

콘크리트의 品質管理 및 品質檢査(I)

朴 承 範

<忠南大學校 土木工學科 教授>

< 목 차 >

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">1. 品質관리<ul style="list-style-type: none">1. 1 개요1. 2 品質관리의 進行방법1. 3 콘크리트의 品質특성에 影響을 미치는 요인1. 4 콘크리트의 品質관리1. 5 콘크리트의 品質목표
2. 統計적 品質관리<ul style="list-style-type: none">2. 1 개 요2. 2 品質관리와 데이터2. 3 데이터의 整理방법2. 4 정규분포와 그 특징2. 5 統計적 檢證
3. 관리도법<ul style="list-style-type: none">3. 1 관리도의 종류3. 2 X-R관리도3. 3 X-Rs-Rm관리도3. 4 관리도의 판정3. 5 이상원인의 조사 및 조치
4. 品質檢査<ul style="list-style-type: none">4. 1 개 요4. 2 全數檢査와 樣本링檢査4. 3 樣本링檢査의 種類4. 4 계량규준형 樣本링檢査 | <ul style="list-style-type: none">5. 콘크리트의 製造관리<ul style="list-style-type: none">5. 1 개 요5. 2 재료관리5. 3 製造설비관리5. 4 製造공정관리5. 5 출하관리5. 6 운반관리 및 받아들이는 지점에서 의 제품관리
6. 콘크리트의 品質檢査<ul style="list-style-type: none">6. 1 개 요6. 2 압축강도로부터 물·시멘트비를 정한 경우의 檢査6. 3 내구성 및 수밀성을 고려하여 물·시멘트비를 정한 경우의 檢査6. 4 레디믹스트 콘크리트의 檢査6. 5 品質檢査의 結果에 대한 조치
7. 콘크리트의 品質관리를 위한 시험<ul style="list-style-type: none">7. 1 개 요7. 2 시험방법7. 3 일상관리에서의 시험항목 및 시험회수7. 4 기록 및 보고
8. 콘크리트 제품의 品質관리 예<ul style="list-style-type: none">8. 1 조립식 주택용 콘크리트 패널 (Panel)제조의 QC8. 2 콘크리트의 말뚝(Pile)의 QC |
|---|--|

1. 品質管理

1. 1 概 要

품질관리(QC, quality control)란 한마디로, 품질의 목표를 정하여 그것을 달성하기 위하여 실시하는 모든 활동이라고 말할 수 있다. 품질관리는 좁은의미로는 각종 공업제품의 생산현장에 있어서 제품의 품질관리를 가리키는 경우가 많으나, 현대의 품질관리라고 하는 것은 단순히 공업제품 만이 아니라 무형의 서비스, 작업정보 등 모든 것의 질의 유지·향상을 도모하기 위한 활동을 포함한다.

콘크리트의 품질관리에 있어서도 좁은 의미로는 콘크리트의 강도, 슬럼프 등을 목표로 정하여 이것을 만족하기 위한 시험, 관리도 작성, 샘플링 검사 등 만들 가르키는 경우가 있으나, 보다 넓은 의미로는 콘크리트를 구조물 전체의 질을 대상으로 원재료, 콘크리트, 시공방법 등 공사전체의 관리를 대상으로 고려하지 않으면 안된다. 따라서 콘크리트의 품질관리란 설계 및 그 밖의 요구되는 품질의 콘크리트를 경제적으로 제조하기 위하여 공사의 전단계에 걸쳐서 콘크리트의 기술, 지식 및 통계적방법을 활용하여 그 시스템을 관리하는 것으로서, 품질관리를 실시하는 목적은 설계서, 시방서에 표시된 규격을 만족하는 구조물을 만들고 결함을 미연에 방지하여 유해한 것을 제거하며 품질의 변동을 허용범위내로 최소화하고 이상원인을 조사·구명하여 시정조치함으로써 경제적·내구적인 구조물을 만들고 생산성을 향상시키는 데 있다고 정의할 수 있다.

한편, 품질관리에 있어서는 품질의 목표를 어디에 두는가가 중요하다. 최근에는 품질의 목표를 소비자측의 품질에 대한 요구에 따라 정해지는 경향이 많아지고 있다. 이것은 소비자의 질에 대한 요구수준이 높아졌고 또한 사회·경제가 고도로 발전하였기 때문이다. 따라서 최근에는 품질관리란 제품 및 서비스의 제

공자가 소비자가 만족하는 것을 제공하기 위하여 실시하는 모든 노력이라고도 말할 수 있게 되었다.

콘크리트에 있어서도 콘크리트가 소정의 강도를 만족하면 된다고 하는 소극적인 사고방식이 아니라, 구조물로서 결함이 없고 그 이용자로 부터 장래에 불만이 없도록 품질보증을 목표로 하는 적극적인 사고방식이 요구되고 있다. 콘크리트공사는 일정한 규격의 제품을 다량으로 생산하는 일반 제조업과는 다르기 때문에 품질관리 방법을 실제로 적용하여 효과를 얻기 위해서는 여러 가지 곤란한 문제가 있다. 따라서 그 적용에 있어서는 방법의 원칙과 정신을 잘 이해하여 오류를 범하지 않는 것이 중요하다.

여기서는 주로 일상의 관리주체로 되는 관리도법에 의한 품질유지(좁은 의미의 품질관리)에 대하여 기술하고, 품질검사에 대해서는 다음절에 기술한다.

1. 2 品質管理의 進行方法(順序)

품질관리는 콘크리트의 품질에 대한 책임감을 기초로 계획(Plan), 실시(Do), 검사(Check), 조치(Action)의 4단계를 순환하면서 실시되며(그림 1. 1), 이것을 PDCA 사이클이라고도 한다. 품질관리의 기본은 작업만을 계속하는 것이 아니라, 작업의 결과에 대하여 소정의 목표가 달성되었는지를 검토하여 문제

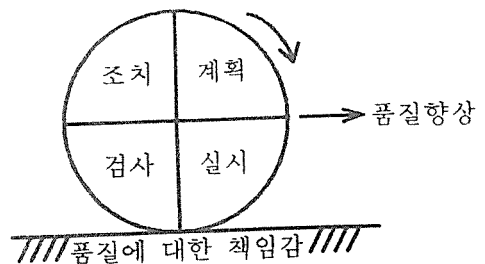


그림 1. 1 품질관리의 진행방법

가 있을 경우 그 원인을 찾아내어 계획이나 시행방법을 고쳐서 문제의 재발을 방지하는데 있다. 즉, 품질관리는 공정의 최후단계에서 불량품이 생기는 원인을 제거함으로써 목표를 달성하는 것이다.

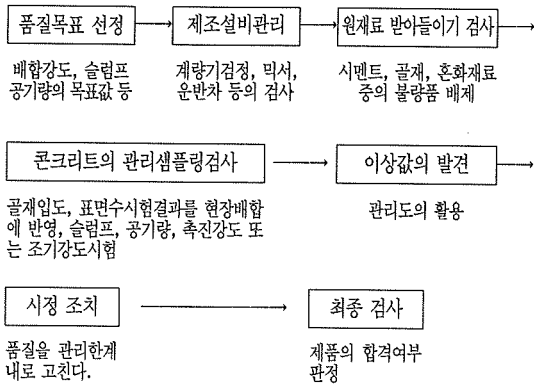


그림 1. 2 품질관리의 순서

(1) 계획(Plan) : 계획, 설계에 관한 것으로서, 품질표준 및 작업표준 등 실시에 의해 이루어져야 할 것을 결정하는 단계이다.

1) 품질표준의 설정 : 설계도, 시방서 등의 내용을 충분히 이해하고, 또 현장의 모든 조건을 조사(재료·노동력의 공급예상, 작업가능한 기기조사 등)하여, 이것에 기초한 콘크리트의 최종 품질표준(강도, 탄성계수, 단위용적중량, 내구성 등)을 밝혀내어 정량적으로 정의하고, 또한 시공방법을 선정하여 각 공정·작업마다의 품질표준을 정한다. 이 경우 품질은 그 평균값과 변동의 폭으로 나타낸다. 또한, 품질표준은 실현할 수 있는 품질수준(품질목표)으로서 도달하고 싶은 목표로서의 품질수준은 아니다.

2) 기술수준·작업표준의 설정 : 품질표준을 달성하기 위한 구체적인 방법을 각 공정 및 작업마다 설정한다. 즉, 사용재료의 결정, 시방배합의 결정, 시공기기의 결정, 운반·다짐·양생의 각 작업방법의 결정 등이다. 또한, 기술표준·작업표준은 표준시방서 등에 그 기본

이 규정되어 있기 때문에 이것을 기초로 하여 품질관리를 실시하고, 또 역으로 합리적인 표준을 정해가는 방법도 유효하여 실제적인 방법이다.

(2) 실시(Do) : 작업관계자에 작업표준을 교육·훈련하고 작업표준에 따라서 콘크리트를 시공한다.

(3) 검사(Check) : 공정이 작업표준에 따라 정상적인 상태인가 아닌가를 검사하는 업무이다. 검사방법은 작업결과, 공정의 성과로서 제조되어 나온 품질을 그 특성값에 대하여 시험하고 품질표준과 비교한다. 이 경우의 판단기준으로 되는 것이 관리도이다. 주요 내용으로서는 관리특성의 결정, 시료채취, 시험실시, 공정에 의문이 있는 경우에는 그 원인의 조사 등이다.

(4) 조치(Action) : 검사 결과로부터 필요에 따라 공정이 관리(안정)상태에 있도록 적절한 조치, 즉 이상원인을 배제하여 재발을 방지하도록 조치를 취하는 것이다. 또한, 얻어진 품질특성값이 소요의 것에 대하여 여유가 없을 때는 표준을 변경한다. 다시 말해서 필요에 따라 사용재료의 취득장소 변경 또는 저장방법의 수정, 사용기기의 관리방법 개선, 시방배합의 수정, 작업원 및 작업원의 역할분담 등의 변경 등을 실시하는 것이다.

이와 같이 품질관리는 중간단계에서의 품질관리 사이클을 면밀히 쌓아 올림으로써 진행되는 것이다.

한편, 제품의 품질을 예측(품질분포의 분석)하거나, 실제의 제품품질이 예측한 것과 다른가를 점검하거나, 또는 어떠한 조치를 취할 필요가 있는가를 판단할 때 통계이론에 의한 확률에 기초하여 가장 합리적인 추정·판단을 해야하며, 이와 같이 확률·통계적방법을 이용한 품질관리를 統計的 品質管理(SQC, statistical quality control)라고 하며, 통계적 품질관리는 합리적인 품질관리를 위해 필수적인 방법이지만 품질관리를 효과적으로 실시하기 위해서는 시장조사, 연구·개발, 제품의 기획, 설계, 생산준비, 구매·외주, 제조, 검사, 판매

및 애프터서비스(A/S)와 함께 재무, 인사, 교육 등 기업활동의 전 단계에 걸쳐 경영자를 위시해 관리자, 감독자, 작업자 등 기업의 전원 참여와 협력이 필요하다. 이와 같이 하여 실시되는 것을 全社的 品質管理(CWQC, company-wide quality control) 또는 綜合的 品質管理(TQC, total quality control)이라고 하며, 품질관리는 본래 이 단계까지 실시해야 비로서 그 효과가 발휘되는 것이다.

또한, 품질관리를 진행함에 있어서 가장 중요한 것은 그 조직 또는 기업의 더욱 우수한 품질의 제품을 제공하려는 확고한 방침(시책)과 각 부문의 구성원, 담당자의 품질유지·향상에 대한 열의이다.

1. 3 콘크리트의 品質特性에 影響을 미치는 要因

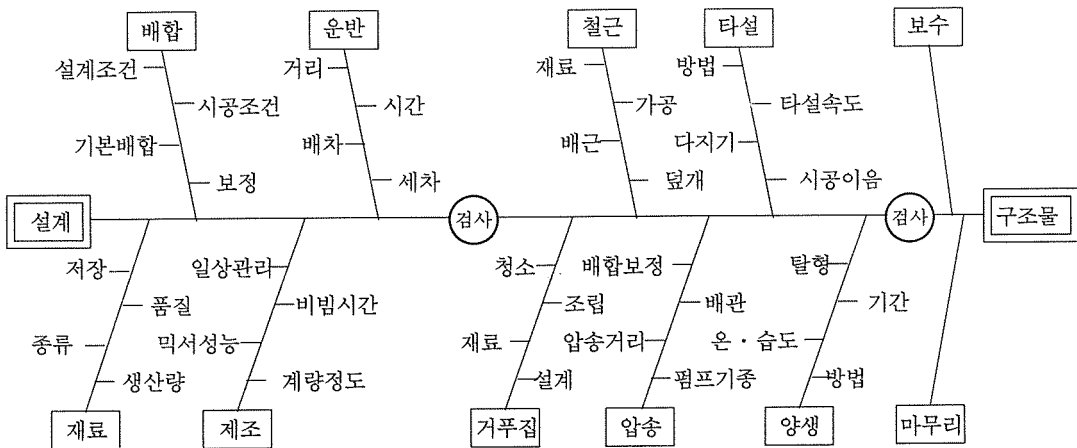


그림 1. 3 콘크리트의 품질특성에 영향을 주는 요인

며, 이들 품질변동의 예를 들어보면, 그림 1. 3과 같이 나타낼 수 있다. 그렇지만 이들 품질요인이나 콘크리트의 품질 그 자체에도 정량화하기가 곤란한 것이 많기 때문에 콘크리트의 품질관리는 용이하지 않을 뿐만 아니라, 단순

히 시험이나 검사를 하는 것만으로는 참된 품질관리를 달성할 수 없다.

콘크리트의 최종 품질을 직접 시험하는 적절한 시험방법이 개발되어 있지 않은 현 상태에서서는 경화콘크리트에서 채취한 원주형 공시체

의 콘크리트 압축강도를 관리특성으로 이용하고 있는데, 콘크리트의 압축강도를 가장 중요한 관리특성으로서 이용하고 있는 것은 콘크리트 표준시방서에서는 표준양생을 행한 원주공시체의 재령 28일에서의 압축강도(σ_{28})를 측정하도록 규정하고 있고, 또 일반구조물은 σ_{28} 을 기준으로 하여 구조설계 및 배합설계가 이루어지고 있으므로, 이 설계방법을 이용하는 한 σ_{28} 을 구조물에 있어서 콘크리트 품질의 참된 특성값으로 취급해도 그다지 문제가 되지 않으며, 또한 σ_{28} 이 다른 강도 및 강도이외의 품질에 밀접한 관계를 가지므로 σ_{28} 로부터 그들의 대략적인 특성을 추정할 수 있고, 별도의 품질검사를 해야하는 수고를 생략할 수 있기 때문이다.

그러나 품질관리에 있어서는 코어를 채취한 후의 작업이 적절하게 이루어졌다 하더라도 타설, 다짐, 양생 등의 조건이 다르고, 시험값을 얻기까지는 약 1개월의 긴 시간이 필요하며, 또한 공정의 상태가 바빠져 되어도 발견이 늦기 때문에 불량품질의 콘크리트가 다량으로 제조될 위험이 크고, 1개월 전의 공정상태와 현재의 공정상태와의 상관성이 밝혀지지 않기 때문에 파악한 정보에 의해 현 공정을 대체하는 데에는 문제가 있다. 따라서, 현행 콘크리트 표준시방서에서는 조기재령에서의 압축강도를 관리특성으로 이용하도록 하고 있고, 물·시멘트비가 콘크리트의 내구성, 수밀성을 고려하여 결정되는 경우는 물론 압축강도에 기초하여 결정되는 경우에도 아직 굳지 않은 콘크리트를 분석하여 얻어진 물·시멘트비를 관리특성으로 이용해도 좋다고 규정하고 있으며, 그 밖에도 슬럼프, 공기량, 단위용적중량 등도 이용되고 있다.

콘크리트의 품질관리에 있어서 믹싱한 콘크리트의 품질을 대상으로 하여 관리하는 것만으로는 불충분하므로 재료 및 그림 1. 3의 모든 작업공정에 대하여 표준화하여 관리해야 할 필요가 있다. 공정의 표준화에 대해서는 각종 법령이나 그에 따른 기술수준, 한국공업규격

(KS), 각종 표준시방서 등에 기준이 정해져 있으므로 정량적으로 파악할 수 있는 품질특성에 대해서는 통계적 방법이 적용된다.

한편, 현재 구조용 콘크리트의 대부분은 레디믹스트 콘크리트(레미콘)이며, 콘크리트 공사중에서 재료의 조달, 콘크리트의 제조, 현장까지의 운반은 레미콘 제조업자가 하고, 시공업자는 이것을 구입하여 거푸집에 타설하고, 양생하는 공정만을 하도록 되어 있다. 따라서 콘크리트의 품질관리도 레미콘 공장은 중간제품이고 콘크리트의 품질관리는 본래 이와 같이 분리할 수 있는 것이 아니므로 최종적인 제품인 구조체의 콘크리트에 관한 품질보증은 콘크리트 제조공정에 품질관리를 시행한 공사전체를 포괄하는 품질관리에 의하여 달성된다. 또한 구조물로서의 품질을 대상으로 하면 당연히 구조물의 설계자체가 그 품질을 정하는 중요한 요인이며, 설계로부터 콘크리트의 제조, 시공에 이르는 전체를 포함하는 종합적 품질관리(TQC)가 필요하다.

1. 4 콘크리트의 品質管理

(1) 압축강도에 의한 콘크리트의 관리

1) 압축강도에 의한 콘크리트의 관리는 일반적인 경우 조기재령의 압축강도에 의한다. 이 경우 공시체는 구조물의 콘크리트를 대표하도록 채취해야 한다.

2) 콘크리트의 관리에 사용할 압축강도의 1회의 시험값은 일반적인 경우 동일배치에서 취한 공시체 3개의 압축강도의 평균값으로 한다.

3) 시험하기 위하여 시료를 채취하는 시기 및 횟수는 일반적인 경우 하루에 쳐넣는 콘크리트마다 적어도 1회 또는 구조물의 중요도와 공사의 규모에 따라 연속하여 쳐넣는 콘크리트의 20-150m³마다 1회로 한다.

4) 시험값에 의하여 콘크리트의 품질을 관리할 경우에는 관리도 및 도수분포도(histogram)를 사용하는 것이 좋다.

