2개 지원할 수 있다. 동작 A-1~A-5는 ‘부속서 A. WAVE 주파수 채널 사용방안’의 기지국 동작에 관해 설명한 그림의 그림 번호와 같다. [표 2]는 동작 A-1~A-5의 Radio 서비스 할당을 나타낸다.

표 2. RSU, OBU의 서비스별 Radio 운영 방안

	RSU			OBU	
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
필수서비스	Radio0	Radio0	Radio0	Radio0	Radio0
다운로드서비스	Radio1	Radio1	-	-	Radio1
선택서비스	Radio2	Radio1	Radio1	Radio0	Radio1

3.3. 시험용 서비스 종류

시험에 사용하는 서비스 종류와 설정은 [표 3]과 같다.

표 3. 시험용 서비스 메시지 정보

서비스 분류	메시지 종류	전송 빈도 [Hz]	메시지 크기 [Byte]	PSID	전송특성	비고
서비스 광고	WSA	5	430	135	주기성	
V2V 필수	BSM	10	311	32	주기성	혼잡제어기능 필수
I2V 필수	MAP	5	1347	82056	주기성	
	SPAT	10	412	82055	주기성	
	TIM	10	1221	82054	이벤트성	이벤트 발생 ~10초간
		1				이벤트 발생 ~10초 이후
	RSA	10	411	82053	이벤트성	이벤트 발생 ~10초간
		1				이벤트 발생 ~10초 이후
I2V 선택	RTCM	5	240?	82057	주기성	
	MAP	5	1347	82056	주기성	
	TIM	5	1221	82054	주기성	
	RSA	5	411	82053	주기성	
V2I 선택	PVD	1	1233	82051	주기성	
우선신호	SRM	5	256	82058	이벤트성	
	SSM	5	399	82059	이벤트성	
다운로드	인증서	-	-	-	이벤트성	발생빈도:1회/1주(예시)
	펌웨어	-	-	-	이벤트성	발생빈도:수동

3.4. 다운로드 서비스 운영 방법

[표 3]의 다운로드에는 아래 [표 4]를 참고하여 서비스 한다.

표 4. 다운로드 서비스 절차

장치	메시지 종류	서비스 종류	주기 시간	절차 순서	분류	동작 절차	메시지 크기 [Byte]	비고
OBU	인증서	LPF, LFOC 다운로드	6[h]	1	V2I	TCP 접속	-	
				2	V2I	LPF 요청	143	
				3	I2V	LPF 응답	1402	
				4	V2I	LCCF 요청	154	
				5	I2V	LCCF 응답	1333	
	인증서 다운로드	인증서 다운로드	1[W]	1	V2I	TCP 접속	-	
				2	V2I	다운로드 요청	566	
				3	I2V	다운로드 응답	9412	
	펌웨어	업데이트	6[h]	1	V2I	TCP 접속	-	
				2	I2V	cfg 다운로드	100	
				3	I2V	펌웨어 다운로드	2,456,159	필요시
RSU	인증서	다운로드	1[W]	-				
	펌웨어	업데이트	24[h]					

*펌웨어는 장비 제조사의 기술 구현 방식에 따라 편차가 있어 본 시험에서 제외

3.5. 시험 메시지

본 시험에 사용하는 시험 메시지는 아래 [표]와 같은 형식으로 구성된 WSMP(Wave Short Message Protocol)을 이용한다. 이때 메시지의 실제 사용하는 C-ITS 메시지의 PSID, 메시지 간격, 메시지 길이의 값을 사용하고, 메시지 길이는 아래 [표 3] 시험용 WSMP 형식의 dummy 필드 크기를 조절하여 실제 메시지 크기와 같은 환경을 구성한다.

표 5. 시험용 WSMP 형식

시험종류	장비번호	메시지 순번	송신 출력	메시지 PSID	메시지 크기	메시지 간격	dummy
unsigned int	unsigned int	unsigned int	unsigned int	unsigned int	unsigned int	unsigned int	string
4[Byte]	4[Byte]	4[Byte]	4[Byte]	4[Byte]	4[Byte]	4[Byte]	-
시험 항목 001~004	0x00~0x05:RSU 0x06~0x10:OBU 0x11~0xFF:OBU(혼잡)						'DUMMY'

3.6. 주행 속도에 따른 시험 시간과 최대 차량 대수

아래 [표 6] 일반적인 노변기지국의 통신 영역인 1km를 주행할 때, 주행 속도에 따른 주행 시간과 최대 차량 대수이다. 차간 거리는 “국토교통부령 도로구조규칙”의 정지시거 규정값의 사용(설계속도 10km는 없어 설계속도 20km/h의 절반값을 사용)했다. 시험 시간은 주행 시간+10%((첫째자리 절상)로 한다. 본 시험의 시험 시간은 아래 3.7절에 혼잡 비율 100%일 때 차량이 122대이므로 주행 거리 1km를 30km/h로 주행했을 때의 시간 140초 이상으로 한다.

표 6. 주행 속도에 따른 시험 시간

주행 거리	주행 속도	초당 이동 거리	주행 시간	차간 거리	최대 차량 대수	시험 시간	비고
1km	10km/h	2.78m	360s	10m	400	400s	4차로
	20km/h	5.56m	180s	20m	200	200s	
	30km/h	8.33m	120s	30m	133	140s	
	40km/h	11.11m	90s	40m	100	100s	
	50km/h	13.99m	71s	60m	67	80s	

3.7. 혼잡환경 구성 차량 대수

혼잡환경을 구성하는 차량은 WAVE 통신 방식의 RF 환경에 변화를 주는 역할을 한다. IEEE 802.11p의 물리 규격을 사용하는 WAVE 통신 방식은 아래 [표. 7]과 같이 802.11p Frame 구조와 메시지 길이(PDU Length)에 의해 메시지를 처리하는 이론적 시간을 구할 수 있다.(별첨 1. OFDM Signal Symbol Time 계산 참고) 그리고 이 시간값을 이용해 메시지 크기에 따른 서비스의 초당 점유시간을 구할 수 있다. 본 시험에서 DUT는 RSU 3식, OBU 2식으로 DUT의 초당 점유시간은 주파수 채널별로 CH180은 RSU 136ms, OBU 14ms로 150ms이고, CH184는 RSU 107ms, OBU 4ms로 111ms이다. 혼잡장비는 OBU로 구성되므로 주파수 채널별로 CH180은 7ms×혼잡장비 대수, CH184는 2ms×혼잡장비 대수가 된다. 아래 [표. 9]는 혼잡비율에 따른 혼잡차량 대수로 OBU 당 초당 점유시간이 더 큰 CH180을 기준으로 구했다. 표의 잔여시간은 1초당 혼잡비율에 따른 DUT의 점유시간을 제외한 시간이다.

