

# 不確實性 要因들이 鋪裝工事 支給額 決定에 미치는 影響

## Effect of Various Uncertainties on Contractor Payment in Pavement Construction

李奉鶴\* · 金光宇\*\*

Lee, Bong Hak · Kim, Kwang Woo

### Abstract

The objective of the study is to evaluate the effect of variabilities (uncertainties) in materials and testing on contractor payment and to suggest a base for adjusting the unsuitable specification. Most commonly used acceptance plans were used to estimate payment using simulation. Simulation results that were graphically illustrated by means of operating characteristics (OC) curves in terms of expected payment showed that contractor received a reduced payment due to intrinsic sampling and test variabilities. The most significant reduction was caused due to relatively large magnitude of the testing variability. Therefore, the tolerance range in acceptance plan should be revised as compared with typical testing variability.

### 요 지

아스팔트 포장공사의 판정에 있어 품목집단 특성치의 측정시 工程平均이 규정에 합당해도 標本 선정이나 측정상의 固有分散値가 규정한계를 벗어나기도 한다. 그러나 많은 규정들이 이러한 점을看過하고 있어 충실한 시공자라도 고유의 不確實性 때문에 불이익을 당한다. 따라서 본 연구는 이러한 점에 착안하여 선정된 판정기준에 의하여 시뮬레이션으로 얻은 품목집단의 특성치를 검정하고 이때 재료와 측정상의 不確實性이 지급비율 결정에 미치는 영향을 분석하였다. 각 추정치를 檢査特性曲線으로도 시한 결과 재료 및 측정이 지급비에 영향을 주며 특히 고유측정오차가 그 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 각 기관의 지급 규정은 측정시 불확실성의 고유치로 인한 시공자의 불이익을 고려하여 제정 및 정비되어야 할 것으로 사료된다.

**Key Words:** 아스팔트, 포장, 판정기준, 공정평균, 지급비율, 품목집단, 검사특성곡선, 아스팔트 함량, 밀도, 불확실성

### 1. 緒 論

아스팔트 鋪裝의 早期破壞는 설계상의 잘못이 원인이기도 하지만, 많은 경우 不實工事가 그 원인으로 판명되고 있다. 아스팔트포장 콘크리트의 품질점검

\* 정희원 · 강원대학교 토목공학과 부교수  
\*\* 정희원 · 강원대학교 농공학과 조교수

은 品目集團(Lot)의 표본측정결과에 근거하여 이루어진다. 工事發注處의 품질규정에는 재료의 특정성질에 대한 합격 許容限界(Tolerance Limit)가 명시되어 있다. Lot에 대한 검사결과가 이 限界 이내이면 기성공사에 대해 계약금 全額이 支拂되며, 아니면 不合格(棄却)판정이 내려진다. 그러나 국내의 경우 도로공사<sup>18)</sup> 등 대부분 공공기관에서 품질검사에 불합격된 포장구간에 대한 현실적인 조치를 규정에 명시하고 있지 않다. 이것은 기관판정은 再工事 要求라는 것을 규정에서 暗示하고 있는 것이다. 하지만 현실적으로는 再工事 요구에 문제가 많다. 왜냐하면 재 공사는 시공자측에 상당한 금전적 타격을 주며 공사주에게는 시간적 隘路가 따르기 때문이다. 따라서 이것은 형식적인 규정이 되기 쉽고 또한 부작용을 일으킬 所持가 늘 뒤따른다.

외국의 경우를 보면 이 경우 공사주측이 시공자에게 허용한계에 대한 만족도에 따라 削減된 비용을 지급한다.<sup>9,12,15)</sup> 이 방법은 현실과 이상의 절충안으로써 시공자와 공사주의 입장을 적절히 절충하여 서로가 극단적인 요구나 피해를 줄일 수 있도록 한 것이다. 그들은 不實工事を 하였을 때 시공자는 그에 相應하는 罰則을 받는다는 根本哲學을 규정에 명시하고 있음을 알 수 있다. 그리고 그들은 이 방식이 品質管理를 위하여 보다 현실적인 방법이며 시공자들에게 효과적으로 品質管理에 대한 노력을 증진시키고 있다고 보고 있다. 따라서 국내에서도 이와같은 규정을 적용하여 鋪裝工事的 品質관리에 활성화를 이루는 계기를 마련해야 할 실정이다.

이러한 규정들 중에는 품목집단에 대한 어떤 특정성질의 값이 건설도와 관계없이 허용한계를 벗어나 그로 인하여 금액을 削減당하도록 되어 있는 것도 있다. 그러므로 발주처의 특정 품질에 대한 허용한계는 이러한 영향이 충분히 고려되어야 한다. 그러나 많은 규정들이 이러한 점을 看過하고 있어 시공자가 공사를 충실히 수행하여도 근본적인 不確實性으로 인하여 불이익을 당하게 된다.<sup>5,7)</sup> 이 점에 착안하여 이 분야에 대한 연구가 미국의 주 교통국 등<sup>3,16)</sup>을 통하여 수행되었으며 Transportation Research Record(TRR)<sup>10,11)</sup>와 Association of Asphalt Paving Technologist(AAPT) Proceedings<sup>1,5,6)</sup> 등에 발표되었다.

따라서 본 연구의 목적은 국내에서 절실히 요구

되고 있는 품질관리규정을 제정, 사용함에 있어서 제시될 문제점 들을 보완하기 위하여 주요 불확실성 요인이 지급비를 결정에 미치는 영향을 분석·고찰하여 보다 현실적인 品質관리 방안을 제시하고자 하는 것이다. 국내에서의 해당자료의 불충분으로 본 연구에 사용된 규정은 모두 외국의 것이며, 품질특성으로는 아스팔트 콘크리트의 空氣量(Air Voids)과 아스팔트 含量(Asphalt Content)으로 한정하였다.

