**LoRaWAN Link Layer**

Document Name : LoRaWAN Link Layer Specification v1.0.4

해당 문서의 주요 내용

* LoRaWAN의 option
* Physical Packet Format
* MAC Frame Format
* MAC Command

**1. Introduction of Document**

해당문서는 LoRaWAN 네트워크 프로토콜에 대한 설명이다.

특정 장소에 고정되어있거나, 휴대용으로 활용되는 end-devices에 최적화된 배터리 파워를 보인다.

LoRaWAN 네트워크의 게이트웨이는 엔드 디바이스와 네트워크 서버를 연결해주는 역할을 한다. 게이트웨이와 네트워크 서버는 IP 방식으로 연결되고, 엔드 디바이스와 게이트웨이는 single-hop radio-frequency로 연결된다. 엔드 디바이스는 하나 혹은 여러개의 게이트웨이와 연결된다.

모든 커뮤니케이션은 대부분 쌍방향 연결이고, uplink 커뮤니케이션으로 traffic을 비교적 정확하게 예측할 수 있다.

엔드 디바이스와 게이트웨이의 연결은 다른 주파수 채널과 data rate으로 분산된다.

Data rate은 전송 범위, 전송 시간과 균형을 이룬다. 서로 다른 LoRa data rate은 다른 것들에 대해 간섭하지 않는다.

엔드 디바이스의 배터리 수명과 네트워크 용량을 최대화 하기 위해서 LoRaWAN 네트워크 인프라구조는 data rate과 Radio-Frequency 전송 파워(출력)을 각 엔드 디바이스에서 개별적으로 제어할 수 있다.

엔드 디바이스는 규칙을 따른다면 어던 시간이라도 이용가능한 채널, data rate등을 활용하여 데이터를 전송할 수 있다.

* 엔드 디바이스는 모든 데이터 전송에 대해서 pseudo-random fashion을 통해 채널을 변경한다. 결과 다양해진 주파수를 통해 간섭에 강한 시스템을 만든다.
* 엔드디바이스는 전송 주기를 pseudo-random fashion을 통해 변경하여 체계적인 동기화를 막는다(?)
* 엔드 디바이스는 현재 동작 중인 대역과 서브 대역에서 로컬 규정을 준수한다. 하지만 사용률이나 송신시간에 대한 한계를 제한하지 않는다.

모든 LoRaWAN의 엔드 디바이스는 최소한 기능적으로 해당 문서내의Class A를 구현해야한다. Class B and/or Class C의 기능을 구현할 수 있다.

Class B를 구현한 엔드 디바이스를 Class B-capable이라고 부른다. Class B에서 동작하는 엔드디바이스를 Class B-enabled라고 부른다. Class B-disalbed에서 Class B-enabled로의 변환을 Switching to Class B라고 부른다.

Class C도 위의 B와 마찬가지 이다.

모든 경우에서 엔드디바이스는 Class A와 호환된다.

**1.1 Conventions**

"MUST", "MUST NOT", "REQUIRED", "SHALL", "SHALL NOT", "SHOULD", "SHOULD NOT", "RECOMMENDED", "NOT RECOMMENDED", "MAY", and "OPTIONAL"

이 단어들은 해당 문서에서 대문자로 표시되는 경우 BCP14[RFC219] [RFC8174]의 내용으로 해석한다.

텍스트이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

MAC 명령어, 비트 필드, 상수, 변수 는 위와 같이 표현된다.

다중 옥텟(byte)필드의 옥텟은 little endian(작은 자리수가 앞으로)방식이다.

EUI는 8옥텟 필드이며 little endian 방식으로 전송되어야 한다.

RFU 비트는 미래의 사용을 위해 예약 되어있고, 프레임의 transmitter에 의해 0으로 설정되어야 하며 receiver에 의해 무시되어야한다.