표 7. 802.11p Frame 구조

DIFS	Backoff	STS	LTS	Signal	P_Header	PDU(Protocol Data Unit)	Tail/pad
58us	143us	16us	16us	8us	8us	SBMb*PDU Length*8us	8us

주파수 채널	서비스 종류	메시지 크기 [Byte]	점유시간 [us]	전송 빈도 [Hz]	초당 점유시간 [us]	비고
CH180	BSM	311	672	10	6,720	OBU
	MAP	1347	2,057	5	10,285	
	SPAT	412	807	10	8,070	
	TIM	1221	1,888	10	18,880	이벤트성
	RSA	411	806	10	8,060	이벤트성
CH184	PVD	1233	1,904	1	1,904	OBU
	WSA	100	391	5	1,955	
	RTCM	240	578	5	2,890	

	MAP	1347	2,057	5	10,285	
	TIM	1221	1,888	5	9,440	
	RSA	411	806	5	4,030	
	SRM	256	599	5	2,995	OBU
	SSM	399	790	5	3,950	

표 9. 혼잡비율에 따른 혼잡차량 대수

혼잡비율	주파수 채널	DUT 점유시간	잔여시간	혼잡차량 대수	혼잡구성 장비 구성		비고
15%	CH180	150ms	0ms	0	OBU	2	DUT의 점유율
					가상OBU	0	
25%<	CH180	150ms	100ms	14	OBU	7	
					가상OBU	10	
50%<	CH180	150ms	350ms	50<	OBU	7	
					가상OBU	45	
75%<	CH180	150ms	600ms	86<	OBU	7	
					가상OBU	80	
100%<	CH180	150ms	850ms	121<	OBU	7	
					가상OBU	115	
150%<	CH180	300ms	1,200ms	171<	OBU	7	
					가상OBU	165	

3.8. 다운로드 횟수

본 시험에서 다운로드 횟수는 3.6절의 정의한 시험 시간 100초를 기준으로 1주에 1회 시도하는 다운로드를 송수신 범위가 1km인 해당 RSU에서 시도할 확률을 계산하면 1.32%로 2%가 안 되기 때문에 각 혼잡환경에 따라 DUT OBU만으로 10회 다운로드 시도하여 실패 횟수를 다운로드 실패율로 계산한다.

3.9. 메시지 수신

단계별 수신에 대한 정의는 아래 [표 6]과 같이 한다.

표 10. 메시지의 수신 단계

계층	기능	내용	비고
layer 2	MAC	802.11p MAC 헤더 확인 및 CRC 체크	
layer 7	API	메시지 데이터가 디코딩되어 내용을 확인 가능(Parsing)	

3.10. 메시지 수신 시점

정상적인 메시지 수신 시점은 위의 [표]의 계층 Layer 7에서 수신한 메시지가 정상적으로 디코딩되었을 때를 그 메시지의 수신 시간으로 한다.

3.11. 송신 출력값

시험 장비 RSU에서 송신한 값을 시험 장비 OBU에서 수신했을 때의 거리-수신감도(RSSI) 값은 실제 시험환경에서 얻어낸 수신감도를 이용해 시험 장비 OBU가 그 값으로 수신하도록 RSU 송신 출력값(API 입력값)을 정한다. 아래 그림은 시험을 통해 얻어낸 거리에 따른 수신감도를 이용해 그린 도표로 수신감도를 그림의 추세선 식을 이용해 평준화해 얻어낸 수신감도를 사용한다.

*RSU-OBU의 거리를 200[m]로 가정할 때, OBU 수신감도 -70dBm이 되는 RSU의 송신 출력값을 사용

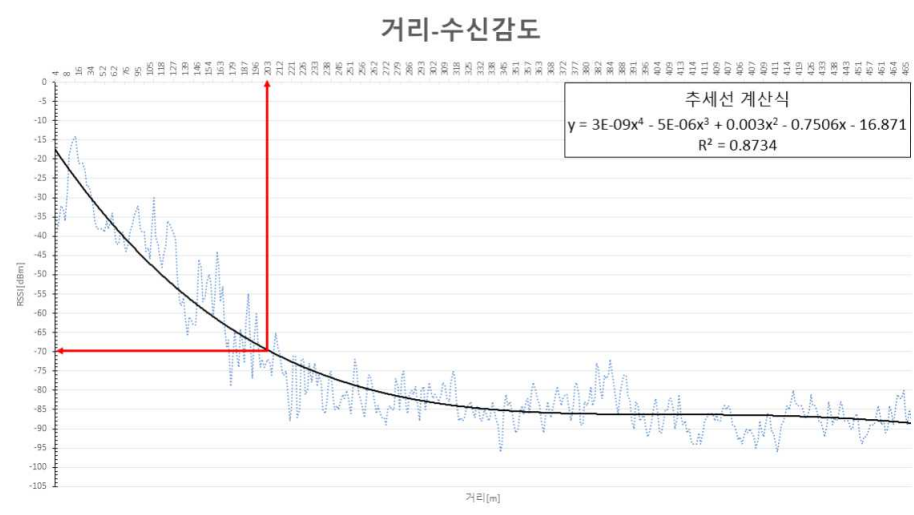


그림 1. K-CITY RSU#2(MAC-00:1C:83:00:07:04)과 차량 간 WSA 메시지 I2V 거리-수신감도값을 이용해 그린 도표

3.12. 통신 간섭

본 시험에서 변경 예정될 WAVE 주파수 채널 CH180, CH182, CH184을 사용할 때 C-V2X의 할당된 주파수 채널 CH172, CH174(송수신에 CH173을 사용)에 의해 통신 간섭영향이 있는지 시험한다. 또한, 기존에 WAVE에서 V2V로 사용하던 CH172에 의해 C-V2X에 통신 간섭영향이 있는지 시험한다. 이때, C-V2X 장비는 통신성능 비교 시험에서 사용된 프로파일과 동일한 프로파일을 적용한다.

