

# 눈에 관한 기초지식과

## 빙설낙하의 기상조건



서 사 범

한국철도시설공단 고속철도궤도처장  
공학박사·철도기술사  
suhsb@ktx.or.kr

### 1. 서론

고속철도의 자갈궤도에서 열차가 고속으로 주행할 때의 안전상 큰 과제로서 자갈의 비산(飛散) 현상이 있다. 자갈 비산의 원인으로는 동계 적설 시에 차량으로부터 떨어지는 빙설(氷雪)과 고속주행 시 차체하부의 열차풍(列車風) 등 2 가지가 열거된다. 이들에 의하여 고속으로 비산된 자갈이 선로 위뿐만 아니라 역의 플랫폼이나 선로 연선(沿線)으로까지 도달할 가능성이 있다. 또한, 레일 위로 떨어진 자갈을 차량이 밟아 눌러 레일손상의 발생·성장으로 이어질 우려가 있다.

본고에서는 상기의 두 가지 원인 중에서 빙설에 관련된 사항만을 다룬다. 고속선로에서는 상기와 같이 겨울철에 차량바닥 아래에 붙은 얼음이나 눈이 열차 주행 중에 낙하함에 따라 자갈을 비산시켜 이것이 선로와 차량 등에 피해를 주는 경우가 있다. 우리나라에서도 경부 고속철도 시운전 기간 중인 2003. 12. 8, 9일에 서울 기점 86~88km에서 KTX 열차가 280~300km/h로 운행 중에 빙설이 낙하하여 차량과 시설의 피해를 입은 적이 있다. 이에 따라 철도청에서는 겨울철 고속열차 안전운행에 관련된 회의를 12. 16에 개최하여 빙설피해 예방 대책을 강구하였으며, 한국철도기술연구원에서 ‘고속선 설빙피해 방지대책 연구’ (2004. 2~5)의 용역을 수행하여 이에 대한 대책을 제시하기도 하였다.

일반적으로, 빙설에 대한 대책을 검토할 때의 기초적인 자료로 되는 ‘빙설부착이 성장하는 기상조건’ 또는 ‘빙설부착의 성질이나 경도 등의 물리적 성상(性狀) 및 자갈 비산을 발생시키는 빙설부착 덩어리의 질량이나 자갈에 대한 충돌 속도’ 등 해명되지 않은 부분이 많으므로 이들 현상의 실태 파악이나 발생조

건을 상세히 조사할 필요가 있다. 본고에서는 상기의 용역과는 별개의 주제로서 빙설낙하에 관련된 일련의 현상 중에서 빙설부착이 성장할 때의 기상조건에 대하여 빙설부착의 량, 빙설낙하와 자갈 비산의 발생 일수, 연선 기상 데이터의 조사결과를 정리하여 분석한 사례를 소개한다.

한편, 눈에 의한 재해를 합리적이고 효과적으로 막기 위해서는 먼저 눈에 관한 현상이나 특성을 충분히 파악하여 두는 것이 필요하다. 따라서, 본고에서는 상기에서 언급한 빙설부착이 성장할 때의 기상조건을 소개하기에 앞서 강설이나 이것이 지상에 퇴적한 적설의 일반적인 성질을 기술함과 동시에 이들에 기인하는 철도재해(설해)에 대하여 개설한다.

## 2. 눈에 관한 기초 지식

### 2.1 강설과 이에 부수한 현상

#### (1) 강설

눈의 결정, 눈송이, 싸라기눈, 우박 등의 얼음 고형물이 구름에서 지표로 낙하하는 현상, 혹은 얼음 고형물 그 자체를 강설이라고 부른다. 강설의 강도(강설강도)는 통상적으로 단위 시간당 퇴적한 눈의 깊이(단위의 일례 : cm/h), 또는 그것이 녹아서 물로 환산한 경우의 깊이(단위의 일례 : mm/h)로 나타낸다. 1 시간당의 강수강도로 보면, 강우에 대하여는 수10mm/h의 강도가 자주 출현하지만, 강설의 경우에는 강도가 10mm/h를 넘는 일이 드물며 대개는 1~2mm/h 정도이다. 강설강도가 큰 경우나 바람이 수반되어 눈보라로 된 경우에는 신호기 등의 목표물이 눈으로 차폐되는 시정(視程, visibility) 장애를 야기한다. 일반적으로, 강수가 비로 내리는가, 눈으로 내리는가는 지상의 기온과 밀접한 관계가 있다. 대부분의 관측 결과에 의하면, 장소나 기상 요란에 의하여 다소의 차이가 있기는 하지만, 약 5℃ 이상의 기온에서는 대체로 전(全)강수가 비로, 역으로 약 0℃ 이하의 기온에서는 대체로 전(全)강수가 눈으로서 내린다. 또한, 강우와 강설의 발생 확률이 50%로 되는 것은 2~3℃의 기온이다.

