

해양구조물 수명예측 시스템 구축을 위한
데이터 신뢰성 검증
- Validation on Reliability of Data for Development
of Forecasting System of Service Lifetime
in Marine Structures -

임영문 *

Leem Young Moon

양은익 **

Yang Eun Ik

황영섭 ***

Hwang Young Seob

Abstract

Because the damages of corrosion resulting from the chloride ion are very serious, many research studies have been performed to measure the penetration depth of the chloride ion. However, there is a problem with data selection obtained from collection during experiments. After careful study, it appears that the collected data are not conformed to a normal distribution. The result of this study will play a very important role, as a first step for the development and construction of a forecasting system to help determine a reliable service lifetime of marine structures.

Keywords : Marine Structure, Forecasting System, Reliability, Validation

† 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(RO1-2003-000-00158-0) 지원으로 수행되었음.

* 강릉대학교 산업시스템공학과 교수

** 강릉대학교 토목공학과 교수

*** 강릉대학교 산업시스템공학과 박사과정

2007년 3월 접수; 2007년 4월 수정본 접수; 2007년 4월 게재확정

1. 서론

해양구조물의 부식은 염화물 환경에 노출될 경우 일정 농도의 염화물량 값을 초과하게 되면 발생하게 된다. 이러한 해양구조물 개시시기를 예측하기 위하여 염화물 확산계수를 실험하는 방법 중 가장 정확한 확산계수 결정방법은 침지실험으로 얻어지는 깊이별 농도 프로파일로부터 계산되는 확산계수이다.

따라서, 본 연구에서는 실제 침지실험으로부터 측정된 깊이별 염화물 농도 측정치를 바탕으로 통계분석을 통하여 실험 데이터의 신뢰성을 검증하는데 목적을 두었으며, 이러한 신뢰성을 바탕으로 해양구조물의 수명 예측 시스템을 구축하기 위한 기본 자료로써 사용하고자 한다.

2. 염화물 침투와 부식

2.1 염화물의 침투 메커니즘

일반적으로 해양구조물 내부로의 염화물의 침투는 확산, 정수압, 모세관 흡수와 같은 방법에 의해 일어난다. 이 중에서 일반적인 방법은 염의 농도를 가진 염화물 이온의 이동, 즉 확산에 의한 것이다. 이러한 확산이 빠르게 일어나기 위해서는 해양구조물이 연속적인 액체 상태에 놓여져야 하고, 염의 염소이온 농도를 가져야 한다.

염화물의 침투를 일으키는 또 다른 메커니즘은 압력 차이에 의한 투과이다. 해양구조물내의 염화물의 투과는 해양구조물 표면이 염화물이 존재하는 정수압에 노출되어 있을 때 일어난다. 마지막 침투 메커니즘은 흡착에 의한 이동으로서 해양구조물 표면이 외부 환경에 노출될 때, 해양구조물은 반복 건습을 받게 된다.

또한 염화물을 포함한 물이 건조한 해양구조물 표면에 닿게 되면 염화물은 모세관 흡수를 통해서 공극구조로 흡입된다. 이러한 흡수는 해양구조물 내부의 염의 깊이까지 염화물을 이동시키고, 염화물이 철근까지 확산하는 거리를 감소시킨다.

위에 언급한 메커니즘 중 염화물을 침투시키는 주요한 방법은 확산에 의한 방법이다. 반면 정수압에 의한 염의 침투는 구조물이 충분한 정수압에 놓이는 경우가 드물고, 흡수에 의한 침투는 얇은 피복두께에서만 일어날 수 있는 한계가 있다[5].

여러 나라에서 해양구조물 내염특성에 관한 많은 연구[3][4][7] [8][9][10]가 진행되고 있고, 최근 국내에서도 해양구조물 구조물의 건설과 제설염 사용의 증가로 인해 해양구조물 내염특성에 대한 관심이 증가하면서 이에 대한 연구[2]가 활발히 진행되고 있다. 영국 빌딩연구 재단의 보고서[6]에 따르면 해양구조물에서 무게를 기준으로 염화물의 함유도에 따라 붕괴 위험도 분류를 제안하고 있다.