**2. Introduction to LoRaWan Options**

LoRa는 long-range, low-power, low-data-rate(넓은 범위, 저전력, 낮은 전송속도)의 어플리케이션 개발을 위한 Semtech의 무선 modulation(변조방식)이다. 엔드디바이스는 Class A(Higher Class end-devices)보다 더 구현해야한다.(+a)

**2.1 LoRaWAN Classees**

로라에서 class 구분 시 A가 가장 일반적인 방식이고 B,C class들은 부가적인 기능이다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

**Bi-directional end-devices (Class A) :** Class A 엔드디바이스는 쌍방향 통신을 허용하고, 업링크 이후 짧은 두번의 다운링크를 위한 recive window를 연다. 엔드 디바이스에 의해서 예약된 transmission slot은 random time basis(ALOHA-type protocol)를 기반으로 작은 변동을 가진 자체 communication needs를 기반으로 합니다. Class A의 동작은 Uplink 전송을 보낸 직후 서버에서 Downlink 통신만을 요구하는 어플리케이션을 위한 lowest-power 엔드 디비아스 시스템이다. 서버의 Downlink 통신은 언제든지 엔드 디바이스에 의한 다음 Uplink가 시작될 때까지 기다려야 한다.

**Bi-directional end-devices with scheduled receive slots (Class B) :** Class B-capable 엔드 디바이스는 더 많은 receive slots를 허용한다. 게다가 Class A는 receive window외에도 Class B-enabled 엔드 디바이스는 예약된 시간에 추가적인 receive windows를 연다. 엔드 디바이스는 receive window를 예약된 시간에 열기 위해 gateway로 부터 시간 동기화된 비콘을 수신한다. 이를 통해 네트워크 서버는 엔드 디바이스가 수신중인 것을 알 수 있다.

**Bi-directional end-devices with maximal receive slots (Class C) : Class C-capable** 엔드 디바이스는 거의 연속적으로 receive windows를 열고, 오직 전송시에만 receive windows를 닫는다. Class C-enabled 엔드 디바이스는 작동을 위해 Class A나 Class B-enabled에 비해 더 많은 파워를 사용하지만, Class C는 네트워크 서버와 엔드 디바이스 사이의 communication에서 지연시간이 가장 짧다.

Class A – ALL END-DEVICES

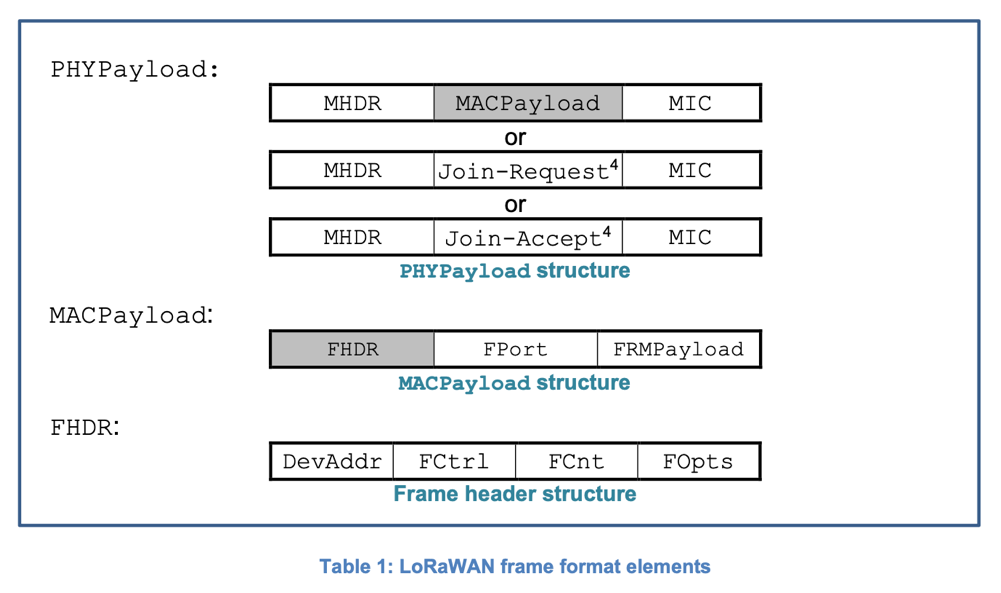
모든 엔드 디바이스는 옵션으로 명시되어 있지 않은 Class A의 모든 기능을 구현해야 한다.

