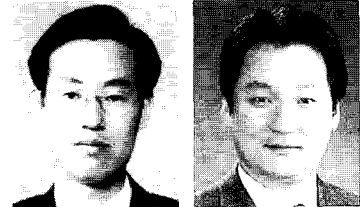


남북한지역 전국 동결지수선도



이 경 하 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
강 민 수 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

1. 배경 및 목적

포장단면 설계시 동결심도를 구하기 위해서는 전국의 동결지수선도로부터 설계지역의 동결지수를 구하여야 한다. 동결지수선도는 30년간의 기상자료를 분석하여 구하며, 현재 적용하고 있는 동결지수선도는 2003년에 개정되었다.

지금까지는 남한지역의 동결지수선도만을 제정하여 사용하여 왔으나, 서울 이북지역의 동결지수를 정확히 구하기 위해서는 휴전선 이북지역의 기상자료가 파악되어야 한다. 그렇지만, 남한지역의 기상자료만으로는 기상자료가 한정되어 있어 서울 이북지방의 동결지수를 정확히 구할 수 없었다.

그러므로 북한지역의 30년간 기상자료를 분석하여 남북한 지역의 동결지수선도를 구하면 서울 이북지역의 동결지수를 정확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라 남북도로망 연계에 대비한 기술적 토대를 구축할 수 있다.

2. 동결지수선도

포장 공용성과 포장구조설계에 관련되는 주요 환경인자로 온도와 강우의 영향을 반영한다. 이들은 노

상토의 동결 용해 및 배수효과에 영향을 주는 기상요소이므로 포장구조의 수축팽창과 동상현상 등의 메커니즘을 면밀히 분석하여 포장에 대하여 결함을 일으키는 요인을 미리 제거하거나, 포장구조 설계요소로 주의 깊게 고려해야 한다.

동결지수(frost index)는 포장내의 동결관입 깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로서, 포장구조와 노상토를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속기간의 누가영향(cumulative effect)으로 표시된다. 동결지수의 단위는 온도·일(℃·일, ℉·일)이며, 어느 동결계절 동안의 누가 온도·일에 대한 시간 곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타낸다.

설계노선의 설계동결지수의 산정은 대상지역의 인근 측후소에서 관측한 월 평균 대기온도의 크기와 지속기간에 대한 30년간의 기상자료에서 추위가 가장 심하였던 3년간(즉 동결지수의 최대 3년치)의 평균 동결지수로 정한다. 만일 30년간의 기상자료가 없으면 최근 10년간의 최대동결지수를 설계동결지수로 산정하고 이를 토대로 미공병단 TM 5-818-2 Air Force AFM 88-6 Chap. 4(Pavement Design For Seasonal Frost Conditions, January 1985)에서 제시되는 절차에 의해서 작성되는 누가온도·일 곡선에 의해서 결정한다. 그림 1에서 얻어지는 동결

지수 값은 측후소 위치에서 관측한 값을 토대로 한 것이므로, 설계노선의 표고에 대한 보정은 식(1)을 이용하여 계산한다.

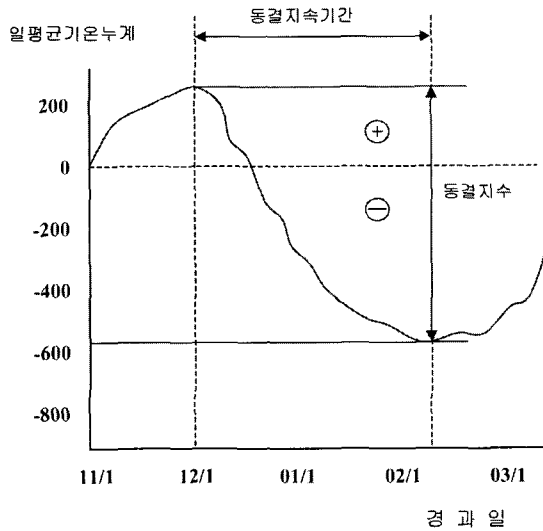


그림 1. 동결지수 결정방법

$$\text{수정동결지수}(^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}) = \text{동결지수} + 0.5 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)^{1)} }{100} \quad (1)$$

여기서, 표고차(m) =
설계노선최고표고(m) - 측후소지반고(m)

이와 같이 산출된 수정동결지수를 동결심도 산정 모델에 적용하여 해당지역의 설계 동결깊이를 결정하게 된다.