2.2 염화물 확산에 미치는 영향 인자들

해양구조물의 염화물 확산은 공극구조에 의존한다. 우선 공극구조는 재료나 시공경험, 재령에 의해 영향을 받는다. 해양구조물의 염화물 확산계수는 시멘트 페이스트의 공극에 관련되는데, 이러한 시멘트 페이스트는 물시멘트비(W/C Ratio)와 공극을 분산시키는 혼화제, 수화도에 영향을 받는다.

해양구조물의 재령이 길어질수록 수화도가 높아지게 되고, 그로인해 공극이 더 미세화 된다. 공극구조에 영향을 미치는 또 다른 요인은 양생 시간동안의 노출온도이다. 고온의 양생은 양생과정을 촉진 시키게 된다. 따라서 초기재령에 있어서 고온으로 양생된 해양구조물은 동일한 재령의 일반 양생 콘크리트보다 좀 더 숙성하게 되고 염화물 침투에 대해 더 높은 저항성을 갖게 된다. 그러나 일반양생 해양구조물이 충분한 수화반응을 가지는 장기 재령에 있어서는 고온양생 해양구조물보다 더 낮은 염화물 확산계수를 가진다.

또한 고온양생 해양구조물은 초기에 빠른 수화율을 갖게 되고, 내부 미세균열을 가늠하게 한다. 해양구조물 내부로의 염화물 이온 침투속도는 또한 염화물 구속능력에 영향을 받는다. 해양구조물 중의 염화물은 공극 용액에서 활발하게 움직인다. 염화물 이온의 일부는 해양구조물의 구조와 화학적, 물리적으로 결합하게 되고, 이런 결합은 확산율을 감소시킨다. 염화물 구속 능력은 해양구조물에 사용되는 시멘트 재료에 구속받게 된다.

혼화제의 포함은 결합에 영향을 미치지만 아직까지 정확한 영향은 밝혀지지 않았다. 또한 시멘트에 내재되어 있는 C3A의 양은 염화물 이온에 대한 구속능력에 영향을 준다. C3A의 양이 많아지면 구속능력 또한 증가하게 된다.

2.3 확산계수의 평가

해양구조물의 염화물 확산계수는 시험방법에 따라 평가식의 적용에 있어 차이를 두었다. 농도차에 의한 비정상 상태로 확산실험이 이루어 질 때, 확산계수의 평가는 보통 Fick's second law의 일반해를 이용하여 평가한다.

침지실험을 통하여 얻어진 깊이별 염화물량을 토대로 이 일반해를 적용하여 평가한다. 아래 식(1)은 Fick's second law의 일반해를 나타낸다. 여기서, C_0 는 초기 농도를 말하며, x 는 측정 깊이, t 는 침지 재령을 말한다.

$$\frac{C(x,t)}{C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (1)$$

3. 실험 내용 및 방법

3.1 실험변수

해양구조물의 물성이 해양구조물의 염화물 확산계수에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행된 본 실험은 W/C비와 양생 재령, 노출조건을 변수로 두었다. W/C비의 경우, 40, 50, 60%로 세 가지 경우에 대하여 실험 하였고, 양생 재령을 7일, 28일로 함으로써 해양구조물의 수화도에 따른 염화물 침투의 변화를 알아보고자 하였다. 한편, 시험체의 침지 용액은 해수와 2.8mol의 NaCl용액을 비교 실험하여 염화물 도입원과 농도에 따른 확산계수 차이를 알아보고자 하였다. 해양에 노출된 해양구조물의 경우, 해수의 간헐적인 반복 건습을 받게 된다. 본 실험에서는 반복건습을 실험 변수로 두기 위해 7일은 기중에 7일은 침지시킴으로써 상사하였다. 실험변수를 정리하면 아래의 <표 1>과 같다.

<표 1> 실험 변수

| Item | Content | Detail |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------|
| W/C ratio | Concentration variance from surface | 40, 50, 60 % |
| Curing period | | 7, 28 days |
| Exposure condition | | dry, wet |
| Immersion condition | | Seawater / 2.8mol NaCl |

<표 2> 콘크리트의 혼합비율

| W/C (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m ³) | | | |
|---------|---------|---------------------------------|-----|-----|------|
| | | W | C | S | a |
| 40 | 43 | 170 | 425 | 721 | 1022 |
| 50 | 45 | 172.5 | 345 | 782 | 1021 |
| 60 | 46 | 175 | 292 | 816 | 1024 |

3.2 콘크리트 혼합과 실험절차

본 실험에서는 해양구조물 내부로의 염화물 침투속도를 결정짓는 확산계수를 살펴보고자 W/C비 40, 50, 60%에 대하여 각각 배합하였다.

