

## 공공측량 성과심사에서 심사비율 개선을 위한 연구

김규성<sup>1,a</sup>, 이영민<sup>a</sup>, 정병철<sup>a</sup>, 최윤수<sup>b</sup>

<sup>a</sup>서울시립대학교 통계학과, <sup>b</sup>서울시립대학교 공간정보공학과

### 요약

공공측량에서 성과심사는 표본조사로 이루어지기 때문에 성과심사에서 심사비율은 매우 중요한 요인이다. 현행 성과심사 심사비율은 성과심사 제도 실시 초기에 경험적으로 결정되었기 때문에 이론적인 바탕이 부족하다는 지적과 함께 최근의 심사 여건에 맞도록 심사비율을 개선해야 한다는 의견이 제기되었다. 본 논문에서는 현재 우리나라에서 이루어지고 있는 공공측량 성과심사의 현황을 개략적으로 알아보고 현행 성과심사 심사비율을 개선하기 위한 이론적 토대로서 성과심사 심사비율과 적합확률, 심사 대상 수, 합격 비율의 관계를 살펴본다. 또한 성과심사 심사비율과 심사비용과의 관계를 토의한다.

주요용어: 근사 적합확률, 심사 비율, 심사 비용, 합격 비율.

### 1. 서론

측량(surveying)이란 지구 표면이나 그 위·아래에 있는 모든 대상물의 기하학적 위치를 결정하는 것을 말하는 것으로 (예를 들면, 조규전, 2008, 11쪽) 측량법에 따라 측량은 기본측량, 공공측량, 일반측량, 기타 측량으로 구분된다. 공공측량(public survey)은 국가 또는 공공단체가 실시하는 측량으로 기본측량 또는 다른 공공측량 성과를 기초로 실시된다 (국토해양부, 2009). 공공측량에 속하는 측량의 종류로는 기준점 측량, 수준점 측량, 영상 및 지도제작, 지하시설물 측량, 항공사진 촬영, 세계좌표계변환 측량 등이 있다. 공공측량의 결과는 국가공간인프라 구축과 같은 공공분야나 민간분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 따라서 측량 성과를 바탕으로 국가 공간정보의 활용도를 높이고 민간차원의 서비스를 증대하기 위해서는 측량 성과의 정확성이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 이러한 공공측량 성과의 정확성을 담보하기 위하여 공공측량 성과심사 제도가 운영되고 있다. 그리고 공공측량계획기관은 성과심사 제도에 의하여 측량 결과에 대한 심사를 받고 각 성과심사에 소요되는 비용을 부담하고 있다 (대한측량협회, 2007).

공공측량 성과심사는 공공측량계획기관이 심사 의뢰한 성과 결과 중 일부를 선정하여 실시한다. 아래 표 1에 공공측량 구분별 심사 비율이 나타나 있다. 여기에서 기준점, 수준점, 좌표계변환(수치 지형도)은 심사의 기초 자료가 되는 중요한 항목으로 분류하여 심사 비율은 1/2이고 나머지는 심사비율이 1/5이다.

성과심사 비율은 측량을 실시한 기관이 제출한 심사물 중 실제 심사를 하는 심사물의 비율을 말하는 것으로 심사 기관은 이 비율에 따라 단순확률표집한 심사물만을 심사한다. 예를 들어 어떤 기관이 항공사진 측량을 하여 500개의 측량 결과를 심사 의뢰하였다고 하자. 그러면 심사기관은 항공측량의 심사 비율이 1/5이므로 500건의 1/5인 100건을 정밀 심사하여 이 중 90%인 90건 이상이 합격이면 그 기관이 의뢰한 항공측량은 적합이라고 판정하고 그렇지 않으면 부적합이라고 판정한다. 2006년의 경

<sup>1</sup> 교신저자: (130-743) 서울시 동대문구 시립대길 13, 서울시립대학교 통계학과, 교수. E-mail: kskim@uos.ac.kr

표 1: 공공측량 성과심사의 심사 비율

공공측량 구분	성과심사 비율	공공측량 구분	성과심사 비율
기준점	성과의 1/2	항공사진	성과의 1/5
수준점	성과의 1/2	공간영상도화	성과의 1/5
사진기준점	성과의 1/2	수치지도	성과의 1/5
지형현황도	성과의 1/5	지하시설물도	성과의 1/5
영상지도	성과의 1/5	수치표고자료	성과의 1/5
좌표계 변환	성과의 1/2		

출처) 공공측량성과심사업무처리규정 6조 (국토해양부, 2008).

표 2: 2006년 공공측량 성과심사의 심사 대상과 심사 표본수

구분	심사대상	심사 표본수	구분	심사대상	심사 표본수
심사건	717	717	항공사진(10매)	6,599	1,366
좌표계 변환(점)	238	119	현황도(도엽)	3,291	882
좌표계 변환(도엽)	2,198	1,100	정위치 편집	14,217	2,587
기준점(점)	48,566	24,448	도면제작편집	12,221	2,271
수준점(km)	28,120	14,346	지하시설물심사량	13,535	2,793
사진기준점(모델)	24,276	12,160	영상지도	1,038	210
공간영상도화(모델)	16,552	2,994	수치표고	1,038	210

우 총 심사 건수는 717건이었고 이 중에서 기준점 심사 대상은 48,566개였다(표 2). 그리고 기준점 심사 비율은 1/2이므로 48,566개의 기준점 심사 대상 중 24,448개의 기준점만 심사를 받았다.