## 2. 아스팔트 鋪裝의 品質管理

### 2.1 아스팔트 鋪裝品質의 不確實性

아스팔트 콘크리트포장의 品目集團의 分散要因중 가장 심각한 것은 材料의 不均質(Material Variability), 측정상의 偏差(Testing Variability), 標本選定상의 문제점(Sampling Variability) 등 인 것으로 알려져 있으며 그것들은 품질에 대한 전반적인 不確實性(Uncertainty)의 주요인이 된다. 이들 각 요인이 각 성질의 分散에 미치는 비중을 표 1에서 보여주고 있다.<sup>6)</sup>

ASTM에 의하면 측정치의 精度를 나타내는데는 Single-Operator-Precisior(SOP)과 Multi-laboratory Precision(MLP)이 있다.<sup>2)</sup> SOP 값은 비교적 짧은 기간동안에 같은 실험실에서 동일한 기구로 동일한 재료를 한 실험자가 시험하였을 때 시험결과치 집단의 다양성(불일치)을 量的으로 추정하는 값이다. MLP도 역시 시험결과치 집단의 다양성을 量的으로 추정하는 값이다. 그러나 이 경우 각 시험은 동일 재료에 대해 다른 실험실에서 시행한다. 정상적인 상황하에서 추정된 MPL의 표준편차는 SOP 표준편차보다 크다. 왜냐하면 같은 시험이라도 환경이 같을 수 없는 他 실험실에서 다른 기구를 사용하여 하기 때문이다.

표 1. Components of Variance(Pooled Data).<sup>6)</sup>

Source of Variation	Percentage of Total Variance		
	Material	Sampling	Testing
AC	23	11	66
Bulk S.G.	59	13	28
Air Voids	46	19	35

AC = asphalt Content

또한 실험실 시험의 경우 대부분의 시험은 유능한 시험자에 의하여 능숙한 기술로 잘 정비된 실험기구를 가지고 수행된다. 사용 재료도 반복시험이 가능한 한 차이가 없도록 주의를 기울일 것이다. 그러나 현장의 품질관리 판정시험에서는 여건상 그렇게 측정이 이루어 지지는 못하므로 불확실성 요인이 더 크다. 그러므로 본 연구에서는 실험실 시험에 해당하는 SOP와 MLP 표준편차 그리고 현장시험에 대한 ASTM C670<sup>(2)</sup>의 두배 표준편차 한계(D2S) 허용오차 산정계수인  $2\sqrt{2}=2.82$ 를 고려하여 SOP와 MLP의 2배값을 산정하여 현장 여건에 해당하는 시험편차의 추정치로 사용하였다.

## 2.2 合格判定基準의 種類

서구의 주요 도로관리기구들이 사용하는 대표적 규정은 크게 평균값에 근거한 것과 최대값에 대한 비율 그리고 허용한계 내(Percent within Limit : PWL)값에 근거한 것으로 나눌 수 있다. 평균값에 근거한 규정<sup>(4,15,16)</sup>은 대부분 아스팔트 함량, 골재의 입도 등을 검사하며 현장배합비(Job-Mix Formular : JMF)와 이값들의 평균이나 범위의 차이를 점검한다. 최대값에 대한 비율은 다짐밀도를 검사대상으로 하고 있고, PWL<sup>(3,9,13)</sup> 규정들은 공극비와 아스팔트 함량등을 측정대상으로 하고 있다. 본연구에서는 이 3가지 방식의 규정중 도로포장과 활주로 포장에 적용되는 두 가지 규정을 선정하여 고찰하였다.

### 2.2.1 평균치 規定

이 규정의 대표적인 것으로서 한국과 기후조건이 비슷한 뉴저지주 규정<sup>(12)</sup>이 이 방식을 채택하고 있으므로 이를 고찰하였다. 아스팔트 콘크리트의 특성치중 JMF의 요구조건에 아스팔트 함량과 範圍를 포함하며 그 내용은 다음과 같다.

表層에 사용한 아스팔트 콘크리트는 대략 1,000톤 정도의 양으로 하나의 品目集團을 형성한다. 5개의 無作爲 표본이 각 品目集團으로부터 선정되어 필요한 요구조건과 일치하는지 여부를 가리게 된다. 品目集團의 크기가 1,000톤 이하일 경우에는, 대략 200톤당 한 개의 표본과 나머지로 부터 하나의 표본을 취한다. 品目集團을 아스팔트 함량으로 판정할 경우 두 가지 요인에 근거하여 결정한다. JMF와 品目集團 사이의 평균편차와 5개의 표본값들의 범위(Range)가

표 2. Asphalt Content Tolerance Limit from JMF<sup>(12)</sup>

Criterion	Number of Sample per Lot			
	2	3	4	5
Average Deviation	0.7	0.6	0.5	0.45
Range	-	-	-	1.50

표 3. Payment Reduction Factor due to Nonconformance to JMF and Range<sup>(12)</sup>

Deviation of Lot Avg. from Limit in Table 4.(%)	Dev. of Range of 5-sample beyond Limit in Table 4.(%)	Reduction per Lot (%)
-	> 0(Greater Than Range)	5
1 to 50		2
50 to 100		5
> 100		10

그것이다. 평균편차와 범위에 대한 허용치는 표 2에 나타나 있다. 소요 아스팔트 함량에 相應하지 않는 데 기인하는 지급계수는 표 3에서 보여주고 있는 기준에 근거하여 계산된다. 각 항에 근거한 지급액 감소는 최종금액결정계산에 累積 사용된다.

### 2.2.2 許容限界 內(PWL)값의 比率 規定

美國 聯邦航空管理局(Federal Aviation Administration : FAA)東部地域 규정 P-401에 따르면, 표층 포장의 공사비 지불은 현장공극비의 PWL에 근거하고 있다. 이 규정에서는 모든 공극을 混合場(Plant)에서 생산된 다져지지 않은 아스팔트 혼합물에 대한 理論最大比重으로부터 계산토록 하고 있다. 이 이론최대 비중은 ASTM D2041<sup>(2)</sup>에 의하여 구할 수 있다.