3. 북한 동결지수

세계기상통신망을 통해 주로 일본 동경을 거쳐서 기상청에 입력되는 북한 기상자료의 수집은 1973년

주 1) 동결지수가 T 일 경우는 다음식 적용

$$\text{수정동결지수}(^{\circ}\text{F} \cdot \text{일}) = \text{동결지수} + 0.9 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

부터 12개 지점을 시작으로 1981년에 14개 지점을 추가하여 현재 26개 지점에서 자료가 수집되고 있다.

본 연구를 수행하기 위한 해당 관측대상 측후소 지점은 그림 2와 같으며, 해당지점은 표 1과 같다.

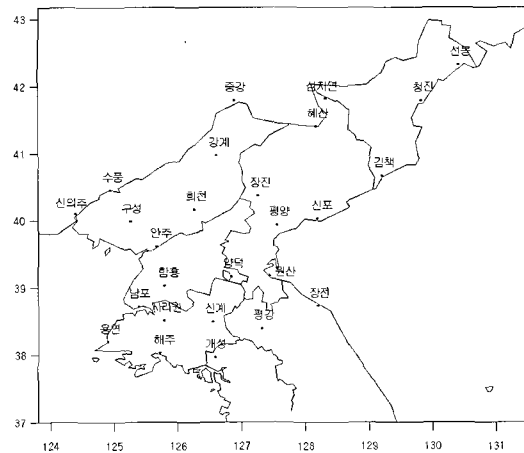


그림 2. 관측대상 기상측후소 위치

표 1. 관측대상 측후소

| 지명 | 북위(N) | 동경(E) | 해발표고(m) |
|-----|---------|----------|---------|
| 선봉 | 42° 19' | 130° 24' | 3 |
| 삼지연 | 41° 19' | 128° 19' | 1,386 |
| 청진 | 41° 47' | 129° 49' | 43 |
| 중강 | 41° 47' | 126° 53' | 332 |
| 해산 | 41° 24' | 128° 10' | 714 |
| 강계 | 40° 58' | 126° 36' | 306 |
| 풍산 | 40° 49' | 128° 09' | 1,206 |
| 수풍 | 40° 27' | 124° 56' | 83 |
| 장진 | 40° 22' | 127° 15' | 1,081 |
| 신의주 | 40° 06' | 124° 23' | 7 |
| 구성 | 39° 59' | 125° 15' | 99 |
| 희천 | 40° 10' | 126° 15' | 155 |
| 함흥 | 39° 56' | 127° 33' | 38 |
| 신포 | 40° 02' | 128° 11' | 19 |
| 안주 | 39° 37' | 125° 39' | 27 |
| 양덕 | 39° 10' | 126° 50' | 279 |
| 월산 | 39° 11' | 127° 26' | 36 |
| 평양 | 39° 02' | 125° 47' | 38 |
| 남포 | 38° 43' | 125° 22' | 47 |

| 지명 | 북위(N) | 동경(E) | 해발표고(m) |
|-----|--------|---------|---------|
| 장진 | 38°44' | 128°11' | 35 |
| 사리원 | 38°31' | 125°46' | 52 |
| 신계 | 38°30' | 126°32' | 100 |
| 용연 | 38°12' | 124°53' | 5 |
| 해주 | 38°02' | 125°42' | 81 |
| 개성 | 37°58' | 126°34' | 70 |
| 평강 | 38°24' | 127°18' | 371 |

북한 기상통계자료는 일본 동경을 거쳐서 TXP(통신장비 모델)에 입력되고 있으며 전문이 누락될 경우를 대비해서 무선전파방송(Continuous Wave, 이하 CW)을 통해 수집·입력하기도 한다. 북한 기상자료의 통계처리 흐름은 그림 3과 같다.