#### (2) 착설(着雪)

강설 시에 눈이 물체에 부착하는 현상, 혹은 부착된 눈을 착설이라고 한다. 과냉각(過冷却)된 눈 입자나 빗방울 등이 물체에 닿아 동결하는 현상은 착빙(着氷)이라고 부르고, 또한 물체에 서리가 붙은 현상은 착상(着霜)이라고 부르며 착설과는 구별된다. 착설 현상의 발생은 눈의 함수 상태에 따라 크게 다르며, 수분을 많이 함유한 습설(濕雪)은 물의 표면장력에 의하여 부착력이 크다. 수분을 함유하지 않은 건설(乾雪)의 경우에는 부착력이 습설보다도 작지만, 강풍 시에는 큰 착설이 생기는 일이 있다. 눈의 부착력은 상대 물체의 종류, 표면의 조도나 더러움에 따라서도 크게 다르다. 착설 현상이 일어나면, 철도에서 송전선이나 통신선의 절단 및 전철주의 도괴(전선 착설의 경우), 집전 장해나 가선 용단(溶斷)(판타그래프 착설의 경우), 나무 쓰러짐에 의한 수송장해(수목 착설의 경우) 등을 야기하는 경우가 있다.

철도에서는 강설이 직접적으로 물체에 부착하는 이외에 열차의 주행에 의하여 흘날려 올라간 눈이 차량의 바닥 아래나 대차에 부착되어 큰 빙설 덩어리를 형성하는 일이 있다. 이 경우에는 열차가 온난한 지역을 주행하는 도중에 이것이 차체에서 포물선 모양으로 낙하하여 자갈을 비산시킨다고 하는 메커니즘을 상정할 수 있다. 이에 따라 차량의 창 유리나 연선의 가옥을 파손시키는 일이 있다. 또한, 빙설 덩어리가 분기기에 낙하하면, 전환 불능의 원인으로 되는 일이 있다. 게다가, 흘날려 올라간 눈이 제륜자와 차륜 사이에 끼인 경우에는 제동력을 잃는 위험도 있다. 빙설낙하에 의한 자갈비산의 방지대책에 대한 예를 표 1에 나타낸다.

표 1. 차량의 빙설낙하에 의한 자갈비산 방지대책

대책의 방침	구체적인 대책의 예
① 차체로의 착설 방지	□ 살수·서행에 의한 눈의 흘날림, 착설 방지 □ 히터, 특수 도로에 의한 착설 방지
② 강제 빙설낙하	□ 정거 중에 눈을 제거하는 작업
③ 칸막이에 의한 차폐·원충	□ 침묵에 고무 취부 □ 침묵 사이의 자갈 면 낮춤 □ 높은 침묵
④ 자갈 면의 피복·고착	□ 자갈 네트 □ 자갈 스크린 □ 합성수지 살포

## 2.2 적설과 이에 부수한 현상

### (1) 적설 층 구조의 형성과 변태

강설이 지상에 퇴적한 것을 적설이라고 한다. 지상에 쌓인 눈은 대체로 한번 내릴 때마다 새로운 눈의 층을 만들면서 겹쳐 싸여져 간다. 적설 층에서 눈 입자의 형이나 크기(雪質), 밀도, 습도 등은 내린 눈의 결정 모양, 퇴적 시 및 퇴적 후의 기상조건 등에 따라 변화하며, 층마다 눈의 성상이 다르다.