(2) 물·시멘트비에 의한 콘크리트의 관리

1) 물·시멘트비에 의하여 콘크리트를 관리

표 1. 1콘크리트의 품질 관리 현황

항 목	시험방법	관 리 조 건	비 고										
• 강 도	KS F 2405 • 공시체제작 - 압축강도 : 형통령 mold(φ10, φ15) - 휨강도 : Beam mold(15×15×55cm) • 탈형 - Sampling후 24시간 경과시 • Capping - 시멘트 또는 유황을 이용 공시체 표면을 고르게 함 • 양생 - 20±3℃ 수중에서 소요재령까지 • 시험 - 1축 압축 재하로 공시체가 파괴될 때의 하중	• 1회 시험결과 - 3개 공시체의 평균값이 호칭강도 이상 • 3회 시험결과 - 9개 공시체의 평균값이 호칭강도 이상 • 1회 시험은 공시체 3개의 시험값 $\text{압축강도} = \frac{\text{최대하중}}{\text{공시체단면적}} (\text{kg/cm}^2)$	비파괴시험법 - Hammer Test - Core Test - 초음파 Test										
• 슬럼프	KS F 2402 • Slump cone을 뽑아 올렸을 때 Slump cone내부의 콘크리트가 허물어지는 높이	(단위 : cm) <table border="1"> <thead> <tr> <th>지정 Slump</th> <th>허용차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.5</td> <td>± 1</td> </tr> <tr> <td>5-6.5</td> <td>± 1.5</td> </tr> <tr> <td>8-18</td> <td>± 2.5</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>± 1.5</td> </tr> </tbody> </table>	지정 Slump	허용차	2.5	± 1	5-6.5	± 1.5	8-18	± 2.5	21	± 1.5	
지정 Slump	허용차												
2.5	± 1												
5-6.5	± 1.5												
8-18	± 2.5												
21	± 1.5												
• 공기량	• 중량방법(KS F 2409) • 공기실 압력방법(KS F 2421) • 용적법(KS F 2449)	(단위%) <table border="1"> <thead> <tr> <th>구 분</th> <th>허용차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>보통콘크리트</td> <td>± 1</td> </tr> <tr> <td>포장콘크리트</td> <td>± 1.5</td> </tr> </tbody> </table>	구 분	허용차	보통콘크리트	± 1	포장콘크리트	± 1.5	• 공기량 1% 증가시 - Slump : 약 1.5cm ↑ - 강 도 : 약 5% ↓				
구 분	허용차												
보통콘크리트	± 1												
포장콘크리트	± 1.5												
• 용 적	• 단위용적 중량에 의한 용량측정	• 납품서 용적보다 적어서는 안된다.											
• 염화물량	KS M 0100, 0013 • 콘크리트 블리딩수를 이용한 질산은 적정법 • 전극을 이용한 전위차 적정법 (기계적 측정법)	(단위 : kg/m ³) <table border="1"> <thead> <tr> <th>구 분</th> <th>허용차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>표 준</td> <td>0.3이하</td> </tr> <tr> <td>구입자승인시</td> <td>0.6이하</td> </tr> </tbody> </table>	구 분	허용차	표 준	0.3이하	구입자승인시	0.6이하					
구 분	허용차												
표 준	0.3이하												
구입자승인시	0.6이하												

할 경우에는 굳지않은 콘크리트를 분석해서 얻은 물·시멘트비에 의하여 실시한다.

2) 콘크리트를 관리하기 위하여 사용하는 물·시멘트비의 시험값은 동일배치에서 취한 2개의 시료의 물·시멘트비의 평균값으로 한

다.

3) 시험하기 위하여 시료를 채취하는 시기 및 횟수는 일반적인 경우, 하루에 처넣는 콘크리트마다 적어도 1회, 또는 구조물의 중요도와 공사의 규모에 따라 연속하여 처넣는 콘크리트

표 1. 2 레미콘의 품질관리

구 분	시험, 검사의 시기		
	제조사 (레미콘 품질)	타설시 (타설지점)	시공시 (지장이 없는 타설지점)
품 질	제조사의 품질 (사내규격)	지정품질 (KS F 4009 4. 품질)	구조체의 품질 (시방서)
실시자	레미콘 제조업자	레미콘 제조업자 구입자(시공자)	시공자
목 적	레미콘 제조업자가 출하는 콘크리트 품질관리를 위한 시험	레미콘의 제품검사 ↓ 납입하는 레미콘의 품질 확인과 증명	레미콘의 받아들이기 검사 ↓ 사용하는 레미콘의 품질확인
방 법	KS F 4009 7.5 품질 관리 →Slump, 공기량, 염화물량, 강도, 단위용적중량	KS F 4009 9. 검사 →Slump, 공기량, 염화물량, 강도	* 구조체 콘크리트의 압 축강도 →현장 수중양생 도는 밀 봉양생에 의한 압축강 도

의 20-150m³마다 1회로 한다.

4) 시험값에 의하여 콘크리트의 품질을 관리할 경우는 관리도 및 도수분포도를 사용하는 것이 좋다.

1. 5 콘크리트의 品質目標

앞에서 기술한 바와 같이 표준양생 공시체의 재령 28일 압축강도는 구조설계 및 배합설계의 기본이 되고 있고, 이로부터 콘크리트의 다른 성질을 추정할 수 있으므로 가장 중요한 관리특성이다. 그러나 시험결과를 판명하는데에는 장시간이 요구되기 때문에 품질관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 촉진강도 또는 조기강도와 이로부터 추정한 28일 강도, 물·시멘트비의 측정값과 이로부터 추정한 28일 강도를 관리특성으로 하는 것이 좋다.

따라서 콘크리트의 품질목표도 배합강도와 물·시멘트비에 대하여 규정하고 있다.

(1) 配合強度

콘크리트의 배합설계시 콘크리트 구조물의 안전을 위하여 현장에서의 콘크리트의 품질변

화 및 구조물의 중요도를 고려하여 설계기준강도 σ_{cr} 에 증가계수 α 를 곱한 것을 배합강도라 한다.

콘크리트의 배합강도는 현장에 있어서 콘크리트의 강도시험값이 각종 시방서의 규정에 따라 표 1. 3의 조건을 만족하는 것이라야 한다.

그리고 증가계수는 현장에서 예상되는 콘크리트 강도의 변동계수 V 및 구조물의 중요도에 따라 결정되며, 그림 1. 4에서 예상되는 변동계수에 의해 구한다. 현장에서 예상되는 관리정도에 따른 대략적인 콘크리트의 압축강도의 변동계수는 표 1. 4와 같다.

콘크리트의 강도분포가 그림 1. 5와 같이 정규분포를 이루고 있다고 보면, 평균값을 m , 표준편차를 σ 라 하면 평균값보다 표준편차의 t 배 만큼 작은 품질 $x_0 = m - t\sigma$ 가 생기는 확률 p 는 표 1. 5와 같다.

따라서 강도의 변동계수 $V(\%)$ 또는 표준편차 σ 를 알고 있다면, 배합강도의 평균값 σ_{cr} 에 만족하지 않는 콘크리트가 제조될 확률은 p 이하로 할 수 있다. 즉, 주어진 p 에 대한 t 를 이

표 1. 3 콘크리트의 품질조건

콘크리트의 종류	품 질 조 건
철근콘크리트 및 기타 일반	압축강도의 시험값이 설계기준강도 σ_{ck} 이하로 되는 확률이 1/20이상 이어서는 안된다.
포장 콘크리트	포장콘크리트에서는 설계기준강도를 휨강도, 즉 설계기준휨강도 σ_{ck} 로 하며, (a) 휨강도의 시험값이 설계기준강도를 휨강도, 즉 설계기준강도 σ_{bk} 의 80%이하로 되는 일이 1/30이상의 확률로 일어나서는 안된다. (b) 휨강도의 시험값이 σ_{bk} 이하로 되는 일이 1/5이상의 확률로 일어나서는 안된다.
댐 콘크리트	(a) 압축강도의 시험값이 설계기준강도 σ_{ck} 의 80%이하로 되는 일이 1/20이상의 확률로 일어나서는 안된다. (b) 시험값이 σ_{ck} 이하로 되는 일이 1/4이상의 확률로 일어나서는 안된다.
레디믹스트콘크리트 및 공형포장콘크리트	(a) 1회의 시험결과는 구입자가 지정한 호칭강도값의 85%이상으로 되지 않으면 안된다. (b) 3회의 시험결과의 평균값이 구입자가 지정한 호칭강도의 값이상으로 되지 않으면 안된다.

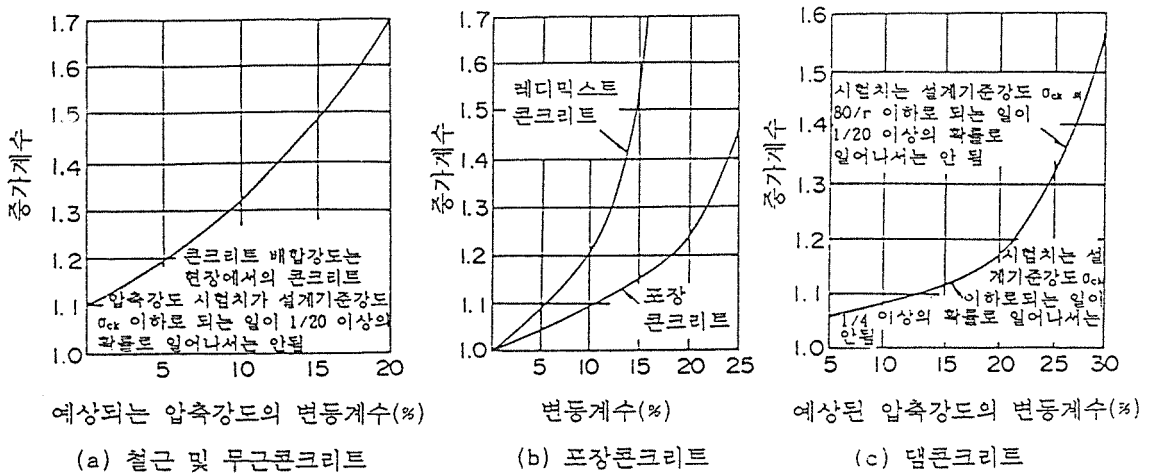


그림 1. 4 배합설계에 사용하는 증가계수와 변동계수

용했을 때

$$\sigma_{cr} \geq \sigma_{ck} + t\sigma \dots\dots\dots (1. 1)$$

로 된다고 하고 σ_{cr} 을 구하면 좋다.

또 표준편차 σ 와 변동계수 V 와의 관계는

$$V = \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1. 2)$$

이므로, 위의 두 관계식으로부터

표 1. 4 압축강도의 변동계수의 대략값

관리정도	변동계수 (%)	시 공 상 태
우 수	7~10	우수한 배치플랜트에서 잘 관리된 경우
양 호	10~15	일반적으로 현장에서 시방성에 의거하여 관리가 잘 된 경우
보 통	15~20	보통의 감독상태의 현장
불 량	20이상	부주의한 시공

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ck} &\leq \sigma_{cr} \left(1 - \frac{tV}{100}\right) \\ \text{또는 } \alpha &= \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{ck}} \geq \frac{1}{1 - (tV/100)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1. 3)$$

여기서, t : 위험을 p일때의 편차
 α : 확률p에 증가계수
 따라서 확률 p 및 표 1. 5를 이용하여 품질의 목표로 되는 배합강도를 구하면 다음과 같다.

표 1. 5 m-tσ이하의 품질이 생길 확률 p

t	0	0.5	0.674	0.842	1.0	1.282	1.5	1.645	1.834	2.0	2.054	2.327	3.0
p	0.500	0.308	1/4	1/5	1/6.3	1/10	0.067	1/20	1/30	0.023	1/50	1/100	0.0013

① 무근 및 철근 콘크리트의 경우

$$\sigma_{cr} \geq \frac{\sigma_{ck}}{1 - (1.645V/100)} \dots\dots\dots(1. 4)$$

② 포장 콘크리트

$$\begin{aligned} \sigma_{br} &\geq \frac{\sigma_{bk}}{1 - 0.842V/100} \dots\dots\dots(1. 5) \\ \sigma_{br} &\geq \frac{0.8\sigma_{bk}}{1 - 1.834V/100} \end{aligned}$$

③ 댐 콘크리트의 경우

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cr} &\geq \frac{\sigma_{ck}}{1 - 1.674V/100} \\ \sigma_{cr} &\geq \frac{\sigma_{ck}}{1 - 1.645V/100} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1. 6)$$

④ 레디믹스트 콘크리트

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cr} &\geq \frac{0.85\sigma_N}{(3V/100)} \text{ 또는 } \sigma_{cr} \geq 0.85\sigma_N + 3\sigma \\ \sigma_{cr} &\geq \frac{\sigma_N}{1 - \left(\frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V}{100}\right)} \text{ 또는 } \sigma_{cr} \geq \sigma_N + 3\left(\frac{\sigma}{\sqrt{3}}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1. 7)$$

여기서, σ_{cr} 및 σ_{br} : 배합강도(kg/cm²)
 σ_{ck} : 설계기준강도(kg/cm²)
 σ_{bk} : 설계기준휨강도(kg/cm²)
 V : 예상되는 강도의 변동계수
 σ_N : 호칭강도(kg/cm²)
 σ : 표준편차

(2) 물·시멘트比

물·시멘트비(W/C)를 콘크리트의 내동해성을 기준으로 하여 정할 경우에는 표 1. 6의 값 이하라야 한다.

그리고 콘크리트 화학작용에 의한 내구성을 고려하여 물·시멘트비를 정하는 경우 SO₄로써 0.2%이상의 황산염을 함유하는 흙이나 물에 접하는 콘크리트는 표 1. 7의 (a)에 지시하는 값 이하로 하고, 용빙제를 쓸 것이 예상되는 콘크리트는 표 1. 7의 (b)에 지시하는 값 이하로 해야 한다.

또한 수밀성을 고려하여 물·시멘트비를 정하는 경우 W/C는 55%이하를 표준으로 하고, 해양구조물에 쓰이는 철근 콘크리트 구조물의 W/C는 표 1. 7에 따라야 한다.

표 1. 6 콘크리트의 내구성을 고려하여 물·시멘트비를 정하려는 경우의 AE콘크리트의 최대 물·시멘트비(%)
(무근 및 철근 시공편 4.3, 17.2, 28.5, 30.2, 포장 4.4. 댐4.5)

구조물의 종류 및 노출상태		기상조건 단면	기상작용이 심한 경우, 또는 동결 용해가 종종 반복되는 경우		기상작용이 심하지 않은 경우나 빙점이하의 기온으로 되는 일이 드문 경우	
			얇은경우 ²⁾	보통경우 ³⁾	얇은경우 ²⁾	보통경우 ³⁾
무근 및 철근 콘크리트	(1) 연속해서 또는 종종 물로 포화되는 경우		55(60)	60(55)	55(50)	65(60)
	(2) 보통의 노출상태에 있으며 (1)에 해당하지 않는 경우		60(55)	65(60)	60(55)	70(65)
수중콘크리트			50		50	
포장콘크리트			45		50	
댐콘크리트(외부콘크리트)			60		65	

[주] ① ()내의 값은 경량골재 콘크리트를 사용시 내동해성을 기준으로 물·시멘트비를 정하는 경우를 나타낸다.

② 표중의 단면이 얇은 경우²⁾에는 단면의 두께가 20cm 정도 이하의 구조물의 부분, 두꺼운 경우에도 보통의 경우³⁾와 같다.

③ 무근 및 철근 콘크리트의 (1)의 부분은 수로, 교대, 터널 라이닝공 등으로써 수면에 가까워 물로 포화되는 부분 및 이들 구조물외에 보, 슬래브 등으로써 수면으로부터 떨어져 있기는 하나 용설, 유수 등 때문에 물로 포화되는 부분

표 1. 7 해양콘크리에서 내구성으로 정하여진 AE콘크리트의 최대 물·시멘트비(%)
(무근 및 철근 콘크리트 시방서 4.3, 17.2, 29.3)

시공조건	환경구분	일반 현장시공의 경우	공장제품 또는 재료의 선정 및 시공에서 공장제품과 동등 이상의 질이 보증될 때
(a) 해중		50	50
(b) 해상대기중		45	50
(c) 물보라		45	45

[주] ① 실적, 연구 성과 등에 확증이 있을 때는 위 값에 5-10 정도 더한 값으로 해도 좋다.

② AE콘크리트, 무근 콘크리트의 최대 물·시멘트비를 내구성으로부터 정할 경우 위 값에 10정도 더한 값으로 해도 좋다.

물·시멘트비가 콘크리트의 내동해성, 화학 저항성 또는 수밀성으로부터 정하여지는 경우 품질의 목표로 되는 물·시멘트비는 앞에서 구한 각각의 W/C값에서 2-3%을 뺀 값으로 한다.

(3) 레디믹스트 콘크리트의 品質目標

레미콘의 경우 KS F 4009에 의하면 표준품과 특수품으로 구분하고 있다.

1) 표준품의 경우

표준품은 콘크리트의 종류, 공기량, 굵은골

표 1. 8 보통콘크리트 : 굵은 골재 최대치수 19mm 또는 25mm의 경우

호칭강도(kg/cm ²) \ 슬럼프(cm)	150	160	180	195	210	225	240	255	270	300	350	400
5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●
15, 18	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
21	-	-	-	-	○	○	○	○	●	●	●	●

* 비고 : 콘크리트 펌프를 이용하여 콘크리트를 타설할 때는 슬럼프 15cm 이상의 콘크리트가 좋다.

표 1. 9 보통콘크리트 : 굵은 골재 최대치수 40mm의 경우

호칭강도(kg/cm ²) \ 슬럼프(cm)	150	160	180	195	210	225	240	270	300
15, 8, 12	●	○	○	○	○	○	○	○	○
15, 18	○	○	○	○	○	○	○	●	●

표 1. 10 보통콘크리트 : 굵은 골재 최대치수 15mm 또는 19mm의 경우

호칭강도(kg/cm ²) \ 슬럼프(cm)	150	160	180	195	210	225	240	270	300
15, 8	●	○	●	●	●	○	●	○	○
12, 15	●	○	○	○	○	○	○	○	○
18, 21	○	○	○	○	○	○	○	●	●

표 1. 11 포장용콘크리트 : 굵은골재 최대치수 40mm인 경우

호칭강도(kg/cm ²) \ 슬럼프(cm)	45(휨)
2.5, 5, 6.5	○

재 최대치수, 호칭강도 및 슬럼프에 의하여 표 1. 8, 1. 9, 1. 10 및 1. 11에서 ○표로 나타낸 것으로서 비교적 많이 사용되는 콘크리트이며, 공기량은 보통 콘크리트의 경우 4.0%, 경량 콘크리트의 경우 5.0%로 하고, 한랭지의 경우는 각각 4.5%의 5.5%로 한다. 구입자는

다음 사항에 대하여 생산자와 협의하여 지정한다.