염화물 확산계수에 있어 공기량과 골재의 영향을 줄이기 위하여 각 배합에서 굵은 골재의 양을 동일하게 배합하고, 혼화제를 사용하여 공기량 또한 5±1%로 일정하게 실험하였다. 실험에 사용된 배합표는 위의 <표 2>와 같다.

실험에서 표면으로부터의 깊이에 따른 염화물 농도가 측정되어졌는데, 본 연구의 주목적은 이러한 실험을 통하여 얻은 시료들을 적당한 크기로 절단하여 채취한 후, 측정된 시험체들의 염화물량의 평균값을 사용하는데 있어서 타당성을 검증하는 것이다. W/C는 물과 시멘트의 비율을 나타내고 S/a는 모래와 혼합재의 비율을 나타내고 있다.

4. 데이터 분석 및 결과

일반적으로 높은 신뢰도를 갖는 시료에 대해서는 수명 시험이 거의 필수적으로 요구되므로 고신뢰도 제품의 신뢰성을 평가하기 위한 실시가 용이하고, 경제적이며 통계적 효율성을 고려한 수명시험의 설계가 요구된다.

수명시험에서 발생하는 자료는 다른 자료와는 달리 정규분포를 따르지 않으며 지수, Weibull, Gamma, 대수정규분포를 따르는 경우가 많다. 대수정규분포란 본 연구에서 얻어진 측정값들과 같이 한쪽으로 치우쳐 있고, 정규분포를 하지 않는 자료에 대하여 측정값들의 대수값을 취하여 정규분포화 하는 것을 의미한다. 이를 이용하여 그린 그래프가 정규분포처럼 보이면, 그 자료들의 분포를 대수정규분포라 부른다. 대수정규분포 분석과 더불어 Herd-Johnson 분석을 위하여 통계 틀인 MINITAB을 사용하였다[1].

아래의 <표 3>은 실제 x 와 y plot포인트가 어떻게 구조화되어 있는지 보여준다. MINITAB에서는 <표 4>와 같이 4가지 방법(Default, Herd-Johnson, Kaplan-Meier, 또는 Modified Kaplan-Meier) 중 하나로 누적분포함수를 평가한다. 그 중에서 본 논문에서는 Herd-Johnson 방법을 사용하였다.

<표 3> 대수정규분포 방법들의 구조화

| Distribution | x coordinate | y coordinate |
|-----------------|--------------|----------------------|
| Weibull | $\ln(data)$ | $\ln(-\ln(1-p))$ |
| Extreme value | data | $\ln(-\ln(1-p))$ |
| Exponential | data | $-\ln(1-p)$ |
| Normal | data | $\Phi^{-1}(p)$ |
| Lognormal bases | $\ln(data)$ | $\Phi^{-1}(p)$ |
| Logistic | data | $\ln(\frac{p}{1-p})$ |
| Loglogistic | $\ln(data)$ | $\ln(\frac{p}{1-p})$ |

<표 4> 각 방법들의 평가 함수

| Method | estimate |
|-----------------------|--------------------------|
| Default | $\frac{rank-3/8}{n+1/4}$ |
| Kaplan-Meier | $\frac{rank}{4}$ |
| Modified Kaplan-Meier | $\frac{rank-0.5}{n}$ |
| Herd-Johnson | $\frac{rank}{n+1}$ |

4.1 측정된 데이터

아래 <표 5>,<표 6>,<표 7>은 확산계수를 얻기 위하여 실험에 의해 측정된 표면으로부터의 깊이에 따른 염화물량 데이터들로서 해양구조물의 물-시멘트 비율에 따라 정리된 것이다. Depth(mm)의 6, 17, 28, 39는 채취된 시료의 염화물량을 대표하는 표면으로부터 평균 깊이를 의미하는 것이고, S는 해수(Seawater)를, N은 28mol의 NaCl 용액을, rS는 반복된 해수 침수를 의미하는데, 7rS는 7일 동안 해수에 침수시킨 뒤 7일은 공기 중에 놓아두는 상태를 의미한다. 7rS는 조석간만의 차가 생기는 곳을 고려하여 설계되었다. 이러한 조건에서 2번의 반복 실험을 하여 측정된 데이터이다.

