

## 제설제가 환경에 미치는 영향 연구

신진호 · 허항록 · 신정식 · 김민영 · 신재영

서울시보건환경연구원 수질화학팀

### A study of effects on environment from road deicings

Jin-Ho Shin · Hang-Rok Heo · Jung-Sik Shin · Min-Young Kim · Jai-Young Shin

Seoul Metropolitan Institute of Public Health and Environment, Water Chemistry Team

#### Abstract

Deicers have used for melting snow on the road during winter season, but they have largely influenced on environment and public assets and human health. The pollution level of snow and soil contained deicer was analyzed and evaluated the characteristics of deicers. The results were as follows

1. In the result of measurement of pollutants in snow contained deicer, the pH was a little higher than a comparative group and the concentration of  $\text{Cl}^-$  ranged from 0.5% to 0.87%, and the electric conductivity ranged 12.4 to 24.6 mmho/cm. The concentration of Cd, As, and Hg was not detected, but those of Cu, Pb, Cr was higher than a comparative group.
2. In soil of the road spreaded with deicer, the pH is getting alkalized and the concentration of  $\text{Cl}^-$  was high in January and returned to the level of a comparative group in November by physical and chemical reaction with deicer, but the concentration of heavy metals were not connected with deicers.
3. In comparison of deicing efficiency, the concentration of  $\text{Cl}^-$  was 3.3~5times high in spreading with deicer before snowing than after snowing. The concentration of  $\text{Cl}^-$  in NaCl was higher than  $\text{CaCl}_2$ , but the deicing efficiency of NaCl was better than that of  $\text{CaCl}_2$ . Moreover, the new deicer have no salt, but deicing efficiency of new deicer was less than that of NaCl and  $\text{CaCl}_2$ .

Key words : Deicer, NaCl,  $\text{CaCl}_2$ , Alkalize, Deicing efficiency

### I. 서론

일반적으로 우리나라에서는 눈이나 얼음을 녹이는 용도로서의 화학약품을 제설제(除雪劑)라고 하며 일본에서는 용설제(融雪劑), 용빙제(融氷劑) 또

는 결빙방지제라고 한다. 서울의 동절기 자동차 도로의 제설작업을 위한 제설제는 단기간에 효과가 빠르고 가격이 저렴하다는 장점을 갖는 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ )을 사용하고 있으며 국내에서는 중국에서 수입한 염화칼슘을 중심으로 매년 약 5,000톤 정도

를 제설제로 사용하고 있다.<sup>1)</sup>

그러나 염화칼슘은 염화물이라는 구조적 특성상 교량의 시멘트 강도를 저하시키고 철근의 부동태 피막을 손상시켜 자동차 및 철 구조물을 부식시키며 서울시 대부분의 가로수가 토양의 알칼리화로 인한 피해를 받고 있다.<sup>2)</sup> 또한 눈과 함께 녹은 염화칼슘은 별도의 차집관 없이 도로 배수구를 통해 하천으로 유입되어 수질오염을 가중시키고 있다.

그러나 현재까지 국내에서는 염소가 함유된 제설제 사용에 대한 피해상황이 조사된 바 거의 없고 앞으로 얼마나 제설제 사용이 증가 할 것인지에 대해서도 예측할 수가 없으며 규제항목도 설정되어 있지 않은 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위하여 제설제가 뿌려진 도로의 눈과 토양을 채취하여 오염도를 분석함으로써 잔존하는 염화물의 농도를 파악하고 제설제의 효능비교를 통하여 환경에 미치는 피해를 최소화 하는 대안을

제시하고자 한다.