4. 시험 구성

4.1. 공통 사항

4.1.1. 장비

시험장비: 시험 환경을 구성하는 모든 RSE, OBE

측정장비: 시험 결과를 분석하기 위해 통신기록을 수집하는 장비로 WAVE 통신 방식을 사용

시험 환경 구성 전 수신 메시지 PER0이 0.1% 미만으로 동작

혼잡장비: 측정장비와 동일한 통신 방식을 이용하는 장비로 다수의 시험장비가 통신하는 환경을 구성하기 위한 장비

간섭장비: C-ITS 통신 방식을 사용하는 장비

*기준장비: 시험 환경 중 거리에 따른 위한 송신출력을 측정하기 위한 장비

4.1.2. 시험 항목별 시험 목적과 사용 장비

시험 항목	목적	사용장비			
		장비	용도	대수	방식
1	WAVE 통신방식을 사용하는 측정장비의 신뢰성 확보를 위해 측정장비만을 이용해 시험 통해 확인	RSU	측정	3	WAVE
		OBU	측정	2	WAVE
2	WAVE 통신방식을 사용하는 장비 간 통신이 혼잡장비에 의한 혼잡환경 정도에 따라 받는 영향을 시험을 통해 확인	RSU	측정	3	WAVE
		OBU	측정&혼잡	15	WAVE
3	WAVE 통신방식을 사용하는 측정장비 간 통신이 같은 통신방식을 사용하는 혼잡장비에 의한 혼잡환경 정도에 따라 IPV6를 이용한 다운로드에 받는 영향을 시험	RSU	측정	3	WAVE
		OBU	측정	2	WAVE
		OBU	혼잡	n	WAVE
4	WAVE 통신방식을 사용하는 측정장비 간 통신이 C-V2X 통신방식을 사용하는 혼잡장비 장비에 의해 받는 영향을 시험	RSU	측정	3	WAVE
		OBU	측정	2	WAVE
		OBU	측정	3	WAVE
		RSU	간섭&혼잡	1	C-V2X
		OBU	간섭&혼잡	3	C-V2X
5	C-ITS 통신방식을 측정장비가 통신 주파수 채널 CH173을 사용해 통신할 때, 통신 주파수 채널을 CH172, CH184을 사용하는 WAVE 통신방식 혼잡장비의 통신에 의해 받는 영향을 시험	OBU	간섭&혼잡	6	WAVE
		RSU	측정	1	C-V2X
		OBU	측정	3	C-V2X

4.1.3. 환경 구성 모델링

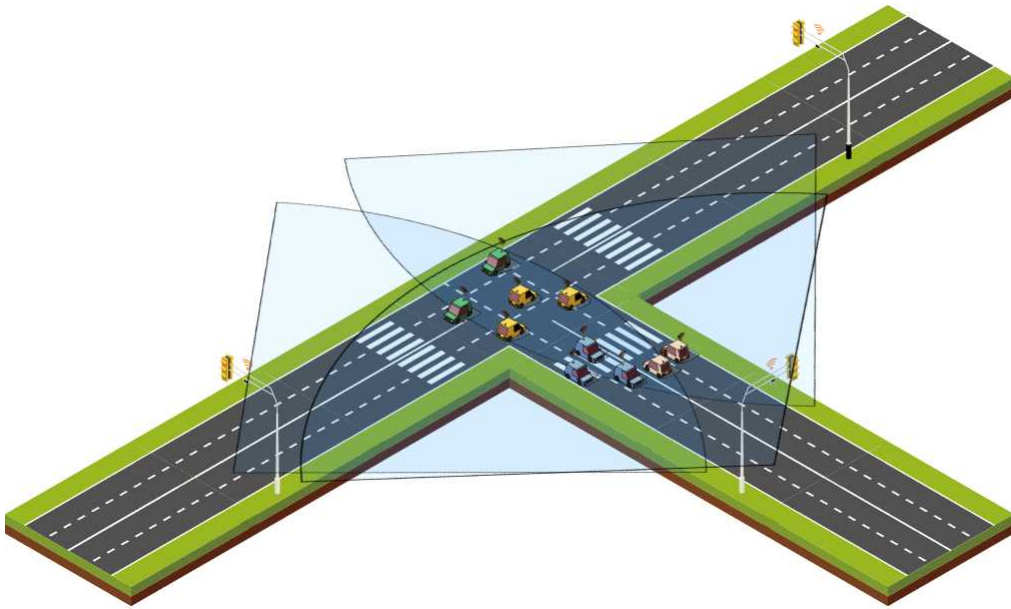


그림 2 실도로 모델링

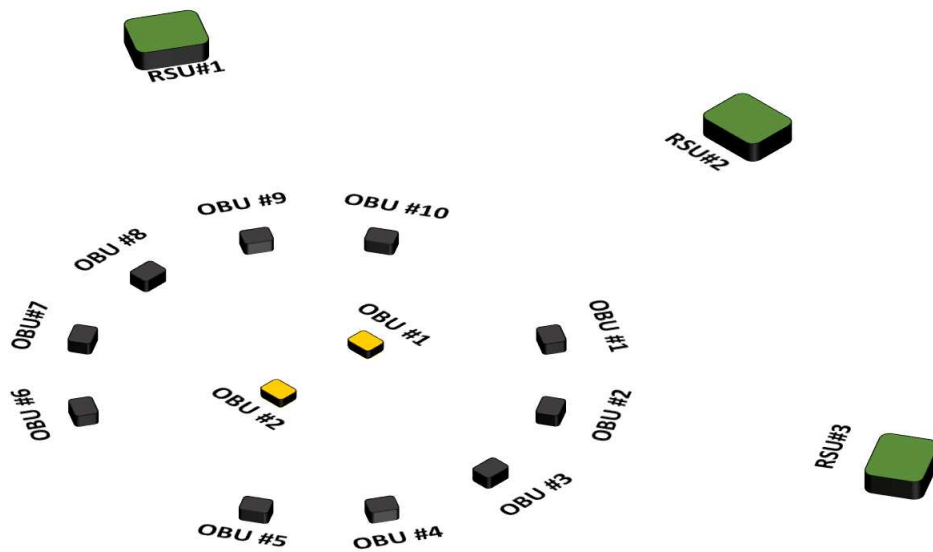


그림 3 실험 환경 모델링

4.1.4. 주파수 채널 운영 방법

주파수 채널 운영 방법은 아래 [표]와 같이 Raido에 채널과 서비스를 할당한다. 이때, 서비스 메시지의 설정은 본 시험절차서 3.2 서비스 종류의 정의에 따른다.