<표 5> 40% W/C Ratio일 때 측정된 Data

| Free Chloride(ppm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Depth (mm) | 7S | | | 28S | | | 7N | | | 28N | | | 7rS | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 6 | 218 | 152 | 183 | 262 | 259 | 251 | 1010 | 2360 | 964 | 1240 | 1290 | 1050 | 102 | 129 | 173 |
| 17 | 106 | 75.6 | 76 | 84 | 82 | 81.2 | 170 | 162 | 175 | 206 | 261 | 292 | 61.6 | 46.7 | 72.2 |
| 28 | 75.9 | 66.5 | 60.3 | 60.7 | 61.6 | 59.2 | 74.5 | 56.8 | 60.2 | 106 | 85.6 | 128 | 56 | 35 | 66.3 |
| 39 | 37.8 | 35.4 | 53.7 | 56 | 58.1 | 56.7 | 54.5 | 48.8 | 56.8 | 81.4 | 79.6 | 96.9 | 42.2 | 31 | 40 |
| 6 | 163 | 150 | 181 | 187 | 230 | 164 | 705 | 1280 | 847 | 913 | 1260 | 1520 | 115 | 169 | 193 |
| 17 | 97.5 | 74.8 | 76.9 | 70.8 | 72 | 70.9 | 130 | 144 | 262 | 163 | 175 | 402 | 88.4 | 115 | 124 |
| 28 | 68.2 | 62.1 | 61.4 | 61.2 | 63.5 | 61 | 64.8 | 54.6 | 119 | 114 | 111 | 141 | 69.7 | 64.8 | 43 |
| 39 | 39.4 | 30.3 | 56.1 | 57 | 58.7 | 58.5 | 54.1 | 50.7 | 67.7 | 90.2 | 82.4 | 123 | 47.5 | 35.9 | 32.7 |

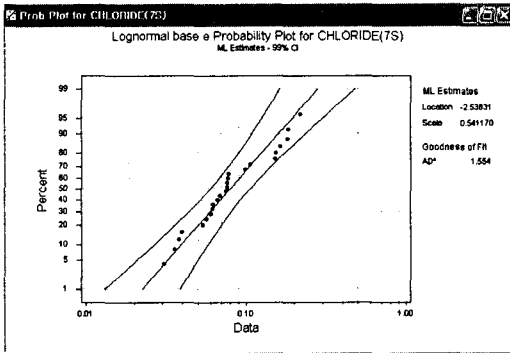
<표 6> 50% W/C Ratio일 때 측정된 Data

| FREE CHLORIDE(ppm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Depth (mm) | 7S | | | 28S | | | 7N | | | 28N | | | 7rS | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 6 | 241 | 207 | 219 | 304 | 257 | 271 | 1140 | 1620 | 1700 | 1120 | 652 | 855 | 137 | 143 | 295 |
| 17 | 143 | 117 | 123 | 150 | 156 | 144 | 341 | 554 | 473 | 165 | 163 | 213 | 55.2 | 82.6 | 102 |
| 28 | 78.2 | 67.8 | 76.7 | 83.7 | 79.2 | 103 | 101 | 94.5 | 121 | 62.1 | 55.3 | 73.4 | 42.8 | 54.8 | 53.3 |
| 39 | 63.8 | 63.3 | 65 | 68.1 | 59.5 | 74 | 60.1 | 64.3 | 42.1 | 50.7 | 42.3 | 48.7 | 39.8 | 53.9 | 51.5 |
| 6 | 18 | 239 | 251 | 211 | 236 | 321 | 1060 | 1090 | 945 | 496 | 655 | 710 | 142 | 205 | 248 |
| 17 | 103 | 122 | 132 | 120 | 108 | 109 | 242 | 282 | 254 | 165 | 110 | 212 | 58.5 | 100 | 87.6 |
| 28 | 68.2 | 73.3 | 73.6 | 79.1 | 60.3 | 108 | 100 | 113 | 106 | 57.2 | 46.3 | 70.5 | 34.9 | 53 | 47.4 |
| 39 | 63.8 | 64.7 | 64.1 | 69.8 | 43.4 | 73.2 | 62.9 | 72.5 | 56.7 | 32.4 | 34.6 | 41.3 | 33.4 | 48.2 | 42.5 |