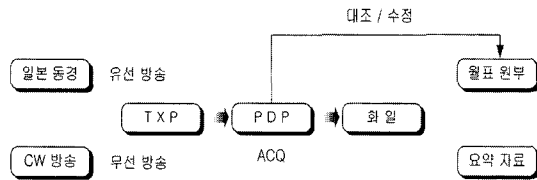


그림 3. 북한 기상통계 처리업무 흐름도

동결지수를 산출하기 위해서는 최근 30년의 기후 자료중 최대값 3개를 평균하여 사용하며, 30년 자료가 없을 경우에는 최근 10년 기상자료중 최대값을 사용한다. 최근 10년의 기상자료를 사용할 경우 90년대 이후 이상기후로 인해 동결지수가 도로설계에서 과소설계가 되어질 우려가 있다.

따라서, 해당지역에 30년 기상자료가 있는 지역은 표 2와 같이 30년 자료를 활용하여 동결지수를 산출하였으며, 30년 자료가 없는 해당지역은 북한 20년 기상보에서 제시하는 평균기온(겨울 12~2월)을 적용하여 인근지점의 30년(최대값 3개 평균)과 20년(최대값 2개 평균) 자료간의 상관관계를 도출하여 해당지역에 표 3과 같이 보정하여 적용하였다. 또한, 해당지역 및 인근지역의 30년 자료가 없어 보정하기 힘든 경우에는 표 4와 같이 해당지역에 안전계수를 고려하여 적용하였다. 이와 같은 절차를 거쳐 표 5와 같이 북한지역의 동결지수를 최종적으로 확정하였다.

표 2. 지역별 동결지수 및 동결기간(30년 기상자료)

| 지명 | 동결지수 (°C·days) | 동결기간(일) | 비고 |
|-----|----------------|---------|-----------|
| 해산 | 1,809.1 | 140 | 30년 자료 분석 |
| 중강 | 1,585.7 | 135 | |
| 강계 | 1,236.8 | 126 | |
| 선봉 | 771.4 | 117 | |
| 신의주 | 736.2 | 106 | |
| 평양 | 664.3 | 95 | |
| 청진 | 617.3 | 111 | |
| 사리원 | 592.1 | 95 | |
| 개성 | 510.5 | 91 | |
| 함흥 | 487.3 | 87 | |
| 해주 | 448.5 | 82 | |
| 원산 | 314.6 | 79 | |

표 3. 20년 자료의 동결지수 보정(해당지역과 인근지역의 상관관계 도출)

| 지명 | 동결지수 (°C·days) | 보정계수 | 최종 동결지수 (°C·days) | 비고 |
|----|----------------|------|-------------------|--|
| 평강 | 804.4 | 1.1 | 884.8 | 해당지점들은 신의주 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |
| 구성 | 783.4 | 1.1 | 861.7 | |
| 안주 | 754.3 | 1.1 | 829.8 | |
| 장진 | 1,784.2 | 1.0 | 1,784.2 | 장진 지점은 중강 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |
| 풍산 | 1,726.6 | 1.0 | 1,726.6 | 풍산 지점은 해산 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |
| 신계 | 687.7 | 1.0 | 687.7 | 신계 지점은 평양 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |
| 남포 | 544.6 | 1.0 | 544.6 | 남포 지점은 사리원 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |
| 용연 | 390.0 | 1.0 | 390.0 | 용연 지점은 해주 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |
| 신포 | 388.2 | 1.0 | 388.2 | 신포 지점은 개성 지역과 겨울 평균기온의 등온선이 동일선상에 위치함 |

표 4. 동결 안전계수

| 지명 | 동결지수 (℃·days) | 안전계수 | 최종 동결지수 (℃·days) | 비고 |
|-----|------------------|------|---------------------|--|
| 삼지연 | 2,214.4 | 1.1 | 2,435.8 | 해당지점들의 경우 겨울평균기온이 6℃이하로 주변 지역에 비해 온도가 낮아 안전계수 1.1을 적용함 |
| 희천 | 948.8 | 1.1 | 1,043.7 | |
| 양덕 | 931.0 | 1.1 | 1,024.1 | |
| 수풍 | 845.8 | 1.1 | 930.4 | |
| 장전 | 198.7 | 1.0 | 198.7 | 장전 지점의 경우 겨울평균기온이 0~1℃ 사이로 주변 지역에 비해 온도에 대한 영향이 작아 안전계수 1.0을 적용함 |