[표] RSU, OBU 채널 운영 방법

		RSU(A-1)		RSU(A-2)		RSU(A-3)		OBU(A-4)		OBU(A-5)	
		TimeSlot0	TimeSlot1	TimeSlot0	TimeSlot1	TimeSlot0	TimeSlot1	TimeSlot1	TimeSlot1	TimeSlot0	TimeSlot1
Radio0	CH180	BSM(Rx)		BSM(Rx)		BSM(Rx)		BSM(Tx)		BSM(Tx)	
		MAP(Tx)		MAP(Tx)		MAP(Tx)		MAP(Rx)		MAP(Rx)	
		SPAT(Tx)		SPAT(Tx)		SPAT(Tx)		SPAT(Rx)		SPAT(Rx)	
		TIM(Tx)		TIM(Tx)		TIM(Tx)		TIM(Rx)		TIM(Rx)	
		RSA(Tx)		RSA(Tx)		RSA(Tx)		RSA(Rx)		RSA(Rx)	
Radio1	CH182	다운로드		-		-		-		-	
Radio2 (2개 지원시 Radio1)	CH184	WSA(Tx)		WSA(Tx)		WSA(Tx)				WSA(Rx)	
		MAP(Tx)		MAP(Tx)		MAP(Tx)				MAP(Rx)	
		SPAT(Tx)		SPAT(Tx)		SPAT(Tx)				SPAT(Rx)	
		RTCM(Tx)		RTCM(Tx)		RTCM(Tx)				RTCM(Rx)	
		TIM(Tx)		TIM(Tx)		TIM(Tx)				TIM(Rx)	
		RSA(Tx)		RSA(Tx)		RSA(Tx)				RSA(Rx)	
		PVD(Rx)		PVD(Rx)		PVD(Rx)				PVD(Tx)	
		SSM		SSM		SSM				SSM	
		SRM		SRM		SRM				SRM	
		-		-		다운로드				다운로드(필요시)	
	CH182	-		-		-				다운로드(필요시)	

4.1.5. 주파수 채널 운영 방법에 따른 채널설정

			RSU(A-1)			RSU(A-2)		RSU(A-3)	
			Radio0	Radio1	Radio2	Radio0	Radio1	Radio0	Radio1
	Radio	주파수 채널	CH180	CH182	CH184	CH180	CH184	CH180	CH184
OBU(A-4)	Radio0	Ch180	-	-	-		-	-	-
OBU(A-5)	Radio0	Ch180	-			채널설정1		채널설정2	
	Radio1	CH184				-		-	
		Ch182							

채널설정

- 채널설정1:Radio - RSU Radio 2, OBU, Radio 2, CH - CH180, CH184
- 채널설정2:Radio - RSU Radio 2, OBU, Radio 2, CH - CH180, CH184(*다운로드서비스)

4.1.6. C-V2X 장비(간섭장비) 동작 방법

C-V2X 장비는 하나의 채널을 사용하기 때문에 WAVE CH180, CH184에서 초당 송신하는 데이터량을 주기로 나누어 전송한다. 아래 표는 주기가 20Hz일 때, 주기당 전송용량을 계산한 표이다. C-V2X 장비는 한 주기에 2,569Byte의 데이터를 전송한다.

표 12. C-V2X 장비 주기당 전송용량[Byte]

	CH180	CH184	CH180+CH184	주기당 전송용량	전송 주기
초당 전송량	30,280	21,103	51,383	2,569	20Hz

4.1.7. 시험 시간

본 시험 절차서의 시험 시간은 혼잡비율이 100%일 때를 고려하여 140초로 정의하였다. 시험 중 상황에 따라 시험 시작과 종료를 통합할 수 없을 경우 시험 초과 시간이 장비에 따라 10% 이내가 되도록 한다.

4.2. 시험 항목 001

4.2.1. 개요

시험 항목 001은 측정장비 WAVE RSU#1~RSU#3과 측정장비 WAVE OBU#1~OBU#2을 이용해 시험 메시지를 운영할 때 본 시험의 목적에 따른 결과를 얻어내고 그 결과를 분석한다.

4.2.2. 목적

시험 항목 001은 측정에 사용되는 장비들의 신뢰성을 확인하고 혼잡상황(시험 항목 002, 시험 항목 003)의 결과와 비교 분석을 위한 결과를 구하는 시험이다.

4.2.3. 시험 장비

시험 장비 구성은 아래 [표]를 채운다 같다.

장비	통신 방식	식별자	실제 거리	가상 거리	출력값 (API 입력기준)	수신강도(평균)		비고
						Radio1	Radio2	
RSU	WAVE	#1	x_1[cm]	X_1[m]	12[dBm]	≈72.5[dBm]	-69[dBm]	
		#2	x_2[cm]	X_2[m]	10[dBm]	≈71.1[dBm]	-70.3[dBm]	
		#3	x_3[cm]	X_3[m]	14[dBm]	≈74.7[dBm]	-73.2[dBm]	
OBU	WAVE	#1~#2	x_2[cm]	X_2[m]	y_4[dBm]	≈71.4[dBm]	-68.9[dBm]	

*수신강도는 평균값을 적음

4.2.4. 시험 환경 구성

설치 방식은 아래 [그림]과 같이 구성하는 것을 제안한다.