만일 성과심사 비율이 1이라고 하면 기관이 제출한 모든 결과물을 심사하므로 성과 심사에 대한 판정 결과는 정확하다고 할 수 있을 것이다. 그러나 만일 1/5만 성과 심사를 한다면 심사 결과에 대한 판정은 1/5의 심사 비율로 인하여 판정의 오류가 발생할 수 있다. 즉, 실제로는 적합인데 표본 심사물이 부적합이어서 부적합 판정을 받을 수도 있고, 반대로 실제로는 부적합인데 심사물이 적합이어서 적합 판정을 받을 수도 있다. 이러한 현상은 심사 비율에 의한 표본 심사에서는 불가피한 현상이다. 심사 비율을 높이면 심사의 정확성은 높아지는 반면 심사에 소요되는 시간과 심사비가 증가하고 반대로 심사 비율을 낮추면 심사 시간과 심사비는 감소하지만 심사 판정의 정확성은 감소된다. 따라서 적절한 심사 비율은 성과 심사에서 매우 중요한 핵심 요인이다.

표 1에 제시된 현행 성과심사 표집비율은 심사 건수가 많지 않고 적합률이 높지 않았던 과거에 경험적으로 결정된 것으로 이론적인 배경이 부족하다는 지적이 있어 왔다. 게다가 최근 들어 심사 건수가 많아지고 또한 적합률도 높아지고 있기 때문에 현행 성과심사 표집비율을 그대로 유지할 경우 성과 심사에 소요되는 시간과 비용은 계속 증가할 것으로 예상되고 있다. 따라서 심사 건수와 적합률이 높아진 최근의 상황을 감안하여 성과심사 비율을 다소 줄이더라도 적합 판정의 수준을 일정하게 유지하면서 심사비용과 심사 시간을 줄이려고 하는 현실적인 의견이 대두되고 있다 (대한측량협회, 2006; 국토지리정보원, 2007).

본 논문은 공공측량 성과심사에서 심사비율 개선에 관한 것이다. 성과심사 과정에서 측량 장비에 의한 측정 오류, 심사원에 의한 데이터 코딩 오류, 데이터 편집 오류 등 여러 종류의 오류가 최종 심사 판정에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 오류를 포괄적으로 검토하기 위해서는 심사 전체 과정을 심층적으로 검토해야 할 것이다. 그러나 이러한 포괄적 연구는 나중에 미루고 본 논문에서는 성과심사 심사비율에만 집중하기로 한다. 성과심사 심사비율 결정에 영향을 미치는 요인들의 통계적인 성질을 규명하여 성과심사 심사비율을 개선하는데 필요한 이론적 배경을 제공하고자 하는 것이 본 논문의 목적이다. 2절에서는 공공측량 성과심사 현황을 개략적으로 소개하고 3절에서는 성과심사에서 심사비율 결정에 영향을 주는 요인을 고찰하며 마지막으로 4절에서는 논문의 내용을 요약한다.

표 3: 공공측량의 측량종류별 연도별 심사 건수

측량종류	연도								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
일반측량	268	309	438	568	461	454	420	406	
영상 및 지도제작	-	-	3	3	4	1	-	55	
지하시설물	41	59	86	109	213	159	200	249	
항공사진촬영	78	95	89	71	20	44	14	7	
항측(수치)	-	-	1	-	86	57	85	112	
세계좌표계 변환	-	-	-	-	-	2	10	13	
계	387	463	617	751	784	717	729	842	
적합 백분율	85.90%	88.50%	91.20%	91.90%	95.00%	94.40%	96.00%	95.50%	

## 2. 공공측량 성과심사 현황

### 2.1. 연도별 성과심사 현황

공공측량 성과심사 제도는 1990년대 말 측량성과의 정확성 확보와 성과 결과의 중복 심사를 배제하기 위하여 도입되었다. 성과심사 건수는 공공측량 성과심사 제도가 도입된 이후 꾸준한 증가세를 보이다가 공공측량 제도에 대한 공공기관의 인식이 바뀌는 2003년, 2004년에 급증하였다. 이후 2006년, 2007년에 일정한 규모를 보이고 있다가 2008년에 다시 큰 폭으로 증가하였다(표 3).

일반측량은 2001년에 268건, 2004년에 568건으로 지속적인 증가세를 보이다가 2005년에는 461건, 2006년 454건, 2007년에는 420건, 2008년에는 406건으로 지속적인 감소세를 보이고 있다. 지하시설물도 2001년에 41건, 2004년에 109건으로 소폭의 증가세를 이어가다 2005년에는 213건으로 2배 이상의 증가세를 보였다. 하지만 2006년에는 다시 159건으로 감소세를 보이다가 2007년, 2008년에는 예년의 증가치를 회복하였다. 2008년에 지하시설물에 대한 성과심사 건수가 증가한 원인은 국토해양부에서 계획기관에 미심사 물량에 대해 시정 조치를 유도했기 때문인 것으로 보인다.