적설이 시간과 함께 기상조건의 영향을 받아 설질(雪質)이 변화되는 것을 변태(變態)라고 한다. 설질을 예를 들어 새 눈, 밀집한 잔 눈, 밀집한 눈, 굽은 눈, 하위 굽은 잔 눈, 하위 굽은 눈 등으로 분류하는 경우도 있다. 설질이 판명되면, 그 적설의 성질을 개략 판단할 수 있기 때문에 편리하다. 예를 들어, 밀도에 대하여 대략적으로 새 눈은 50~150kg/m<sup>3</sup>, 밀집한 잔 눈은 150~250kg/m<sup>3</sup>, 밀집한 눈은 250~500kg/m<sup>3</sup>, 굽은 눈은 300~500kg/m<sup>3</sup> 정도라고 생각할 수가 있다.

적설이 선로 상에 다량으로 쌓이면 그 자체가 열차의 주행 불능을 초래하기도 하고, 분기기의 전환 불능을 야기하기도 한다. 또한, 후술하는 것처럼 각종 적설 현상에 의하여 철도가 여러 가지 피해를 입는 경우도 있다.

### (2) 적설의 밀도 변화와 침강

적설 층의 두께는 자중이나 그 위에 쌓인 눈의 하중에 의하여 점점 감소하며, 그 결과 적설의 밀도가 증가한다. 그러나, 자연 상태에서는 밀도의 증가에 한도가 있어 적설량이 많은 지역에서도 전(全)적설 층의 평균 밀도로서는 550kg/m<sup>3</sup> 정도가 상한이다.

적설의 역학적 성질은 밀도에 의존하여 크게 변화한다. 예를 들어, 적설의 압축과 인장 파괴강도는 밀도의 증가에 따라서 지수 함수적으로 증대하는 경향이 있다. 또한, 적설의 경도는 밀도의 4 제곱에 비례하여 증가한다고 알려져 있다. 이와 같이 적설은 밀도의 증가와 함께 급격하게 파괴강도나 경도를 증가시키므로 레일 내측에 쌓인 눈이 차륜 플랜지에 밟혀 단단해져서 밀도가 큰 압설(壓雪)로 되면 열차의 하중을 압설이 받을 가능성이 있으며, 그 결

과로 탈선의 위험성이 생기는 경우도 있다.

적설의 밀도가 증가하여가는 과정에서는 지면으로부터 각 적설 층의 높이가 서서히 저하하여 간다. 적설 중에 구조물이 매몰되어 있으면, 적설의 침강이 방해되어 적설 층이 습곡(褶曲)한다. 이 경우, 구조물의 바로 위에 쌓인 눈의 하중만이 아니고 그 습곡 부분의 하중 대부분이 구조물에 작용하여 대단히 큰 하중으로 된다. 이 힘을 적설의 침강력(沈降力)이라고 한다. 침강력은 철봉이나 가드레일을 휠 만큼의 크기로 되는 일도 있다. 따라서, 구조물이 눈에 매몰되는 장소에서는 설치방법이나 눈의 제거 등에 주의할 기을일 필요가 있다.

### (3) 사면 적설과 설붕(雪崩)

사면 위에 쌓인 눈은 적설 전체가 사면에 대하여 움직이는 글라이드(glide)와 점성에 따라 적설이 변형하는 그리프(creep) 등에 의하여 경사 방향으로 이동한다. 그 때, 사면 위에 구조물이 존재하면, 사면 적설의 이동에 따른 압력(斜面雪壓)을 받는 것으로 되므로 적설 지역에 대한 사면 상의 구조물 설계에서는 사면 설압을 고려할 필요가 있다.

사면 적설의 이동을 가져오는 구동력(중력)이 적설의 지지력 한계를 넘으면 설붕이 발생한다. 설붕은 설붕 발생의 형(點 발생, 面 발생), 적설 층의 건조(乾雪, 濕雪), 설붕 층의 활주 면 위치(表層, 全層)에 따라 8 종류로 분류된다. 일반적으로, 전층 설붕은 융설기(融雪期)에 융설수(融雪水)가 적설 저면까지 침투하여 적설 저면과 지표면과의 마찰력을 저하시켜 발생하는 일이 많다. 한편, 표층 설붕은 적설 내부에서 역학적 강도가 작은 약층(弱層)(하위 굽은 눈의 층이나 싸라기 눈 입자가 많이 들어간 층)이 형성되어 그곳을 활주 면으로 하여 발생하기도 하고 다량의 강설 시와 강설 직후에 강도가 작은 새 눈이 붕괴하여 발생하기도 한다.