FAA의 포장에 타설된 아스팔트 콘크리트의 空隙 측정을 위한 재료는 品目集團 단위로 선정, 검사된다. 품목집단은 다음과 같이 구성된다.

- ① 일일 생산량으로 2,000톤을 넘지 않는 량 또는
  - ② 일일 생산량이 2,000 내지 4,000톤으로 추정되는 경우에 일일 생산량의 반에 해당되는 량
  - ③ 4,000톤이 넘을 경우 위와 유사한 단위량.
- 각 品目集團은 동일량의 4 개의 附 品目集團(Sub-

lot)으로 나뉜다. 각 부 品目集團으로부터 無作為로 하나의 코어를 채취하여 空隙比를 측정한다. 타설된 재료에 대한 공극비의 상한선은 7%이며 하한선은 1%로 하였다. 각 품목집단은 규정상의 허용한계 내 (PWL)에 드는 재료의 비율로 평가되었다. 이 규정에서 만일 PWL 값이 50% 이상이 되면 그 品目集團에 대한 지급액은 다음 식으로 결정토록 하고 있다.

$$PF(\%) = 106 - 0.0224(100 - PWL)^2 \quad (1)$$

여기서 PF는 지불계수(Pay Factor)를 나타낸다. 위 식에 의하면 PWL 값이 83.6% 이상이면 100%의 지급을 받게됨을 알 수 있다. 만일  $PWL \leq 50\%$ 이면 계약단가의 50%로 공사비를 지급받게 된다. 또한 식 1의 PF가 100% 이상이 되면 그 초과비율은 차후 또는 이전의 삭감금액에 대한 補償에 사용될 수 있다. 하지만 어떠한 경우라도 지급액의 총액은 입찰계약단가로 계산한 총 공사금액을 초과할 수는 없도록 규정하고 있다.

### 2.3. 판정기준의 문제점

어떤 재료특성치의 실제값은 결코 구할 수 없으므로 그 실제값에 대한 최상의 추정치는 무작위 표본에 대한 평균값이다. 측정된 표본의 분산은 모집단 분산의 최상의 추정치이다. 측정된값의 구간 내에 실제값이 들어올 확률을 결정하면 평균과 분산의 제곱근인 표준편차를 이용하여 信賴限界를 추정할 수 있다. 종종 규정상 문제점의 원인은 규정 제작자가 이 信賴限界를 확실한 근거에 의하여 정하지 못한다는 사실이다. Dunning<sup>5)</sup>에 의하면 만일 어떤 규정의 한계가 통계적 근거로 옳아도 그 규정 제작자가 나름대로 그 한계가 너무 크다고 느끼면 규정상의 한계를 줄이기도 한다고 지적하였다. 그는 Fromm<sup>6)</sup>의 연구를 빌어 재료 특성치 측정시 얻어지는 분산의 60~70%는 표본추출과 측정시험과정에서 기인한다는 것을 보여주었다. 그러므로 공사품질관리 규정은 재료는 물론 표본선정과 측정상오차가 가져올 불가피한 변동요인들을 통계적 근거에 의하여 충분히 고려하여야 한다. 어떤 규정에서 허용치가 표본추출과 측정상 내재해있는 변위보다 작게 되어 있다면 시공자는 그 규정에 들기 위하여 陰數의

分散을 가지는 품질을 생산하여야 한다는 불가능한 경우에 직면하게된다. 따라서 본 연구는 이와같은 문제점들이 위의 두 규정에 존재하는지를 파악하기 위하여 현장여건과 실험실 여건에 합당한 분산치들을 이용하여 시공자가 받게될 공사비 지급 비율을 조사하였다.

## 3. 지급판정 프로그램 개발

재료 및 표본추출 과정과 검사에 있어서의 불일치 (Variability)가 공사비 지급액에 미치는 영향을 평가하기 위한 질적 특성치를 생성하여 앞서 언급한 규정에 따라 지급액을 결정하는 Simulation Program을 Fortran Language로 사용하여 개발하였다. 대부분의 합격판정기준들에 있어서 공통적인 基本假定은 “표본이 추출된 모집단(품목집단)의 값은 정규분포를 따른다”는 것이다. 많은 건설공사에서의 특성치들이 정규분포를 따른다고 알려져 있다.<sup>16)</sup>

### 3.1 입력 변수(Input Variable)

#### 3.1.1 품목집단 당 표본수(NLOT)

어떤 품질에 대한 시험결과는 항시 같은 것이 아니므로, 몇 번에 걸친 시험의 평균값이 주어진 품목집단의 품질 추정치로 사용되고 있다. 표본수를 몇개로 하느냐가 판정에 관련된 위험부담에 큰 영향을 미치며 결과적으로 품질관리의 전반적인 효율에 큰 영향을 미친다.<sup>16)</sup> 대부분의 경우 판정시험시의 표본수를 품목집단당 4 내지 5개로 규정하고 있다. 그러나 실제적으로는 판정시험에 있어서 품목집단의 크기가 정보보다 작을 때는 그보다 더 작은 표본수를 시험하는 것도 허용된다. 그러나 본 연구에서는 정상 크기의 품목집단에 대한 표본수만이 입력값으로 사용되었다.

#### 3.1.2 표준편차

본 연구에서 사용된 2가지 주요 변동요인은 측정오차와 재료의 불균질이다. 아스팔트 함량에 대한 전형적인 전체적 분산값은 1980년 펜실베니아 교통국<sup>3)</sup>의 결과를 이용하였다. 이들 분산은 3가지 분산요소로 나누어졌다. 그것은 측정오차, 표본오차, 재료불균질이며 표 1에 나타나 있다. 재료에 대한 오차로써 아스팔트 함량과 비중에 대한 표준편차는

ASTM<sup>(2)</sup>의 오차한계에서 얻어졌다. 밀도에 대한 시험치의 표준편차는 Troxler 3400 방사능 밀도측정기<sup>(8)</sup>에 명시된 오차한계로부터 얻어졌다. 이 값들을 정리하여 표4에서 시뮬레이션에 입력값으로 사용된 표준편차를 보여주고 있다.