항공사진측량에 대한 심사 건수를 보면 2001년에 78건에서 2002년에는 95건으로 증가하다가 이후 지속적인 감소 추세를 보이며 2005년에 20건, 2006년에는 44건의 실적을 보였다. 2008년에는 7건으로 2000년대 초반보다 급격히 감소하는 추세이다. 수치지형도를 작성하기 위한 항측의 경우 2001년부터 2004년까지는 사업 실적이 거의 없다가 2005년에 86건을 기록하였고 다음 해인 2006년에는 57건으로 감소하였다. 하지만 2007년부터 성장세를 유지하며 2008년에는 112건의 사업량을 나타냈다. 영상 및 지도제작은 2003년, 2004년에 각각 3건의 사업량을 보였다. 그리고 2005년에 4건으로 증가하였으나, 2004년에는 다시 1건으로 감소하였고 2007년에는 사업이 전혀 이루어지지 않았다. 그러나 2008년에는 55건으로 큰 폭으로 상승하였다. 이는 기존의 아날로그 시대에서 벗어나 수치영상을 이용한 지도 제작이 주를 이루기 때문인 것으로 분석되며 향후 영상지도에 대한 성과 심사량은 지속적으로 상승할 것으로 보인다. 세계좌표계 변환에 대한 심사건수는 2006년부터 시작되어 초기에는 2건으로 적었지만 2007년부터는 10건 이상의 심사건수를 보이고 있다. 세계좌표계 변환 사업은 2010년 세계좌표계가 완전 변환이 이루어지는 시점까지 급속하게 증가할 것으로 예상된다.

공공측량 성과심사의 핵심사항은 정확성인데 이러한 것을 나타내는 것이 적합 백분율이다(표 3 하단). 표 3에서 나타난 바와 같이 공공측량 성과심사제도가 도입된 초기에는 86%의 적합 백분율을 보이던 것이 2000년대 초반에는 90%의 적합 백분율로 높아졌고 2005년 후반부터는 95%에 달하는 적합 백분율을 보이고 있다.

측량 종류별 적합 백분율은 다소 차이가 있다. 지상측량의 적합 백분율은 2005년 95.7%, 2006년 93.8%, 2007년 95.9%로 비슷한 추세이나 지하시설물은 2005년 91.4%, 2006년 94.3%, 2007년 97.3%로

표 4: 공공측량계획기관별 측량목적 사업현황

측량목적	국가 기관	국토 해양부	기초 자치단체	광역 자치단체	정부 출연기관	공사	기타	계
도시개발 및 정비계획	-	-	195	25	1	36	3	260
지하시설물(상,하수도 등)	-	11	99	4	15	451	-	580
도로시설물(교량, 터널포함)	4	493	480	465	-	96	-	1,538
철도시설(고속철도, 지하철 및 도시철도 포함)	7	-	1	5	10	1	-	24
항만 및 공항	-	15	-	2	-	24	-	41
치산·치수 사방 하천정비	4	314	632	572	10	15	2	1,549
택지개발 및 공업용지 조성	-	1	66	39	-	92	15	213
농지정리	-	-	-	-	-	1	-	1
댐	-	-	-	1	-	26	-	27
방재	-	-	5	3	-	-	-	8
GIS구축	8	29	340	96	5	165	-	643
관광(관내현황안내)	-	-	14	4	2	1	8	29
환경(쓰레기, 폐기물 매립지 조성 등)	1	-	11	4	-	3	-	19
지도제작	1	3	1	2	-	-	-	7
기타	1	9	101	143	33	64	-	351
계	26	875	1,945	1,365	76	975	28	5,290

적합률이 증가하고 있고, 항측은 2005년 98.2%, 2006년 97.1%, 2007년 95.8%로 적합률이 다소 감소하는 경향이 발견된다. 비록 측량 종류별로 적합률이 다소의 차이를 보이고는 있지만 해가 지남에 따라 공공측량의 적합 백분율은 증가 추세에 있다. 이는 공공측량 성과심사에 대한 홍보가 강화되고 공공측량 성과심사제도에 대한 인식이 높아진 것이 주된 원인이라 할 수 있다.

## 2.2. 측량 목적 및 기관별 성과심사 현황

표 4는 2001년부터 2008년까지 이루어진 공공측량 성과심사를 측량 목적과 공공측량계획기관으로 분류하여 정리한 것이다. 사업 현황을 측량목적별로 구분하여 보면 하천과 관련된 사업이 1,549건(29.3%)으로 가장 많은 것을 알 수 있고 도로시설물 관련 사업이 1,538건(29.1%), GIS 구축과 관련된 사업이 643건(12.2%), 지하시설물과 관련된 사업 580건(11.0%) 순으로 많음을 알 수 있다. 특히 사항으로는 지하시설물 구축을 위한 사업, 택지개발 및 공업용지 조성 사업, GIS 구축과 관련된 사업이 지속적으로 증가하고 있는 것이다.