설붕의 속도는 전층(全層) 설붕에서는 10~30m/s, 건조(濕雪) 표층 설붕에서는 30~80m/s에도 달한다. 설붕이 구조물 등에 충돌할 때에 가하는 힘(설붕 충격력)은 설붕 속도의 2 제곱과 설붕의 눈 밀도에 비례하며, 과거의 측정 사례에서는 1 m<sup>2</sup>당 수 10~100t의 하중에 상당한다(100 t/m<sup>2</sup>의 충격 압력은 철근 콘크리트 구조물이 파괴될 정도

의 힘이다). 철도에서는 설봉이 열차나 구조물에 충돌하는 경우에 탈선 전복이나 파괴 등의 중대 재해를 초래한다. 또한, 설봉이 열차에 충돌하지 않아도 설봉에 의하여 옮겨진 눈(설봉 데브리(dbris))이 선로 위에 퇴적하여 여기에 열차가 돌입하면 탈선이 일어난다.

**(4) 지취설(地吹雪) 및 '눈이 바람에 날려 쌓임'**

지면에 쌓인 눈이 바람에 의하여 지표면 부근을 이동하는 현상을 지취설(地吹雪)이라고 한다. 강설 시에 발생하는 지취설은 눈보라라고 부르며, 지취설에 의한 눈 입자 외에 강설 입자도 함께 바람에 날려진다. 눈보라의 경우에도 지취설로서 바람에 날려지는 눈 입자의 양(飛雪量)이 강설 입자의 양보다도 압도적으로 많다. 지취설의 발생에는 기온과 풍속이 크게 관계하고 있으며, 기온이 -5℃ 이하인 경우에는 4~5m/s 정도의 바람이 불면 지취설이 발생한다. 기온이 0℃ 근처로 상승하면 이 발생 임계 풍속이 8~10m/s까지 올라간다.

지취설이 발생하면, 비설량(飛雪量)이 많기 때문에 현저하게 시정(視程) 장애가 생기게 함과 동시에 착설에 의한 장애를 가져오는 일이 있다. 게다가, 지표면이나 구조물 등의 요철에 의하여 풍속이 감소하는 장소에서는 지취설에 의한 비설이 이동을 정지하여 구름처럼 솟아올라 퇴적하는 '눈이 바람에 날려 쌓임'을 형성한다. '눈이 바람에 날려 쌓임'이 선로 상에서 발생하면, 열차 주행이 불능으로 되기도 하고, 분기기 전환 불능의 원인으로 되어 수송에 지장을 주는 일도 있다. 산릉(山稜)의 바람 아래쪽에 형성되는 설비(雪庇)도 '눈이 바람에 날려 쌓임'의 한 종류이며, 이것이 허물어지면 설봉의 기폭제로 되는 일이 있다.

**(5) 용설(融雪)**

적설의 용해는 적설의 내부나 저면에도 일어나지만 양적으로는 적설 표면의 용설량(融雪量)이 가장 많다. 적설 표면에서 용설의 주된 열원은 일사, 대기로부터의 방사, 대기와 설면(雪面)간에서 전달되는 열(습열, 濕熱), 수증기의 응결에 의한 잠열(潛熱), 비로부터의 전달 열이다. 용설에 기여하는 각 열원의 비율은 기상조건에 따라서 변화하

지만 맑은 날에는 일사가 지배적이며, 흐린 날에 습기차고 따뜻한 바람이 불 때는 습열이 크게 작용한다. 강우 시에 용설이 촉진되는 것처럼 느껴지지만, 실제로는 비로부터 전달되는 열의 기여는 작다. 용설 최성기에는 하루에 두께 5~10mm의 적설이 용해한다. 이것을 우량으로 한산하면 20~40mm 정도이며, 이것이 연속하면 용설에 의한 홍수나 사면 붕괴 등이 발생하는 일이 있다.