### 3.1.3 허용한계(Tolerance Limit)

어떤재료의 성질에 대한 허용한계규정은 각각의 합격판정기준에 따라 다르다. 평균위 차이 또는 최대값의 비에 근거를 두고 있는 규정들에서는 허용한계값으로부터 100% 지급액에 대한 한계를 정하고 있다. 본 연구에 사용된 아스팔트 함량에 대한 허용한계 규정이 표 2에 있다. PWL 방법에서 허용한계는 PWL 값이 추정된 품질기준값을 계산하는데 사용된다.

### 3.1.4 工程平均의 目標값

시공자는 工程平均(Process Average)을 조정하여 포장공사가 합격될 확률을 높일 수 있다. 工程平均을 시공자의 목표값으로 입력값을 현장배합비값과 같이 놓고 기대지급액에 대한 검사특성곡선(Operating Characteristics (OC) Curve)을 아스팔트 함량규정의

경우와 또 PWL 규정의 경우에 대하여 도시할 수 있다. 그리고, 工程平均값을 JMF로부터 漸進적으로 차이를 주며 변화 시켜주므로서 각 예시된 규정에 대한 OC 곡선을 그려 여러가지 공정평균 목표값에 따른 지급액을 추정할 수 있다.

### 3.2 品目集團(Lot)의 Simulation

프로그램상에서 한 품목집단에 사용될 표본값을 생성하고 품목집단의 평균과 분산을 계산하기 위하여 부 프로그램 SMLOT가 만들어졌다(그림 1). 입력변수들은 표본수, 현장배합비, 공정평균 목표값(EX), 측정오차에 基因한 표준편차(ST) 그리고 재료의 특성에 기인한 표준편차(SM)들이다. 정규분포 난수가 부 프로그램 NORMAL로부터 생성되었다.

Box와 Muller의 Monte Carlo 방법에 의하여 NORMAL로부터 매회  $N(0, 1)$ 분포를 가지는 두 亂數가 생성되었다.<sup>(14)</sup> 그 중 첫번째 것을 목표값을 평균으로 하고 재료 고유특성에 기인하는 분산을 가지는 정규분포를 따르는 변수 R1으로 변환시켰다. 그리고 두번째 것은 이 R1을 평균으로, ST를 표준

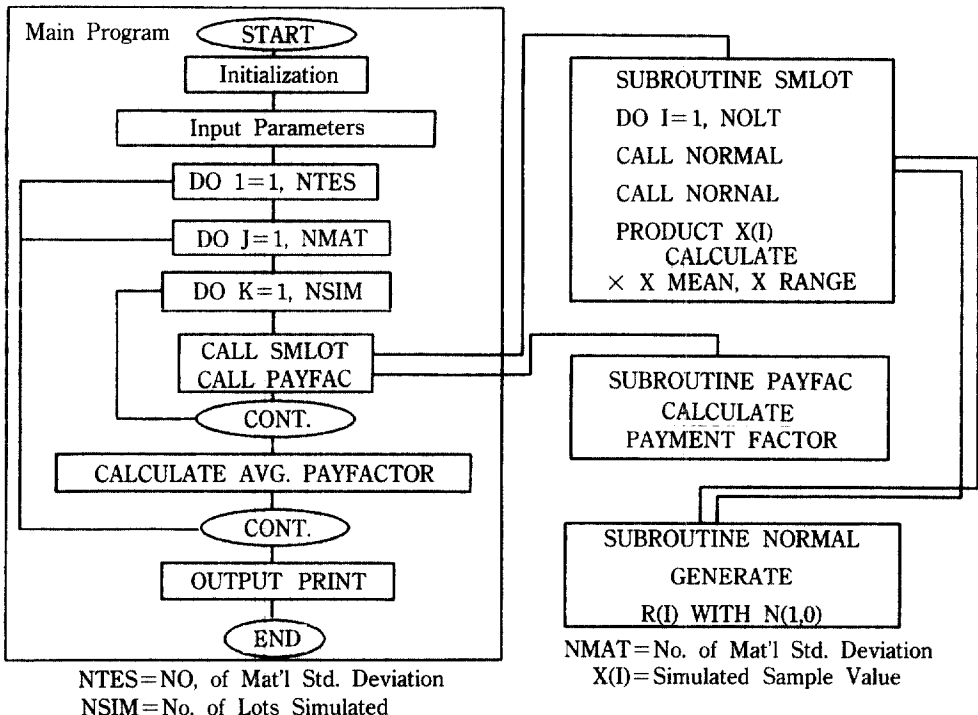


그림 1. Flow Chart of the Simulation Algorithm for Asphalt Content Spec.

편차로 하여 그 표본에 대한 측정값을 생성하는데 사용되었다. 이러한 과정이 주어진 품목집단에 대하여 필요한 표본수 만큼 반복되었고, 그 품목집단에 대한 평균과 분산이 계산되었다. 이 Simulation 분석에 있어서 각각의 EX, ST, SM 조합에 대하여 1,000 품목집단씩이 생성되었다. 이 1,000개 값의 평균과 분산이 주어진 공정치에 대한 특성치로 사용되었다.

### 3.3 PWL 의 추정

품질기준(Quality Index)을 이용하는 방법을 사용하여 한 품목집단에 대한 PWL 값을 추정하기 위하여 부 프로그램 PWLEST이 개발되었다(그림 2). 상한과 하한 품질기준은 허용한계의 상, 하한값을

정규화(Standardized)한 형태이다. 품질기준은 다음과 같은 식으로 계산되었다.

$$QUL = (ULIM - XBAR) / STD \quad (2)$$

$$QLL = (XBAR - LLIM) / STD \quad (3)$$

여기서, QUL=품질 上限값, QLL=품질 下限값, ULIM=허용한계 上限치, LLIM=허용한계 下限치, XBAR=품목집단 평균, STD=품목집단 표준편차이다.