공공측량계획기관별로 구분하여 보면 국가기관은 도로건설 4건, 철도건설 7건, 하천정비와 관련된 사업 4건, GIS 구축과 관련된 사업 8건, 환경관련 사업 1건, 지도제작 및 기타 사업을 각각 1건 수행하였다. 국토해양부에서 실시한 사업현황은 도로시설물과 관련된 사업이 493건(56%)으로 가장 많았고, 치산·치수 및 사방, 하천관련 시설물의 정비 및 개조사업이 314건(36%) 이루어져, 두 사업이 전체사업의 90%를 차지한 것으로 나타났다. 기초자치단체의 사업현황은 하천 및 사방관련 시설물의 신축이나 정비, 개조 등이 632건(32%)으로 가장 많이 진행된 것으로 나타났다. 이어서 도로시설물 관련 사업이 480건(24%), 도시개발 및 정비 사업이 195건(10%), 지하시설물 정비 사업이 99건(5%), GIS 구축과 관련된 사업이 340건(17%) 수행되었다. 광역 자치단체는 도로시설물과 관련된 사업이 465건(36%), 하천, 사방, 치산 그리고 치수와 관련된 사업이 572건(43%)으로 전체사업의 약 80%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 정부출연기관에서 수행한 공공측량 사업은 철도 시설이 10건(23%), 지하시설물과 관련된 사업이 15건(35%), 하천과 관련된 사업이 10건(23%)으로 비교적 사업량이 적은 것으로 조사되었다. 공사에서 실시한 사업을 살펴보면 지하시설물과 관련된 사업이 451건(46.3%)로 가장 많았고 다음으로 GIS 구축과 관련된 사업이 165건(16.9%)로 조사되었다.

### 3. 성과심사 심사비율 결정 요인

#### 3.1. 성과심사 적합 확률

공공측량 성과심사는 전수 조사가 아닌 표본조사로 이루어지기 때문에 공공측량계획기관이 제출한 성과의 적합부적합 판정은 확률적으로 이루어진다. 이 확률을 적합 확률(fitness probability)라고 하자. 본 소절에서는 성과심사의 적합 확률을 정확하게 계산하는 방법과 근사적으로 계산하는 방법을 살펴보기로 한다.

공공측량계획기관이 성과심사를 요청한 심사 건에서 심사 대상물의 수를  $N$ 이라 하고 심사 비율이  $f$ 라고 하며  $n(= Nf)$ 개의 심사 대상물을 단순확률추출(simple random sampling)한다고 하자. 그리고 선정된  $n$ 개의 심사 대상물의 성과를 심사하여 각 심사물의 성과를 합격과 불합격으로 판정한다고 하자. 그리하여 만일  $i$ 번째 심사물의 성과가 합격이면  $X_i = 1$ 이라 하고, 불합격이면  $X_i = 0$ 이라 할 때, 심사 결과의 평균  $\bar{X}_n = \sum_{i=1}^n X_i/n$ 이 0.9 이상이면 해당 심사 건은 적합으로 판정하고 그렇지 않으면 부적합으로 판정한다. 그런데 앞에서 언급한 바와 같이 성과 심사는 심사비율이  $f$ 인 표본조사로 이루어지므로 심사 건의 적합 여부는 확률적으로 결정된다.

이제 제출된 심사물이 적합 판정을 받을 확률을 계산하여 보자. 확률변수  $\sum_{i=1}^n X_i$ 는 크기  $N$ 인 모집단에서  $n$ 개의 심사물을 단순확률추출하였을 때 표본 심사물  $n$ 개 중 합격인 심사물의 수이다. 따라서 확률변수  $\sum_{i=1}^n X_i$ 는 초기하 분포를 따르므로 심사 건의 적합확률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 P(\text{적합}) &= P(\bar{X}_n \geq 0.9 \mid N, n, p) \\
 &= \sum_{x \geq 0.9n} P\left(\sum_{i=1}^n X_i = x \mid N, n, p\right) \\
 &= \sum_{x \geq 0.9n} \frac{\binom{Np}{x} \binom{N(1-p)}{n-x}}{\binom{N}{n}}, \tag{3.1}
 \end{aligned}$$

여기에서  $p$ 는 제출된  $N$ 개의 성과 심사물 중 합격인 심사물의 비율이다. 이를 합격 비율(success rate)이라고 하자. 그런데 합격 비율  $p$ 는  $N$ 개의 심사물을 전수조사하여야 알 수 있는 값이므로 심사비율이  $f(< 1)$ 인 표본조사에서는 합격 비율을 알 수 없다. 따라서 식 (3.1)의 적합 확률을 활용하기 위해서는 합격 비율  $p$ 를 전년도 심사 결과 등을 이용하여 추정한 후 그 값을 식 (3.1)에 대입하여 구하여야 한다.

$$\hat{P}(\text{적합}) = \sum_{x \geq 0.9n} \frac{\binom{N\hat{p}}{x} \binom{N(1-\hat{p})}{n-x}}{\binom{N}{n}}. \tag{3.2}$$