- ① 시멘트의 종류, ② 골재의 종류, ③ 굵은 골재 최대치수, ④ 염화물 함유량의 한도, ⑤ 경량콘크리트의 경우는 콘크리트의 단위용적중량, 필요에 따라서는 ⑥ 콘크리트의 최고 또는 최저 온도, ⑦ 알카리골재반응 억제방법 등

2) 특수품의 경우

특수품은 표 1. 8, 1. 9, 1. 10의 ○표 및 ●표의 호칭강도와 슬럼프를 조합시켜 발주한다. 따라서, 가령 내구성, 수밀성으로부터 물·시멘트비가 정해진 경우에는 구입자는 생산자가

제시한 관계자료로부터 그 물·시멘트비에 만족하는 호칭강도를 구하여 생산자에게 지정한다. 구입자는 생산자와의 협의사항으로서 표준품에 나타난 사항외에도 다음 사항이 있다. ① KS F 4009와 다른 염화물량의 한도를 설정한 경우의 한도, ② 호칭강도를 보증하는 재령, ③ 혼화재료의 종류, ④ 공기량, ⑤ 그 밖의 필요한 사항 등

한편, 레미콘의 품질은 현장에 도착했을 때 다음 조건을 만족해야 한다.

1) 강도 : 강도는 표 1. 3 및 식(1. 7)에 주어진 바와 같다.

2) 슬럼프 : 슬럼프는 지정한 값이 2.5cm일 때는 $\pm 1\text{cm}$, 5cm 또는 6.5cm일 때는 $\pm 1.5\text{cm}$, 8cm 이상 18cm 이하인 경우에는 $\pm 2.5\text{cm}$, 19cm 이상일 때는 $\pm 1.5\text{cm}$ 의 범위를 초과해서는 안된다.

3) 공기량 : 공기량은 지정한 값이 5% 이하일 때는 $\pm 1\%$, 5%를 넘을 때는 $\pm 1.5\%$ 의 범위를 초과해서는 안된다.

2. 統計的 品質管理

2. 1 概 要

발주자의 요구를 조사·연구하여 무엇을 만들 것인지 정하면 공정의 여러 조건을 고려하여 표준화하고 일정한 품질의 것을 시공하려고 노력하지만, 같은 시공조건에 있어서 만들어진 제품이라도 반드시 그 품질이 똑같이 되는 것은 아니다. 즉 품질의 변동을 갖게 된다.

이와 같은 변동을 방지하는 데는 단지 시공조건을 표준화하는 것만으로는 안되고 품질변동요인을 조사하여 개선하지 않으면 안된다. 이를 위하여 품질의 변동을 수치화, 또는 수량적으로 나타내어 비교·검토하는 것이 필요하며, 오늘날 품질관리 분야에서 핵심을 이루는 것이 통계적 수단을 중심으로 하는 통계적 품질관리이다. 통계적 방법은 확률론이나 통계적 이론을 기초로 하고 있으나, 품질의 분포를 통

계적으로 파악해서 통계적인 추리에 의하여 판단하는 것이 중요하다.

통계적 품질관리 방법으로는 보통 다음과 같은 방법이 쓰인다[()는 이용목적].

(1) 度數分布法 : 시료(표본)조사, 분포의 분석(histogram, 통계량에 의한 품질상황파악, 품질목표설정, 작업표준의 작성 등)

(2) 統計的 檢定, 統計的 推定(관리도의 작성, 품질검사, 품질변동요인의 해석 등)

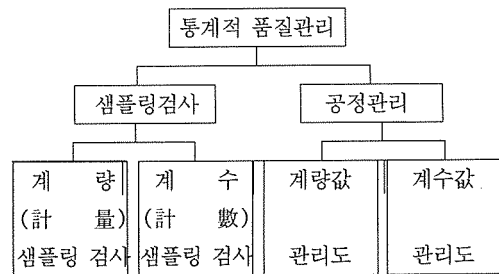
(3) 管理圖法(공정관리, 품질검사 등)

(4) 샘플링檢査法(공정관리를 위한 중간검사, 최종 제품검사, 로트(lot)의 합격여부판정 등)

(5) 파레토圖(Pareto's graph)法(불량원인, 불량상황, 불량위치 등의 조사 등)

(6) 實驗計劃法

이 중에서 통계적 품질관리에 주로 이용하는 핵심기법은 관리도법과 샘플링검사법이다(그림 2. 1참조)



이와 같이 통계적 방법으로는 정량적으로 나타낼 수 있는 품질특성을 대상으로 하여 일반적으로는 모든 제품에 대하여 품질특성을 검사하는 全數檢査 대신에 소수의 시료(sample)에 대하여 그 특성을 측정(시험)하여 전체 품질의 상황을 추정함으로써 공정의 이상 여부, 품질의 규격값에 대한 합격여부 등을 판단하는 것을 기본으로 하고 있다.

한편, 통계적 품질관리에 있어서의 판단에는 검정, 관리도, 샘플링검사 중 어느 것이나 담당자가 다음과 같은 잘못된 판단을 할 수 있다.

(1) 공정에 이상이 없는데도 있는 것으로 판단

하거나 품질이 규격에 합격인데도 불합격으로 판단하는 경우로서, 이는 생산자에게 불리한 판단이므로 “제1종 오판” 또는 “생산자 위험”이라고 한다.

(2) 공정에 이상이 있는데 없는 것으로 판단하거나 품질이 불합격인데도 합격으로 판단하는 경우로서, 이는 소비자에게 불리한 판단이므로 “제2종 오판” 또는 “소비자 위험”이라고 한다.

이와 같은 오판을 없애려면 제품 전체에 대한 전수검사가 필요하지만, 이는 막대한 시험 비용이 들 뿐만 아니라 무한의 모집단에 대해서는 일을 할 수가 없게 된다. 통계적 방법은 이러한 잘못을 용인하되, 그런 확률을 일정한도 이내로 억제하여 큰 잘못이나 규격에 크게 벗어난 것을 발견할 수 있다는 특징이 있다.

2. 2 品質管理와 데이터

(1) 數量化된 情報(데이터)

통계적 추리를 하기 위해서는 수량화된 정보(데이터)가 있어야 한다. 품질관리에서 데이터를 취하는 목적은 공정관리, 공정해석, 검사 등이 있는데, 이러한 목적에 따라 통계적 추리는 다르게 된다. 관리의 방향을 부여하는 의사 결정 행위에는 반드시 정보가 필요하며, 정보에는 定性的 情報와 定量的 情報가 있다.

정보	정성적 정보(맛, 냄새, 촉감, 외관 등)	정량적 정보 (데이터 또는 측정값)	계량값 데이터(길이, 중량, 두께, 강도 등)

품질관리는 경우에 따라 정성적 정보를 필요로 하는 경우도 있지만 대개는 정량적 정보, 즉 데이터를 필요로 하게 된다. 데이터는 그 성질에 따라 계량값(variables)과 계수값(attributes)으로 나뉘어 지는데, 이들 데이터는 그 성질이 다르기 때문에 통계처리시 이들 데이터를 명확히 구분할 필요가 있다.

(2) 品質의 變動과 데이터의 散布

같은 설계, 원료, 기계에 의해서 동시에 생산된 제품일지라도 그들 제품의 품질특성이 꼭 같을 수 없다. 이는 품질의 變動(variation)내지 散布(dispersion)에 기인한 것으로서, 이 경우 품질특성을 나타내는 데이터는 산포되어 나타난다.

품질변도의 원인은 크게 우연원인(chance cause)과 이상원인(assignable cause)으로 나눌 수 있다. 전자는 표준화된 제조조건하에서 생산됨에도 불구하고 품질변동이 생기는 피할 수 없는 원인이고, 후자는 전자와 달리 제조조건을 갖추지 못하여 일어나는 원인으로 피할 수 있는 원인, 즉 관리 가능한 원인이다. 이 두 가지 원인때문에 제조공정이나 제품품질을 나타내는 데이터의 산포에도 두 종류의 산포가 나타난다.

표준화된 제조조건에서 생산되는 경우, 우연원인으로 말미암은 제품집단의 품질특성값은 다른 분포형을 갖는 경우도 있지만, 일반적으로는 정규분포(normal distribution)를 이룬다. 이것을 가르켜 관리된 산포(controlled variability)라고 하며, 이런 공정상태를 안정상태 또는 관리된 상태라고 한다. 이에 비하여 제조조건에 이상이 있는 원인, 예를 들어 제조공정에 이상이 있으면 그 공정에서 생산되는 제품의 품질특성값은 이상하게 나타난다. 이러한 분포를 관리되지 않은 산포(uncontrolled variability)라고 하고, 이런 공정상태를 관리되어 있지 않은 상태라고 한다.

(3) 母集團 및 샘플링(Sampling)

관리대상으로 하고 있는 품질특성을 실현한다고 생각하는 모든 값의 집합을 모집단이라고 한다. 예를 들면, 어느 제조공정으로부터 만들어지는 어느 배합의 콘크리트의 압축강도, 슬럼프 등의 품질특성, 또는 어느 시공에 의하여 만들어진 콘크리트 구조물에 있어서의 구조체 콘크리트의 강도, 균열발생을 부재치수의 오차 등이 모집단이 된다. 어느 공정에서 만들어지는 콘크리트의 강도는 그 공정으로부터 만들어

지는 콘크리트의 모든 것이 대상이 될 수 있으므로, 이런 경우에는 그 공정자체를 모집단으로 생각할 수 있다. 이와 같이 무한의 집합인 것을 무한모집단이라고 하며, 품질특성을 측정할 수 있는 대상이 한정된 것을 유한모집단이라고 말한다.

개체로 이루어지는 제품의 1로트(lot)는 유한모집단이지만, 콘크리트 등은 로트를 한정해도 그것으로부터 시료를 채취하는 방식은 무한히 있을 수 있으므로, 이런 의미로서는 무한모집단이라고 생각해도 좋다. 어느 것이든 통계적 품질관리는 시료에 대한 평균값이나 변동 등으로부터 모집단에 대한 판단을 내리는 것이 목적이므로, 지금 대상으로 하고 있는 모집단이 무엇인지를 명확하게 인식해 두어야 한다. 특히 모집단의 품질상황을 파악하기 위하

여 시료를 채취(Sampling)하고 데이터를 얻는데, 이 데이터로부터 모집단에 대한 지식을 올바르게 추정하기 위해서는 샘플링이 편향되지 않도록 하여 모집단을 대변할 수 있어야 한다. 이런 목적의 시료채취방식이 랜덤샘플링(random sampling)이다. 실제로 랜덤샘플링은 매우 어려운 일이지만, 콘크리트와 같이 연속적으로 만들어지는 것이면 적당한 간격을 두고 배치(batch)나 레미콘트럭을 선정하므로써 우선 달성할 수 있다. 그리고 배치나 레미콘트럭으로부터 콘크리트 시료를 채취할 때도 편중되지 않도록 할 필요가 있다. 골재나 콘크리트로부터 시료를 채취하는 방법에 대해서는 KS나 표준시방서 등에 규정되어 있다. 통계적 품질관리에 있어서의 모집단, 시료, 데이터와의 관계는 그림 2. 2와 같이 나타낼 수 있다.

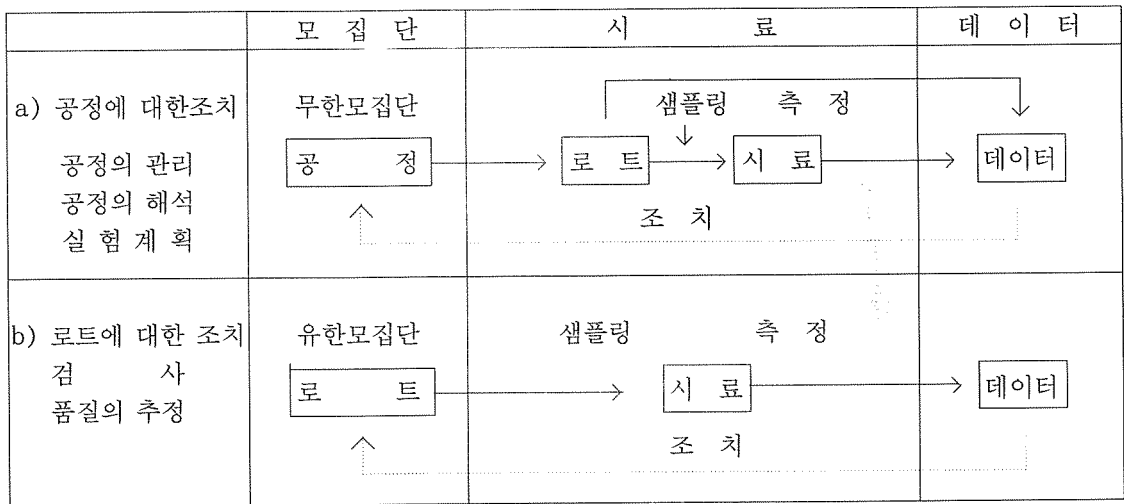


그림 2. 2 모집단, 시료, 데이터의 관계

2. 3 데이터의 整理方法

품질의 변동, 즉 산포를 가져오는 원인을 파악하여 이것을 관리하기 위해서는 그 변동상태를 올바르게 파악할 필요가 있다. 이를 위하여 제품이나 제조공정 등으로 부터 얻어진 다수의 데이터를 정리하여 제조공정의 상황을 조사하

고, 아울러 그의 실태·원인 등을 파악하여야 한다.

데이터의 정리방법으로는 다음과 같은 방법 등이 있다.

(1) 표로 나타내는 방법

데이터의 변동상황을 표로 나타내려면, 데이터를 크기 순으로 적당한 폭으로 나누어 度數分布表를 만든다. 도수분포는 품질관리를 위해

표 2. 1 콘크리트의 압축강도 측정값

206.0	210.1	258.4	243.6	215.7	247.3	247.0	252.6
170.7	142.8	229.1	263.9	199.7	257.4	198.4	243.4
219.6	241.4	198.2	153.7	207.3	171.3	248.2	176.8
273.3	196.3	172.6	195.2	297.8	217.2	283.4	230.0
237.3	162.4	210.2	212.4	224.1	204.7	228.5	231.7
251.4	220.4	245.5	191.3	173.4	156.3	263.8	268.4
227.8	185.4	208.5	287.1	208.0	174.6	231.7	165.8
253.4	259.1	262.3	246.7	224.5	223.0	246.3	249.3
264.2	183.4	226.3	240.0	187.7	194.4	178.1	226.0
207.3	219.3	303.4	218.5	202.2	279.7	218.4	190.8
238.7	244.4	204.0	201.4	222.4	245.6	203.8	239.3
221.5	218.3	220.7	260.3	238.6	197.7	237.2	177.9
193.4	268.9	227.1	229.0	183.7	-	-	-

표 2. 2 급 수(級數)

데이터의 수	급의 수
50~100	6~10
100~250	7~12
250이상	10~20

흔히 이용되는 가장 간단하면서도 효과적인 통계적 방법의 하나로써, 예를 들어 콘크리트의 압축강도 시험결과 표 2. 1과 같은 데이터를 얻었을 때, 이 데이터는 현재 불규칙하게 나열

되었기 때문에 이들을 같은 값끼리 모아서 값의 크기에 따라 그들 값의 頻度數(number of frequency)를 나열하면 데이터의 분포상태를 한 눈으로 쉽게 파악할 수 있는데, 이것이 度數分布表(frequency tabulation)이다. 級數는 표 2. 2와 같이 취하는 것이 좋으며, 級數로 나누어 측정단위의 정수배 중 알맞은 값을 취한다. 級の 경계값은 측정단위의 1/2을 취한다. 표 2. 3에 도수분포표의 한예를 나타내었다.

표 2. 3 도수분포표

콘크리트의 압축강도(kg/cm ²)	기 호	도 수	누적도수	상대도수 (%)	누적상대도수 (%)
129.5~149.5	/	1	1	1	1
149.5~169.5	////	4	5	4	5
169.5~189.5	### ### //	12	17	12	17
189.5~209.5	### ### ### ###	20	37	20	37
209.5~229.5	### ### ### ### ###	24	61	24	60
229.5~249.5	### ### ### ### /	21	82	21	81
249.5~269.5	### ### ///	13	95	13	94
269.5~289.5	////	4	99	4	98
289.5~309.5	//	2	101	2	100

상대도수(相對度數)라 함은 각 급의 도수를 데이터의 총수로 나눈 것으로서 백분율로 나타내는 경우가 많으며, 누적도수(累積度數)라 하는 것은 어느 값 이하 또는 이상의 도수가 어느 정도인가를 나타내는 것이다.

(2) 그림으로 나타내는 방법

1) 度數多角形(frequency polygon)

급의 도수의 높이에 있어서의 그 급의 중심 위치를 연결하여 이루어진 다각형을 말하며, 양끝의 도수는 이웃한 도수 0의 급의 중심값에 연결한다(그림 2. 3)

2) 度數分布圖(柱狀圖, histogram)

그림 2. 4와 같이 도수분포표를 알아보기 쉽게 그림으로 나타낸 것을 도수분포도라고 한다. 콘크리트의 품질특성인 압축강도는 정규분포를 갖고 있음을 쉽게 알 수 있는데, 여기에 제시된 101개의 데이터가 어떤 무한모집단, 즉 공정으로부터 추출한 데이터라고 할 때, 이 시료데이터의 분포를 그의 모집단분포와 같다고 추리할 수 있다.

도수분포는 흔히 계량값에 대해서 작성되지만, 계수값에 대해서도 작성할 수 있다. 도수분포를 수량적으로 표현하는 경우에 중심적 경향을 나타내는 척도로서 평균값과 중간값이 이용되고, 변동을 표시하는 척도로서 분산, 표준편차, 범위 등이 이용된다.