PWL 값을 算定하기 위한 품질 기준치 값의 일부를 표 5에서 보여주고 있다. 보다 상세한 값은 문헌 17에 주어져 있다.

### 3.4 검사특성 곡선(OC Curves)

예시된 각 규정에 대한 시뮬레이션 프로그램으로부터 얻어진 Data에 의해 결정된 기대 지급액을 OC 곡선으로 圖示하였다. 각 곡선은 측정 오차에 기인하는 특정표준편차를 따르는 것이다. 각 목표값에 대하여 측정에 의한 표준편차를 변화 시켜가며 一團의 곡선군을 그렸다. Data Points를 回歸分析하여 곡선에 맞추었다.

## 4. Simulation 수행

본 절에서는 개발된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 가장 보편적인 아스팔트 함량규정과 공급비 규정에 의한 지불금액 관정의 예를 보여준다.

### 4.1 평균치 기준 규정

앞서 언급한 뉴지주주의 규정<sup>(12)</sup>에 근거한 판정 결과를 본 절에서 보여준다. 본 연구의 목적상 지불계수는 아스팔트 함량 요구조건에 일치여부에 의하여 판 결정되는 것으로 가정한다.

표본을 생성하여 각 품목집단에서 얻어진 아스팔트 함량의 평균과 범위를 계산하고 그로부터 지불계수를 결정하는 프로그램의 Flow Chart를 그림 1에서 보여주었다. 생성된 표본들을 저장하여 첫 두 변수를 XSMALL과 XLARGE로 지정하였다. 다음의 각 변수를 XSMALL과 XLARGE와 비교하여 최소값과 최대값을 결정하였다. 이 최대와 최소의 차이를 범위로 하였다. 만일, 이 범위가 범위한계치 이상이

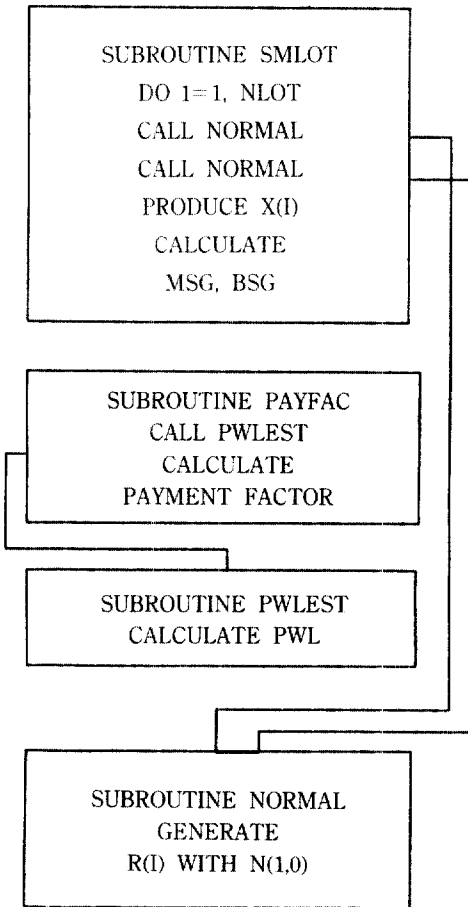


그림 2. Flow Chart of the Subroutine Algorithm for Air Void Spec.

되면 해당 품목집단에 대한 지급액은 5% 삭감된다. JMF와 품목집단과의 평균편차에 기인하는 지급계수도 결정된다. 그래서, 이 두 가지중 삭감비율이 큰것에 의하여 해당 품목집단의 공사비가 지급된다. 이에 대한 규정을 표 3에서 보여주고 있다. JMF의 아스팔트함량은 7%로 가정하였고 공정평균은 목표값(Target Value)으로 나타 내었다. 목표값 7.0~7.4%와 JMF와의 차이에 의한 지급액 변화를 시물레이션을 통해 검토하였다.

#### 4.2 許容限界内 값의 比率(PWL) 規定

이 규정의 대표적인 예로 미국 연방항공국 규정<sup>(9)</sup>을 이용하여 공극비를 이용한 지불계수의 변화를 고찰하였다. 표본생성 부 프로그램 SMLOT(그림 2)로부터 얻어진 최대비중과 겉보기 비중을 이용하여 공극비를 계산 하였다. 부 프로그램 NORMAL이 생성한 두개의 난수중 첫번째 것은 최대비중, 두번째 것은 겉보기 비중 Simulation 용으로 사용되었다. 그리고 공극비는 다음식으로 계산되었다.

$$AV = (1 - BSG / MSG) \times 100 \quad (4)$$

여기서, AV=공극비(%), BSG=겉보기 비중, MSG=최대비중이다. 공극비의 허용한계내의 값(PWL)은 식 2,3에 근거한 부 프로그램 PWLEST를 이용하여 구해졌다. 그리고 각 품목집단에 대한 지불계수는  $PWL \leq 50\%$ 일 경우 식 1로부터 구해졌다.

일반적으로 공사에서 공극은 부실한 단점으로 인하여 상한선을 넘는경우가 대부분이다. 따라서 상기의 과정을 이룬최대비중을 2.4로 하고, 공극의 허용한계 범위에서 중상위 값인 4~7% 공극비를 공정평균의 목표값으로 하여 반복시행하여 지급액의 변화를 검토하였다.

### 5. 結果 分析 및 考察

아스팔트 함량규정에서 목표값 7.0~7.4% 와 JMF(7%)와의 差에 의한 지급액 변화를 나타내는 OC 곡선을 그림 3 a, b, c, d에서 보여주고 있다. JMF와 목표값의 차이에 기인한 삭감은 목표값이 7.2%까지는 그리 크지 않았다. 그러나, 재료의 불확실성이 증가함에 따라 삭감이 증가하였고, 측정오차에 의한 상대적 영향은 현저하였다.