위의 식 (3.2)의 적합 확률은 정확한 값이긴 하지만 실제로 이용하기 위해서는 조합의 수를 계산하여야 하는 현실적인 계산 문제에 부딪힌다. 그런데 모집단 크기  $N$ 과 표본크기  $n$ 이 큰 경우 조합의 수를 계산하는 것은 간단한 일이 아니고, 또한 만일  $N\hat{p}$  혹은  $N(1-\hat{p})$ 가 정수 값이 아니면 조합의 수를 정확하게 계산하기 쉽지 않다. 따라서 이론적인 정확성에도 불구하고 식 (3.2)의 적합 확률을 사용하는 데는 현실적인 제약이 뒤따른다. 이에 대한 대안은 근사 적합 확률(approximated fitness probability)를 이용하는 것이다. 근사 적합확률의 계산은 유한모집단에서 단순확률표본을 추출하였을

때 표본평균은 일정한 조건에서 표본의 크기가 증가함에 따라 정규분포로 수렴한다는 성질 (예를 들면 Hajek, 1960; Lehmann, 1999)에 바탕을 두고 있다.

$$\frac{\bar{X}_n - p}{\sqrt{\text{Var}(\bar{X}_n)}} \rightarrow N(0, 1).$$

이 사실을 성과 심사에 적용하면 적합 확률  $\beta$ 는 다음과 같이 근사적으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \beta &= P(\bar{X}_n \geq 0.9 | N, n, p) \\ &= P\left(\frac{\bar{X}_n - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}\left(1 - \frac{n}{N}\right)}} \geq \frac{0.9 - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}\left(1 - \frac{n}{N}\right)}}\right) \\ &\cong P\left(Z \geq \frac{0.9 - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{N}\left(\frac{1}{f} - 1\right)}}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{0.9 - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{N}\left(\frac{1}{f} - 1\right)}}\right) = \beta^*, \end{aligned} \quad (3.3)$$

여기에서  $Z$ 는 표준정규 확률변수이고  $\Phi$ 는 표준정규분포의 누적확률밀도 함수이다. 위 식 (3.3)에서 알 수 있듯이 근사 적합확률  $\beta^*$ 는 심사 대상물의 수  $N$ , 합격 비율  $p$  그리고 심사 비율  $f$ 에 의하여 결정된다.

아래 표 5에 심사 대상 수가  $N = 100, 300$ 인 경우에 심사 비율  $f$ 와 합격 비율  $p$ 에 따른 근사 적합 확률  $\beta^*$ 가 계산되어 있다. 예를 들어 심사대상 수가  $n = 100$ 이고 합격 비율이  $p = 0.95$ 인 심사를 고려하자. 만일 전수조사로 심사를 실시한다면 적합 판정 기준 비율이 0.9이므로 이 심사 건은 적합 판정을 받을 것이다. 그러나 만일 심사비율이  $f = 0.2$ 인 표본 조사로 심사를 실시한다고 하면 적합 판정을 받을 확률은  $\beta^* = 0.874$ 이고, 반대로 부적합 판정을 받을 확률은  $1 - \beta^* = 0.126$ 이다. 따라서 확률 0.126은 적합 판정을 받을 심사 건이 심사 비율  $f = 0.2$ 인 표본 조사로 인하여 부적합 판정을 받는 오류 확률이 된다. 다른 예로 심사 대상수가  $N = 100$ 이고 합격 비율이  $p = 0.85$ 인 경우를 고려하자. 이 경우 전수조사로 심사하면 부적합 판정을 받을 것이나 심사비율  $f = 0.2$ 인 표본 조사로 심사를 받으면 적합 판정을 받을 확률이 0.242가 된다. 즉, 이 확률은 표본 조사로 인한 오류 확률이 된다.

표 5는 합격 비율별, 심사 비율별 적합 확률을 보여주고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 전수조사 대신 표본조사로 성과 심사를 실시하면 성과 심사에 불가피하게 오류가 발생한다. 표 5에서 보듯이 대체적인 경향은 심사 비율이 크면 오류 확률이 작고, 합격 비율이 0.9보다 커지거나 작아지면 오류 발생 확률이 작아진다. 본 논문의 논점 중의 하나는 현행 표본 조사 비율을 더 줄이면 어떤 통계적인 현상이 발생하는가 하는 것이다. 표 5에 이에 대한 답이 있다. 표본 조사 비율을 줄이면 합격 비율이 0.9 이상인 경우에 적합한 심사 건이 부적합 판정을 받을 가능성이 있다. 그리고 심사 대상 수가 많거나 합격 비율이 크면 오류 가능성은 줄어든다. 심사 비율의 조정은 심사 대상 수, 합격 비율 그리고 적합 확률을 고려하여 결정하여야 한다.

표 5: 성과 대상 수, 합격 비율, 심사 비율에 따른 성과심사 근사 적합확률( $\beta^*$ )