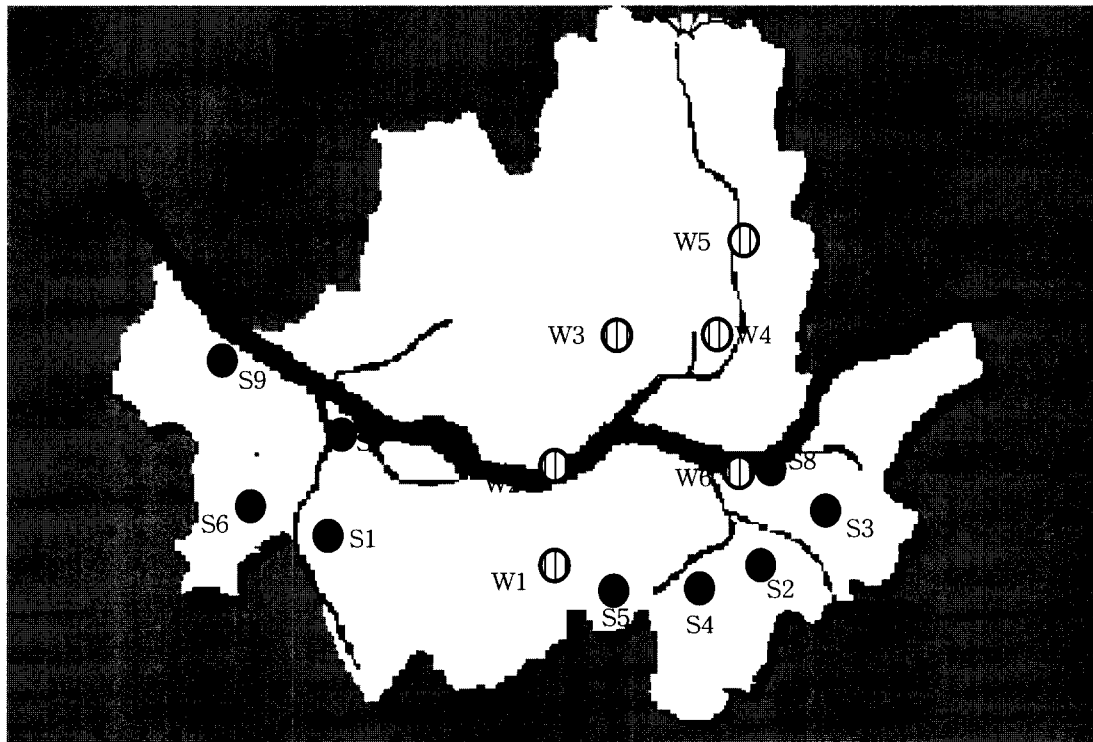
## II. 시료채취지점

비교적 교통량이 많은 4차선 이상의 도로에 제설제가 살포된 로터리 부근에서 눈을 채취하였으며, 토양시료는 제설제의 영향을 가장 많이 받는 도로의 시료를 1월과 11월에 2회 나누어 채취하였고 지점은 Fig. 1과 같다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 제설제가 살포된 눈의 오염농도

도로에 제설제가 살포된 후, 도로변 눈의 오염도를 조사한 결과 pH는 대조군보다 약간 높은 수치를 보여주고 있으며 염소이온의 농도는 함유량 0.



⊏ W : Sampling site of roadside snow  
● S : Sampling site of soils.

Fig. 1. The site of sample.

Tab. 1. The pollutant's concentration of snowbank from salt deicing in Seoul.

(unit: mg/L, electrical cond.: mmho/cm)

site item	W1. Yangjae-dong R.	W2. Hannam Bridge	W3. Dongdaemun R.	W4. Cheongryangri R.	W5. Dongbu Arterial Road	W6. Jamsil R.	Comparison group
pH	7.5	7.3	7.3	7.3	7.7	7.0	7.0
Cl <sup>-</sup>	8685.3	8543.5	5778.4	4608.5	7799.0	5140.3	283.6
Cu	0.585	0.573	0.611	0.446	0.642	0.235	0.235
pb	0.406	0.641	0.463	0.547	0.827	0.261	0.088
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
electrical cond.	25.8	26.4	17.1	12.4	21.7	14.3	0.083
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	179.4	224.4	177.2	182.8	178.4	167.8	12.9
Ca	1401.2	1222.4	882.4	931.2	1288.7	1361.2	5.2
Mg	33.9	28.2	18.75	19.8	30.45	11.2	2.375
Na	2231.0	3168.5	1559.1	1387.2	2277.8	1027.8	19.0
As	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cr	0.169	0.204	0.151	0.145	0.302	0.108	N.D
Hg	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

5~0.87%로 최저 16배에서 최고 30배까지 높은 농도를 나타냈다. 중금속은 카드뮴과 비소, 수은은 검출되지 않았으며 구리와 납, 크롬은 대조군보다 높게 나타나 자동차의 배기가스 및 도로변 유해물질이 제설제와 함께 눈에 함유된 것으로 추정된다. 전기전도도와 식물의 생육관계를 살펴보면 식물

Tab. 2. The pollution level of roadside soil from salt deicing in Seoul.