표 5. 북한 지역별 동결지수 및 동결기간(최종)

| 지명 | 동결지수 (℃·days) | 동결기간(일) | 비고 | |
|-----|------------------|---------|----------------------------------|---------------------------|
| 해산 | 1,809.1 | 140 | 30년 기상자료 사용 | |
| 증강 | 1,585.7 | 135 | | |
| 강계 | 1,236.8 | 126 | | |
| 선봉 | 771.4 | 117 | | |
| 신의주 | 736.2 | 106 | | |
| 평양 | 664.3 | 95 | | |
| 청진 | 617.3 | 111 | | |
| 사리원 | 592.1 | 95 | | |
| 개성 | 510.5 | 91 | | |
| 함흥 | 487.3 | 87 | | |
| 해주 | 448.5 | 82 | | |
| 원산 | 314.6 | 79 | | |
| 평강 | 884.8 | 106 | | 동일한 등온선에 있는 인근지역의 보정계수 적용 |
| 구성 | 861.7 | 117 | | |
| 안주 | 829.8 | 106 | | |
| 장진 | 1,784.2 | 151 | | |
| 풍산 | 1,726.6 | 157 | | |
| 신계 | 687.7 | 98 | | |
| 남포 | 544.6 | 92 | | |
| 용연 | 390.0 | 87 | | |
| 신포 | 388.2 | 91 | | |
| 삼지연 | 2,435.8 | 179 | 해당지역 및 인근지역의 기상자료 부재로 인해 안전계수 적용 | |
| 희천 | 1,043.7 | 128 | | |
| 양덕 | 1,024.1 | 127 | | |
| 수풍 | 930.4 | 124 | | |
| 장전 | 198.7 | 81 | | |

4. 남북한지역 동결지수선도

현재 한반도에서 남한지역만 완성되어진 동결심도 및 동결지수선도를 북측의 기상자료를 이용하여 한

표 6. 남한지역 동결지수 및 동결기간

| 지역 | 추후소 지반고 (m) | 동결 지수 (℃·일) | 동결 기간 (일) | 지역 | 추후소 지반고 (m) | 동결 지수 (℃·일) | 동결 기간 (일) |
|-----|-------------------|-------------------|-----------------|-----|-------------------|-------------------|-----------------|
| 속초 | 17.6 | 181.6 | 66 | 합천 | 32.1 | 193.0 | 62 |
| 대관령 | 842.0 | 873.8 | 127 | 거창 | 224.9 | 278.2 | 74 |
| 춘천 | 74.0 | 539.0 | 92 | 영천 | 91.3 | 237.8 | 64 |
| 강릉 | 26.0 | 167.2 | 57 | 구미 | 45.5 | 278.1 | 76 |
| 서울 | 85.5 | 380.9 | 80 | 의성 | 73.0 | 425.2 | 78 |
| 인천 | 68.9 | 354.7 | 78 | 영덕 | 40.5 | 138.8 | 57 |
| 원주 | 149.8 | 613.0 | 94 | 문경 | 172.1 | 279.4 | 55 |
| 울릉도 | 221.1 | 129.3 | 32 | 영주 | 208.0 | 417.8 | 77 |
| 수원 | 36.9 | 468.4 | 79 | 성산포 | 17.5 | - | - |
| 충주 | 69.4 | 528.4 | 89 | 고흥 | 60.0 | 83.5 | 49 |
| 서산 | 26.4 | 313.2 | 76 | 해남 | 22.1 | 102.6 | 49 |
| 울진 | 49.5 | 121.6 | 57 | 장흥 | 43.0 | 130.1 | 52 |
| 청주 | 59.0 | 411.6 | 78 | 순천 | 74.0 | 179.9 | 64 |
| 대전 | 67.2 | 317.7 | 68 | 남원 | 89.6 | 272.4 | 67 |
| 추풍령 | 245.9 | 303.9 | 78 | 정읍 | 40.5 | 223.9 | 61 |
| 포항 | 2.5 | 98.5 | 52 | 임실 | 244.0 | 420.3 | 86 |
| 군산 | 26.3 | 194.9 | 61 | 부안 | 7.0 | 244.7 | 61 |
| 대구 | 57.8 | 160.9 | 54 | 금산 | 170.7 | 372.5 | 77 |
| 전주 | 51.2 | 233.5 | 61 | 부여 | 16.0 | 330.0 | 74 |
| 울산 | 31.5 | 83.6 | 46 | 보령 | 15.1 | 254.8 | 76 |
| 광주 | 73.9 | 141.4 | 55 | 천안 | 24.5 | 405.4 | 78 |
| 부산 | 69.2 | 49.6 | 27 | 보은 | 170.0 | 461.7 | 76 |
| 통영 | 25.0 | 37.4 | 27 | 제천 | 264.4 | 610.2 | 91 |
| 목포 | 36.5 | 75.6 | 33 | 홍천 | 141.0 | 635.4 | 98 |
| 여수 | 67.0 | 62.2 | 31 | 인제 | 199.7 | 614.5 | 91 |
| 완도 | 37.5 | 38.1 | 26 | 이천 | 68.5 | 511.0 | 89 |
| 제주 | 22.0 | 4.1 | 3 | 양평 | 49.0 | 619.7 | 91 |
| 남해 | 49.8 | 148.9 | 38 | 강화 | 46.4 | 486.2 | 89 |
| 거제 | 41.5 | 52.1 | 39 | 진주 | 21.5 | 132.8 | 51 |
| 산청 | 141.8 | 141.8 | 49 | 서귀포 | 51.9 | - | - |
| 밀양 | 12.5 | 180.2 | 62 | 철원 | 154.9 | 685.0 | 109 |