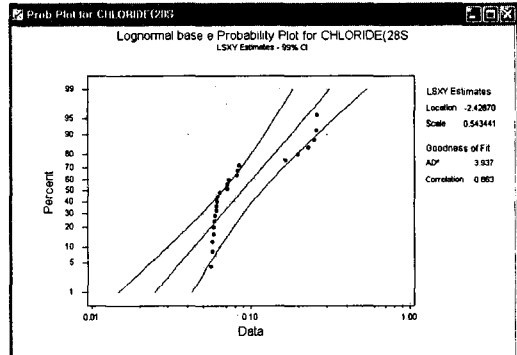
<표 7> 60% W/C Ratio일 때 측정된 Data

| FREE CHLORIDE(ppm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Depth (mm) | 7S | | | 7N | | | 28S | | | 28N | | | 7rS | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 6 | 280 | 205 | 216 | 1400 | 1280 | 896 | 357 | 239 | 337 | 388 | 1550 | 1230 | 330 | 498 | 357 |
| 17 | 108 | 101 | 106 | 420 | 476 | 432 | 188 | 148 | 151 | | 314 | 409 | 100 | 143 | 125 |
| 28 | 69.2 | 56 | 50.8 | 174 | 181 | 214 | 114 | 96.3 | 97.5 | 77.2 | 110 | 136 | 72.3 | 75.3 | 77.3 |
| 39 | 35.5 | 27.9 | | 75.3 | 89.9 | 98.6 | 59.7 | 84.5 | 60 | 69.8 | 82.6 | 82.8 | 60.1 | 60.3 | 69.1 |
| 6 | 306 | 231 | 285 | 1350 | 1210 | 1750 | 265 | 368 | 428 | | 976 | 1150 | 430 | 365 | 465 |
| 17 | 143 | 116 | 105 | 429 | 440 | 449 | 128 | 180 | 287 | 142 | 235 | 320 | 142 | 116 | 150 |
| 28 | 70.6 | 49.4 | 58.6 | 191 | 180 | 199 | 75.8 | 100 | 121 | 106 | 100 | 118 | 89.5 | 76.8 | 72.3 |
| 39 | 36.9 | 26 | 48.4 | 125 | 76.6 | 106 | 57.1 | 74.1 | 53.2 | 68.5 | 67.5 | 63 | 56.1 | 59.2 | 55.4 |