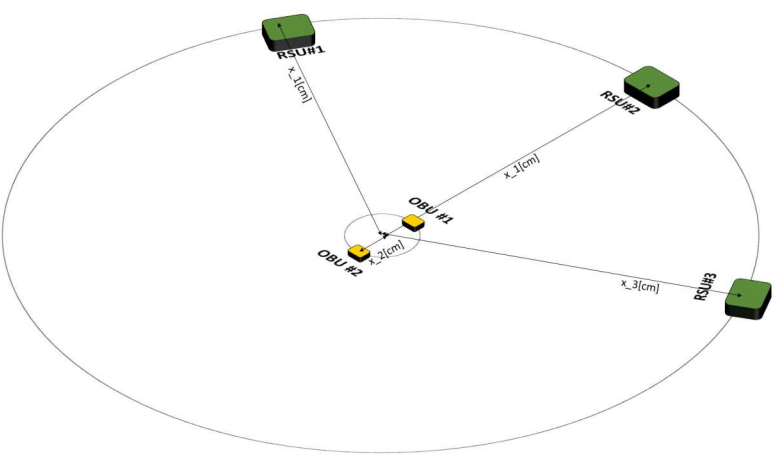


그림 4. 시험 항목 001 환경 구성 예시도

4.2.5. 시험 방법

1. 시험 환경을 구성 본 시험 항목의 시험 환경 구성에 따라 구성
2. 공통 사항의 주파수 채널 운영 방법에 따른 채널설정1로 모든 시험 장비를 설정
 - 2.1. 공통 사항 OBU 동작 방법에 동작_1에 해당하는 실제 OBU와 가상 OBU 설정
 - 2.2. 장비를 동작시켜 시험을 진행
 - 2.2.1. 모든 시험 장비가 동작할 때, 140초간 송수신한 결과를 기록
 - 2.2.1.1. 수신결과는 측정장비가 메시지를 수신했을 때 메시지 수신 시간, 메시지 종류, 장비 식별번호를 기록
 - 2.3. 시험2.1이 완료되면 결과를 저장하고 다음 순차 채널 운영으로 모든 시험 장비 설정을 변경하고 시험 2를 진행

4.2.6. 시험 결과

측정장비 WAVE RSU#1-RSU#3과 측정장비 WAVE OBU#1~OBU#2의 송수신 PER을 확인

4.3. 시험 항목 002

4.3.1. 개요

시험 항목 002는 WAVE RSU#1~RSU#3와 혼잡환경을 OBU#1~OBU#15을 이용해 시험 메시지를 운영할 때 본 시험의 목적에 따른 결과를 얻어내고 그 결과를 분석한다.

4.3.2. 목적

시험 항목 002는 시험 항목 001로부터 신뢰성을 확보한 측정장비가 서로 통신할 때,

4.3.3. 시험 장비

시험 장비 구성은 아래 [표]와 같다.

장비	통신 방식	식별자	실제거리	가상 거리	출력값(API 입력기준)	수신감도	
RSU	WAVE	#1~#3	x_1 [cm]	X_1 [m]	y_1 [dBm]	κ_1 [dBm]	
OBU	WAVE	#1~#15	x_4 [cm]	X_4 [m]	y_4 [dBm]	κ_4 [dBm]	

*WAVE RSU#1~RSU#3, WAVE OBU#1~OBU#15의 수신감도는 평균값을 적음

시험에서 사용하는 혼잡장비의 동작 방법은 아래 [표]와 같다.

혼잡비율	15%<		25%<		50%<		75%<		100%<		150%<					
장비	동작_0		동작_1		동작_2		동작_3		동작_4		동작_5					
	실 제	가 상	실 제	가 상	실 제	가 상	실 제	가 상	실 제	가 상	실 제	가 상				
OBE#1 ~ OBE#15	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0				
총계	2		17		52		87		122		172					

4.3.4. 시험 환경 구성

설치 방식은 아래 [그림]과 같이 구성하는 것을 제안한다.

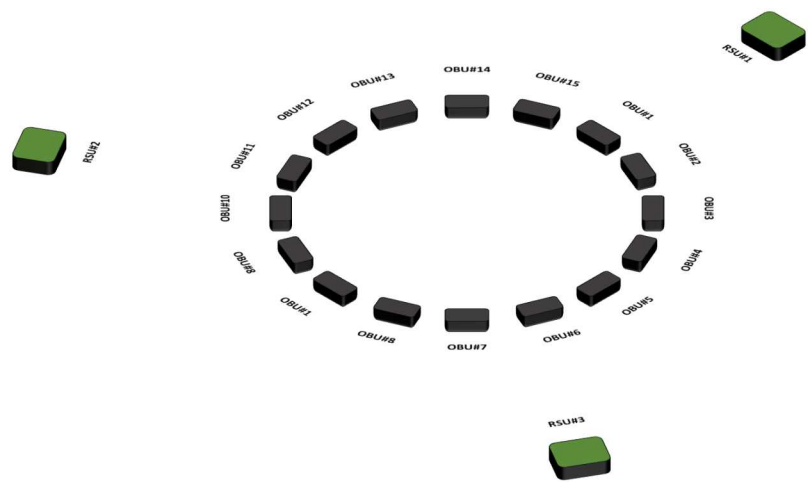


그림 5. 시험 항목 002 환경 구성 예시도

4.3.5. 시험 방법

1. 시험 환경을 구성 본 시험 항목의 시험 환경 구성에 따라 구성
2. 공통 사항의 주파수 채널 운영 방법에 따른 채널설정1로 모든 시험 장비를 설정
 - 2.1. 공통 사항 OBU 동작 방법에 동작_1에 해당하는 실제 OBU와 가상 OBU 설정
 - 2.2. 장비를 동작시켜 시험을 진행
 - 2.2.1. 모든 시험 장비가 동작할 때, 140초간 송수신한 결과를 기록
 - 2.2.2. 수신결과는 측정장비는 메시지를 수신했을 때 메시지 수신 시간, 메시지 종류, 장비 식별번호를 기록
 - 2.2.3. 시험2.1.1이 완료되면 결과를 저장하고 OBU 동작방법을 다음 순차 동작 방법으로 시험장비 OBU 설정을 변경하여 시험 2.1을 진행
 - 2.4. 시험2.1이 완료되면 결과를 저장하고 다음 순차 채널 운영 방법으로 모든 시험 장비 설정을 변경하고 시험 2를 진행

4.3.6. 시험 결과

혼잡환경을 구성하는 WAVE WAVE OBU#3~OBU#7이 0~172대로 동작할 때, 측정장비 WAVE RSU#1~RSU#3과 측정장비 WAVE OBU#1~OBU#2의 송수신 PER을 확인

4.4. 시험 항목 003

4.4.1. 개요

시험 항목 003은 WAVE RSU#1~RSU#3과 WAVE OBU#1~OBU#10을 이용해 시험 메시지를 운영할 때 본 시험의 목적에 따른 결과를 얻어내고 그 결과를 분석한다.

4.4.2. 목적

시험 항목 003은 WAVE 통신 주파수 대역을 사용하는 시험 항목 001로부터 신뢰성을 확보한 측정장비와 혼잡환경을 구성하는 장비들이 서로 통신할 때, 측정장비 OBU가 다운로드를 10회 시도하여 실패한 횟수를 기록해 혼잡환경의 IPV6 다운로드에 영향성을 분석한다.