도수분포표 또는 도수분포도를 작성하므로써, ① 품질 또는 데이터의 분포상태를 쉽게 알 수 있을 뿐만 아니라, ② 공정능력을 파악할 수 있으며, ③ 공정의 해석이나 관리에 이용할 수 있다는 잇점이 있다. 반면에, 이 방법은 정적인 분석방법이므로, ① 데이터의 시간적 변동원인을 알 수 없을 뿐만 아니라, ② 관리도에서 볼 수 있는 데이터의 집단내의 변동이나 집단사이의 변동의 개념이 희박하며, ③ 데이터의 분포를 파악하기 위하여 많은 데이터(적어도 50~100개 이상)가 필요하다는 결점이 있다.

3) 파레토圖(pareto's graph)

품질에 대한 문제가 발생했을 때 제조현장에

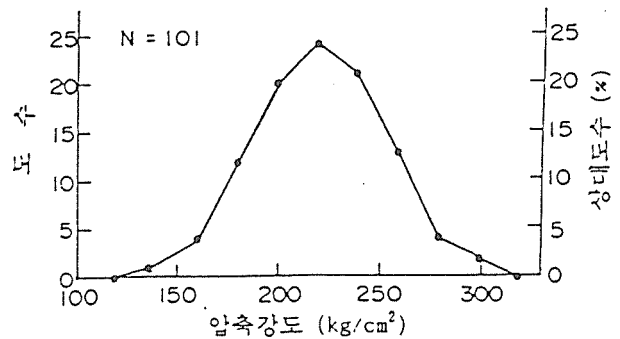


그림 2. 3 도수다각형

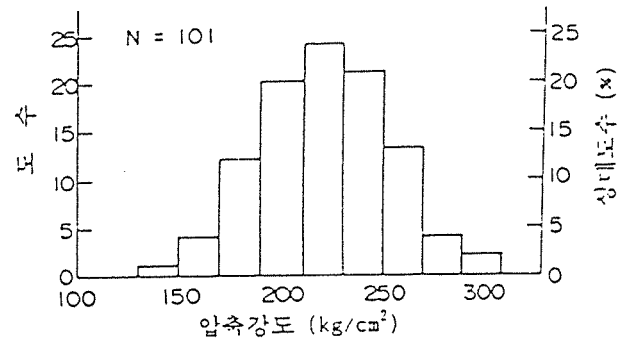


그림 2. 4 도수분포도

서 원인을 찾아서 대책을 세우고 조치를 취하지 않으면 안된다. 이런 경우 무엇보다 착수해야 될 지 문제의 초점을 알려줄 수 있는 것으로 파레토도가 있다. 이것은 불량품에 대해서 불량원인별이나 불량상황별 또는 불량발생위치별 등으로 구분하여 데이터를 취하여 그 영향이 큰 것 순으로 나타낸 도표이다. 이 도표를 작성할 때는 가로축에 불량, 손실(loss), 클레임(claim) 등의 발생원인이나 상황을 취하고, 세로축에는 각각(원인별)의 손실액이나 건수(件數) 또는 퍼센트를 취하여 histogram을 기둥이 높은 것 순으로 좌로부터 우로 나란히 그린 다음, 그것을 순차로 누적인 기둥의 정점을 연결하는 누적도수곡선을 그린다(그림 2. 5

참조)

파레토도는 불량손실이 불량원인이나 항목별로 고르게 발생하지 않고, 몇몇 원인이나 일부 항목에 편중되는 불균등도(不均等度)를 나타내는 것이 특징이다. 따라서 품질관리 활동에 있어서 손실이 적은 많은 항목(trivial many) 보다는 소수의 중요항목(vital few)에 대해서 중점적으로 관리할 필요가 있다.

파레토도의 작성 및 사용에 있어서 유의해야 할 점은, 실질적인 조치를 취할 수 있도록 불량원인을 가급적 장소별, 기계별, 시간별 등으로 나누어야 하고, 원인에 대한 조치를 취할 때는 근본적인 대책을 세우고 그 효과를 확인해야 한다는 점이다. 파레토도에 나타난 주요 원인을 체계적으로 밝히기 위해서 다음의 특성요인도를 사용한다.

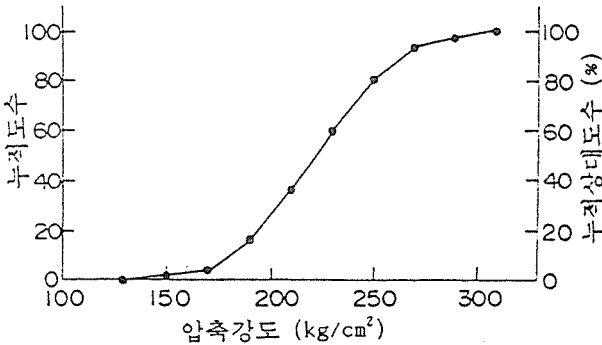


그림 2. 5 파레토圖(누적도수곡선)

4) 特性要因圖

문제가 되는 특성(결과)과 이에 영향을 미치는 요인과의 관계를 알기 쉽게 도표로 나타낸 것을 특성요인도라고 한다. 이 경우 문제가 되는 특성을 결과로 보고 이에 대한 원인분석을 하는 도표라 하여 因果分析圖(cause and effect diagram)라고도 한다. 이 특성요인도는 결과나 문제점에 대한 원인을 계통적으로 나타낼 수 있으므로, 사고대책 및 예방, 불량품 제거, 작업이나 공정의 관리 및 개선 등에 도수

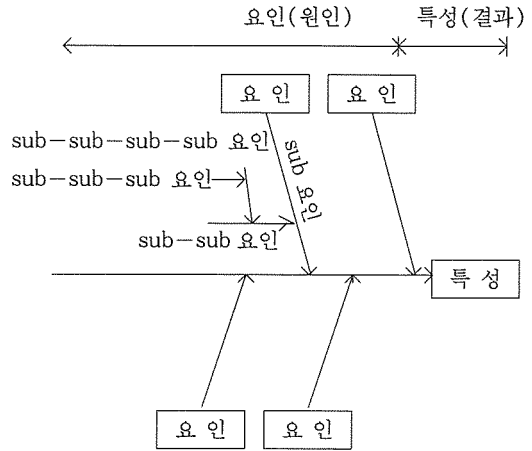


그림 2. 6 특성요인의 구성

분포도나 파레토도 등과 함께 많이 이용된다.

이 도표는 그림 2. 6과 같이 특성, 즉 결과를 우측 화살표 끝에 표시하고, 그 원인들은 화살표 방향을 거슬러서 요인별로 계통적으로 나타낸다. 이때 요인의 분류는 분석하려는 대상목적의 특성, 즉 문제점에 따라 다르나 일반적으로 4M(man, material, method, machine)을 토대로 계통적으로 가지를 쳐서 세부 요인까지 추구하는 시스템 접근방법(system approach)을 적용한다.

특성요인도의 작성요령은 다음과 같은 순서로 한다.

① 문제점(특성, 결과)을 정한다.

현장 작업자의 의견, 작업기록, 사고기록, 검사기록, 정비점검기록 등에서 자료를 수집하고 이들 자료를 가지고 도수분포도나 파레토도를 작성하여 발생빈도가 높은 것을 특성으로 정한다.

② 문제점(결과)에 대한 요인(원인)들을 계통적으로 분석한다.

문제와 관련된 주요 요인, 예를 들어 4M을 중심으로 시스템 접근방법을 이용하여 요인들을 계통적으로 분석한다(그림 2. 6 참조)

③ 특성요인도를 작성한다.

중요한 요인에 대하여 표시를 하며, 만성적

인 요인과 산발적인 요인을 구별하고 관리가 용이한 것과 곤란한 것을 구분하여 작성한다.

④ 특성요인도에 나타난 요인들을 유기적인 관계에서 긴급도에 따라 대책을 수립한다.

콘크리트의 타설작업에 있어서의 손실발생에 대한 특성요인의 작성예를 그림 2. 7에 나타내었다.

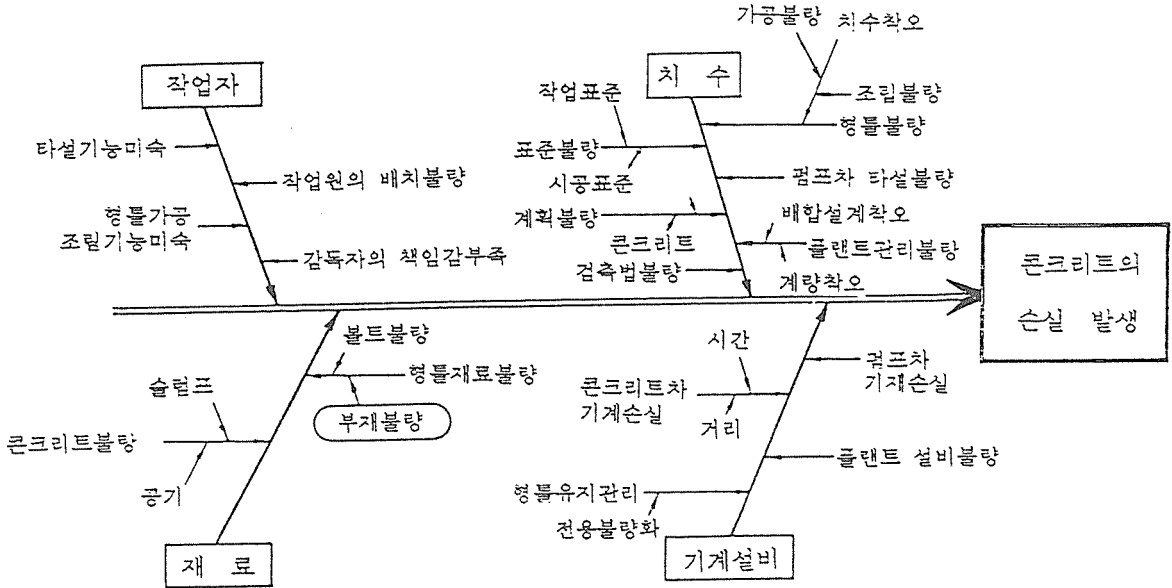


그림 2. 7 콘크리트의 손실발생에 대한 특성요인도

(3) 統計量으로 나타내는 方法

품질의 분포를 정량적으로 나타내는 데는 수량화 할 필요가 있다. 이것이 평균값이나 표준편차인데 이들의 수량에는 모집단에 대한 것과 시료에 대한 것이 있으므로 서로 구별하여 생각하여야 한다.

모집단의 분포를 나타내는 母數라고 하며, 母平均(m 또는 μ), 母分散(σ^2), 母標準偏差(σ) 등이 있다. 모수는 하나의 모집단에 대해서는 일정한 불변의 값을 나타내나 무한 모집단의 경우에는 참값을 구할 수 없다. 그러나 모평균이나 모표준편차의 어느 값을 정하여 기대되는 모집단을 상징할 수 있다. 모집단으로부터 채취한 시료데이터의 분포를 나타내는 것을 시료에 대한 계량이라고 하며, 시료 평균(\bar{x}), 시료표준편차(s), 불편분산(V) 등이 있다. 이들 통계량은 같은 모집단에 대한 것이라

도 시료를 채취할 때마다 다른 값이 되어 그 자신이 어느 확률분포를 하는 양이다. 통계적 방법에서는 이 모수와 통계량과는 차이가 있음을 잘 이해해 두는 것이 중요하다. 어느 집단으로부터 채취한 n개의 시료에 대한 특성값을 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 이라 할 때, 각종 통계량에 대한 정의는 다음과 같다.

1) 시료평균값 \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots \dots \dots (2. 1)$$

n을 크게 할수록 모평균 μ 에 대단히 가까워진다. 이런 의미에서 \bar{x} 는 μ 의 불편추정값(편중되지 않는 추정값)이라고 한다.

2) 시료표준편차 s

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots (2. 2)$$

시료데이터 x_i 가 평균값 \bar{x} 로부터 평균적으로 어느 정도 떨어져 있는가를 나타내는 것으로, 데이터의 변동을 나타내는 기본적인 양이다. 모집단에 대해서는 같은 정의로 모표준편차 (σ)가 정의된다.

3) 불편분산 V

$$V = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2. 3)$$

불편분산은 편차제곱의 합 $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 을 (n-1)로 나눈 값으로서, 무한히 크게 할 때 모분산(모표준편차의 제곱 σ^2)에 대단히 접근하는 값, 즉 모분산의 불편추정값이다.

4) 불편분산의 제곱근 u

$$u = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2. 4)$$

u는 시료표준편차 s와는 약간 다른 값이다. n을 크게 하면 그 차이는 작아진다.

5) 범위 R

$$R = x_{\max} - x_{\min} \dots\dots\dots (2. 5)$$

R은 변동을 가장 간단히 나타내는 것으로서, 관리도에 많이 쓰인다.

6) 변동계수 c

$$c = \frac{s}{\bar{x}} \times 100(\%) \dots\dots\dots (2. 6)$$

표준편차가 평균값의 몇%에 해당하는가를 나타내는 값으로서, 식(1. 2)와 같은 것이다.

2. 4 正規分布와 그 特徵

공정이 안정상태에 있는 경우에 여기에서 제조되는 제품의 강도, 중량, 길이 등과 같은 계

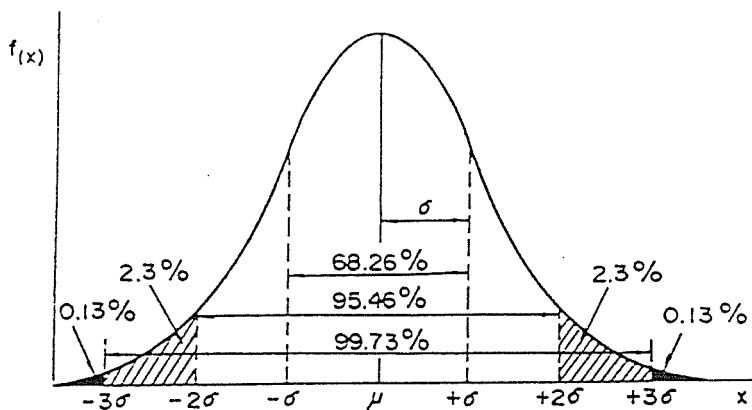


그림 2. 8 정규분포

량값의 데이터를 취하여 도수분포도를 그리면, 그림 2. 8과 같은 좌우대칭인 분포를 이루는데, 이와 같은 분포를 정규분포(normal distribution)라고 하며, 모집단의 분포중에서 통계적 품질관리상 가장 중요한 것이다. 그것은 많은 품질 특성값이 정규분포에 가까운 분포를 하며, 다른 분포에 따르는 모집단으로부터의 시료라 할지라도 시료평균값의 분포는 시료수를 몇개 빼도 정규분포와 근사한 분포를 이루는 등 응용범위가 매우 넓기 때문이다.

정규분포곡선은 다음과 같은 성질이 있다.

(1) 평균값 μ 를 중심으로 좌우대칭이다. 정규분포에서의 그 확률밀도는 다음 식과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \dots\dots\dots (2. 7)$$

이 분포의 평균값, 분산 표준편차는 다음과 같다.

$$\text{평균값 : } \mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \dots\dots\dots (2. 8)$$

$$\text{분산 : } \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 f(x) dx \dots\dots\dots (2. 9)$$

표준편차 : σ

평균값이 μ , 분산이 σ^2 인 정규분포를 $N(\mu, \sigma^2)$ 으로 나타낸다.

(2) 정규분포의 어느 구간을 취할 때 그 속에 포함된 전체에 대한 비율을 알 수 있다. 예를 들어, 평균값 μ 로부터 양측에 표준편차의 1배(σ), 2배(2σ), 3배(3σ)로 구간의 폭을 취하면, 그 구간내의 들어갈 부분의 전체에 대한 비율은 그림 2. 8과 같다. 즉, 공정상태가 안정된 경우 데이터의 평균값으로부터 3배의 표준편차범위($\mu \pm 3\sigma$)안에 들어갈 확률은 99.73%(벗어날 확률은 0.27%)이다. 따라서 품질특성값의 시료평균이 일정한 범위($\mu \pm 3\sigma$)밖에 나가는 확률은 0.27%이므로, 이 범위 밖으로 빠져 나가는 것이 있을 때 그 로트(lot)

는 품질에 이상이 있는 것으로 보아도 무방하다. 이 원리는 3장에 설명하는 관리도에서 관리한계선을 정하는데 사용되는 중요한 원리이기도 하다.

일반적으로 말하는 x 가 $\mu + k\sigma$ 의 범위내에 드는 확률, 또는 x 가 $\mu + k\sigma$ 이상(또는 $\mu - k\sigma$)의 값이 되는 편측확률은 k 값만으로 정해진

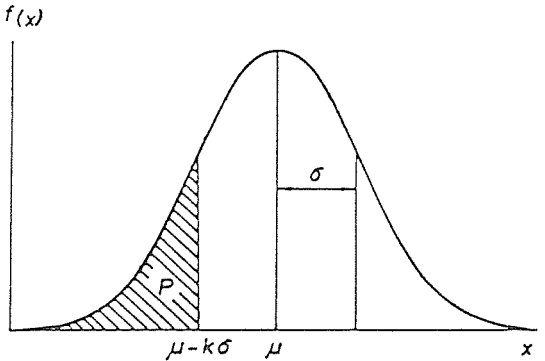


그림 2. 9 편측확률(片側確率)P

다. k 는 정규분포하는 변수 x 가 평균값 μ 와의 관계는 정규분포로 주어져 있으나, 그 일부를 표 2. 4에 나타내었다.

표 2. 4 편차 k 와 편측확률 p 와의 관계

k	p	p	k
0.0	0.5000	0.005	2.576
0.5	0.3085	0.010	2.326
1.0	0.1587	0.025	1.960
1.5	0.0668	0.05	1.645
2.0	0.0228	0.10	1.282
2.5	0.0062	0.20	0.842
3.0	0.0013	0.30	0.524

(3) 곡선은 평균값 μ 의 근처에서 높고 양측으로 갈수록 낮아진다.

(4) 표준편차 σ 는 곡선의 모양을 정한다. 즉, σ

의 값이 크면 곡선은 완만해지고, σ 의 값이 작으면 좁고 높아진다.

(5) 모집단이 정규분포를 따르지 않는 경우라도 거기에서 채취한 시료의 평균값 \bar{x} 는 정규분포에 가까운 분포를 한다.