용설량을 추정하는 하나의 방법으로서 디그레이드(degrade)법이 있다. 이것은 어느 기간의 적산(積算) 난도(暖度)(0℃ 이상의 일(日)평균 기온의 값을 환산한 것)  $\Sigma T(℃ \cdot \text{day})$ 를 이용하여 그 기간의 총(總)용설량  $M(\text{mm})$ 을  $M = k \Sigma T$ 로서 구하는 것이다. 여기서,  $k$ 는 용설계수라 부르며, 장소나 계절에 따라서 다소의 차이는 있지만 4~5 mm/℃/day 정도의 값을 취한다. 디그레이드법은 그 정밀도가 반드시 높지는 않지만 기온의 데이터만 있다면 용이하게 용설량을 추정할 수 있는 실용적인 방법이다.

**(6) 관설(冠雪)**

눈이 수목이나 전주 등의 구조물 꼭대기에 모자 모양으로 쌓인 현상이나 그 눈을 관설이라 부른다. 철도 연선의 수목이나 대나무에 관설이 생기면 그 하중으로 쓰러져 선로 지장이나 가선의 절단을 야기하는 일이 있다. 또한, 트러스 교량이나 전차선 빔의 위에 형성된 관설은 열차 주행 시의 진동으로 낙하하여 차량의 창유리를 파손시키는 일이 있다.

**2.3 눈의 조사 방법**

눈에 의한 재해의 방지를 검토하기 위하여 실제의 현장에서 강설이나 적설 및 이들에 부수되는 현상 등의 상황을 충분히 파악하여 두는 것은 대단히 중요하다. 눈을 조사할 때는 제삼자가 조사결과를 보고 용이하게 이해할 수 있는 방법을 이용하는 것이 바람직하다.

눈에 관한 조사는 그 대상으로 하는 현상이나 목적이 여러 가지이며, 기존의 방법이나 기술로는 대응할 수 없는 것도 있다. 그러나, 일면으로는 각 현상의 백그라운드 데이터로서 어떠한 조사에 있어서도 공통의 방법으로 측정이 가능한 향

목도 있다. 특히, 강설량이나 적설량의 측정, 적설의 층 구조나 물리적 성질의 조사(적설단면 관측) 등은 통일된 방법이 있어 현재 이것을 이용하고 있다. 그 외에도 동계 기상관측, 설봉 조사, 지취설·눈이 바람에 날려 쌓임 조사, 융설 조사 등 어느 정도 보급되어 있는 방법이 각각 존재한다.

### 3. 빙설낙하로 자갈 비산이 일어나기 쉬운 날의 기상조건

#### 3.1 조사 목적

열차로부터 낙하하는 빙설에 의한 자갈 비산(飛散)의 발생과 연선 기상조건과의 관계에 대하여는 지금까지 상세히 조사한 사례가 없었다. 따라서, 차량의 빙설 부착량이 어느 정도까지 성장하면, 빙설낙하나 자갈 비산이 발생할 가능성이 크게 되는가, 또한 그와 같은 빙설 부착량으로 성장하는 것은 어떠한 기상조건인지, 라고 하는 점을 밝히기 위하여 1 겨울 기간을 통하여 연속적으로 차량의 빙설 부착량을 조사한 사례를 소개한다.

#### 3.2 조사 결과의 예

##### (1) 빙설 부착량의 평가방법

조사 구간(136.8km)의 양쪽 끝에 있는 역에서 얻어진 대차 부분의 화상(畫像) 중에서 눈으로 덮여 있어도 그 부위가 동정(同定)하기 쉽고, 게다가 왕복횟수(주행거리)나 날짜에 따라서 빙설부착 상황에 현저한 차이가 보여진 브레이크 작동 봉 주변에 착안하여 빙설 부착량을 레벨 A(브레이크 작동 봉에 빙설부착이 보이지 않음), 레벨 B(브레이크 작동 봉 일부에 빙설부착이 있음), 레벨 C(브레이크 작동 봉이 빙설부착으로 덮이고, 게다가 대차 프레임과의 사이가 빙설부착으로 부분적으로 덮여 있음), 레벨 D(브레이크 작동 봉이 빙설부착으로 덮이고, 게다가 대차 프레임과의 사이가 빙설부착으로 덮여 있음)의 4 단계(빙설 부착량:  $A < B < C < D$ )로 나누어 평가하였다.