4.4.3. 시험 장비

시험 장비 구성은 아래 [표]와 같다.

장비	통신 방식	식별자	실제거리	가상 거리	출력값(API 입력기준)	기준장비 수신강도	
RSU	WAVE	#1	x_1[cm]	X_1[m]	y_1[dBm]	κ ₁ [dBm]	
		#2	x_2[cm]	X_2[m]	y_2[dBm]	κ ₂ [dBm]	
		#3	x_3[cm]	X_3[m]	y_3[dBm]	κ ₃ [dBm]	
	C-V2X	#4	x_4[cm]	X_4[m]	y_4[dBm]	-	-
OBU	WAVE	#1~#10	x_5[cm]	X_5[m]	y_5[dBm]	κ ₄ [dBm]	
	WAVE	#11~#12	x_6[cm]	X_6[m]	y_6[dBm]	κ[dBm]	
	C-V2X	0					

4.4.4. 시험 환경 구성

설치 방식은 아래 [그림]과 같이 구성하는 것을 제안한다.

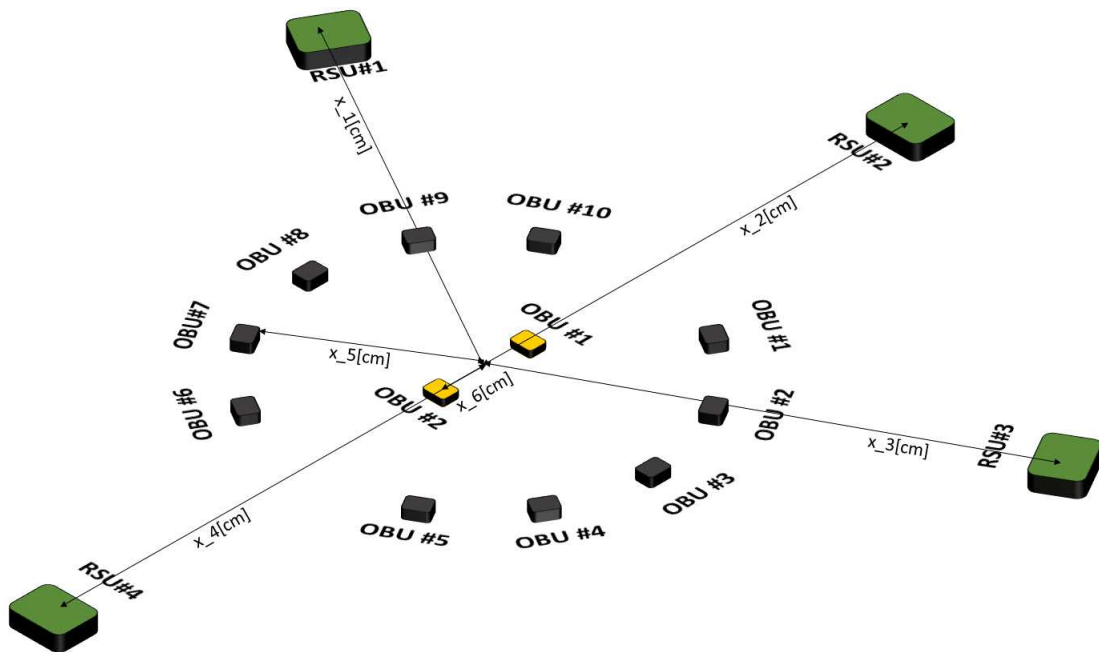


그림 6. 시험 항목 002 환경 구성 예시도

4.4.5. 시험 방법

1. 시험 환경을 구성 본 시험 항목의 시험 환경 구성에 따라 구성
2. 공통 사항의 주파수 채널 운영 방법에 따른 채널설정1로 모든 시험 장비를 설정
 - 2.1. 공통 사항 OBU 동작 방법에 동작_1에 해당하는 실제 OBU와 가상 OBU 설정
 - 2.2. 장비를 동작시켜 시험을 진행
 - 2.2.1. 모든 시험 장비가 동작할 때, 측정장비 OBU 중 하나의 장비가 IPV6로 측정장비 RSU 중 하나와 다운로드를 10회 시도
 - 2.2.2. 수신결과는 측정장비 OBU가 다운로드를 하였을 때, 수신한 데이터의 길이로 정상여부를 확인
 - 2.2.3. 시험3.1.1이 완료되면 결과 로그를 저장하고 OBU 동작방법을 다음 순차 동작 방법으로 시험장비 OBU 설정을 변경하여 시험 3.2을 진행
 - 2.3. 시험3.1이 완료되면 결과를 저장하고 다음 순차 채널 운영 방법으로 모든 시험 장비 설정을 변경하고 시험 3를 진행

4.4.6. 시험 결과

혼잡환경을 구성하는 WAVE OBU#3~OBU#70이 0~172대로 동작할 때, 측정장비 WAVE OBU의 다운로드 성공/실패 여부를 로그로 기록

4.5. 시험 항목 004

4.5.1. 개요

시험 항목 004은 WAVE RSU#1~RSU#3과 C-V2X RSU#1, WAVE OBU#1~OBU#10을 이용해 시험 메시지를 운영할 때 본 시험의 목적에 따른 결과를 얻어내고 그 결과를 분석한다.

4.5.2. 목적

시험 항목 003은 WAVE 통신 주파수 대역을 사용하는 시험 항목 001로부터 신뢰성을 확보한 측정장비와 혼잡환경을 구성하는 장비들이 서로 통신할 때, C-V2X 통신 주파수 대역을 사용하는 C-V2X 장비로부터 받는 영향성을 확인하는 시험이다.

4.5.3. 시험 장비

시험 장비 구성은 아래 [표]와 같다.

장비	통신 방식	식별자	실제거리	가상 거리	출력값(API 입력기준)	기준장비 수신강도	
RSU	WAVE	#1	x_1[cm]	X_1[m]	y_1[dBm]	κ_1 [dBm]	
		#2	x_2[cm]	X_2[m]	y_2[dBm]	κ_2 [dBm]	
		#3	x_3[cm]	X_3[m]	y_3[dBm]	κ_3 [dBm]	
	C-V2X	#4	x_4[cm]	X_4[m]	y_4[dBm]	-	-
OBU	WAVE	#1~#10	x_5[cm]	X_5[m]	y_5[dBm]	κ_4 [dBm]	
	WAVE	#11~#12	x_6[cm]	X_6[m]	y_6[dBm]	κ [dBm]	
	C-V2X	0					

4.5.4. 시험 환경 구성

설치 방식은 아래 [그림]과 같이 구성하는 것을 제안한다.