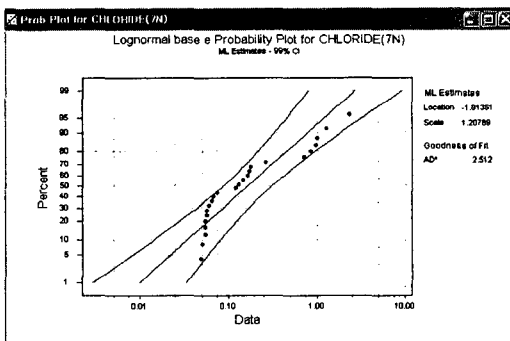
4.2 40% W/C 비율에 관한 분석



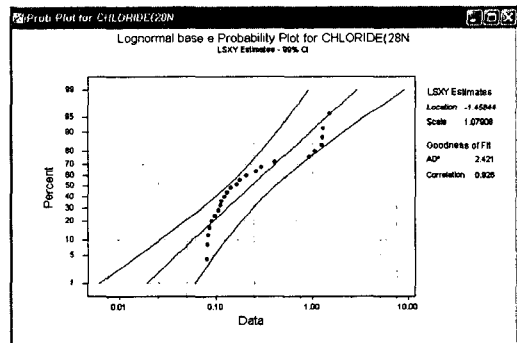
<그림 1> 40% W/C Ratio에서의 7S



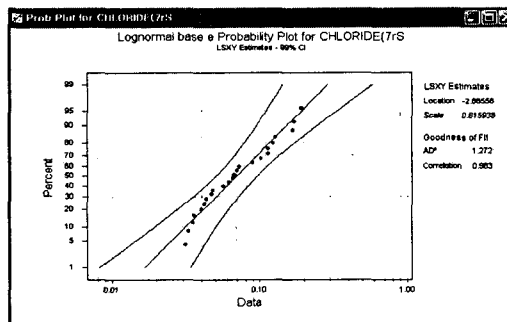
<그림 2> 40% W/C Ratio에서의 28S



<그림 3> 40% W/C Ratio에서의 7N



<그림 4> 40% W/C Ratio에서의 28N

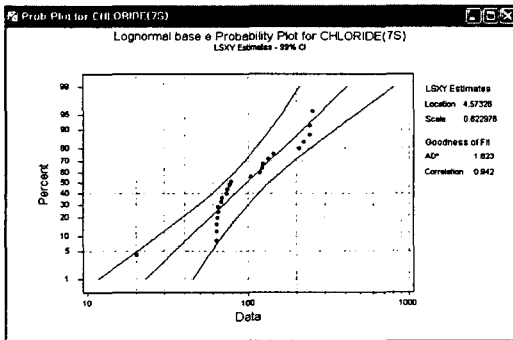


<그림 5> 40% W/C Ratio에서의 7rS

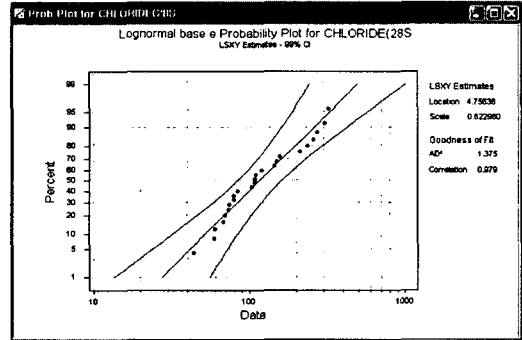
위의 <그림 1>에서 <그림 5>까지에서 볼 수 있듯이, <그림 2>일 때 데이터만 제외하고 모든 데이터들이 대수정규분포 99% 신뢰구간 곡선 안에 분포되어 있기 때문에 측정된 데이터들이 신뢰성을 갖는다는 것을 의미한다.

4.3 50% W/C 비율에 관한 분석

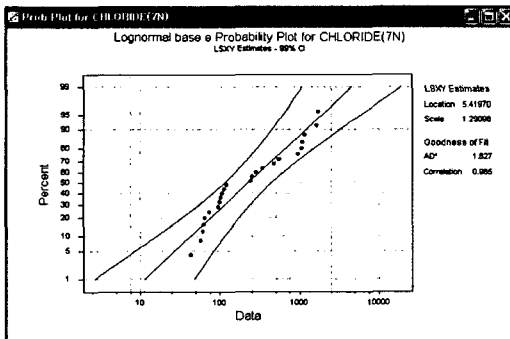
아래의 <그림 6>에서 <그림 10>까지에서 볼 수 있듯이, 모든 데이터들이 대수정규 분포 99% 신뢰구간 곡선 안에 분포되어 있기 때문에 측정된 데이터들이 신뢰성을 갖는다는 것을 의미한다.