##### (2) 빙설부착 레벨의 평가와 연선의 기상 상황

역에 설치한 디지털 카메라의 화상으로 평가된 빙설부착 레벨과 연선의 기상 데이터(일(日)평균기온과 일(日)강수량)의 변화를 분석하였다. 기간 중의 일부를 제외하고 일평균기온의 평균치(조사 구간의 7 관측지점에 대한 평균치)가 0℃ 이하인 것에서 강수의 거의 모두가 눈이라고 생각된다. 다만, 이 조사기간 중의 하루는 강수의 대부분이 비로 인한 것이다. 조사기간 95일 중에서 빙설부착 레벨이 D로 된 날은 합계 39일로 전(全)일수의 약 4 할에 해당한다. 또한, 기온이 0℃보다도 높든지, 그렇지 않으면 강수가 인지되지 않는 날의 빙설부착 레벨은 거의 A이었다.

##### (3) 빙설낙하가 발생한 날의 빙설부착 레벨

터널 내의 화상에서 빙설낙하의 발생이 확인된 날(빙설낙하 발생 일)을 조사한 결과에 의하면, 조사기간 68일 중에서 15일에 대하여 빙설낙하의 발생이 확인되었다. 그 중에서 13일에 대하여는 빙설부착 레벨이 D로 판정된 날에 발생되었고, 나머지 2일의 빙설부착 레벨은 C로 판단된 날이었다. 이 조사기간 중에 빙설부착 레벨이 D이었던 날은 27일이며, 그 약 반수의 날에 빙설낙하가 확인되었다. 빙설낙하의 조사범위(촬영범위)가 터널연장에 비하여 대단히 짧은 것을 고려하면, 빙설부착 레벨이 D인 날에 빙설낙하의 발생 빈도가 대단히 높은 것을 의미하고 있다. 또한, 빙설부착 레벨이 A~C인 날에 빙설낙하가 확인되지 않는 점에서 이들의 날에는 빙설부착 레벨이 D인 날에 비하여 빙설낙하의 발생 빈도가 적은 것을 알 수 있다.

##### (4) 자갈 비산이 발생한 날의 빙설부착 레벨

1일의 주행 종료 후에 조사 구간 시점 쪽의 운전사무소로 회송된 열차의 빙설부착에 들어가 있는 자갈의 수를 직전의 종점 역에서의 빙설부착 레벨마다 조사한 결과에 의하면, 빙설부착 레벨이 A~C인 날에 들어가 있는 자갈의 수가 적고, 각각 1일당의 평균은 0.6~0.9 개이며, 최대도 2~5 개이었다. 한편, 빙설부착 레벨이 D로 되면, 들어간 자갈 수가 A~C 레벨에 비하여 분명하게 많으며, 1일당의 평균은 2 개이고, 최대가 18 개까지 달하였다.

더욱이, 차량 창유리의 파손이 발생한 날의 데이터를 조사한 결과, 빙설부착 레벨을 조사한 기간 중에 조사 구간 양끝의 역에서 빙설낙하에 의한 자갈 비산이 원인이라고 생각되는 사례가 2건 있었다. 창유리의 파손이 발생한 시각은 분명하지 않지만, 빙설 부착량의 조사대상 열차가 3 왕복 주행한 시점의 빙설부착 레벨은 모두 D인 것을 알 수 있었다. 이들의 점에서 빙설부착 레벨이 A~C인 때에 비하여 D에 달한 때에는 빙설낙하 뿐만이 아니라 자갈 비산이 발생할 가능성도 극히 높게 된다고 생각된다.

**(5) 빙설부착 레벨이 D에 달하는 날의 기상 상황**

전 항까지의 분석 결과에서 빙설부착 레벨이 D에 달하면, 빙설낙하나 그것에 의한 자갈 비산이 발생할 가능성이 극히 높게 되는 것을 알았다. 그러면, 어떠한 기상상황의 날에 빙설부착 레벨이 D에 달하는 것일까?