Note : 물리적 패킷 형식, MAC 프레임 형식, 규격의 다른 부분들은 Class A와 상위 클래스 모두 중복을 방지하기 위한 WAN 클래스 A 사양으로 LoRaWAN에서만 설명된다.

**4. MAC Frame Formats**

모든 LoRaWAN의 uplink, downlink 패킷은 PHY payload로 운반된다.

PHYPayload는 앞에는 single-octet(1byte)의 MHDR(MAC header)이 있고, 이후에는 MACPayload (MAC payload)가, 마지막에는 4-octet(4byte)의 MIC(message integrity code)가 위치한다.

+) 이미지 처럼 MHDR/MACPayload/MIC의 구조로 이루어져 있고, MACPayload의 경우 경우에 따라 join-Request, Join-Accept의 값으로 운반 가능하다.

**4.1 PHY Payload(PHYPayload)**

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

MACPayload 필드의 최대 길이인 M은 region, data-rate-specific에 따라 달라 [RP002]에 명시되어 있다. 엔드 디바이스와 네트워크는 frame을 전송하는 data rate에 따라 명시된 최대 길이인 M보다 큰 MACPayload를 포함하는 frame을 전송해서는 안된다. 엔드디바이스나 네트워크 서버에서 수신한 어떤 frame도 M보다 큰 MACPayload를 가지는 경우 자동으로 폐기한다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명[RP002]에 나와있는 한국 기준 Maximum payload size

**4.2 MAC Header(MHDR field)**

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명MAC header는 frame type(FType)과 frame이 인코딩된 frame format이 명시된 LoRaWAN Layer의 Major version(Major)을 명시한다.

**테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명4.2.1 Frame types (FType bit field)**

LoRaWAN은 6개의 다른 MAC frame type으로 구분된다.

**4.2.1.1 Join-Request and Join-Accept frames**

Join-Request와 Join-Accept frame은 Section 6.2의 over-the-air에 의해 사용된다.

**4.2.1.2 Data frames**

Data frames는 single frame으로 결합 가능한 어플리케이션과 MAC 명령어를 보낸다. 확인된 Data frame은 receiver가 승인해야 하고, 확인 되지 않은 data frame은 승인하지 않아야 한다. Proprietary frames는 standard frames와 상호 정보교환이 가능하지 않은 non-standard format 구현에 사용될 수 있지만, proprietary 확장에 대하여 공통적인 이해를 가진 엔드 디바이스 중에서만 사용가능하다.

**테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명4.2.2 Major data frame version (Major bit field)**

Major version은 섹션 4의 설명대로 MACPayload의 첫 4octet(4byte)과 join procedure에서 교환된 frames의 format을 명시한다. 각 Major version에 대해서 엔드 디바이스는 frame format이 다른 Minor version들을 구현할 수 있다. 엔드 디바이스가 사용하는 Minor version은 out-of bnad communication(대역 외 통신)을 사용하여 네트워크 서버에 사전에 알려야 한다.

**4.3 MAC Payload of Data Frames (MACPayload)**

MACPayload의 data frames은 OPTIONAL port field(FPort)와 OPTIONAL frame payload field(FRMPayload)를 따르는 frame header(FHDR)를 포함한다.

유효한 FHDR와 no FOpts (FOptsLen=0), no FPort and no FRMPayloa을 가진 frame은 유효하다.

(해당 필드에 대한 내용은 아래에 나옴)

**4.3.1 Frame header (FHDR)**

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명FHDR 는 포함한다. 4octet(4byte)의 엔드 디바이스의 주소(DevAddr)와 single-octet(1byte)의 frame control octet(FCtrl), 2-octet(2byte)의 frame counter(FCnt), MAC command로 변환을 위한 최대 15-octet(15byte)의 frame options(FOpts)

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명Downlink를 위한 frame에서 frame headerdml FCtrl은

**4.3.1.1 Adaptive data-rate control in frame header (ADR, ADRACKReq in FCtrl)**

LoRAWAN은 사용가능한 모든 데이터 전송 속도와 독립적인 전력 전송을 사용할 수 있는 엔드 디바이스를 허용한다. 이 기능은 엔드 디바이스의 재전송 횟수, 데이터 속도, 전송 전력을 조정하고 최적화하기 위해서 네트워크 서버에 의해 사용된다. 이를 ADR(Adaptive Data Rate)이라고 하며, ADR을 활성화하면 엔드디바이스는 가장 빠른 데이터 전송률과 가장 적은 전력량을 사용하도록 최적화 한다.