반도 전역으로 확장하여야 한다. 한반도 동결지수선도를 작성하기 위해 사용된 남한지역의 지역별 동결지수 및 동결기간은 표 6과 같으며 북한지역의 지역별 동결지수 및 동결기간은 표 7과 같다. 표 6과 표 7을 토대로 한반도 전역의 동결지수선도를 구하면 그림 4와 같다.

표 7. 북한의 지역별 동결지수 및 동결기간

| 지명 | 동결지수 (°C·days) | 동결기간(일) | 해당 표고(m) |
|-----|----------------|---------|----------|
| 해산 | 1,809.1 | 140 | 714 |
| 증강 | 1,585.7 | 135 | 332 |
| 강계 | 1,236.8 | 126 | 306 |
| 선봉 | 771.4 | 117 | 3 |
| 신의주 | 736.2 | 106 | 7 |
| 평양 | 664.3 | 95 | 38 |
| 청진 | 617.3 | 111 | 43 |
| 사리원 | 592.1 | 95 | 52 |
| 개성 | 510.5 | 91 | 70 |
| 함흥 | 487.3 | 87 | 38 |
| 해주 | 448.5 | 82 | 81 |
| 원산 | 314.6 | 79 | 36 |
| 평강 | 884.8 | 106 | 371 |
| 구성 | 861.7 | 117 | 99 |
| 안주 | 829.8 | 106 | 27 |
| 장진 | 1,784.2 | 151 | 1,081 |
| 풍산 | 1,726.6 | 157 | 1,206 |
| 신계 | 687.7 | 98 | 100 |
| 남포 | 544.6 | 92 | 47 |
| 용연 | 390.0 | 87 | 5 |
| 신포 | 388.2 | 91 | 19 |
| 삼지연 | 2,435.8 | 179 | 1,386 |
| 희천 | 1,043.7 | 128 | 155 |
| 양덕 | 1,024.1 | 127 | 279 |
| 수풍 | 930.4 | 124 | 83 |
| 장전 | 198.7 | 81 | 35 |

동결지수가 세 측후소의 사이에 있을 때 동결지수는 다음과 같이 구할 수 있다.