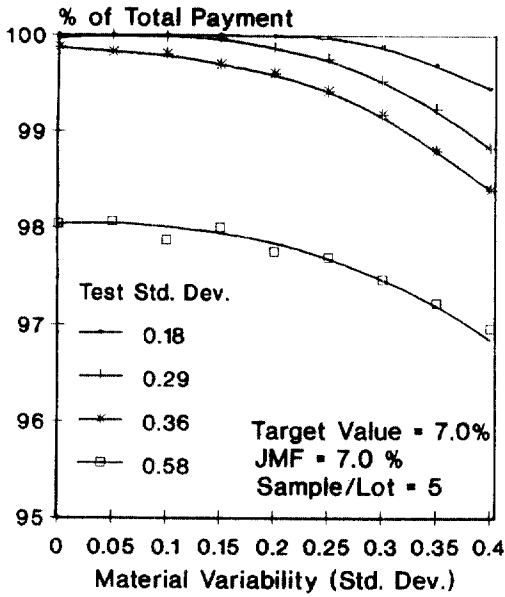
그림 3b에서 공정평균과 현장배합비의 차이(Target value - JMF=0.2)가 허용한계(표 4의 0.45)의 50% 미만임에도 측정편차가 크면 지급액이 98% 미만(삭감율 2% 이상)으로 됨을 알 수 있다. 이 경우 표 3에서의 삭감율은 2%이다. 따라서 아스팔트 함량의 현장배합비와의 불일치에 의한 지급액 조정량은 실제로는 규정보다 더 큼을 알 수 있었다. 더구나 만일 다른 특성에 의한 지급액 조정이 이루어 진다면 누적 삭감되므로 삭감액은 더욱 클 것이다.

공기량 규정의 경우, 시물레이션 결과(그림 4a, b, c, d) 재료의 불균질과 측정 편차에 따라 지불계수가 영향을 받았으나 목표값이 5% 이하이면 거의 모든 품목집단은 지불계수가 100% 이상이 된다는 것을 알 수 있었다. 단, 측정상의 표준편차 값이 MLP의 두배 이상인 경우는 나머지 보다 낮은 지급비 경향을 보였으나 그것도 목표공극이 6% 미만에서는 대부분 100%를 넘었다. 하지만 목표값이 허용 상한선 이내인 6~7%일 때(그림 4c, d), 많은 품목집단은 계약액보다 낮은 금액을 지급받게 되었다. 즉, 공정평균(목표값) 4%, 5%(그림 4a, b에서 Target AV)에서는 측정상 오차와 재료의 불일치에 기인한 변이의 증가에도 지불계수가 거의 100% 이상이나, 공정평균이 6, 7%로써 상한선인 7% 이내임에도 불구하고 지불계수가 크게 삭감 되었음을 알 수 있다.

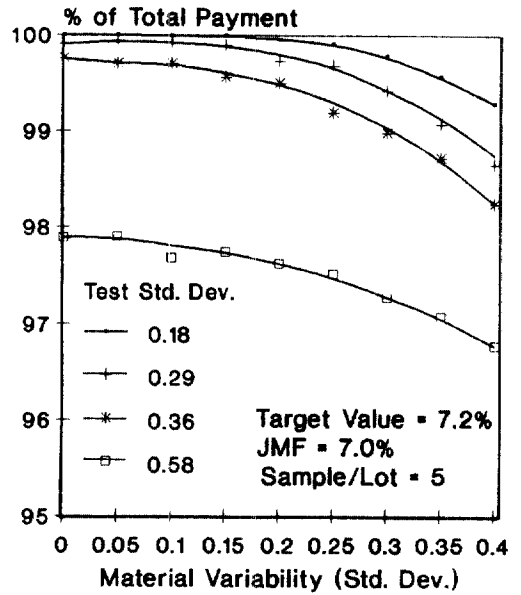
따라서 시물레이션을 이용한 예를 통하여 본 결과 지급액의 삭감은 주로 판정기준에 명시된 허용한계가 측정시험에 따른 分散의 크기보다 상대적으로 작기때문인 것으로 나타났다. 연구소 등의 실험실 시험의 경우 대부분 유능한 시험자가 능숙한 기술과 좋은 기구로 시험을 수행한다. 그러나 현장의 품질 관리나 판정시험에서는 늘 그렇지 못하다. 그리고 이런 시험이 비록 현장 시험실에서 수행된다 하여도 여건상 그 편차는 정상적 조건하의 精密度 보다 낮게 마련이므로 어느한도까지의 측정상의 불확실성은 불가피한 것으로 알려져 있다.<sup>(10)</sup> 따라서 시공자는 통제범위 밖에 있는 측정시험의 不正確性(편차)때문에 부당하게 벌금을 치르게 되는 셈이라는 것을 알 수 있었다.

### 6. 結 論

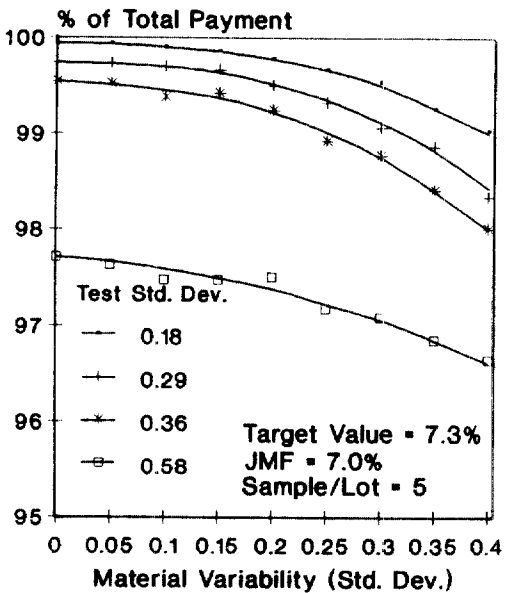
본 연구에서의 두 가지 대표적인 규정들을 시물



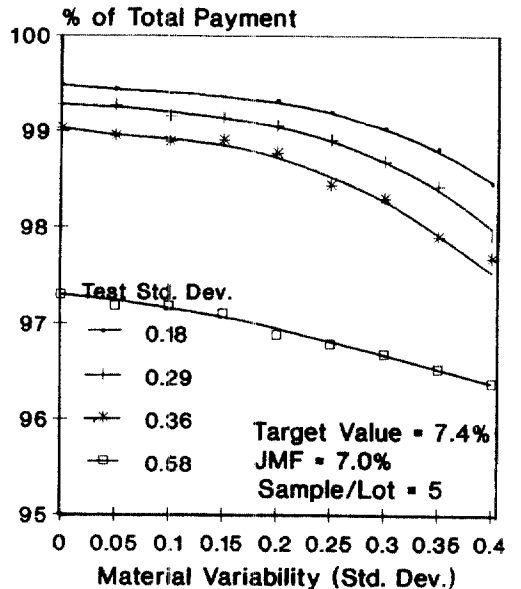
(a)