LoRaWAN은 데이터 전송 속도와 전력량을 독립적으로 조정할 수 있는데 이는 ADR을 위한 것이다. ADR (Adaptive Data Rate) -> 엔드 디바이스의 재전송 횟수, 데이터 속도, 전력량 등을 조정하고 최적화하는 것. 네트워크 서버에서 사용함.

라디오 채널 감쇠가 빠르게 또는 지속적으로 변경되면 ADR 제어가 불가능할 수 있습니다. 네트워크가 최종 장치의 데이터 속도를 제어할 수 없는 경우 최종 장치의 응용 프로그램 계층이 이를 제어해야 합니다. 이 경우에는 다양한 데이터 속도를 사용하는 것이 좋습니다. 애플리케이션 계층은 네트워크 조건에 따라 항상 집계된 방송 시간을 최소화해야 합니다. 업링크 ADR 비트가 설정된 경우 네트워크는 적절한 MAC 명령을 통해 최종 장치의 재전송 횟수, 데이터 속도 및 TX 전력을 제어할 수 있습니다. ADR 비트가 설정되지 않은 경우, 네트워크 서버는 수신된 신호 품질에 관계없이, 엔드 장치가 엔드 장치의 재전송 횟수, 데이터 속도 또는 TX 전력을 제어하려는 어떠한 시도도 준수하지 않을 수 있다는 것을 받아들여야 합니다. Network MAY는 링크를 사용하여 최종 장치에 권장 구성을 알리는 명령을 계속 보냅니다.ADRReq 명령입니다. 최종 장치는 링크에 있는 채널 마스크 컨트롤을 수락해야 합니다.ADR 비트가 설정되지 않은 경우에도 ADReq. 최종 장치는 모든 링크에 응답해야 한다.링크가 있는 ADRReq 명령허용되는 명령 요소와 거부된 명령 요소를 나타내는 ADRans입니다. 이 동작은 업링크 ADR 비트가 설정된 경우와 다릅니다. 이 경우 엔드 디바이스가 전체 명령을 수락하거나 거부합니다.

**5. MAC Commands**

네트워크 관리를 위해서 Mac 명령어의 집합은 네트워크서버와 엔드 디바이스의 MAC layer 사이의 독점적으로 교환할 수 있다. MAC layer의 명령어는 어플리케이션 서버나 엔드 디바이스에서 동작중인 어플리케이션에서는 보이지 않는다.

단일 data frame은 FOpts필드에piggybacked(control 정보를 data에 추가하여 보내는 경우)되거나 FPort 필드가 0으로 설정되FRMPayload 필드에 별도의 data frame으로 전송되는 경우 MAC 명령어의 시퀀스가 포함될 수 있다. Piggyback된 MAC 명령어는 항상 암호화 없이 (SHALL)전송되고, 15Octet(byte)을 (SHALL NOT)초과할 수 없다. MAC 명령어는 항상 암호화된 상태로, FRMPayload의 최대길이를 초과하지 않고서 FRMPayload로써 보내진다.

Note : 암호화해야 하는 MAC 명령어는 별도의 데이터 프레임의 FRM Payload로 전송되야한다.

MAC 명령어는 1octet의 Command Identifier(CID)와 잇달아 비어있는 command-specific의 옥텟수열로 구성된다. (해석 잘 안됨…)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

명령어 관련 설명은 노타빌리티에 있음.(27페이지)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

네트워크의 응답을 요구하는 MAC 명령어는 클래스 A 수신 window가 경과한 후 만료된다.