심사 대상수 ( $N$ )	합격비율 ( $p$ )	심사비율( $f$ )						전수조사 적합판정
		0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	
100	0.86	0.350	0.314	0.282	0.253	0.225	0.199	0
	0.87	0.383	0.354	0.328	0.303	0.280	0.256	0
	0.88	0.419	0.398	0.379	0.361	0.344	0.326	0
	0.89	0.458	0.447	0.437	0.427	0.417	0.407	0
	0.90	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	1
	0.91	0.546	0.558	0.569	0.580	0.590	0.601	1
	0.92	0.597	0.622	0.644	0.665	0.685	0.706	1
	0.93	0.652	0.689	0.722	0.751	0.779	0.806	1
	0.94	0.713	0.760	0.800	0.835	0.865	0.892	1
	0.95	0.778	0.832	0.874	0.907	0.933	0.954	1
	0.96	0.846	0.901	0.937	0.961	0.977	0.988	1
	0.97	0.914	0.958	0.980	0.991	0.996	0.999	1
	0.98	0.971	0.991	0.997	0.999	0.999	0.999	1
	0.99	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1
300	0.86	0.253	0.201	0.159	0.124	0.096	0.071	0
	0.87	0.303	0.258	0.220	0.186	0.156	0.128	0
	0.88	0.361	0.327	0.297	0.269	0.243	0.217	0
	0.89	0.427	0.408	0.391	0.375	0.359	0.342	0
	0.90	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	1
	0.91	0.580	0.600	0.619	0.637	0.654	0.672	1
	0.92	0.665	0.704	0.738	0.769	0.798	0.826	1
	0.93	0.751	0.804	0.846	0.880	0.909	0.932	1
	0.94	0.835	0.890	0.928	0.954	0.972	0.984	1
	0.95	0.907	0.952	0.977	0.989	0.995	0.998	1
	0.96	0.961	0.987	0.996	0.999	1.000	1.000	1
	0.97	0.991	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1
	0.98	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1
	0.99	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1

3.2. 근사 적합확률의 이론적 근거

식 (3.3)의 근사 적합확률을 사용하려면 유한모집단에서 단순확률표본을 추출하였을 때 표본의 크기가 증가함에 따라 표본평균의 분포가 정규분포로 수렴하기 위한 조건이 충족되는지를 검토하여야 한다. 먼저 유한모집단 수열과 표본 수열을 가정하자.  $t$ 번째 모집단을  $U_t = \{x_1, x_2, \dots, x_{N_t}\}$ 라고 하고 대응하는 단순확률표본을  $s_t = \{x_{i_1}, \dots, x_{i_{n_t}}\}$ 라고 하자. 그리고 모집단은 점차적으로 증가한다고 하자. 즉,  $t \rightarrow \infty$ 이면,  $n_t \rightarrow \infty$ ,  $N_t - n_t \rightarrow \infty$ 이다. 그러면 표준화된 표본평균이 표준정규분포로 수렴할 충분 조건은 다음과 같다 (Lehmann, 1999, 116쪽):

$$\frac{\bar{x}_t - E(\bar{x}_t)}{\sqrt{\text{Var}(\bar{x}_t)}} \rightarrow N(0, 1), \quad t \rightarrow \infty, \tag{3.4}$$

여기에서  $\bar{x}_t = \sum_{j \in s_t} x_j / n_t$ 는 표본평균이다.

- (a)  $t$ 가 커짐에 따라 표본추출비율  $f_t = n_t / N_t$ 는 0이나 1로 가까이 가지 않는다.
- (b)  $t$ 가 커짐에 따라, 즉  $t \rightarrow \infty$ , 다음 성질을 만족한다.

$$\frac{\max_{j=1, \dots, N_t} (x_j - p_t)^2}{\sum_{j=1}^{N_t} (x_j - p_t)^2} \rightarrow 0. \tag{3.5}$$

여기에서  $p_t = \sum_{j=1}^{N_t} x_j / N_t$ 는  $t$ 번째 모집단의 모평균이다.

그런데 성과 심사에서는 현행 심사 비율이  $f_i = 0.2$  혹은  $f_i = 0.5$ 이고 변경하려고 하는 심사 비율이 현행 심사 비율보다 작은 수치이며, 심사를 면제( $f_i = 0$ )하거나 혹은 전수조사( $f_i = 1$ )할 것은 아니므로 첫 번째 조건 (a)는 충족된다. 두 번째 조건 (b)를 성과 심사에 맞도록 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\max_{j=1, \dots, N_t} (x_j - p_t)^2}{\sum_{j=1}^{N_t} (x_j - p_t)^2} &= \max \left( \frac{p_t^2}{N_t p_t (1 - p_t)}, \frac{(1 - p_t)^2}{N_t p_t (1 - p_t)} \right) \\ &= \frac{1}{N_t (1 - 1/p_t)}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

만일  $0 \ll p_t \ll 1$ 이면 위 식은  $t$ 가 커짐에 따라 0으로 수렴하는 조건을 만족시킨다. 그런데 현실적으로 합격 비율  $p_t$ 가 0.9 이상인 값이고 아직은 심사물의 100%가 합격이라고 하기는 어려운 상황이므로  $p_t \ll 1$ 라고 할 수 있다. 결과적으로 식 (3.3)의 정규 근사는 이론적으로 타당하다고 할 수 있다.