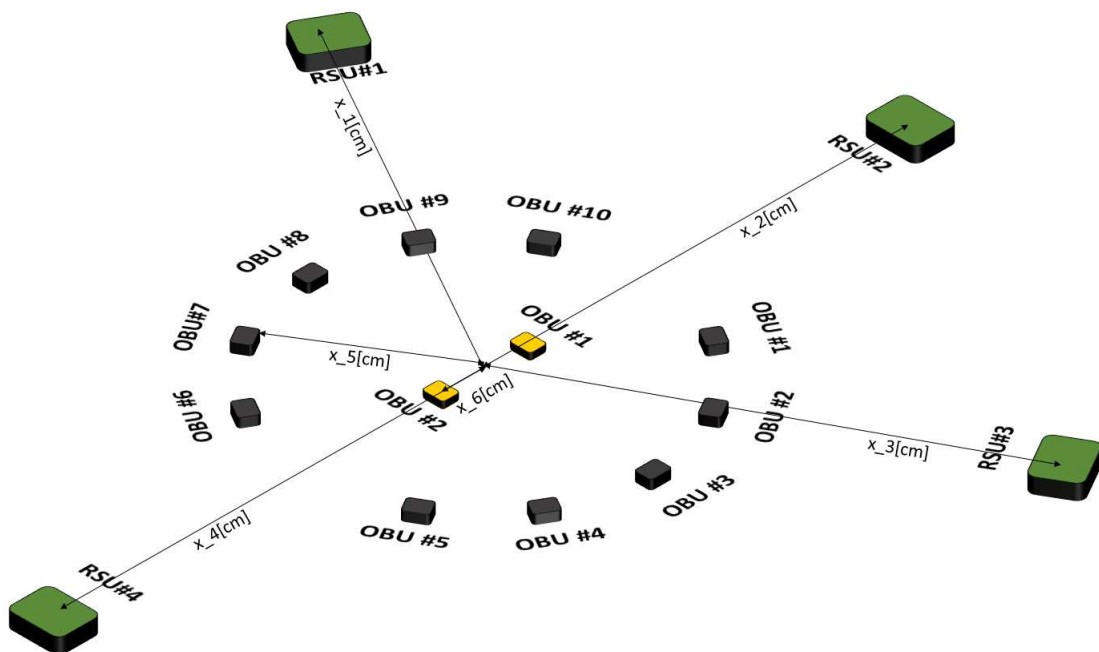


그림 7. 시험 항목 002 환경 구성 예시도

4.5.5. 시험 방법

1. 시험 환경을 구성 본 시험 항목의 시험 환경 구성에 따라 구성
2. C-V2X 장비를 “C-V2X 장비(간섭장비) 동작 방법“에 따라 설정
3. 공통 사항의 주파수 채널 운영 방법에 따른 채널설정1로 모든 시험 장비를 설정
 - 3.1. 공통 사항 OBU 동작 방법에 동작_1에 해당하는 실제 OBU와 가상 OBU 설정
 - 3.2. 장비를 동작시켜 시험을 진행
 - 3.2.1. 모든 시험 장비가 동작할 때, 140초간 송수신한 결과를 기록
 - 3.2.2. 수신결과는 측정장비는 메시지를 수신했을 때 메시지 수신 시간, 메시지 종류, 장비 식별번호를 기록
 - 3.2.3. 시험3.1.1이 완료되면 결과를 저장하고 OBU 동작방법을 다음 순차 동작 방법으로 시험장비 OBU 설정을 변경하여 시험 3.2을 진행
 - 3.3. 시험3.1이 완료되면 결과를 저장하고 다음 순차 채널 운영 방법으로 모든 시험 장비 설정을 변경하고 시험 3를 진행

4.5.6. 시험 결과

송신 중인 C-V2X RSU#4가 있고 혼합환경을 구성하는 WAVE OBU#3~OBU#7이 0~172대로 동작할 때, 측정장비 WAVE RSU#1~RSU#3과 측정장비 WAVE OBU#1~OBU#2의 송수신 PER을 확인

4.6. 시험 항목 005

4.6.1. 개요

시험 항목 005는 WAVE RSU#1~RSU#3과 C-V2X RSU#1, WAVE OBU#1~OBU#10을 이용해 시험 메시지를 운영할 때 본 시험의 목적에 따른 결과를 얻어내고 그 결과를 분석한다.

4.6.2. 목적

시험 항목 005는 주파수 채널 CH173을 사용하는 시험 항목 001로부터 신뢰성을 확보한 측정장비와 혼잡환경을 구성하는 장비들이 서로 통신할 때, C-V2X 통신 주파수 대역을 사용하는 C-V2X 장비로부터 받는 영향성을 확인하는 시험이다.

4.6.3. 시험 장비

시험 장비 구성은 아래 [표]와 같다.

장비	통신 방식	식별자	실제거리	가상 거리	출력값(API 입력기준)	기준장비 수신강도	
RSU	WAVE	#1	x_1[cm]	X_1[m]	y_1[dBm]	κ_1 [dBm]	
		#2	x_2[cm]	X_2[m]	y_2[dBm]	κ_2 [dBm]	
		#3	x_3[cm]	X_3[m]	y_3[dBm]	κ_3 [dBm]	
	C-V2X	#4	x_4[cm]	X_4[m]	y_4[dBm]	-	-
OBU	WAVE	#1~#10	x_5[cm]	X_5[m]	y_5[dBm]	κ_4 [dBm]	
	WAVE	#11~#12	x_6[cm]	X_6[m]	y_6[dBm]	κ [dBm]	
	C-V2X	0					

4.6.4. 시험 환경 구성

설치 방식은 아래 [그림]과 같이 구성하는 것을 제안한다.