(unit: mg/kg)

site item	pH		Cl <sup>-</sup>		Cu		pb		Cd	
	2000. Jan.	Nov.	2000. Jan.	Nov.	2000. Jan.	Nov.	2000. Jan.	Nov.	2000. Jan.	Nov.
S1. Siheung I.C	7.1	7.9	328.0	94.5	75.259	47.564	78.238	49.742	0.362	0.325
S2. Garak Maket	6.5	7.4	202.6	87.2	16.889	34.538	80.889	62.034	0.148	0.248
S3. Olympic Park	6.7	6.9	146.7	85.5	32.489	37.195	60.103	9.159	0.157	0.205
S4. Samsung Hospital	7.8	7.9	94.7	123.6	26.435	67.867	36.462	11.903	0.144	0.190
S5. Yeongok crossroad	7.1	7.7	142.8	78.2	42.733	39.330	57.319	20.967	0.198	0.272
S6. Oryu I.C	6.5	7.8	108.9	70.2	60.640	7.744	38.246	5.692	0.171	0.194
S7. Yeomchandong	6.5	7.0	213.4	67.2	15.459	15.938	17.717	25.764	0.314	0.263
S8. Jamsil Traffic Hall	6.8	6.4	68.7	57.0	8.375	6.984	2.186	2.171	0.139	0.133
S9. Gonghang-ro	7.6	7.8	166.3	135.9	40.710	40.160	13.675	140.731	0.262	0.194
Comparison group	7.3		70.0		2.442		2.383		0.119	

은 일반적으로 1~2 mmho/cm의 범위에서 재배하는 것이 좋으며, 이 이상일 경우에는 생육억제, 열과, 낙엽등의 현상이 일어나기 쉬운데<sup>3)</sup> 제설제가 살포된 도로변 눈의 전기전도도를 분석해 본 결과로는 12.4~26.4 mmho/cm로서 내염성 작물 뿐만 아니라 모든 작물의 생육에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

## 2. 도로변 토양의 오염도 분석

### 2.1 pH

토양의 pH는 포화염도(base saturation)와 더불어 토양의 가장 중요한 화학적 성질로서 3~9정도의 넓은 범위를 나타낸다.<sup>4)</sup> 국내의 토양은 주로 사질로서 대부분 5.5~6.0의 범위를 갖는 약산성의 pH값을 가지며<sup>5)</sup> 유기물 함량이 낮은 척박한 토양으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 위의 Tab. 2의 토양시료 채취지점은 교통량이 빈번한 도로의 경계선 표토이며 대조군은 교통량과 사람의 통행이 없는 지역의 토양이다. 본 실험의 결과 pH의 경우에는 다른 조사항목과는 달리 제설제가 사용된 1월보다는 다량의 염류에 의해 점차적으로 산성토양을 알칼리화시켜 시간의 경과에 따라 11월에 pH를 7.9까지 상승하는 것을 볼 수 있으며 한국의 토지용도별 오염도 조사결과<sup>7)</sup>중 도로변 토양의 pH값이 평균 6.1~6.2정도인데 비하여 제설제의 영향을 직접적으로 받는 도로 주변과 중앙분리대의 토양 pH는 6.4~7.9로서 높은 농도를 보였으며 이와 같은 결과로 볼 때 도로변의 가로수가 점차적으로 토양의

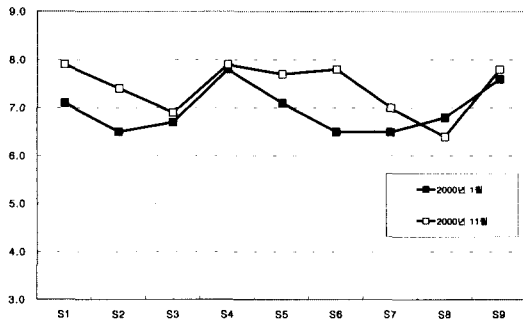


Fig. 2. The seasonal variation of pH in roadside soil.

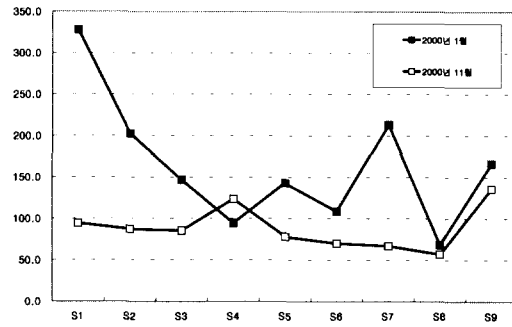


Fig. 3. The seasonal variation of Chloride in roadside soil.