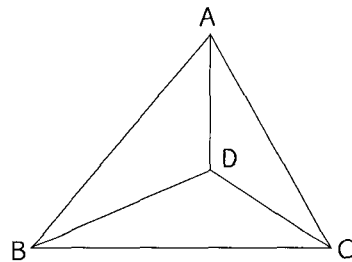
(계산 예)

측후소의 표고는 모두 동일하다고 가정하고, 기존의 측후소인 A, B, C지점 사이에 D지점의 동결지수를 구하시오.

<조건>

- 동결지수 : A지점 300°C·일, B지점 400°C·일, C지점 500°C·일
- 측후소까지의 거리 : A-D 20km, B-D 40km, C-D 30km

D지점의 동결지수는 다음과 같이 구할 수 있다.



$$F_D = \frac{300/20 + 400/40 + 500/30}{1/20 + 1/40 + 1/30} = 384^\circ\text{C} \cdot \text{일}$$

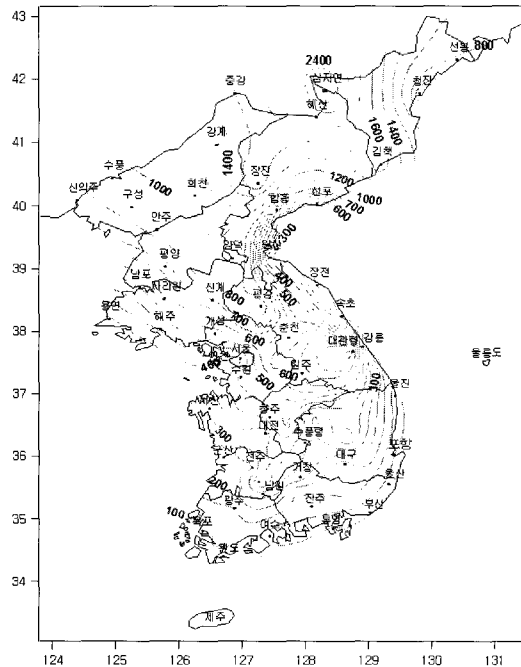


그림 4. 전국 동결지수선도

5. 결론

북한지역의 동결지수를 분석하였으며, 북한지역과 남한지역을 잇는 한반도 전역의 동결지수선도를 그림 4와 같이 제시하였다. 지금까지는 남한지역의 동결지수선도만을 제정하여 사용하여 왔으나, 서울 이북지역의 동결지수를 정확히 구하기 위해서는 휴전선 이북지역의 기상자료가 파악되어야 한다. 그렇지만, 남한지역의 기상자료만으로는 기상자료가 한정되어 있어 서울 이북지방의 동결지수를 정확히 구할 수 없었다.

그러므로 북한지역의 30년간 기상자료를 분석하여 남북한 지역의 동결지수선도를 구하면 서울 이북 지역의 동결지수를 정확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라 남북도로망 연계에 대비한 기술적 토대를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 건설부 도로국 도로조사단, '동결지수에 관한 조사보고서', 1980.
- 건설기술연구원, '동토지역 기초구조물의 최적설계 시공 기법 개발 연구', 1993.
- 국립건설연구소, '우리나라 각 지방의 동결깊이 조사보고서', No.401, 1980.
- 과학기술처, '기상자료의 효율적 활용을 위한 데이터 베이스 개발연구(I)', 1990.
- 과학기술처, '한반도 기후변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(I)', 1990.
- 기상청, '북한기상 20년보', 1995.
- 안상진, 백영식, "우리나라의 동결지수와 동결심도에 관한 연구", 대한토목학회지 제 18권 제4호, 1971.
- 이경하, 김형배, "도로포장의 동상특성 및 동결심도", 한국도로포장공학회지, 제4권 제1호 pp. 6-18, 2002.
- 홍성길, '기상분석과 일기예보', 2003.
- E. J. Yoder, M. W. Witczak, 'Principles of Pavement Design', Wiley Interscience, 1975.
- 日本土質工學會, '土の凍結', 1989.

회원의 신상변동사항(이사, 전근, 승진 등)이 있으면
학회 사무국으로 연락주시기 바랍니다.
현재 반송되는 우편물이 너무 많습니다.

- 전 화 : (02)3272-1992
- 전 송 : (02)3272-1994
- E-mail : kospe@hanmail.net