(b)



(c)



(d)

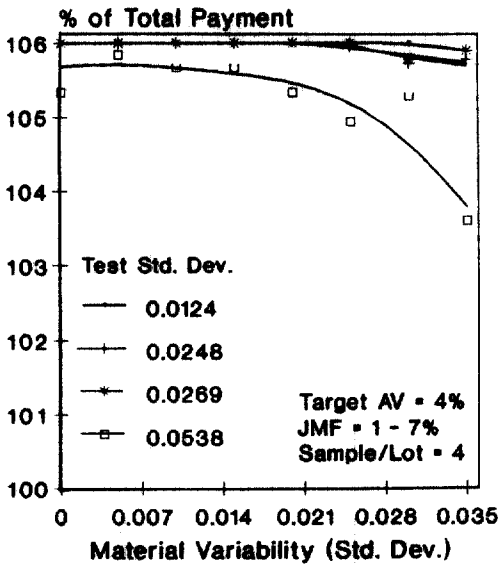
그림 3. OC Curves for Expected Payment Based on AC Spec. for Target Values of (a) 7.0%, (b) 7.2%, (c) 7.3%, (d) 7.4%.

레이션을 통하여 점검하여 본 결과 재료나 測定値의 不確實性이 공사비 지불계수 결정에 상당한 영향을 주는 것으로 나타났다. 예시된 규정에 근거한 시물

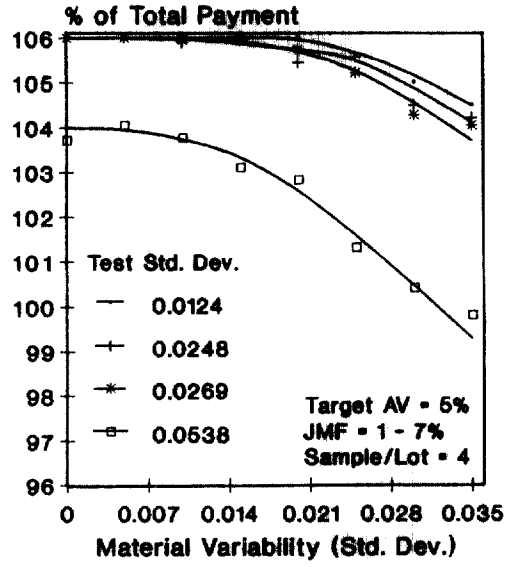
레이션을 이용하여 구한 OC 곡선을 통하여 세부적으로는 다음 사항을 볼 수 있었다.

材料의 不均質성이 낮아도 그리고 공사의 공정평

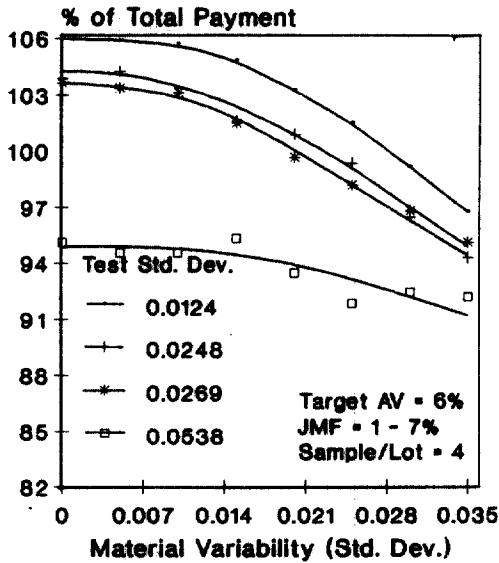




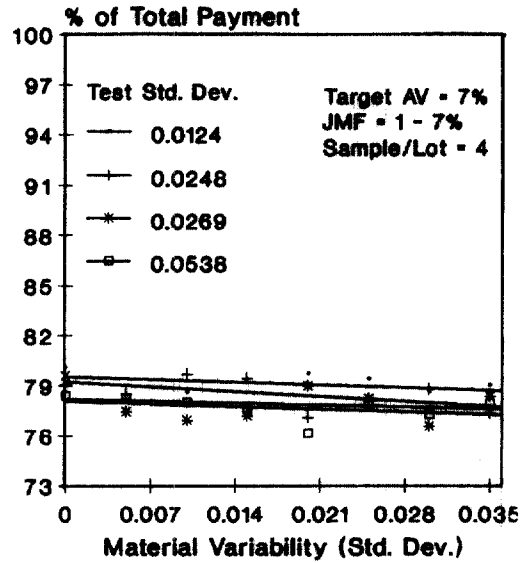
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. OC Curves for Expected Payment Based on AV Spec. for Target Values of (a) 4%, (b) 5%, (c) 6%, (d) 7%.

균이 現場配合基準 내에 있거나 규정상 일정지급 범위 내에 있어도 경우에 따라 시공자는 그보다 더 삭감된 금액을 지급받도록 불합리하게 규정이 되어 있음을 알 수 있었다.