알칼리화로 인한 피해가 있을 것으로 사료된다.

### 2.2 염소이온

염소이온의 자연함유량을 살펴보면 지각에 130 ppm정도 포함되어 있는 것으로 알려져 있으며<sup>8)</sup> 도로변에 살포된 제설제가 눈과 함께 도로 주변으로 치워짐에 따라 도로변 토양의 염소이온 농도를 크게 증가시켜 대조군보다 시흥 IC에서 4.7배 높은 농도를 보여 주었고 시간의 경과에 따라 염소이온의 농도는 점차 감소하는 경향을 보였으며 변화추이는 Fig. 3과 같다. 또한 제설제의 영향이 제일 많을 것으로 추정되는 1월에 평균 163.6 ppm에서 토양과 염소이온과의 화학적·물리적 반응으로 점차 감소하여 11월에는 88.8 ppm으로 교통량과 사람의 통행이 없는 대조군 수준으로 환원되는 경향을 보였다.

### 2.3 중금속

대도시 도로변 토양의 중금속 오염은 주로 자동차 배기가스에 의한 것인데, 서울시 도로변 토양오염과 제설제 사용과의 관계를 중금속(구리, 납, 카드뮴)을 통해 1월과 11월을 비교·분석한 결과는 Fig. 4~6과 같다. 또한 1월과 11월에 대한 중금속 상관성을 분석한 결과 구리와 납, 카드뮴에 대한 상관성이 거의 없었으며 이로써 제설제와 중금속에 대한 특별한 유의성은 없었다. 그리고 전국 도로변 토양의 평균 중금속 오염농도보다 서울시 도로변 토양의 평균 중금속 오염농도가 전반적으로 높은 값을 나타냈다.

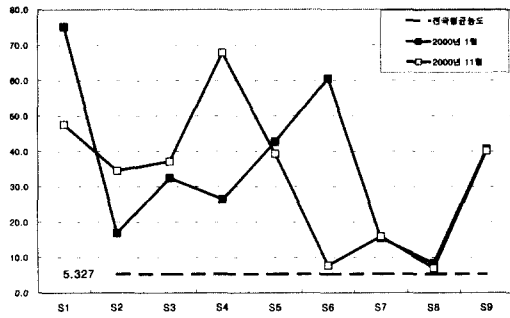


Fig. 4. The seasonal variation of Heavy metal in roadside soil-Copper.

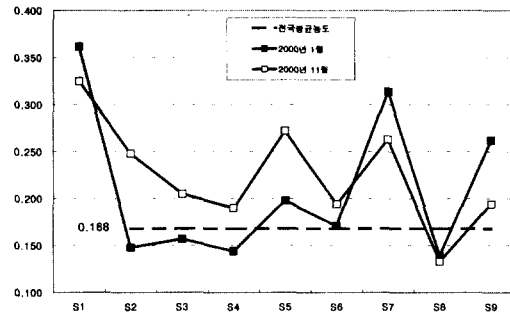


Fig. 6. The seasonal variation of Heavy metal in roadside soil-cadmium.

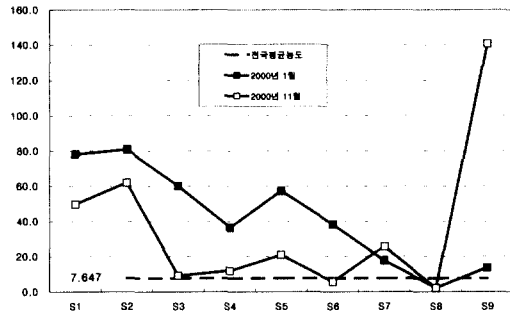


Fig. 5. The seasonal variation of Heavy metal in roadside soil-Lead.

### 3. 제설제의 특성별 효능비교

각 제설제별로 권장투입량에 대해 눈이 내리기 전과 내린 후에 대한 비교분석 결과는 강설 전에 제설제를 살포한 것이 강설 후에 제설제를 살포한 것에 비해 염소이온 농도가 3.3~5.0배 높은 것으로 나타났다. 또한 강설량에 따라 살포량이 증가할수록 염소이온 농도는 강설전 살포와 강설후 살포가 많은 차이를 보였다. 따라서 제설제의 사용은 강설후에 실시하는 것이 염소이온의 피해를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 제설제별로 눈에 권장투입량을 살포하고 그 제설효과를 관찰한 결과는 Fig. 7과 같다.