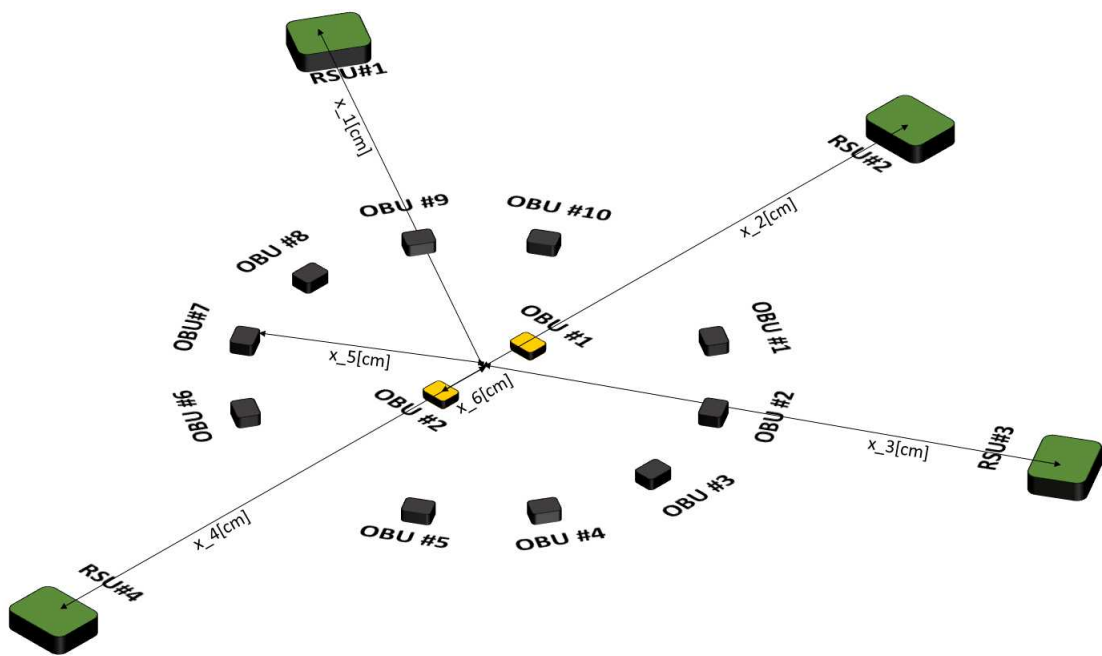


그림 8

4.6.5. 시험 방법

1. 시험 환경을 구성 본 시험 항목의 시험 환경 구성에 따라 구성
2. C-V2X 장비를 “C-V2X 장비(간섭장비) 동작 방법“에 따라 설정
3. 공통 사항의 주파수 채널 운영 방법에 따른 채널설정1로 모든 시험 장비를 설정
 - 3.1. 공통 사항 OBU 동작 방법에 동작_1에 해당하는 실제 OBU와 가상 OBU 설정
 - 3.2. 장비를 동작시켜 시험을 진행
 - 3.2.1. 모든 시험 장비가 동작할 때, 140초간 송수신한 결과를 기록
 - 3.2.2. 수신결과는 측정장비는 메시지를 수신했을 때 메시지 수신 시간, 메시지 종류, 장비 식별번호를 기록
 - 3.2.3. 시험3.1.1이 완료되면 결과를 저장하고 OBU 동작방법을 다음 순차 동작 방법으로 시험장비 OBU 설정을 변경하여 시험 3.2을 진행
 - 3.3. 시험3.1이 완료되면 결과를 저장하고 다음 순차 채널 운영 방법으로 모든 시험 장비 설정을 변경하고 시험 3를 진행

4.6.6. 시험 결과

송신 중인 C-V2X RSU#4가 있고 WAVE OBU#3~OBU#7이 0~172대로 동작할 때, 측정장비 WAVE RSU#1-RSU#3과 측정장비 WAVE OBU#1~OBU#2의 송수신 PER을 확인

5. 시험 결과 분석 방법

5.1. 시험 결과 지표

- ① 메시지의 패킷에러율(PER)

5.2. 시험 결과 기록

시험의 결과는 결과 지표를 기준으로 시험 항목별 각 결과를 분석한다.

별첨 1. OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Signal Symbol Time 계산

OFDM Symbol Time을 아래 표의 변수(OFDM Signal Timing Parameters¹⁾)를 이용해 계산한다.

표. OFDM Symbol Time 계산 변수

변수 명		값	비고
Bandwidth		10MHz	
Modulation	Mod	QPSK(Quadrature phase shift keying)	
	Coding Rate	1/2	
	bit	48	
	bps	6Mbps	
FFT sample size		64	
Total Used SubSubcarrier		52	
Data SubSubcarrie		48	
Pilot SubSubcarrier		4(SubSubcarrier -21, -7, 7, 21)	
Subcarrier Frequency Spacing(SFS)		156.25kHz(Bandwidth/FFT sample size)	
IFFT/FFT Period(FFTP)		6.4us(1/SFS)	
Guard Interval(GI)		1.6us(FFTP/4)	
Training symbol GI(TsGI)		1.6us(FFTP/2)	
Short Training Sequence(STS)		16us(symbol number*FFTP/4)	symbol number=10
Long Training Sequence(LTS)		6us(TsGI + symbol number*FFTP)	symbol number=2

하나의 OFDM Symbol Time(SIGNAL Symbol Time(SST)은 8us(GI+FFTP)이고, 1Byte 당 MCS bit의 비 (Single Byte per MCS bit(SBMb)는 0.167(Byte/MCS bit) 이다.

그리고 다수의 OFDM Symbol이 WAVE와 같이 무선단말 간 경쟁기반 서비스를 하는 RF 환경에서는 DIFS(Distributed Inter Frame Space(IFS))와 Backoff 시간을 고려해야 한다. 아래 식은 DFIS, Backoff 계산식이다.

$$DIFS = aSIFSTime + 2(aSlotTime) = 32\mu s + 2 \times 13\mu s = 58\mu s$$

수식 1. DIFS 계산식

$$Backoff = \frac{(CW_{MAX} + CW_{min})}{2} \times aSlotTime = 11 \times 13\mu s = 143\mu s$$

수식 2. Backoff 계산식

표. DIFS, Backoff계산 Parameter 정의

변수 명	값	비고
SIFS(Short IFS)	32us	IEEE 802.11p
aSlotTime	13us	IEEE 802.11p
CW_min	7	IEEE 802.11p
CW_MAX	1023	IEEE 802.11p

1) 802.11 OFDM Overview, 키사이트 홈페이지, 2022.11.10. 접속,
https://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm_80211-overview.htm