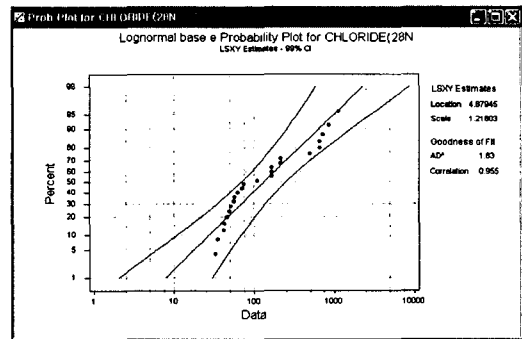
<그림 6> 50% W/C Ratio에서의 7S



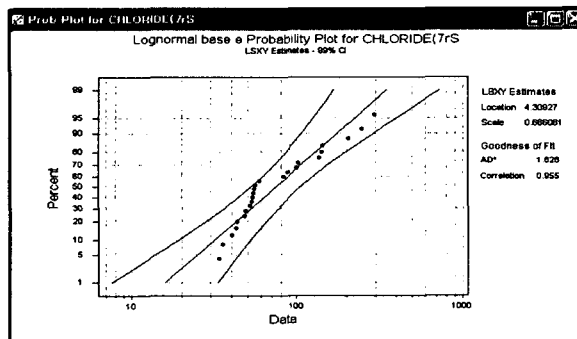
<그림 7> 50% W/C Ratio에서의 28S



<그림 8> 50% W/C Ratio에서의 7N

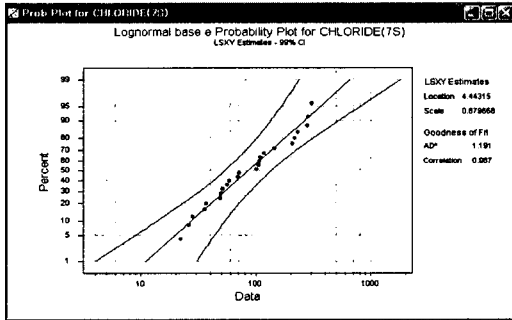


<그림 9> 50% W/C Ratio에서의 28N

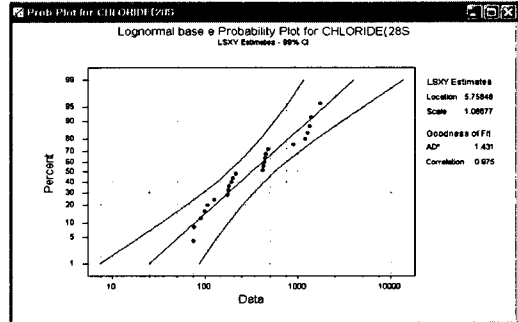


<그림 10> 50% W/C Ratio에서의 7rS

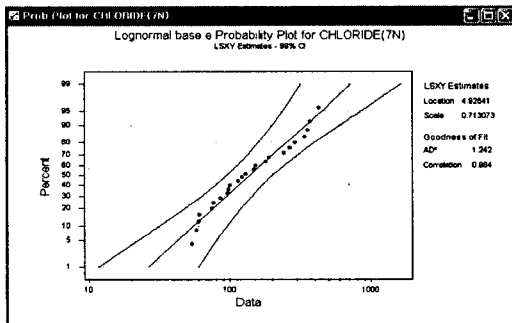
4.4 60% W/C 비율에 관한 분석



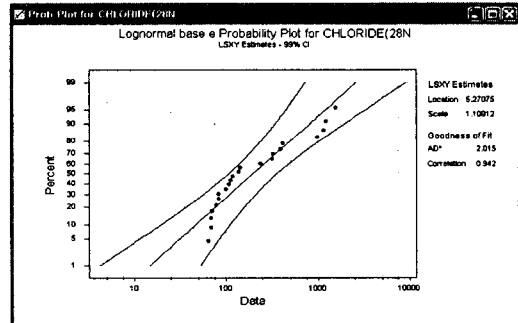
<그림 11> 60% W/C Ratio에서의 7S



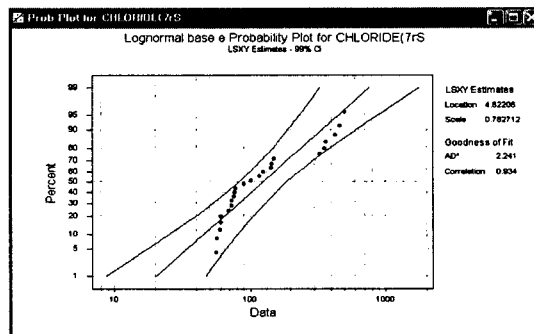
<그림 12> 60% W/C Ratio에서의 28S



<그림 13> 60% W/C Ratio에서의 7N



<그림 14> 60% W/C Ratio에서의 28N



<그림 15> 60% W/C Ratio에서의 7rS

위의 <그림 11>에서 <그림 15>까지에서 볼 수 있듯이, 모든 데이터들이 대수정규 분포 99% 신뢰구간 곡선 안에 분포되어 있기 때문에 측정된 데이터들이 신뢰성을 갖는다는 것을 의미한다.

5. 결론 및 추후 연구

<그림 1>에서 <그림 15>까지에서 볼 수 있듯이, <그림 2>일 때 데이터만 제외하고 모든 데이터들이 신뢰성을 갖는다는 것을 알 수 있었다. <그림 2>의 40% W/C Ratio에서의 28S의 경우는 실험과정에서 측정자 혹은 측정기의 문제 등으로 인해 잘못 측정된 데이터라고 판단된다.