### 3.3. 성과 심사비율 결정에 영향을 주는 요인

성과심사에서 적합확률  $\beta$ 는 심사 대상 수  $N$ , 합격 비율  $p$ , 심사 비율  $f$ 의 직접적인 영향을 받는다(식 (3.3)). 그런데 본 연구의 중요 연구 대상은 심사 비율  $f$ 이고, 관심사는 심사 비율을 조정하고자 하는 것이므로 심사 비율을 다른 요인들의 함수로 표현하여 영향을 주는 관계를 살펴볼 필요가 있다. 식 (3.3)으로부터 심사 비율  $f$ 는 다음과 같이 바꾸어 표현할 수 있다.

$$f = \frac{1}{1 + \left( \frac{0.9 - p}{\Phi^{-1}(1 - \beta^*)} \right)^2 \frac{N}{p(1 - p)}}. \quad (3.7)$$

따라서 심사 대상물  $N$ 개와 합격 비율  $p$ 가 주어졌을 때 근사 적합확률  $\beta^*$ 를 지정하면 식 (3.7)에 의하여 심사 비율  $f$ 를 계산할 수 있다. 표 6에는 심사 대상물의 수가  $N = 100, 300$ 인 경우에 합격비율  $p$ 와 근사 적합확률  $\beta^*$ 에 따른 심사 비율  $f$ 가 계산되어 있다. 표 6에서 보면 다음과 같은 패턴이 발견된다. 첫째, 다른 조건이 동일할 때 심사 대상 수가 많아지면 심사 비율은 작아진다. 즉, 심사 대상 수가 많아지면 심사 비율은 줄어드는 것이다. 둘째, 심사 비율이 증가하면 적합 확률이 커진다. 즉, 적합 확률을 높이기 위해서는 심사 비율을 높여야 한다. 셋째, 합격 비율이 커지면 심사 비율은 작아진다. 즉, 심사 대상 중 합격 비율이 크면 심사 비율은 줄어드는 것이다.

성과심사 비율 결정에서 고려해야 하는 다른 요인은 비용이다. 심사비용은 공공측량계획기관이 성과 심사를 받기 위하여 지불하는 금액으로 법령에 의하여 공공측량 분류, 심사 인원, 도면 축적 등에 따라 세부적으로 단가가 정해져 있다. 세부적인 분류 기준과 기준별 단가 등이 매우 복잡하기는 하지만 이를 비용함수로 요약하여 간단하게 표현할 수 있다.  $f_{ij}$ 를  $(ij)$  분류의 심사 비율,  $c_0$ 를 고정 비용,  $c_{ij}$ 를  $(ij)$  분류에 해당하는 단위 비용이라고 하자. 그러면 총 비용은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{Cost} = c_0 + \sum_{ij} c_{ij} f_{ij}. \quad (3.8)$$

심사 비율이 작아지면 심사 수익이 줄어들게 되므로 심사 기관의 입장에서는 일정 수준 이상의 수익을 확보하기 위해서는 비용 함수에 제약조건을 부여할 수 있다. 현행 심사 비율을 유지할 때의 총 심사비용과 심사 비율을 줄였을 때의 총 심사비용의 차이를  $\delta$ 이하로 하려고 하면 다음과 같은 제약 조건



표 6: 심사 대상 수, 합격 비율, 근사 적합확률에 따른 심사비율( $f$ )

심사 대상수 ( $N$ )	합격비율 ( $p$ )	근사 적합확률( $\beta^*$ )						
		0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
100	0.95	0.291	0.313	0.338	0.368	0.402	0.444	0.508
	0.96	0.187	0.204	0.223	0.246	0.273	0.309	0.366
	0.97	0.114	0.125	0.138	0.153	0.173	0.200	0.243
	0.98	0.062	0.069	0.076	0.086	0.098	0.114	0.142
	0.99	0.026	0.029	0.031	0.036	0.041	0.049	0.062
300	0.94	0.202	0.220	0.240	0.264	0.293	0.331	0.389
	0.95	0.120	0.132	0.145	0.162	0.182	0.210	0.255
	0.96	0.071	0.078	0.087	0.098	0.111	0.130	0.161
	0.97	0.041	0.045	0.050	0.057	0.065	0.076	0.097
	0.98	0.021	0.023	0.026	0.030	0.034	0.041	0.053
	0.99	0.008	0.009	0.011	0.012	0.014	0.016	0.021

을 지정하면 된다.

$$\text{Cost(현행)} - \text{Cost(개선)} = \sum_{ij} c_{ij} (f_{ij}^0 - f_{ij}^*) \leq \delta, \tag{3.9}$$

여기에서  $f_{ij}^0$ 은 현행 심사 비율이고  $f_{ij}^*$ 는 개선하고자 하는 심사 비율이다. 따라서 비용만 고려한다면 개선된 심사 비율  $f_{ij}^*$ 는 식 (3.9)를 만족하는 범위 안에서 결정하면 된다.