MAC 명령어는 전송된 순서와 동일한 순서로 수신 측에서 응답/승인된다. 각 MAC 명령어에 대한 응답이 버퍼에 순차적으로 추가된다. 단일 프레임에서 수신된 모든 MAC 명령어는 단일 프레임으로 응답되어야 하며, 이는 응답을 포함하는 버퍼가 단일 프레임으로 전송되어야 함을 의미한다. transmitter에서 전송할 Application payload, MAC answers, New MAC Commands가 조합되어 같은 프레임에 포함될 수 없는 경우, 프레임에 정보를 포함하기 위한 우선 순위가 아래에 나와 있다. single 프레임 내에서 송신기는 낮은 우선순위의 information을 전송하기 전에 모든 높은 우선순위 information을 전송해야 한다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

Note : MAC answers는 수신된 MAC 명령어에 응답하여 transmitter에서 보내는 MAC 명령으로 정의된다. New MAC Commands는 transmitter에서 보내는 MAC 명령어지만 수신된 MAC 명령어에 대한 응답은 아니다.

만약MAC Command 버퍼가 너무 커서 프레임에 맞지 않는다면, trainsmitter는 프레임에 들어갈 수 있는 마지막 MAC 명령어에서 버퍼를 잘라야 한다. 어떤 경우라도, receiver는 MAC 명령어의 전체 목록을 실행해야 한다. MAC answers를 포함하는 버퍼를 잘라내야 하는 경우에도 마찬가지이다.

Note : 잘린 MAC 응답을 수신한 경우, 네트워크 서버는 응답하지 못한 MAC commands를 재전송할 수 있다. 네트워크 서버는 엔드 디바이스를 최적의 구성으로 신속하게 전환하기 위해 단일 프레임에서 응답할 수 없는 MAC commands목록을 보내도록 선택할 수 있다.

Note : 일반적으로 transmitter는 MAC 명령어에 한 번 reply한다. 응답이 손실되면 original sender(req명령을 보낸 기기)가 명령을 다시 전송해야 한다. original sender(req명령을 보낸 기기)는 응답이 포함되지 않은 새 프레임을 수신할 때 명령을 다시 전송해야 한다고 결정한다.

***RXParamSetupReq, RXTimingSetupReq, TXParamSetupReq, DlChannelReq*** 명령만 downlink parameter에 영향을 미치기 때문에 해당 section에서 설명하는 것처럼 다른 승인 메커니즘을 가진다.

Note : MAC 명령어가 엔드 디바이스에 의해 시작되면, 네트워크 서버는 request 직후에 RX1/RX2 창에서만 acknowledgement/answer 메시지를 보낼 수 있다. 해당 슬롯에서 응답이 수신되지 않으면 엔드 디바이스는 필요한 모든 재시도 메커니즘을 자유롭게 구현할 수 있다.

Note : MAC 명령의 길이는 가변적이며 디코딩 중에 결정된다. 따라서 알 수 없는 MAC 명령어를 생략할 수 없으며 처음 알 수 없는 MAC 명령어는 MAC 명령 시퀀스의 처리를 종료시킨다. 따라서 Out-of-Band(별도의 채널)를 네트워크 서버와 엔드디바이스의 가장 낮은 공통LoRaWAN의 버전으로 정의하는 것이 좋다. 이러한 지식이 없다면, MAC 명령어의 순서는 MAC 명령어를 처음 소개한(?) LoRaWAN규격의 버전에 따라야 한다. 이렇게 하면 구현된 버전의 LoRaWAN 규격 까지의 모든 MAC 명령어는 LoRaWAN 규정의 최신 버전에 지정된 MAC 명령어가 있는 경우에도 처리할 수 있습니다.

**5.1 Link Check Commands (LinkCheckReq, LinkCheckAns)**

엔드 디바이스와 네트워크 서버는 이러한 명령을 구현해야 한다.

엔드 디바이스는 ***LinkCheckReq*** 명령어를 사용하여 네트워크와의 연결을 검증할 수 있다. 해당 명령어엔 payload가 없다.

하나 이상의 게이트웨이를 통해 네트워크 서버에서 ***LinkCheckReq***가 수신되면 네트워크 서버는 ***LinkCheckAns*** 명령어로 reponse해야 한다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

**5.2 Link ADR Commands (LinkADRReq, LinkADRAns)**

엔드 디바이스와 네트워크 서버는 해당 명령어들을 구현해야 한다.