평균값 μ , 분산 σ^2 의 정규분포 $N(\mu, \sigma^2)$ 에 따르는 모집단으로부터 채취된 크기(시료의 수) n 의 시료의 평균값 \bar{x} 는 시료를 채취할 때

마다 다른 값이 되나 그 분포는 평균값 μ , 분산 σ^2/n 의 정규분포 $N(\mu, \sigma^2/n)$ 에 따른다는 것이 증명되어 있다(그림 2. 10). 또한 모집단이 정규분포에 따르지 않는 경우라도 보통 n 을 몇개 취하면 \bar{x} 의 분포는 정규분포 $N(\mu, \sigma^2/n)$ 에 근사해지고 n 을 크게 할수록 이 정규분포에 가까워짐을 알 수 있다.

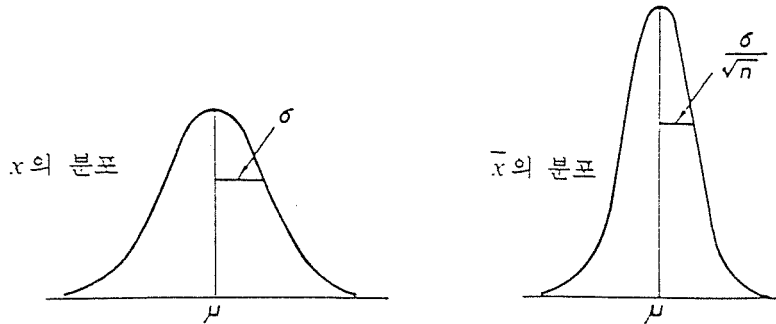


그림 2. 10 시료데이터(x)의 분포와 시료평균(\bar{x})의 분포

2. 5 統計的 檢定

공정에 이상이 있는가 없는가, 또는 제품 모두가 합격인가 불합격인가를 시료평균 \bar{x} , 시료 분산 V 등의 통계량을 바탕으로 판단하는 것을 통계적 검정이라고 한다. 앞에서 기술한 바와같이 $N(\mu, \sigma^2)$ 인 정규 모집단으로부터 채취된 크기 n 의 시료평균 \bar{x} 는 $N(\mu, \sigma^2/n)$ 인 분포를 나타낼 것이므로 \bar{x} 가 μ 로부터 너무 떨어져 있지 않으면 시료는 처음에 생각한 모집단으로부터 취한 것으로 생각하며, \bar{x} 가 μ 로부터 상당히 떨어져 있으면 모집단에 변화가 있거나 로트(lot)는 불합격이라고 판단하게 된다. 예를 들면, 어느 공정에서 만들어지는 어느 배합의 콘크리트 압축강도는 공정이 정상이고 $N(\mu, \sigma^2)$ 인 정규분포에 따른다는 것을 알

고 있다고 한다면, 여기에서 랜덤으로 채취한 n 개의 압축강도 데이터 x_1, x_2, \dots, x_n 의 평균값 \bar{x} 는 $N(\mu, \sigma^2/n)$ 에 따르게 될 것이다. 그런데, 지금 그림 2. 11에 있어서 \bar{x} 가 A점($\mu - 1.96\sigma/\sqrt{n}$), \bar{x} 가 B점($\mu + 1.96\sigma/\sqrt{n}$)의 외측값을 취했다면, 그와 같은 확률은 5%밖에는 일어나지 않는 것을 표 2. 4로부터 알 수 있다. 이런 경우 5%의 확률 밖에는 일어날 수 없는 일이 일어났다고 생각하기 보다는 본래의 모집단에 변화가 생겼다고 판단하는 것이 무리가 없으므로, 그와 같이 판단하여 조치를 취해야 할 것이다. 이 판단에서는 모집단이 변화가 일어나지 않았다 하더라도 달라질 것으로 판단될 오판의 확률이 5% 있으나 이것을 무시하며, 이 확률이 제1종오판(생산자 위험) α 이다.

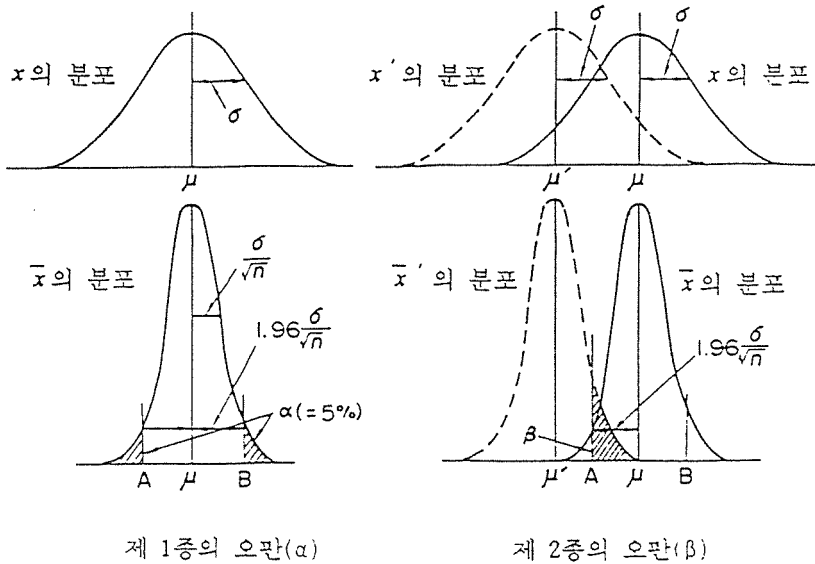


그림 2. 11 검정에 있어서의 오판

다음에 시료평균 \bar{x} 를 A점과 B점 사이의 값을 취한 경우에는 특별한 이상이 없는것으로 하여 조치를 취하지 않아도 좋거나, 또는 모집단(로트)을 합격이라고 판단하게 되는데, 이것은 반드시 그 시료가 채취된 모집단이 처음에 생각하고 있던 $N(\mu, \sigma^2)$ 이라고 판단하는 것은 아니다.

그림 2. 11에서 점선으로 나타낸 바와 같이, 모집단 $N(\mu, \sigma^2)$ 으로부터 취한 시료의 평균값 \bar{x} 이 A, B점 사이에 들 확률은 빗금친 부분에 해당하게 되는 셈이다. 이것은 모평균이 μ 가 되는 공정이나 로트에 이상이 있었다거나, 불합격이라고 하고 싶어도 반대의 판단을 할 확률이 있는데, 이것이 제2오판(소비자 위험) β 이다. μ' 이 μ 로부터 별로 떨어져 있지 않는데 차이가 있는 것은 β 를 적게 하여 검출하려고 하면 시료수 n 을 매우 크게 해야만 한다. 이것은 비경제적이므로 μ 와 μ' 의 적은 차는 무시하고 적절한 β 값과 n 을 정한다. 이와 같이 이런 종류의 검정에서는 $\bar{x} = \mu$ 라고

하는 가설을 세우고, 그것이 일어날 확률이 매우 적을 때 이 가설은 포기, 즉 $\bar{x} = \mu$ 가 아니었다고 판단하는 것이다.

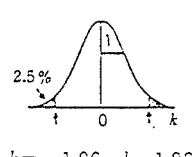
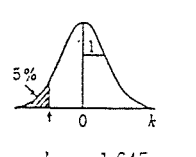
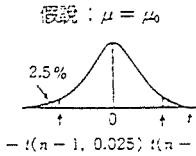
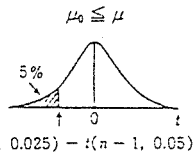
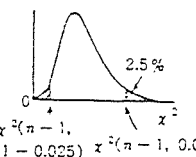
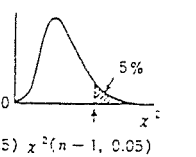
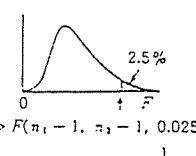
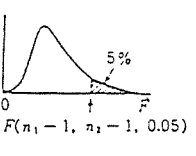
이상은 모분산이 기지인 경우에 통계량인 시료 평균값 \bar{x} 는 $N(\mu, \sigma^2/n)$ 인 정규분포를 하는 것, 즉 통계량 $k = \frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\sigma^2/n}}$ 가 평균값 0, 분

산1의 정규분포[표준정규분포 : $N(0, 1)$]에 따르는 것을 이용한 검정방법이다. 이와 같은 종류의 검정방법에는 각종 통계량의 이론분포를 이용한 표 2. 5와 같은 것들이 있으며, 관리도법, 샘플링 검사법 등은 이런 검정방법을 이용한 것이다.

3. 管 理 圖 法

품질관리는 관리도(control chart)로 시작해서 관리도로 끝난다고 할 만큼 대단히 중요한 것이다. 관리도는 품질의 산포가 우연원인에 의한 것인지, 아니면 이상원인에 의한 것인지,

표 2.5 각종 검정법

검정법	검정내용(가설)	이용하는 통계량 (n: 시료의 크기)	통계량의 이론분포	검정방식(통계량이 빗금부분의 값을 취할 때는 가설을 기각·부정한다. 다만 $\alpha=5\%$ 로 한다)	
				양측검정	편측검정
평균값의 차검정 (모분산 σ^2 기지의 경우)	모평균 μ 가 어느 값 μ_0 와 같다. $\mu = \mu_0$ (양측검정) 또는 μ_0 보다 크다. $\mu \geq \mu_0$ (편측검정)	$k = \frac{x - \mu_0}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}}$	표준정규분포 N(0, 1)	假說: $\mu = \mu_0$  $k = -1.96 \quad k = 1.96$	$\mu_0 \leq \mu$  $k = -1.645$
평균값의 차검정 (모분산 σ^2 미지의 경우)	상 동	$t = \frac{x - \mu_0}{\sqrt{\frac{V}{n}}}$	자유도(n-1)의 t의 분포	假說: $\mu = \mu_0$  $-t(n-1, 0.025) \quad t(n-1, 0.025)$	$\mu_0 \leq \mu$  $-t(n-1, 0.05)$
분산의 차검정	분산 σ^2 가 어느 값 σ_0^2 (양측검정), 또는 σ_0^2 보다 $\sigma^2 \leq \sigma_0^2$ (편측검정)	$x^2 = \frac{(n-1)V}{\sigma_0^2}$ (x^2 : chi - square)	자유도(n-1)의 x^2 분포	假說: $\sigma^2 = \sigma_0^2$  $x^2(n-1, 1-0.025) \quad x^2(n-1, 0.025)$	$\sigma^2 \leq \sigma_0^2$  $x^2(n-1, 0.05)$
2개 모집단 분산의 비검정	모분산 σ_1^2, σ_2^2 에 대해서 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (양측검정) 또는, $\sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$ (편측검정)	$F = \frac{V_1}{V_2}$ $V_1: n = n_1$ $V_2: n = n_2$	자유도($n_1 - 1, n_2 - 1$)의 F분포 및 자유도($n_2 - 1, n_1 - 1$)의 F분포)	假說: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  $F > F(n_1 - 1, n_2 - 1, 0.025) \quad F(n_1 - 1, n_2 - 1, 0.05)$	$\sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$  $또는 F > \frac{1}{F(n_2 - 1, n_1 - 1, 0.975)}$

바꾸어 말해서 공정이 인정된 상태에 있는가 어떤가 판정하기 위해서, 또는 공정을 안정한 상태로 유지하기 위하여 이용하는 그래프로서, 품질에 관한 안내도적인 기능을 가진 것이다.

관리도에는 그림 3. 1에 나타난 것처럼, 중심적 경향을 나타내는 중심선(CL, center line)과 품질에 허용되는 편차의 폭을 나타내는 管理限界(control limit), 즉 관리상한선

(UCL, control limit)과 관리하한선(LCL, lower control limit)을 그어 두고, 여기에 품질의 측정결과를 플로트(plot)했을 때 점이 관리한계선 안에 들면 관리상태, 점이 선 밖으로 벗어나면 보아 넘길 수 없는 원인에 의한 이상 발생으로 본다. 보아 넘길 수 없는 원인이 있을 경우에는 그 원인을 찾아서 다시는 재발하

지 않도록 그 대책을 세워서 시정 조치를 취함으로써 공정을 안정된 상태로 유지할 수 있다. 따라서 관리도의 요점은 이 관리한계를 어디에 두느냐 하는 점이다. 관리한계는 일반적으로 그 통계량의 평균값을 중심선(CL)으로 하고, 상·하에 표준편차의 3배($\bar{x} \pm 3\sigma$)를 취하는 방법이 쓰이고 있다.

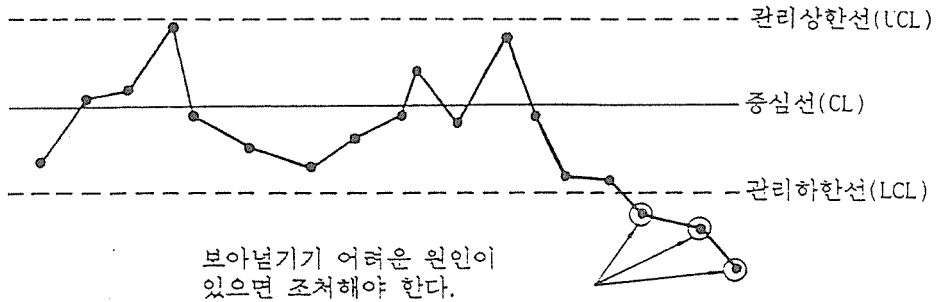


그림 3. 1 관리도와 관리한계선(관리되지 않은 상태)

또한, 관리도에는 공정을 관리하기 위하여 이용하는 것과 공정해석을 위하여 이용하는 것이 있다. 전자는 품질의 평균값과 표준편차를 과거의 실적으로부터 알고 있는 경우(통계학적으로는 모집단이 既知인 경우), 즉 평상시 관리에 이용되는 것으로서 레미콘 공장에서 출하하고 있는 품질의 콘크리트 등에 적용한다. 후자는 공정해석(현재의 공정 상황을 분석·검토하여 샘플링방법, 실험방법, 기술표준, 작업표준 등 여러 가지의 표준화를 목적으로 함)에 이용하는 것이다. 현장배합 콘크리트를 이용하는 보통규모의 공사, 또는 대공사에 있어서도 그 초기에는 이 관리도가 이용된다.

3. 1 管理圖의 種類

관리도에는 데이터, 즉 측정값의 특성에 따라서 계량값의 관리도와 계수값의 관리도로 대별된다. 계량값의 관리도에는 $\bar{x} - R$ 관리도, \bar{x}

$- \sigma$ 관리도, x 관리도 등이 있는데, 여기에는 전술한 정규분포 이론이 적용되며, 이들 중 가장 기본이 되는 것은 $\bar{x} - R$ 관리도이다. $\bar{x} - R$ 관리도는 평균값의 변화를 관리하는 \bar{x} 관리도와 데이터의 변화를 관리하는 R관리도를 나란히 그린 것으로서, 콘크리트의 압축강도, 슬럼프, 공기량 등의 특성을 관리하는 데 쓰인다. $\bar{x} - \sigma$ 관리도는 품질의 산포를 보다 자세히 나타낼 수 있는 장점이 있으나, 표준편차를 계산하기가 번거롭기 때문에 특별한 경우 이외에는 잘 사용하지 않는다. 또한 x 관리도는 데이터의 발생간격이 길어서 데이터가 그룹으로 구분되지 않을 때, 측정값을 그대로 플로트(plot)하여 사용하는 관리도이다.

한편, 계수값의 관리도에는 p관리도, p_n 관리도, c관리도, u관리도 등이 있으며, 품질특성에 따라 p관리도와 p_n 관리도는 二項分布理論을 적용하며, c관리도와 u관리도는 포와슨 분

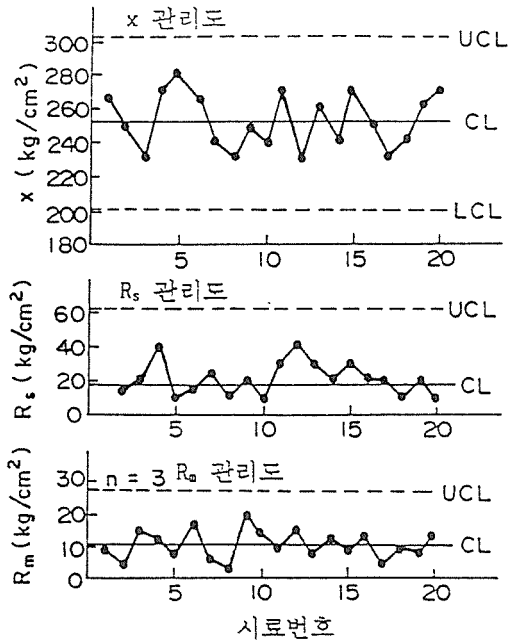


그림 3. 2 관리도의 예

布理論이 적용된다.

일반적으로 콘크리트의 경우에는, 1일에 3

회의 측정값을 얻을 수 있을 때는 \bar{x} -R관리도가, 그리고 1일에 1회의 측정값 밖에 얻을 수 없는 경우에는 x관리도를 많이 이용한다. 또한, x관리도는 \bar{x} -R관리도와 병용시키는 경우도 있으나, 이것과 이동범위 R_s (서로 인접한 2개의 x의 차의 절대값 $|x_i - x_{i+1}|$ 의 관리도와 시험오차 R_m 의 관리도를 병용시킨 $x - R_s - R_m$ 관리도로 하여 이용되기도 하는데, 이것은 강도용의 관리도로서 널리 이용되고 있다.

3. 2 \bar{x} -R管理圖

\bar{x} -R관리도는 관리항목으로서 각종 강도, 중량, 길이, 시간 등과 같이 양을 측정할 때 사용하며(KS A 3201), 평균값의 변화를 관리하는 \bar{x} 관리도와 산포의 변화를 관리하는 R관리도로 구성된다.