성과심사 비율 결정에서 고려해야 하는 또 다른 요인은 심사에 소요되는 시간, 업무량 등 심사에 투입되는 심사 기관의 자원이다. 그런데 심사 비용과 달리 심사 소요 시간, 업무량 등은 수량화하여 표현하기가 쉽지 않다. 따라서 심사비용뿐 아니라 심사 기관이 소요하는 자원을 심사비율 결정에 고려하기 위해서는 이에 대한 구체적인 수량화가 뒤따라야 한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 현재 우리나라에서 이루어지고 있는 공공측량 성과 심사의 현황을 개략적으로 살펴 보았고 현행 성과심사 비율을 개선하기 위한 이론적 토대로서 성과 심사의 적합확률을 성과심사 비율, 심사 대상 수, 합격 비율로 표현하여 이들의 관계를 알아보았으며 성과심사 표집비율을 적합확률, 심사 대상 수, 합격 비율로 표현하여 이들 요인이 성과심사 표집비율에 미치는 영향을 고찰하였다. 이로부터 유추되는 성과심사 표집비율 결정 요인은 다음과 같다. 첫째, 심사 대상 수가 많아지면 성과심사 표집비율은 줄여도 된다. 둘째, 적합 확률을 높이기 위해서는 성과심사 표집비율을 높여야 한다. 셋째, 심사 대상 중 합격 비율이 크면 성과심사 표집비율은 줄여도 된다. 이러한 성질 이외에 성과심사 비율 개선에 고려해야 하는 사항으로 심사비용과 심사에 소요되는 자원이 있다. 앞에서 논의한 바와 같이 성과심사 표집비율은 심사 대상 수, 합격 비율, 적합 확률, 심사비용 그리고 소요 자원을 고려하여 결정하여야 한다. 또한 공공측량 성과심사는 여러 단계에 걸쳐 진행되고 단계별로 세부적인 사항들을 추가로 고려해야 하므로 성과심사 비율을 실제적으로 정하기 위해서는 여러 단계에 걸친 세부적인 의사 결정이 필요하다. 공공측량 성과심사에서 적절한 성과심사 표집비율을 결정하는데 본 논문에서 규명한 통계적 성질들이 활용될 수 있을 것이다.

공공측량의 성과는 국가 지리공간정보의 핵심이므로 우리나라를 비롯한 일본, 영국, 독일 등 여러 나라에서도 지리정보의 품질을 관리하기 위한 제도 및 품질관리 방안을 가지고 있다. 우리나라와 일본에서는 공공측량의 성과를 공정(process)별로 성과심사 방법 및 규정을 적용하여 심사하는 반면, 독일, 영국 등에서는 공공측량의 성과를 표준품질을 기준으로 심사하는 차이가 있다 (일본측량협회 2007; 일

본국토지리원 2004, Ordnance Survey). 현재 표준화가 진행 중인 ISO/TC 표준안의 지리정보 데이터 품질 요소에는 완전성, 논리적 일관성, 위치 정확성, 시간 정확성, 주제 정확성 등이 포함된다.

최근 측량 장비가 발달하고 최신 기술이 도입됨에 따라 공공 측량의 정확도가 날로 향상되고 있다. 그리고 공공측량의 정확도 향상을 목표로 하는 성과 위주의 측면보다는 소비자 입장에서 공공 측량 결과의 서비스 측면이 강조되어야 하는 시대가 다가오고 있다. 또한 외국의 예에서 보듯이 공간정보의 품질관리는 성과검증에서 품질검증으로 전환할 필요가 있다. 우리나라의 공공측량의 성과 심사제도도 이러한 시대적 상황에 맞게 유연성 및 탄력성을 확보할 수 있기를 기대한다.

## 참고 문헌

- 국토지리정보원 (2007). <측량성과의 활용 및 성과심사 제도 개선방안 연구>.  
 국토해양부 (2008). <공공측량성과심사업무처리규정>.  
 국토해양부 (2009). <측량·수로조사 및 지적에 관한 법률>.  
 대한측량협회 (2006). <공공측량 및 성과심사 기준에 관한 연구>.  
 대한측량협회 (2007). <측량법령 및 공공측량 성과심사 관련 규정집>.  
 일본 국토지리원 (2004). <平成16年度 公共測量實態調査報告書>.  
 일본측량협회 (2007). <지리공간정보추진활용기본법과 공공측량>.  
 조규전 (2008). <측량정보공학>, 개정판, 양서각.  
 Hajek, J. (1960). Limiting distributions in simple random sampling from a finite population, *Publication of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Science*, 5, 361-374.  
 Lehmann, E. L. (1999). *Elements of large-Sample Theory*, Springer.  
 Ordnance Survey, <http://www.ordnancesurvey.co.uk>

## A Study on the Improvement of Sampling Rate of Performance Test in Public Survey

Kyu-Seong Kim<sup>1,a</sup>, Young-Min Lee<sup>a</sup>, Byung-Chul Jung<sup>a</sup>, Yoon-Soo Choi<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Statistics, University of Seoul

<sup>b</sup>Department of Geo-Informatics, University of Seoul

---

### Abstract

The performance test in a public survey is conducted by a sample survey and the sampling rate of the performance test is a very important factor in the test process. Since the current sampling rate was decided empirically at an earlier time, it has been criticized for two points: the first is that it has a lack of a theoretical background on the decision for the sampling rate and the second is that the sampling rate should be improved in accordance with current test situations. In this paper, we review the present state of performance tests in public surveys in Korea and study the relationship between the rate of the performance test and fitness probability, number of tests, and the success rate in order to create a theoretical background to improve the test rate. In addition, we discuss relationship between the test rate and cost in the performance test.

**Keywords:** Approximated fitness probability, success rate, test cost, test rate.

---

---

<sup>1</sup> Corresponding author : Professor, Department of Statistics, University of Seoul, 13 Siripdae-gil, Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea. E-mail: kskim@uos.ac.kr