본 논문에서 제시한 분석결과는 침지 실험을 통하여 얻은 시료들을 적당한 크기로 절단하여 측정된 염화물량의 평균값을 정함에 있어 통계 이론적으로 충분한 신뢰성을 가지고 있음을 보여준다. 즉, 데이터의 측정 방법은 높은 신뢰성을 가지고 있다고 말할 수 있겠다. 그러므로 본 논문에서 분석한 데이터들을 바탕으로 평균이나 분산을 유추할 경우 유추된 평균이나 분산 역시 충분한 신뢰성을 가진다는 것이다.

본 논문의 의의는 실험과 측정을 통해 얻은 데이터들이 유사한 더 많은 실험과 측정을 대치하거나 예측할 수 있는 기준 값으로 사용하는 것에 대한 이론적 타당성을 주었다는 점이다. 추후 연구로는 해양 구조물에 대한 수명 및 부식진행 예측 시스템 구축을 위한 전초 단계로서 더 많은 데이터를 대상으로 한 신뢰성 분석을 진행할 예정이고, 본 연구의 궁극적인 목표는 해양구조물 안전진단을 위한 예측시스템의 구축이라 할 수 있다.

6. 참고 문헌

- [1] 서순근, MINITAB 신뢰성 분석, 이레테크, 2002.
- [2] 오병환 외, "콘크리트 구조물의 염화물 확산거동 및 침투", KCI 위원회보고서, 2001.
- [3] A. Boddy, E. Bentz, M. D. A. Thomas, R. D. Hooton, "An Overview and Sensitivity Study of a Multimechanistic Chloride Transport Model", Cem. Concr. Res., Vol. 29, No. 6, 827-837, 1990.
- [4] C. Andrade, M. Castellote, C. Alonso, C. Gonzalez, "Relationship between Colorimetric Chloride Penetration depth and Change Passed in Migration Tests of the Type of Standard ASTM C1202-91", Cem. Concr. Res., Vol. 29, No. 3, 417-421, 1999.
- [5] Han-Seung Lee, Takafumi Noguchib, Fuminori Tomosawa, "Evaluation of the Bond Properties between Concrete and Reinforcement as a function of the Degree of Reinforcement Corrosion", Cement and Concrete Research, 2002.
- [6] L. M. Everett, K. W. J. Treadaway, "Deterioration Due to Corrosion in Reinforced Concrete", Information Paper IP 12/80, Building Research Establishment, UK, 1980.
- [7] M. Collepardi, "Proc. Int. RILEM Workshop", St. Remy-les-Chevreuse, France, p. 10, 1995.
- [8] P. McGrath, D. Hooton, "Re-evaluation of the AASHTO T259 90-day Salt Ponding Test", Cem. Concr. Res., Vol. 29, No. 8, 1239-1248, 1999.
- [9] W. Bishara, Rapid, "Accurate Method for Determining Water-Soluble Chloride in

Concrete, Cement, Mortar, and Aggregate: Application to Quantitative Study of Chloride Ion Distribution in Aged Concrete", ACI Master. J., Vol. 88, No. 3, 265-270, 1991.

- [10] V. Sirivivantnanon, R. Khatri, "Chloride Penetration Resistance of Concrete, Presented to Concrete Structures", Brisbane, Australia, October, 1998.

저 자 소 개

임 영 문 : 연세대학교에서 학사, 석사학위를 취득하였고, 미국 텍사스주립대학교 산업시스템공학과에서 공학박사를 취득하였으며, 미국 ARRI (Automation and Robotics Research Institute) 연구소에서 선임연구원 및 연구교수를 거쳐 현재는 강릉대학교 산업공학과 부교수로 재직 중이다.

양 은 익 : 연세대학교에서 학사, 한국과학기술원에서 석사학위를 취득하였고, 일본 교토대학교 토목공학과에서 공학박사를 취득하였으며, 해양연구원 선임연구원을 거쳐 현재는 강릉대학교 토목공학과 부교수로 재직 중이다.

황 영 섭 : 현재 강릉대학교 산업공학과 대학원 박사과정에 재학 중이며 관심분야는 Ubiquitous System, 알고리즘 분석 및 활용 등이다.

저 자 주 소

임 영 문 : 서울시 서초구 서초4동 아크로비스타 C동 910호

양 은 익 : 강원도 강릉시 교1동 부영아파트 103동 204호

황 영 섭 : 강원도 삼척시 원덕읍 월천 1리 6반 269