(1) \bar{x} -R管理圖의 作成順序

1) 예비데이터 조사

① 데이터를 수집한다(표 3. 3 참조)

일정기간 발생한 데이터를 시료크기(n)4-5 개 정도를 약 20-25개組를 채취하여 측정하

표 3. 1 管理圖의 種類

	데이터의 종류	관 리 도	적용이론
계량값 관리도	길이, 중량, 강도, 화학성분,	\bar{x} -R관리도(평균값과 범위의 관리도)	정규분포
	압력, 슬럼프, 공기량, 생산량	$\bar{x}-\sigma$ " (평균값과 표준편차의 관리도) x " (측정값 자체의 관리도)	
계수값 관리도	제품의 불량률	p " (불량률 관리도)	이항분포
	불량갯수	p_n " (불량갯수 관리도)	
	결점수(시료크기가 같을 때)	c " (결점수 관리도)	포아슨분포
	단위당 결점수(단위가 다를 때)	u " (단위당 결점수 관리도)	

고, 이들 측정값들을 자료표(Data Sheet)에 기록한다. 자료표에는 품명, 시료채취방법, 측정방법 등 보아 넘기기 어려운 원인을 찾는 데 필요한 사항을 기입한다.

② 각組의 평균값 \bar{x} 를 계산한다[식(2. 1) 및 표 3. 3 참조].

③ 각組의 범위 R을 계산한다[식(2. 5) 및 표 3. 3 참조].

시료의 組별로 가장 큰 측정값과 가장 작은 측정값과의 차를 계산한다.

④ 관리도 용지나 방안지에 그림 3. 3과 같이 세로축에 \bar{x} 와 R의 눈금을 매기고, 가로축에 각 組의 번호를 기입하여, 위에서 귀한 \bar{x} 와

R을 플롯(plot)한다.

⑤ \bar{x} 의 총평균값 $\bar{\bar{x}}$ 를 계산한다.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k} \dots\dots\dots (3. 1)$$

표 3. 2 관리도의 관리한계 계수표

시료 크기	\bar{x} 관리도		x 관리도	R 관리도				σ 관리도	
	UCL = $\bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$ LCL = $\bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$		UCL = $\bar{\bar{x}} + E_2\bar{R}$ LCL = $\bar{\bar{x}} - E_2\bar{R}$	UCL = $D_4\bar{R}$, LCL = $D_3\bar{R}$				LCL = $B_3\bar{\sigma}$ LCL = $B_3\bar{\sigma}$	
n	A ₁	A ₂	E ₂	D ₃	D ₄	d ₂	d ₃	B ₃	B ₄
2	3.760	1.880	2.659	—	3.267	1.128	0.853	—	3.267
3	2.394	1.023	1.772	—	2.575	1.693	0.888	—	2.568
4	1.880	0.729	1.457	—	2.282	2.059	0.880	—	2.266
5	1.596	0.577	1.290	—	2.115	2.326	0.864	—	2.089
6	1.410	0.488	1.184	—	2.004	2.534	0.848	0.030	1.970
7	1.277	0.419	1.109	0.076	1.924	2.704	0.833	0.118	1.882
8	1.175	0.373	1.054	0.136	1.864	2.847	0.820	0.185	1.815
9	1.094	0.337	1.010	0.184	1.816	2.970	0.808	0.239	1.761
10	1.028	0.308	0.975	0.223	1.777	3.078	0.797	0.284	1.716
∞		$\frac{2}{\sqrt{nd_2}}$		$1 - 3\frac{d_3}{d_2}$	$1 + 3\frac{d_3}{d_2}$				

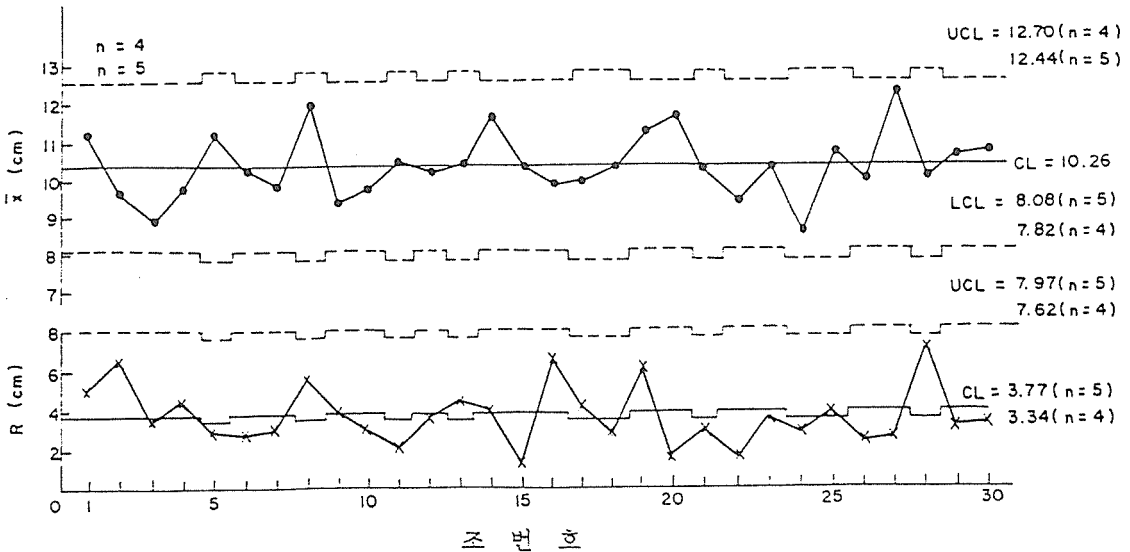


그림 3. 3 \bar{x} -R 관리도의 예 (슬럼프의 관리도, n=4 또는 5)

여기서, k : 채취한 시료組의 수

⑥ R의 평균값 \bar{R} 를 계산한다.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k} \dots\dots\dots (3. 2)$$

⑦ \bar{x}, \bar{R} 를 관리도용지에 실선으로 기입한다.
 \bar{x} 는 \bar{x} 관리도의 중심선이며, \bar{R} 는 R 관리도의 중심선이다.

2) 관리한계 계산

① 관리한계를 계산한다.

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} \text{ 관리도는, 관리상한선 } UCL &= \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \\ \text{관리하한선 } LCL &= \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \right\} (3. 3)$$

$$\left. \begin{aligned} R \text{ 관리도는, 관리상한선 } UCL &= \bar{\bar{R}} + D_4 \bar{R} \\ \text{관리하한선 } LCL &= \bar{\bar{R}} - D_3 \bar{R} \end{aligned} \right\} (3. 4)$$

여기서 A_2, D_3, D_4 등의 계수는 표 3. 2에서 시료의 크기 n에 따라 정해지는 값을 구하며, 단 n의 크기가 6이하일 때는 R 관리도의 LCL은 고려하지 않으며, 이 값들은 \bar{x}, R 의 이론적인 분포로서 UCL, LCL이 $\mu + 3\sigma$ 의 범위가 되도록 구한 것이다.

② \bar{x} 관리도 및 R 관리도상에 UCL과 LCL을 파선으로 기입한다(그림 3. 3 참조)

③ 관리도상에 \bar{x} 와 R의 값을組번호별로 플로트(plot)한다.

3) 관리선의 검토 및 관리 실시

① 관리도에 의하여 제조공정의 관리상태를 판정·조치한다.

플로트한 점이 관리한계 밖으로 나오는 것이 있을 때는 그 원인을 조사하여 특별한 원인이 있으면 그것을 제외하고 조치를 취한다.

② 관리한계 밖으로 벗어난 점을 제거하고 관리선을 다시 계산하여 조치한다. 원인을 알 수 없으면 그대로 둔다.

③ 예비데이터의 도수분포도(histogam)를

그려 품질규격과 비교하고 데이터가 규격에 맞는가를 검토한다. 규격을 만족하지 않을 때는 공정을 개선하던가, 아니면 그것이 곤란할 때는 규격을 다시 검토한다.

④ 위와 같이하여 정한 관리도에서 플로트된 통계량이 한계선 밖에 있는 경우에는 그 원인을 조사하여 공정을 개선해 관리한다.

4) n이 일정하지 않을 때

일반적으로 組의 크기 n은 일정한 것이지만 n이 다를 때는,

$$x = \frac{\sum(n_i \times (\text{크기 } n_i \text{ 조의 } \bar{x} \text{의 합}))}{\sum n_i k_i} \dots\dots\dots (3. 5)$$

$$\bar{R}(n_i) = d_2(n_i) \cdot \sigma$$

여기서, $\sigma = \frac{1}{k} \left\{ \frac{\sum R(n_1)}{d_2(n_1)} + \frac{\sum R(n_2)}{d_2(n_2)} + \dots \right\}$

$$\dots\dots\dots (3. 5)$$

k : 조의 수

k_i : 크기 n_i 조의 수,

$R(n_i)$: 크기 n_i 조의 R

$d_2(n_i)$: 크기 n_i 일 때의 d_2 의 값

으로 하여 크기가 다른 조마다 UCL, LCL을 계산하여 관리한계선을 그린다.

(2) 현장에서의 $\bar{x}-R$ 관리도의 예

현장에서는 콘크리트의 압축강도 등을 KS에 정해진대로 $n=4\sim 5$ 로 하고 20~25조씩 채취하기가 어려운 경우가 있다. 이런 경우에는 다음과 같은 방법을 취하기도 한다.

1) 예비데이터 대신 규격의 상한·하한을 관리선으로 하여 최초의 5조의 관리를 한다.

2) 5조의 데이터로 부터 (1)의 방법으로 \bar{x}, R 의 관리한계를 구하고, 다음 5조의 관리를 한다.

3) 다음에 여기까지의 합계 10조의 데이터 전부를 사용하여 다시 관리한계를 계산하고, 다음 10조의 관리를 한다.

4) 이상의 합계 20조의 데이터로부터 관리한계를 구해서 다음의 20조를 관리한다.

5) 그 후로는 20조를 단위로 최근의 20조의

표 3. 3 $\bar{x}-R$ 관리도 자료표(Data Sheet)

명칭				공사명				측정기간		...~...							
품질특성		28일압축강도		사무소명													
측정단위		kgf/cm ²		목표량				청부업자									
규격 한계	UCL			시료	크기	n=4	현장대리인										
	LCL				간격		측정자										
설계기준값				작업기계명				작업자									
측점 또는 월일	시 험 번 호	측정값					계 Σx	평균 값 x	범위R					항 목	\bar{x}	R	
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅			R ₂	R ₃	R ₄	R ₅					
	1	195	192	210	234	831	208			42			$\bar{x} \pm 1 A_2 R = 211.6 \pm 0.729 \times 43.8 = 244 \sim 180$ $D_4 \bar{R} = 2,282 \times 43.8 = 100$				
	2	195	209	210	242	856	214			47							
	3	188	229	201	211	829	207			41				평균	211.6	43.8	
	4	214	239	205	215	873	218			34				갯수	5	5	
	5	213	190	245	214	862	216			55				소계	1058	219	
	6	241	198	236	209	884	221			38			누계	1058	219		
	7	226	206	227	210	869	217			21			$\bar{x} \pm 1 A_2 R = 214.6 \pm 0.729 \times 34 = 239 \sim 190$ $D_4 \bar{R} = 2,282 \times 34 = 77.6$				
	8	218	200	221	208	847	212			21							
	9	221	215	218	229	883	221			14				평균	214.6	34	
	10	230	223	213	203	869	217			27				소계	1088	121	
	11	226	209	220	247	902	226			38				누계	2146	340	
	12	235	205	224	213	877	219			30			$\bar{x} \pm 1 A_2 R = 216.6 \pm 0.729 \times 29.6 = 238 \sim 195$ $D_4 \bar{R} = 2,282 \times 29.6 = 67.6$				
	13	224	206	214	233	877	219			27							
	14	190	212	205	206	813	203			22				평균	216.6	29.6	
	15	246	218	214	207	885	221			39				갯수	20	20	
	16	226	200	211	206	843	211			26				소계	2186	252	
	17	237	214	219	208	878	220			29			누계	4332	252		
	18	228	219	228	220	895	224			9							
	19	229	223	214	224	890	222			10							
	20	226	218	204	217	865	216			22							
비 고													n	d ₂	d ₃	A ₂	D ₄
													2	1.128	0.853	1.880	3.267
													3	1.693	0.888	1.023	2.575
													4	2.059	0.880	0.729	2.282
													5	2.326	0.864	0.577	2.115

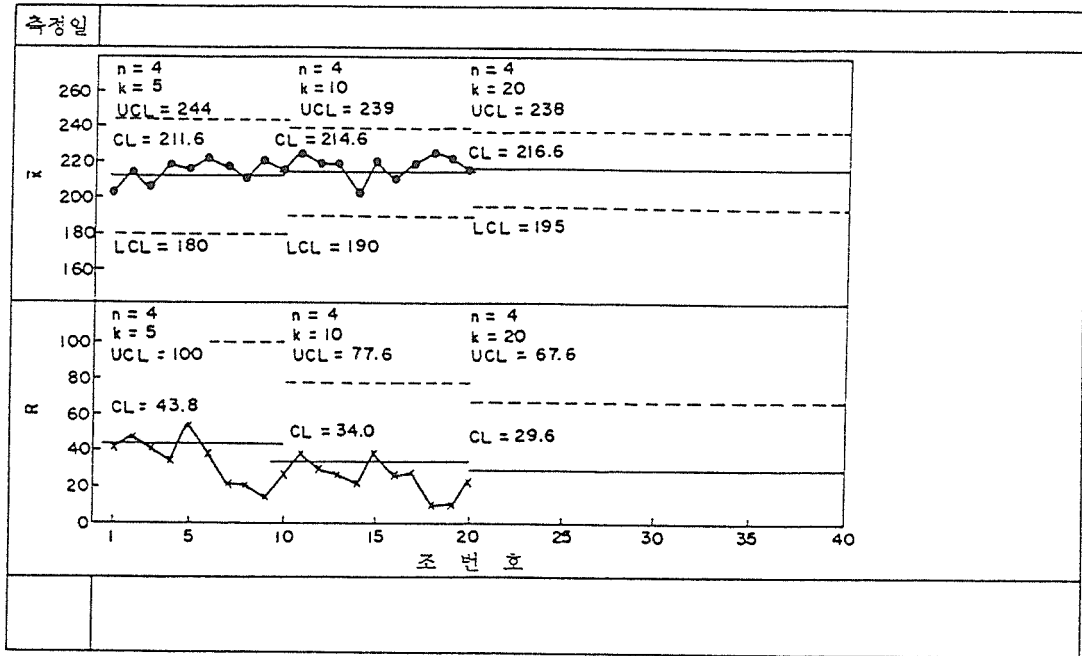
(주) : (1) 품질관리, 측정단위, 시공관리기준에 따라서 기입한다.
 (2) 규격한계, 설계기준값은 설계도서, 시방서에 정해진 값을 기입한다.
 (3) 관리한계선은 5+5+10+20방식(또는 5+3+5+7+10+10방식)에 의한다.

비고 : —관리한계선을 위한 데이터의 구간을 나타낸다.
 ...상기의 관리 한계를 적용하는 구간을 나타낸다.

데이터에 의하여 다음 20조에 대한 관리한계를 구하는 일을 반복한다. 이것을(5+5+10+

20)방식이라 한다. 이 방법에 의한 관리도의 예를 들면 표 3. 3 및 그림 3. 4와 같다.

설계기준값		공 사 명			사 무 소	
명 칭		1일 표준작업량			측정기간	~
품질 특성	28일 압축강도	규 격	최 대			
측정 단위	kg/cm ²	한 계	최 소		청부업자	
측정 방법		시 료	크 기		현장대리인	
작업기계명			간 격			측정자명



(주) (1) 관리도는 $\bar{x}-R$ 관리도 데이터 시트로부터 기입한다.
 (2) 기사란에는 이상원인 기타 필요한 사항을 기입한다.

그림 3. 4 $\bar{x}-R$ 관리도

3. 3 $\bar{x}-R_s-R_m$ 管理圖

(1) 管理圖의 作成順序

해석용의 \bar{x} 관리도를 작성하는 방법은 다음과 같다.

1) 관리선

① 현재의 공정상태에 대한 정보가 없기 때문에 과거의 경험, 참조자료 등을 토대로 가상의 관리선을 설정한다. 예를 들어 강도의 경우에는 배합설계를 할 때 가정한 조건을 이용

한다.

② 최초의 5조의 시험값 x 가 얻어졌을 때, \bar{x} 및 $\bar{R}_s (= \sum R_s / 4)$ 를 구한 다음, 다음 식에 의해 계산하여 다음의 5조에 대한 잠정관리선을 설정한다.

$$\left. \begin{aligned} CL &= \bar{x} \\ UCL &= \bar{x} + E_2 \bar{R}_s = \bar{x} + 2.659 \bar{R}_s \\ LCL &= \bar{x} - E_2 \bar{R}_s = \bar{x} - 2.659 \bar{R}_s \end{aligned} \right\} \dots\dots (3. 7)$$

③ 다음의 5점을 플로트한 사이에 점이 관리한계 밖으로 플로트되면 관리상태에 있다고 볼 수 없기 때문에 그 원인을 조사하여 조치를 취한다. 관리상태를 나타낼 때는 10조의 데이터를 모두 이용해 ②와 마찬가지로 \bar{x} 및 \bar{R}_s 를 구하여 관리한계를 계산하고, 다음의 10조에 대한 잠정관리선으로 한다.

④ 다음의 10점에 대해서도 ③과 마찬가지로 작업을 실시한다.

⑤ 규격이 정해져 있는 경우에는 규격과 비교·검토한다. 단, 규격이 정해져 있지 않은 경우에는 이 단계는 생략한다.

⑥ 품질특성이 충분하게 여유가 있어서 규격을 만족하고, 또한 안정한 상태에 있다고 판단되면 ④의 관리선을 연장하여 관리선으로 하고, 이 상태가 유지되도록 관리한다.

R_s , R_m 의 관리도도 위와 같은 순서로 만들수 있다. 단, 각각의 계산에는 다음 식을 이용하고, 계수값은 표 3. 2의 값을 이용한다.

$$R_s \text{ 관리도는 } \left\{ \begin{aligned} CL &= \bar{R}_s \\ UCL &= D_4 \bar{R}_s \\ LCL & \text{은 } n < 7 \text{이면} \\ & \text{고려하지 않는다.} \end{aligned} \right\} \dots (3. 8)$$

$$R_m \text{ 관리도는 } \left\{ \begin{aligned} CL &= \bar{R}_s \\ UCL &= D_4 \bar{R}_m \\ LCL & \text{은 } D_3 \bar{R}_m \end{aligned} \right\} \dots\dots (3. 9)$$

2) x , R 의 플로트(plot)

x , 와 R 은 같은 세로축상에 번호순으로 플로트한다. x 에는 「·」에 표시, R 에는 「x」 표시를 이용하는 것이 보통이다. 한계선 밖으로 나온 점은 각각 ⊙ 및 ⊗ 표시로 확실히 알 수 있도록 한다. 각 타점은 번호순서대로 직선으로 연결하고, 또 수개의 타점을 1개의 집단으로 층별(層別)하여 생각할 수 있는 경우에는 그 집단에 속한 점만을 연결해 두는 것이 좋다.