제시된 규정하에서 SOP와 MLP를 측정오차로 사용한 OC 곡선 사이에서는 지불계수 변화에 별 차이를 보이지 않았다. 그러나 MLP 두배의 값을 사용한 경우 대부분 상당한 支拂係數의 감소를 가져

표 4. Input Standard Deviation due to Material and Testing Variabiles

Variance		Properties		
		AC(%)	BSG	MSG
Test	SOP	0.18	0.0124	0.0040
	MLP	0.29	0.0269	0.0064
	2 x SOP	0.36	0.0248	0.0080
	2 x MLP	0.58	0.0538	0.0128
Mat'l	Range	Density(pcf)		
		0-0.4	0-0.035	
	Increment	0.05	0.007	
Sample/Lot		5	4	

AC = asphalt content, BSG = bulk specific gravity, MSG = Max. specific gravity

왔다. 그런데 이 두배의 MLP 값도 실제 현장 측정치의 偏差를 나타내는데는 비교적 낮은 것으로 볼 수 있다. 따라서 규정 이상의 공사비 삭감의 주된 이유는 현장시험의 통제범의 한계밖에 있는 측정시험상의 不確實性(편차) 때문이라고 할 수 있다.

공사비 削減의 조건들과 不確實性 요인중 가장 대표적인 것은 측정상의 편차이며, 재료의 불균질성, 工程平均의 조정 그리고 규정상의 허용한계 등도 부분적인 요인이다. 따라서 국내는 물론 외국에서 새로운 품질관리 규정이 제정된다면 정상적이고 성실한 시공자들의 능력과 시험방법상의 다양성을 반영하도록 제정되어야 할 것이며, 既 사용되고 있는 지불계획도 이런 점을 고찰하여 보다 현실적으로 조정하는 노력이 필요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 1991년 한국과학재단 일반연구비 지원으로 이루어진 연구이며 이에 한국과학재단 당국에 감사할 드린다.

### 참 고 문 헌

1. Association of Asphalt Paving Technologists, Spe-

표 5. Table for Estimating Percent of Lot within Specification Limits(PWL)

Percent within Limits	Value of QUL or QLL			
	n=3	n=4	n=5	n=6
98	1.1524	1.4400	1.6016	1.6982
96	1.1456	1.3800	1.4897	1.5497
94	1.1342	1.3200	1.3946	1.4329
92	1.1184	1.2600	1.3088	1.3323
90	1.0982	1.2000	1.2290	1.2000
88	1.0736	1.1400	1.1537	1.1587
86	1.0448	1.0800	1.0817	1.0808
84	1.0119	1.0200	1.0124	1.0071
82	0.9749	0.9600	0.9452	0.9367
80	0.9342	0.9000	0.8799	0.8690
78	0.8897	0.8400	0.8160	0.8036
76	0.8417	0.7800	0.7535	0.7401
74	0.7904	0.7200	0.6921	0.6781
72	0.7360	0.6600	0.6316	0.6176
70	0.6887	0.6000	0.5719	0.5583

cifications for Pavement Performance, *Symposium Proceedings of AAPT*, Vol. 52, 1983, pp. 270-369.

2. ASTM, Construction, Road and Paving Materials; Traveled Surface Characteristics, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.03, 1989.

3. Cominsky, R. J., and Kandhal, P. S., "Statistical Acceptance of Bituminous Paving Mixtures," *Research Project Report 79-28*, Office of Research and Special Studies, Commonwealth of Pennsylvania Department of Transportation, 1982.

4. Doty, R. N., Smith, R. D., Alexander, M. L., Jackson, C. H. and Lucchese, S. F., "Control of AC Compaction Using an End-Result Specification," Office of Transportation Laboratory, California Department of Transportation, pp. 64-73, 1985.

5. Dunning, R. L., "Traps for Contractors in Statistical Specifications in Asphalt Technology," *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 56, 1986

6. Fromm, H. J., "A Statistical Evaluation of Sampling Method and Bituminous Concrete Compaction," *Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 48, pp. 372-391, 1978.

7. Hudson, S. B., Higgins, F. T., and Boewry, F. J.,

- Determination of Statistical Parameters for Bituminous Concert*, Materials Research and Development, Inc., Rockville, Maryland, 1972.
8. Instruction Manual Series, Surface Moisture-Density Gauges, Troxlers Electronic Laboratories, Inc., 3400-B, 1981.
  9. Item P-401, *Bituminous Surface Course Air Voids Specification*, Federal Aviation Administration, Eastern Region, 1985.
  10. Kim, K. W., Burati, J. L. Jr. and Amirkhanian, S. N., "Required Number of Specimens for Moisture Susceptibility Testing," *Transportation Research Record 1228*, TRB, 1989, pp. 32-40.
  11. Moore, R. M., Mahongy, J. P., Hicks, R. G., and Wilson, J. E., "Overview of Pay-Adjustment Factor for Asphalt Concrete Mixtures," *Transportation Research Record 821*, TRB, 1981, pp. 49-55.
  12. New Jersey Department of Transportation, *Standard Specifications*, 1985, pp. 138-136, pp. 347-349.
  13. Nnaji S., Burati, J. L., Jr. and Tarakji, M. G., *Field Validation of Statistically Based Acceptance Plan for Bituminous Airport Pavement*, Vol. 4, Federal Aviation Administration, 1984.
  14. Rubinstein, R. Y., *Simulation and the Monte Carlo Method*, John Wiley and Sons, 1981, pp. 86-87.
  15. South California Dept. of Highways and Public Transportation, *Control and Acceptance of Hot Laid Asphaltic Mixes by Statistical Methods*, Rev. 6-12-85, Standard Specification, 1985.
  16. Weed, R. M., *Interim Recommended Practice for Acceptance Plans for Highway Construction*, AA-SHTO Designation: New Jersey Dept. of Transportation, 1985.
  17. 이봉학, 김광우, "불확실성 요인들이 포장공사의 지급액결정에 미치는 영향," *한국과학재단 연구보고서*, KOSEF 91101309-018-1, 1992.
  18. 한국도로공사, *고속도로공사 표준 시방서*, 1985.  
(接受 : 1992. 5. 22)