네트워크 서버는 엔드 디바이스가 rate adaptation을 동작하는 것을 요청하기 위해***LinkADRReq*** 명령어를 사용할 수 있다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

요청한 data Rate(DateRate)와 TX output power(TXPower)는 region-specific하고, “LoRaWAN Regional Parameters” [RP002] document에 표신된 대로 인코딩 된다. 명령어에 표시된TX output power는 엔드 디바이스가 동작하는 최대 TX power를 의미한다. 엔드 디바이스는 명시하는 성공적으로 수신된 경우 사용 가능한 것보다 높은 TX power를 지정하는 명령도 승인 (acknowledge)해야한다. 이 경우, 엔드 디바이스는 가능한 최대 전력으로 작동해야 한다. 엔드 디바이스는 엔드 디바이스에서 사용할 수 있는 것보다 낮은 TX power를 지정하는 명령을 부정적으로 인식한다. 이 경우, 엔드 장치는 이전에 구성한 TX 전력으로 작동해야 한다. DataRate 또는 TXPower가 0xF(10진수 15)인 경우는 엔드 디바이스가 해당 필드를 무시하고 현재 parameter값을 유지해야 함을 의미합니다.

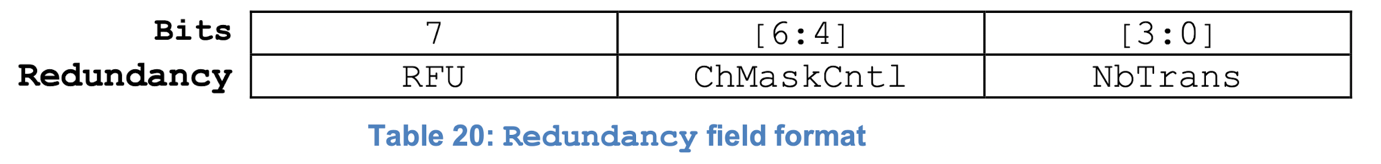
Note : RF 상태가 양호한 경우, 네트워크는 엔드 디바이스의 TX power를 천천히 낮추거나 엔드 디바이스의 data rate을 높여야 엔드 디바이스의 연결이 끊어질 수 있는 급격한 변경을 방지한다.

Channel mask (ChMask)는 LSB에 해당하는 비트 0을 사용하여 업링크 액세스에 사용할 수 있는 채널을 다음과 같이 인코딩해야 한다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

ChMask 필드의 비트가 1로 설정된 경우, 해당 채널이 최종 장치에서 현재 사용하는 데이터 속도를 허용하는 경우 해당 채널을 업링크 전송에 사용해야 한다. 0으로 설정된 비트는 해당 채널을 사용하지 않아야 함을 의미한다.



redundancy비트에서 NbTrans 필드는 각 업링크 프레임에 대한 전송 수이다. 이는 확인된 업링크 프레임과 확인되지 않은 업링크 프레임 모두에게 적용된다. 기본값은 1이며, 이는 각 프레임의 단일 전송에 해당된다. 유효한 범위는 1~15(3비트)이다. NbTrans 값이 0인 경우, 엔드 디바이스는 기본값(1)을 사용해야 한다.

이 필드는 네트워크 서버가 지정된 서비스 품질을 얻기 위해 uplink 전송(재전송)의 이중화를 제어하는 데 사용할 수 있다. 엔드 디바이스는 평소처럼 재전송을 위해 주파수 호핑을 수행하며, 각 재전송 후 RX2가 만료될 때까지 평상시와 같이 대기한다.

RX1 또는 RX2 중에 다운링크 프레임이 수신될 때마다, 엔드 디바이스는 동일한 업링크 프레임의 추가 재전송을 중지해야 한다. 채널 마스크 컨트롤(ChMaskCntl) 필드는 이전에 정의된 ChMask 비트 마스크의 해석을 제어한다. ChMask가 적용되는 16개 채널의 블록을 제어한다. 특정 변조를 사용하여 모든 채널을 전체적으로 켜거나 끄는 데도 사용할 수 있다. ChMaskCntl의 의미는 지역마다 다르며 " LoRaWAN Regional Parameters” [RP002] document"에 정의되어 있다.

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

테이블이(가) 표시된 사진

자동 생성된 설명