(2) 管理圖의 作成例

예를 들어 콘크리트의 강도관리도를 작성하기 위하여 1회의 시험에 공시체를 3개씩 만들어 20회의 시험을 했을 때, 시험결과(28일 강도의 추정값)는 표 3. 4와 같았다.

1) $D_4 \bar{R}_m$ 관리도

$$\begin{aligned} \text{중심선 } CL &: \bar{x} = 311 \text{kg/cm}^2 \\ 3\sigma \text{ 한계선} &: \pm 3\mu = 311 \pm 3 \times 32.1 \\ &= 407 \text{kg/cm}^2 \text{ 및 } 215 \text{kg/cm}^2 \\ 2\sigma \text{ 선} &: \pm 2\mu = 311 \pm 2 \times 32.1 \\ &= 375 \text{kg/cm}^2 \text{ 및 } 247 \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2) $\sum_{i=1}^k \frac{x_i}{k}$ 관리도 ($k=5$ 의 경우)

$$\begin{aligned} \text{중심선 } CL &: \bar{x} = 311 \text{kg/cm}^2 \\ 3\sigma \text{ 한계선} &: \bar{x} \pm 3 \frac{\mu}{\sqrt{k}} = 311 \pm 3 \times \frac{32.1}{\sqrt{5}} \\ &= 355 \text{kg/cm}^2 \text{ 및 } 267 \text{kg/cm}^2 \\ 2\sigma \text{ 선} &: \bar{x} \pm 2 \frac{\mu}{\sqrt{k}} = 311 \pm 2 \times \frac{32.1}{\sqrt{5}} \\ &= 340 \text{kg/cm}^2 \text{ 및 } 282 \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

3) R_s 관리도

$$\begin{aligned} \text{중심선 } CL &: \bar{R}_s = 35.1 \text{kg/cm}^2 \\ 3\sigma \text{ 한계선} &: UCL = D_4 \bar{R}_s = 3.267 \times 35.1 \\ &= 115 \text{kg/cm}^2, \\ LCL & \text{은 } n < 7 \text{이면 고려하지 않} \\ & \text{으므로 } LCL = 0 \text{kg/cm}^2 \text{이다.} \end{aligned}$$

표 3. 4 28일 강도의 시험결과

회	압축강도(kgf/cm ²)			시험오차			$\frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{5}$ (kgf/cm ²)	배치사이의 변동 Rs(kgf/cm ²)	연속5개의 강도차 Rs(kgf/cm ²)	$(x-300)_2$ (kgf/cm ²)
	각공시체의 시 험 값			평균 값 \bar{x}	x의 최대값과 최소값의 차 R _i (kgf/cm ²)	변동계수 V _i (%)				
	x ₁	x ₂	x ₃							
1	302	288	294	294	14	3.0	—	—	—	36
2	315	318	320	317	5	1.2	—	23	—	289
3	270	298	306	291	36	7.1	—	26	—	81
4	320	339	333	331	19	3.5	—	40	—	961
5	346	334	350	343	16	3.0	315	12	52	1849
6	271	266	281	272	15	3.5	311	71	—	784
7	347	337	309	331	38	6.5	314	59	—	961
8	310	315	300	308	15	3.0	317	23	—	64
9	302	273	311	295	38	7.7	310	13	—	25
10	237	230	222	229	15	4.1	287	66	102	5041
11	322	338	311	323	27	4.7	297	94	—	529
12	402	375	400	392	27	4.1	309	69	—	8464
13	347	330	361	346	31	5.3	317	46	—	2116
14	327	314	314	318	13	2.4	322	28	—	324
15	330	345	322	332	23	4.1	342	14	74	1024
16	338	342	324	334	18	3.0	344	2	—	1156
17	280	301	304	295	24	4.7	325	39	—	25
18	271	271	298	280	27	5.9	312	15	—	400
19	314	302	253	299	61	11.8	308	19	—	1
20	276	298	352	292	26	5.3	300	7	54	64
합	계			6.222	488	93.9	—	666	282	24,194
평	균			$\bar{x} =$ 311.1	$\bar{R}_i = 24.4$	$\bar{V}_i = 4.70$	—	35.1	70.5	1209.7

(주) x의 표준편차의 추정값 : $u = \sqrt{\frac{n}{n-1} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 \right\}} = \sqrt{\frac{20}{19}} (1209.7 - 123.2) = 32.1$ $(\bar{x} - 300)^2 = 123.2$

계산을 간단하게 하기 위하여 $(\bar{x} - 300)^2$ 을 계산하였다. 이것은

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - A)^2}{n} - (\bar{x} - A)^2 = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2A\bar{x}_i + nA^2 \right\} - \bar{x}^2 - 2A^2 = \bar{x}_i - A^2 \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{n} - \bar{x}^2$$

x의 변동계수 : $V = \frac{u}{z} \times 100 = 10.3\%$

시험오차를 제외한 강도의 변동계수 : $V_m \sqrt{V^2 - \frac{V_i^2}{N}} = \sqrt{106.6 - \frac{22.1}{3}} = 9.9\%$

2σ 선 : $d_3\bar{R}_s = 2.51 \times 35.1$
 $= 88\text{kg/cm}^2$ 및 0kg/cm^2 ($\because n=2$)
 여기서 d_3, d_2 의 값은 표 3. 5와 같다.

표 3. 5 관리한계 계수

n	2	3	4	5	6
d_3'	2.51	2.05	1.86	1.74	1.67
d_2'	0	0	0.14	0.26	0.33

4) R_k 관리도 (k=5의 경우)

중심선 CL : $\bar{R}_5 = 70.5\text{kg/cm}^2$
 3σ 한계선 : $UCL = D_4\bar{R}_5 = 2.115 \times 70.5$
 $= 149\text{kg/cm}^2$
 $LCL = D_3\bar{R}_5 = 0 \times 70.5 = 0\text{kg/cm}^2$

2σ 선 : $d_3\bar{R}_5 = 1.74 \times 70.5 = 123\text{kg/cm}^2$ 및
 $d_2\bar{R}_5 = 0.26 \times 70.5 = 18\text{kg/cm}^2$

5) R_m (또는 V_t) 관리도 (시험오차)

중심선 CL : $\bar{R}_{m5} = \bar{V}_t = 4.70\text{kg/cm}^2$
 3σ 한계선 : $UCL = D_4\bar{R}_{m5} = 2.575 \times 4.70$
 $= 12.1\text{kg/cm}^2$
 $LCL = D_3\bar{R}_m = 0 \times 4.70 = 0\text{kg/cm}^2$

2σ 선 : $d_3\bar{R}_m = 2.05 \times 4.70 = 9.6\text{kg/cm}^2$ 및
 $d_2\bar{R}_m = 0\text{kg/cm}^2$

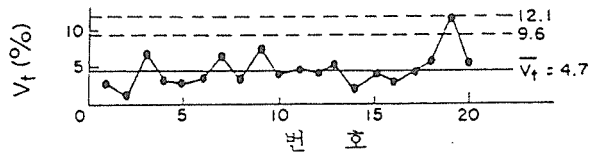
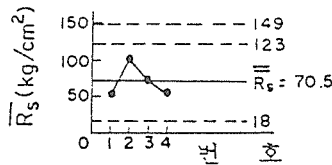
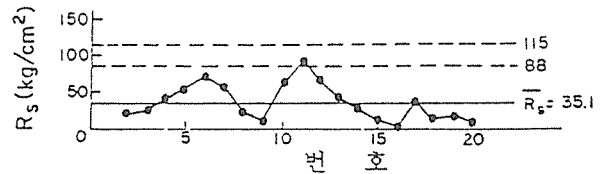
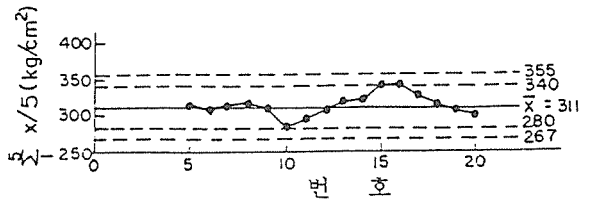
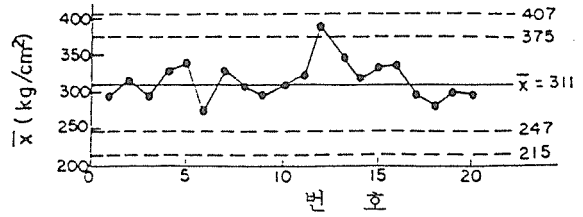


그림 3. 5 관 리 도

이들 관리도에 대해서는 그림 3. 5에 나타내었다.

3. 4 管理圖의 判定

관리도의 점들의 분포상태로부터 공정이 안정상태에 있는가 어떤가를 판단하는 데에는 다음과 같이 생각해도 좋다. 또한, 한계선상의 점은 관리에서 벗어나는 것으로 취급한다.

(1) 管理狀態에 있기 위한 조건

점들이 다음이 2조건을 만족하고 있을 때는 관리상태에 있다고 판단해도 좋다.

1) 점이 한계 밖으로 나오지 않은 것. 단, 연속한 35점중 한계밖으로 나온 점이 1개 이내인 경우, 또는 100점중 2점이내인 경우에는 한계밖으로 나온 점이 없다고 보아도 좋다.

2) 점의 나열된 방향이 이상이 없는 것.

(2) 점의 나열된 방향이 이상한 경우

점들이 다음에 나타낸 것과 같은 방향을 하고 있는 경우 이상하게 나열된 것이라고 판단한다.

1) 점들이 중심선의 한쪽으로 편중되어 연속적으로 나타난 경우

연속해서 7점이 나타난 경우 異常, 5점이 나열된 경우는 주의를 요한다고 판단한다.

2) 점이 CL의 한쪽으로 편중되어 많이 나타난 경우

연속한 11점중 10점이상, 14점중 12점이상, 17점중 14점 이상, 20점중 16점 이상이 CL의 한쪽으로 편중되어 나타난 경우에는 이상원인이 있다고 판단한다.

3) 점이 상승 또는 하강하는 경향을 나타내는 경우

공정평균이 어떤 경향을 가지고 변화하고 있는 것을 나타낸 것으로서, 3~4점이 한계밖으로 나오던가, 1)의 경우로 되어 나타나는 것이 많다.

4) 점이 주기적으로 올랐다 내렸다 하는 경우

5) 점이 한계선에 접하여 자주 나타나는 경우 또한 관리도를 공정해석에 이용하는 경우에 있어서 위에서 기술한 내용은 문제점의 발견에 대하여 유용한 착안점이지만, 보통의 관리에서는 점이 관리한계 밖으로 나왔을 때, 1) 및 2)의 상태를 나타내었을 때를 원인조사를 해야 하는 것으로 보아도 좋다.

3. 5 異常原因의 調査 및 措置

(1) 異常原因의 調査

관리도에서 이상원인이 일어났다고 판단된 경우에는 다음순서로 원인을 조사한다.

1) 플롯트(plot)이상의 확인

시료의 채취방법, 시험방법, 계산 및 플롯트에 이상이 있는가 없는가를 조사한다.

2) 기술적 지식의 활용

재료 및 기기에 이상이 없는가, 또는 작업표준에 따라 작업이 바르게 이루어 졌는가를 조사한다. 기술적 지식 및 경험을 토대로 공정을

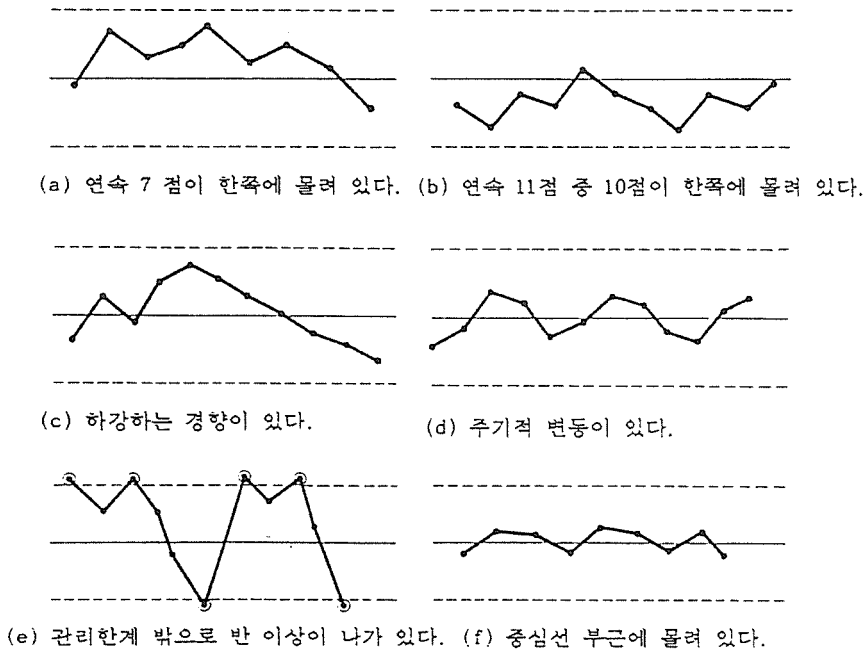


그림 3. 6 이상을 나타내는 관리도

방해하는 원인에 관해서 가장 일어나기 쉬운 것의 순으로 조사해 간다. 이 순서는 미리 표로 정리해 두는 것이 좋다.

3) 데이터를 층별(層別)한다.

재료별, 기계별, 작업자별, 그 밖의 조건에 따라서 분류한다. 예를 들면, 골재 등의 입하 시기에 의하여 별도로 관리도를 작성해 보는 것 등이다. 또 조건별로 색을 나누어 플로트하면 경향의 발견에 유용한 경우가 많다.

4) 다른 관리도와와의 비교

다른 공정의 관리도와 비교·검토한다. 예를 들면, 그 공정의 전·후관리도의 비교, 또는 콘크리트 강도의 관리도와 재료, 시공조건 등 인자의 관리도와와의 비교 등이다.

5) 근본적 원인의 조사

이상의 순서를 해보아도 원인을 구명할 수 없는 경우, 또는 현장에서 해결할 수 없는 경우 등 근본적 원인을 고려할 수 있는 경우에는 본격적인 공정해석을 행할 것인가 아닌가를 판단한다.

(2) 措 置

원인이 구명되면 그 원인을 제거한다고 하는 응급적인 조치뿐만 아니라, 장래에 재발하지 않도록 조치를 취할 필요가 있다. 예를 들면, 재료가 나쁘면 그것을 교체하는 것만이 아니라 앞으로 이와 같은 재료가 공정에 이용되기도 하므로, 만약 재료를 시험하지 않고 사용하고 있다고 하면 재료시험의 항목을 작업표준에 추가하는 등의 조치를 취하는 것 등이다.

조치에는 여러 가지 단계가 있고, 공정을 방해하는 원인이 작업표준을 지키지 않는 것에 있기 때문에 일어났을 때에는 확실하게 지키도록 조치를 취하고, 작업표준이 갖춰져 있지 않기 때문에 발생한 경우에는 그 원인을 조사하여 작업표준을 개정한다거나, 근본적으로 설비를 개선하는 등 여러 가지가 있다. 일반적으로 근본적인 조치의 경우가 재발을 방지하는 데는 좋지만, 비용 및 인력소비가 드는 경우가 많으므로 어느 정도의 조치를 행해도 좋은가는 기술적·경험적으로 판단하여 결정할 필요가 있다.

(3) 管理線의 修正

다음과 같은 상태로 되면 최신 데이터를 예비 데이터로서 새롭게 관리를 수정할 필요가 있다.

1) 기술적으로는 공정이 확실히 변했다고 판단되는 경우

2) 공정에 변화가 없어도 관리도를 그리기 시작하면서부터 일정기간(공정이 안정상태에 있는 경우에는 6개월 정도)경과한 경우

3) 관리도에서 판단하여 공정상태가 변하여 지금까지의 관리선으로는 조치의 기준으로 적당하지 않다고 판단되는 경우

4) 시료의 채취방법 등이 변한 경우

공정에 변화가 일어난 경우에 재계산을 행하지 않거나, 또는 점이 한계에서 크게 벗어난 경우 및 긴 그룹이 나와 있는 상태가 생긴 경우의 관리도 사용은 좋지 않다. 편차가 크게 되었기 때문에 한계를 초월한 것이 많게 된 경우 공정에 근본적인 변경을 가하여 편차를 적게 한다. 이것이 곤란한 경우에는 품질표준을 변경하는 등의 조치가 필요하다.

4. 品質檢査

4. 1 概 要

전술한 관리도에 의한 관리는 제조공정을 해석·관리하며 공정에서 불량품의 발생을 사전에 방지함을 주요 목적으로 하는 것이지만, 실제로 발생된 불량품에 대해서는 적절한 대책을 강구해야 한다. 가령 불량품이 다음 공정이나 고객에게 넘어가는 것을 막기 위해서 합격품과 불량품을 판별하고, 그 결과 얻어진 품질보증을 작업 또는 공정개선에 피드백(feed-back)시켜야 한다. 즉, 검사(inspection)란 다음 공정이나 고객에 대한 품질보증을 목적으로 검사표준을 정하고 제품의 품질을 측정하여 그 결과를 표준과 비교하여 개개 제품의 良·否 또는 로트(lot)의 합격·불합격의 판정을 내리는 것이다.

검사의 종류로는 여러 가지를 들 수 있으나,

일반적으로 검사방법과 성질에 따라 다음과 같이 나눈다.