상기의 7 관측지점(조사구간 내의 지역 기상관측 시스템)에서 일 평균기온과 일 강수량의 평균치를 빙설부착 레벨별로 구분하여 조사하였으며, 열차가 조사구간을 왕복 주행한 횟수에 따라 자료를 1~3 왕복으로 구분하였다. 이에 의하면, 빙설부착 레벨 D는 어느 기온과 강수량의 영역에 집중하여 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 왕복횟수별로 빙설부착 레벨 D에 달하는 기온과 강수량의 영역을 보면, 1 왕복에서는 -10℃ 및 2.5mm 이상, 2 왕복에서는 -7℃ 및 2.0mm 이상, 3 왕복에서는 -4℃ 및 1.5mm 이상인 것을 알 수 있다. 그 결과, 조사 구간의 왕복횟수마다 빙설부착 레벨이 D에 달하는가, 아닌가를 결정하는 경계선을 기온과 강수량의 관계 그림으로부터 도출할 수 있다.

빙설부착 레벨이 D에 달하는 영역은 왕복횟수의 증가에 따라서 기온이 높은 영역과 강수량이 적은 영역으로 넓혀져 있다. 다만, 강수량이 적은 영역으로의 확대는 폭이 작은 점에서 연선에 약 2mm 이상의 강수(강설의 깊이로 한산하면, 약 4cm 이상)가 있는 경우에, 빙설부착 레벨이 D에 달하는가 아닌가는 연선의 일 평균기온만으로 결정된다고 할 수 있다. 또한, 빙설부착 레벨이 D에 달하는 영역의 변이(變移)에 관한 기온과 강수량의 관계 그림은 어느 값의 일 평균기온과 일 강수량의 날에 어떤 횟수로 왕복 주행한 시

점에서 빙설부착 레벨이 D에 달하는가를 나타내는 그림으로 간주할 수가 있다. 예를 들어, 일 평균기온 -8℃에 대하여 일 강수량이 3mm인 날에는 2 왕복 주행하면 빙설부착 레벨이 D에 달할 것이라고 판단할 수 있다. 즉, 연선의 기온과 강수량을 알 수 있다면, 빙설부착 레벨이 어느 정도의 주행 거리에서 D에 달하는가를 알 수 있다는 뜻이다.

**4. 맺음말**

눈은 강설로부터 적설, 용설에 이르는 과정에서 그 자체의 성질이 차차로 변하여 가므로, 눈의 상태를 시간적, 장소적으로 정확하게 아는 것은 곤란하다. 따라서, 적설기의 열차 운행 관리나 시설의 보수를 하기 위하여 일반적인 눈의 특성과 그 변화 양식을 파악하여 두는 것은 대단히 의의가 있으며, 재해를 미연에 방지하는 대책을 강구하는데 도움이 될 것이다.

본고에서는 눈에 관한 현상을 설명하였지만, 한냉지에서는 그 외에도 노반의 동상, 터널 내에서의 고드름이나 측빙(側氷)의 형성, 분기기의 동결, 가선에의 착빙 등과 같이 동결 현상이나 얼음에 관한 문제도 많이 있다. 눈이 많은 지방의 철도에서는 눈과 동결의 양면에 대한 대책이 필요하며, 동결 현상에 대하여도 일반적인 현상의 발생과정을 이해하여 두는 것이 중요하다.

또한, 본고에서는 차량의 빙설 부착량이 어느 정도까지 성장하면 빙설낙하나 자갈 비산이 발생할 가능성이 크게 되는 것인가, 그러한 빙설 부착량으로 성장하는 것은 어떠한 기상조건인 날인가에 대한 조사 결과를 소개하였다. 이들의 결과를 기초로 연선의 기온이나 강설량의 예측 정보로부터 자갈 비산이 발생할 가능성이 큰가 아닌가를 사전에 추정할 수가 있다. 그 추정 결과는 계획적인 용설 작업의 실시나 유연한(flexible) 운전 규제의 실시에 유익한 것이라고 생각된다. 또한, 열차의 속도 향상을 도모할 때에도 연선의 기온이나 강수량을 조사하는 것에 의하여 자갈 비산 대책의 필요성을 검토하기 위한 자료로 이용하는 것도 고려된다. 여기서는 화상에 의하여 빙설 부착량을 단계적으로 평가한 예를 소개하였지만, 앞으로는 빙설 부착량의 정량적인 측정 방법을 개발함과 동시에 기상 예측 데이터를 이용한 빙설 부착량 예측방법의 심도화가 필요하다.