Tab. 3. The comparison of various deicing's properties.

The name of Deicing	snowfall spreading amount	before snowfall		after snowfall	
		pH	chloride (mg/L)	pH	chloride (mg/L)
Calcium Chloride (CaCl <sub>2</sub> )	3 cm / 3 g	7.4	8366.2	7.3	2481.5
	5 cm / 6.1 g	7.2	16803.3	7.3	3899.5
	7 cm / 30 g	6.7	88093.3	7.2	17547.8
Sodium Chloride (NaCl)	3 cm / 3 g	6.8	10705.9	7.4	3261.4
	5 cm / 6.1 g	7.2	24141.5	7.7	5494.8
	7 cm / 30 g	7.5	104081.2	7.5	24106.0
Compound of organic acid	3 cm / 1.8 g	5.9	17.7	6.0	10.6
	5 cm / 2.4 g	5.8	53.2	6.3	14.2
	7 cm / 4 g	5.8	212.7	5.9	17.7

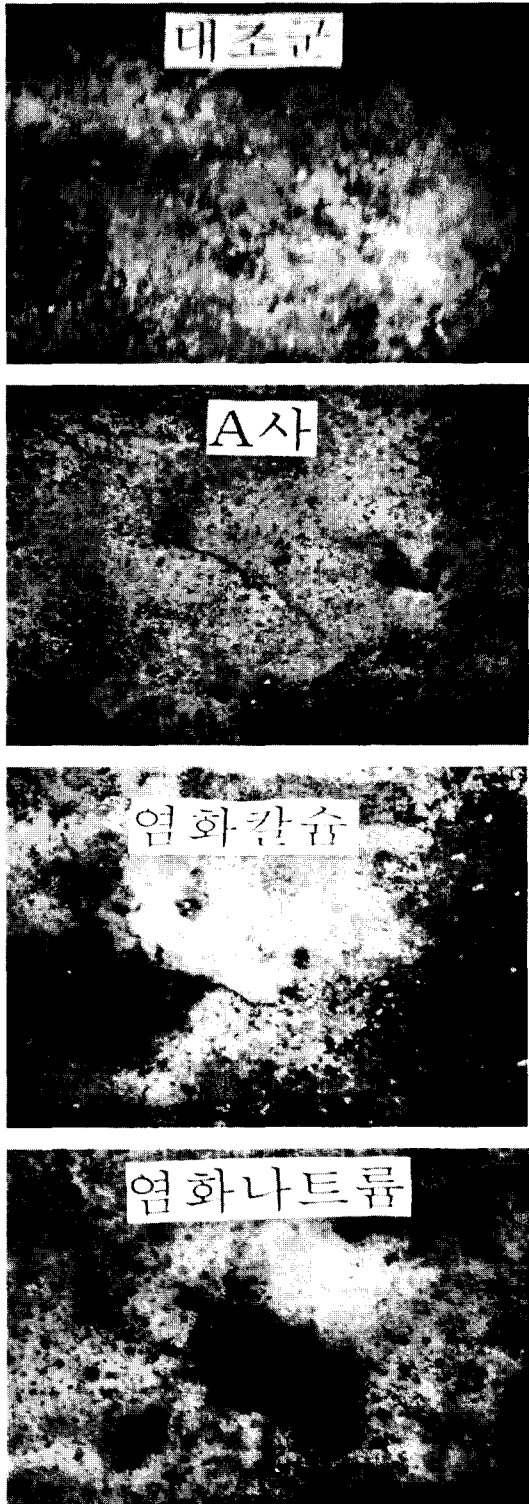


Fig. 7. The picture of various deicing.