- (1) 검사 갯수나 방법에 따라: ① 全數검사, ② 샘플링검사
- (2) 검사가 행해지는 공정에 따라: ① 받아들이기 검사, ② 工程검사(중간검사), ③ 製品검사(완성검사)
- (3) 검사의 성질, 즉 파괴여부에 따라: ① 破壞검사, ② 非破壞검사
- (4) 측정값에 따라서: ① 計數검사, ② 計量검사

4. 2 全數檢査와 샘플링檢査

전수검사(total inspextion)는 검사로트의 전수에 대하여 행하는 검사이다. 검사의 대상이 되는 제품전체에 대해서 하나 하나 검사함으로써 품질을 완전히 보증할 수 있다는 입장에서 실시된다. 따라서 이 검사는 불량품이 조금이라도 있어서는 안되는 경우나, 검사항목이 적고 로트의 크기가 작을 때 행하여진다. 이에

비하여 샘플링검사(sampling inspection)는 로트에서 시료를 발취하여 측정하고 그 결과를 로트의 판정기준과 비교하여 그 로트의 합격·불합격을 판정하는 검사이다. 이 샘플링검사로서 모든 제품의 품질을 보증할 수는 없으나, 어떤 확률로써 로트별 품질을 보증할 수 있다.

발취검사는 다음과 같은 경우에 유리하다.

- ① 제품의 파괴검사와 같이 전수검사가 불가능한 경우
- ② 기술적용 보아 개별검사가 무의미한 경우
- ③ 검사수량과 검사항목이 많아 전수검사에 비해 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있는 경우
- ④ 전수검사를 행하는 것이 경제적으로 불리한 경우
- ⑤ 생산업자나 납품업자에게 품질향상의 자극을 주고 싶은 경우

전수검사와 샘플링검사의 특징을 비교한 것이 표 4. 1이다.

표 4. 1 全數檢査와 샘플링檢査의 비교

조건 \ 검사	전 수 검 사	샘 플 링 검 사
검사항목	검사항목이 적고, 간단히 검사되는 것	검사항목이 많거나 검사가 복잡한 것
로트의 크기	로트의 크기가 작을 때	로트의 크기가 클 때(다량품)
불량이 있어서는 안되는 것	適 合	不 適 合
검사비용	많 다	적 다
생산자에 대한 품질 향상 자극의 정도	작 다	크 다

4. 3 샘플링檢査의 種類

샘플링검사는 품질의 판정방법, 검사의 실시방법, 검사횟수 등에 따라서 표 4. 2와 같이 분류한다. 그러나 이들은 대개 조합을 이루어 사용된다.

(1) 計數샘플링檢査와 計量샘플링檢査

검사로서 품질을 판정하는 경우 측정 데이터의 성질, 즉 계량값으로 판정하는 경우와 불량갯수와 결점수와 같은 계수값으로 판정하는 경우가 있다. 즉 샘플링검사는 품질의 표시방법(검사단위의 표시방법)에 따라 다음과 같이

표 4. 2 샘플링검사의 분류

품질의 출정특성별	검사의 실시방식(목적)별	검사의 횟수별
① 計數발취검사 : 불량갯수, 결점수로써 판정하는 샘플링검사	① 規準型 샘플링검사 ② 選別型 샘플링검사	① 1회 샘플링검사 ② 2회 샘플링검사
② 計量발취검사 : 계량값으로 판정하는 발취검사	③ 調整型 샘플링검사 ④ 連續生産型 샘플링검사	③ 多回 샘플링검사 ④ 遂次 샘플링검사

세 가지로 분류할 수 있다.

- 계수샘플링검사 { ① 불량갯수에 의한 계수 샘플링검사
② 결점수에 의한 계수 샘플링검사
계량발취검사 : ③ 품질특성값에 의한 계량샘플링검사

(2) 샘플링檢査의 形態

샘플링검사를 실시함에 있어 검사의 실시방식에 따라 ① 규준형, ② 조정형, ③ 선별형, ④ 연속생산형의 네가지 유형이 있다.
1) 規準型 샘플링檢査(sampling inspection based on operation characteristics)
공급자에 대한 보호와 구매자에 대한 보증의

표 4. 3 계수검사의 특징

	계수샘플링검사	계량샘플링검사
품질을 나타내는 방법	良 · 不良의 2종으로 나누어 나타내거나, 또는 결점수로 나타낸다.	특성값으로 나타낸다.
검 사 방 법	검사에 숙련을 요하지 않는다. 검사에 소요되는 시간이 짧다. 검사기록이 간단하다. 계산이 간단하다.	일반적으로 숙련을 요한다. 검사에 소요되는 시간이 길다. 검사기록이 복잡하다. 계산이 복잡하다.
적용시의 이론상 제약	시료를 샘플링하는 경우에 랜덤성이 보장되면 좋고, 샘플링검사를 적용하는 조건을 일반적으로 쉽게 만족시킨다.	시료를 샘플링하는 경우에 랜덤성이 요구되어, 다시 그 적용범위가 정규분포를 하는 경우 또는 그 밖의 특수한 경우에 제한된다.
로트의 良 · 不良을 바르게 판별하는 능력과 검사수	동등의 판별능력을 얻는 데는 시료의 크기가 크게 된다. 검사갯수가 같은 경우에는 판별능력이 낮게 된다.	동등의 판별능력을 얻는 데는 시료의 크기가 작게 된다. 검사갯수가 같은 경우에는 판별능력이 높게 된다.

정도, 즉 기준을 각각 규정하고 서로의 요구가 모두 만족되도록 짜여진 것이 특징이다. 즉, 좋은 품질의 로트가 불합격될 확률 α (생산자가 위험)을 일정한 값(보통 5%)으로 정하여 공급자를 보호하고, 나쁜 품질의 로트가 합격될 경우 확률 β (소비자가 위험)를 일정한 수치(보통 10%)로 정하여 구매자를 보호한다(그림 4. 1 및 4. 2 참조)

규전형 샘플링검사의 대표적인 것으로는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 계수규전형 1회 샘플링검사(KS A 3102)
- ② 계량규전형 1회 샘플링검사(표준편차를 알 때) (KS A 3103)
- ③ 계량규전형 1회 샘플링검사(표준편차를 모를 때) (KS A 3104)

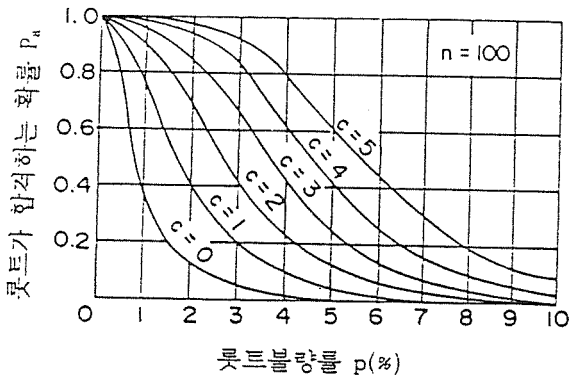


그림 4. 1 시료크기 n이 일정한 샘플링 방식의 OC 곡선

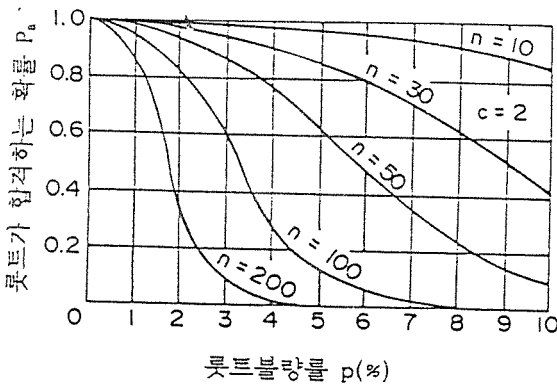


그림 4. 2 합격판정계수 c가 일정한 샘플링 방식의 OC곡선

2) 調整型 샘플링檢査(sampling inspection with adjustment)

구매자가 샘플링검사를 수월하게 하거나 엄격하게 조정하는 것을 특징으로 한다. 일반적으로 합격으로 하고 싶은 바람직한 로트의 품질(合格品質水準, AQL, acceptable quality level)을 정하고, 이 수준보다 좋은 품질의 로트를 제출하는 한 거의 모두 합격시킬 것을 공급자에게 보증한다. 한편, 조정단계로서 구매자는 품질이 좋다고 생각되는 공급자에 대해서

는 유연한 샘플링검사를 하여 공급자의 품질향상을 촉구한다. 따라서 조정형 샘플링검사법은 공급자의 품질향상을 촉구하는데 효과적인 방법이며 KS A 3109 규정되어 있다.

3) 選別型 샘플링檢査(sampling inspection with screening)

어떤 샘플링검사를 하는 경우 그 판정기준에 따라서 판정을 한 결과, 시료의 불량갯수가 합격판정갯수 이하인 로트는 합격시키고, 그 반대인 경우 그 로트는 전수 선별을 행하는 검사이다. 즉, 샘플링검사에 의해서 합격으로 판정된 로트에 대하여 전수검사를 행하지 않고 불량품을 제거하는 것을 특징으로 한다. 이 방식은 공급자를 선택하지 않는 받아들이기 검사와 공정검사 및 출하검사 등에 적용된다. 대표적인 계수선별형 1회 샘플링검사에 대해서는 KS A 3105에 규정되어 있다.

4) 連續生産型 샘플링檢査(sampling inspection for continuous production)

이미 구성된 로트를 대상으로 하는 것이 아니고, 연속생산 시스템에서 제품이 연속적으로 생산되는 상태에서 적용하는 것을 특징으로 한다. 예를 들어, 처음에는 1개씩 검사하여 합격품이 일정갯수 계속되면 일정갯수씩 묶어서 검사하고, 만일 불량품이 나오면 다시 1개씩 검사하는 방식이다. 대표적인 계수연속생산형 샘플링검사에 대해서는 KS A 3106에 규정되어 있다.

(3) 샘플링檢査의 形式

로트의 합격·불합격을 판정하는데 시료를 몇 번 뽑는가 하는 샘플링횟수에 의해 샘플링검사의 형식은 다음과 같이 분류할 수 있다.

1) 1회 샘플링검사(single sampling inspection)

단 1회의 시료를 조사한 결과에 따라 로트의 합격·불합격을 결정하는 방식이다.

2) 2회 샘플링검사(double sampling inspection)

1회 검사에는 합격·불합격이 확실한 경우에만 판정을 내리고, 그 중간결과를 나타낼 경

우에 제2회째 시료의 결과를 추가하여 합격·불합격을 결정하는 방식이다.

3) 多回 샘플링검사(multiple sampling inspection)

2회 샘플링검사의 형식을 확장한 것으로 매번 정해진 크기의 시료를 뽑아내어 각 회의 시료를 조사한 결과를 일정한 기준과 비교함으로써 합격·불합격의 세가지로 분류하면서 어느 일정횟수까지 누적시켜 합격·불합격을 판정하는 방식이다.

4) 逐次 샘플링檢査(sequential sampling inspection)

하나씩 또는 일정갯수씩 시료를 뽑아 검사하면서 누적성적을 그때마다 판정기준과 비교하여 로트의 합격·불합격·불확정으로 분류해가는 방식이다. 즉, 다회샘플링검사는 판정기준으로써 판정갯수를 설정하는데 비해 수차샘플링검사는 판정영역을 설정하여 로트의 합격·불합격을 판정하며, 이들 영역에 속하지 않을 때는 판정기준에 맞을 때까지 계속 검사하는 방법이다.

(4) 샘플링檢査의 類型選擇

여러가지 샘플링검사방법에는 서로 장·단점이 있으므로 이들을 고려하여 적합한 샘플링검사법을 선정해야 한다. 즉, 샘플링검사방법을 선택할 때는 각종 샘플링검사법의 조건이나 특징을 알고 검사목적이나 성질 등에 적합한 것을 선택해야 한다.

이를 위해서 샘플링검사는 다음 순서로 행하는 것이 좋다.

- ① 샘플링검사의 형태, 즉 검사의 실시방식을 정한다.
- ② 품질의 판정방법(결점수, 불량갯수, 품질특성값)을 정한다.
- ③ 샘플링검사의 형식을 정한다.
- ④ 이 밖에 OC(operating characteristics) 곡선, AQL(합격품질수준), LTPD(로트의 허용불량률), 관리점, 시료의 크기 등을 고려하여 그 목적에 알맞는 샘플링검사방식을 결정한다.

4. 4 計量規準型 샘플링檢査

(1) 標準偏差가 既知인 경우(KS A 3103)

콘크리트의 강도 등과 같이 하한규격값 S_L 이 주어져 있고 불량률을 보증하는 검사방식으로서, 표준편차를 알고 있는 경우에 적용된다. 그림 4. 3에 나타난 바와 같이, 하한규격값 S_L 이 주어져 있고 평균값이 m_0 이상, 불량률 p_0 이하의 로트는 “양호한 로트”로 하여 합격시키고, 평균값이 m_1 이하, 불량률 p_1 이상의 로트는 “나쁜 로트”로 하여 받아들여지지 않는 경우, 생산자위험 α , 소비자위험 β 로 샘플링검사를 한다. 이 경우 로트에서 취한 크기 n 개의 샘플의 시험값의 평균값 $\bar{x} = (1/n)\sum x_i$ 가 합격판정값 X_L 에 대하여 $\bar{x} > X_L$ 이면 불합격으로 판정한다. 여기서, n 및 X_L 을 정하여 두면 편리하다.

그림 4. 2에서,

$$\left. \begin{aligned} S_L &= m_0 - K_{p_0}\sigma \\ S_L &= m_1 - K_{p_1}\sigma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4. 1)$$

$$\left. \begin{aligned} X_L &= m_0 - K_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ X_L &= m_1 - K_\beta \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4. 2)$$

식 (4. 1)과 (4. 2)에서 m_0, m_1 을 소거시키면,

$$\left. \begin{aligned} S_L - X_L &= -\left(K_{p_0} - \frac{K_\alpha}{\sqrt{n}}\right)\sigma \\ S_L - X_L &= -\left(K_{p_1} - \frac{K_\beta}{\sqrt{n}}\right)\sigma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4. 3)$$

여기서, $K_{p_0} - \frac{K_\alpha}{\sqrt{n}} = K_{p_1} - \frac{K_\beta}{\sqrt{n}}$ 로 놓으면

$$n = \left(\frac{K_\alpha + K_\beta}{K_{p_0} - K_{p_1}}\right) \dots\dots\dots (4. 4)$$

$$k = \left(\frac{K_{p_0}K_\beta + K_{p_1}K_\alpha}{K_\alpha + K_\beta}\right) \dots\dots\dots (4. 5)$$

여기서, $X_L - S_L = \left(K_{p_0} - \frac{K_\alpha}{\sqrt{n}}\right)\sigma = k\sigma$

$$\dots\dots\dots (4. 6)$$

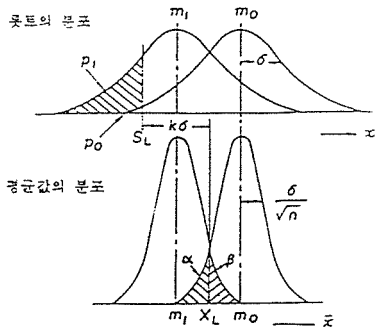


그림 4.3 σ 가 기지이고 하한규격값 S_L 이 주어진 경우

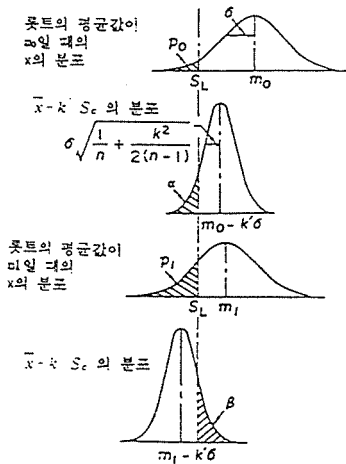


그림 4.4 δ 가 기지이고 하한규격값 S_L 이 주어진 경우

즉, $X_L = S_L + k\sigma$ (4.7)

여기서, Kp_0 , Kp_1 , $K\alpha$, $K\beta$ 는 각각 표준정규분포의 편측확률이 P_0 , P_1 , α , β 의 점(정규편차)으로 표 2.4에 나타낸 것이다. σ 를 알고 있다고 생각해서 좋은 것은 이미 10~20로트에 대하여 σ 의 값이 추정할 수 있을 정도로 안정해 있는 경우에 각 로트의 불편분산의 평균값의 평방근을 σ 의 값으로 하여 이용해도 좋다.

(2) 標準偏差가 未知인 경우(KS A 3104)

표준편차를 모르는 경우 (1)의 σ 대신에 불편분산의 평방근 $S_e = \sqrt{V} = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$

을 이용하여 $\bar{x} \geq X_L = S_L + K'S_e$ 이면 불합격으로 판정한다.

불편분산 S_e 는 $n > 5$ 일 때 보통 정규분포 $N\{\sigma, \sigma^2/2(n-1)\}$ 에 따르고, 또한 \bar{x} 와 S_e 는 독립이기 때문에 $\bar{x} - k'S_e$ 는 그림 4.4에 나타낸 바와 같이 정규분포 $N\left\{m - k'\sigma, \frac{\sigma^2}{n} + \frac{k^2\sigma^2}{2(n-1)}\right\}$ 에 따른다. 그림 4.4에 나타낸 것과 같이 불량률 p_0 이하, 평균값 m_0 이상의 “양호한 로트”는 받아들여지고, 불량률 p_1 이상, 평균값 m_1 이하의 “나쁜 로트”는 받아들여지지 않는 것으로 하여 검사방식을 구한다.

그림 4.4에서

$$\left. \begin{aligned} S_L &= m_0 - k'\sigma - K\alpha\sigma\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}} \\ S_L &= m_1 - k'\sigma - K\beta\sigma\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}} \end{aligned} \right\} \dots (4.8)$$

식 4.8의 두 식으로부터

$$\frac{m_0 - S_L}{\sigma} = Kp_0 = k' + K\alpha\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}} \quad (4.9)$$

$$\frac{m_0 - S_L}{\sigma} = Kp_1 = k' + K\beta\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}}$$

식 (4.9)의 두 식으로부터

$$\frac{Kp_0 - k'}{K\alpha} = \frac{-(Kp_1 - k')}{K\beta} = \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}} \quad (4.10)$$

따라서 $k' = \frac{Kp_0K\beta + Kp_1K\alpha}{K\alpha + K\beta} = k$ (4.11)

k' 는 표준편차를 알고 있으면 k 와 일치한다. 위의 식들에서 $n-1 \approx n$, $k' = k$ 로 하면

$$n = \left(1 + \frac{k^2}{2}\right) \left(\frac{K\alpha + K\beta}{Kp_0 + Kp_1}\right)^2 \quad (4.12)$$

즉, 채용해야 할 시료의 크기 n 은 표준편차를 알고 있는 경우보다 $(1 + k^2/2)$ 배로 증가한다.