눈에 살포된 제설제별 염소이온농도는 염화나트륨이 염화칼슘보다 높게 나타났으며 석회 및 초산을 함유한 유기산혼합염은 염소이온이 비교적 낮은 것으로 나타났다. 또한 염화칼슘이 발열량이 높아 염화나트륨에 비해 단기간에 눈을 녹이는 효과는 큰 것으로 나타났으며 반면에 염화나트륨은 녹는점이 낮아 전반적인 효과면에서 뛰어난 것으로 나타났다. 실제로 미국, 일본, 캐나다, 독일 등에서는 염화나트륨(NaCl)을 용설제나 결빙방지제로 사용하는 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup> 개발된 제설제(유기산혼합염)는 염화물의 피해는 적지만 제설효능면에서 비교적 떨어지는 것으로 분석되었다. 제설제의 부식에 관한 피해는 구체적으로 숫자로 제시된 통계자료는 없으나 일부 학자들 간에는 성수대교의 붕괴도 제설제로 인한 부식의 원인으로 지적하기도 한다.

### 결론

제설제는 동절기 도로의 제설작업에 유용하게 사용되고 있으나, 환경적인 면과 재산상 및 인체에 미치는 영향은 큰 것으로 알려져 있다. 제설제별로 눈 및 토양의 오염농도를 측정하고 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제설제가 살포된 눈의 오염농도를 조사한 결과, 대조군보다 pH는 약간 높은수치를 보였으며 염소이온의 농도는 0.5~0.87%로 최저 16배에서 최고 30배까지 높은 농도를 나타냈다. 중금속은 카드뮴, 비소, 수은은 검출되지 않았으며 구리와 납, 크롬은 대조군보다 높게 나타나는 경향을 보였으며 전기전도도는 12.4~24.6 mmho/cm로서 높게 나타났다.
2. 제설제의 영향을 받는 도로변 토양의 오염도
  - 2.1 pH의 경우, 제설제가 사용된 1월보다는 염류에 의해 점차적으로 산성토양을 알카리화하여 11월에 pH 7.9까지 상승하는 경향을 보였으며 제설제가 살포된 도로변 pH는 6.4~7.9로 전국토지용도별 오염도 조사결과에 의한 도로변토양 pH 6.1~6.2보다 높은 농도를 보

였다.

- 2.2 염소이온농도는 시흥 IC에서 대조군보다 4.7배 높은 농도를 보였으며 제설제의 영향이 제일 많은 1월에 평균 163.6 ppm에서 토양과 염소이온과의 화학적·물리적 반응으로 점차 감소하여 11월에는 88.8 ppm으로 낮아지는 경향을 보였다.
  - 2.3 중금속은 1월과 11월에 대한 중금속 상관성을 분석한 결과, 구리와 납은 상관성이 거의 없는 것으로 나타났으며 카드뮴의 경우에도  $r = 0.7$ 이고 제설제와 중금속에 대한 유의성은 거의 없었다.
3. 제설제의 특성별 효능을 비교한 결과 제설제별 권장사용량을 눈이 내리기 전·후에 각각 살포하여 분석한 결과 염소이온 농도가 강설전에 살포한 것이 3.3~5.0배 높은 것으로 나타나 강설 후에 살포하는 것이 염소이온의 피해를 줄일 수 있는 것으로 판단되었다. 눈에 살포된 제설제별 염소이온 농도는 염화칼슘보다 염화나트륨이 높은 것으로 나타났으며 제설효과는 염화나트륨이 높은 것으로 보여진다. 새로 개발된 제설제(유기산혼합염)는 염화물의 피해는 적지만 제설 효능면에서는 떨어지는 것으로 판단되었다. 앞으로 제설제의 연구는 계속 진행되어 국내의 실정에 맞는 경제적이고 저공해 제설제를 개발하여 실용화해야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 조인권 : 페콘크리트와 저급 시멘트 재료를 이용한 저공해 제설제의 생성 및 그 특성에 관한 연구, 관동대학교 석사학위 논문, pp. 1, 1997.
2. 하진규 : 염화물의 영향을 받는 콘크리트 중의 철근방청대책에 대한 연구, pp. 13~15, 1998.
3. 인터넷에서 발췌한 자료 : <http://www.greenhousecenter.org>
4. 임선옥 : 최신토양학 특론, 문운당, pp. 383, 1996.
5. 신재성 : 농경지 토양현황과 관리, 한국토양환경학회, pp. 23~30, 1977.
6. 최병순, 김진한, 이동훈 : 토양오염개론, 동화기술, pp. 287, 1977.
7. 환경부 : 전국 토지축정망 운영결과, 1998.
8. 농업진흥청 농업기술연구소 : 토양화학분석법, pp. 427, 1988.
9. 인터넷에서 발췌한 자료 : <http://www.gofu.co.kr>