

모의 실험을 이용한 여러 합치도들의 비교

한경도¹ · 박용규²

¹²가톨릭대학교 의학통계학과

접수 2011년 11월 8일, 수정 2011년 11월 24일, 게재확정 2011년 11월 29일

요약

두 평정자간 평가의 일치정도를 나타내는 합치도로 Cohen (1960)의 π , Scott (1955)의 H , 박미희와 박용규 (2007)의 등 많은 통계량이 제안되어왔다. 모의 실험을 통하여 균형적 주변분포에서의 명목형과 순서형 합치도, 두 가지 역설이 발생하는 불균형 주변분포에서의 명목형 합치도들의 편이, 표준오차, 평균오차제곱 분산, 변이계수를 비교한 결과, 모든 경우에서 $AC1$ 과 H 의 표준오차와 변이계수가 가장 작게 나타났다.

주요어: 모의 실험, 카파, 카파의 역설.

1. 머리말

두 평정자가 동일한 대상에 대해 평가한 경우, 이들 두 평정자의 평가가 얼마나 일치하는지의 여부를 합치도로 나타낸다. 합치도 (measure of agreement)란 평정자가 모두 동일한 범주로 분류한 개체들의 비율인 관찰된 합치 비율 P_o 를 우연에 의해 기대되는 합치 비율 P_e 로 보정한 식으로 정의되며, 일반적으로 명목형 반응 범주에서는 Cohen (1960)의 κ 가, 순서형 반응 범주에 대해서는 Fleiss와 Cohen (1973)의 가중치가 적용된 κ_w 가 많이 사용된다.

우연에 의해 기대되는 합치 비율 P_e 의 정의에 따라 여러 가지 합치도가 분류된다. Scott (1955)은 두 평정자가 주어진 범주에 같은 확률로 개체를 분류한다는 가정을 토대로 π 를 제안하였으며, Holly와 Guilford (1964)는 우연에 의해 기대되는 합치 비율의 가장 좋은 추정치가 반응 범주 수의 역수라는 가정을 토대로 G 를 제안하였다. 또한 Janson과 Vegelius (1979)는 2×2 분할표에서의 파이계수 (phi coefficient)를 $m \times m$ 으로 확장한 S 를 제안하였다. 주변분포가 불균형일 때 나타나는 κ 의 역설을 보완하기 위해 Gwet (2001)은 두 평정자가 개체를 무작위로 분류함으로써 얻어지는 불확실성 계수를 이용한 $AC1$ 을 제안하였으며, 박미희와 박용규 (2007)는 2×2 분할표에서 조화평균을 이용하여 평정자들의 평가 비율에 대한 비대칭성과 불균형성을 보정한 H 를 제안하고, 김진근 등 (2009)이 $m \times m$ 분할표로 확장시켰다.

순서형 반응 범주자료의 경우에는 두 평정자의 의견이 불일치하는 정도를 고려하는 가중 합치도를 사용한다. 예를 들어, 정신과 진단의 신뢰성 평가에서 신경증, 인격 장애, 정신병 3가지의 범주가 있다면, 신경증과 정신병의 불합치 정도가 인격 장애와 신경증 사이의 불합치 보다 더 심각하다고 볼 수 있다 (Cohen, 1968). 또한, 불합치 정도에 대한 정의에 따라 여러 가지 가중 합치도가 제안되었다.

¹ (137-701) 서울시 서초구 반포동 505, 가톨릭대학교 대학원, 의생명과학교실 의학통계학과, 석사과정.

² 교신저자: (137-701) 서울시 서초구 반포동 505, 가톨릭대학교 대학원, 의학통계학과, 교수.

E-mail: ygpark@catholic.ac.kr

본 연구에서는 명목, 순서형 합치도들의 성질을 3×3 분할표를 이용하여 균형적 주변분포, 불균형 주변분포에서 대칭과 비대칭, 완전대칭과 불완전대칭 상황에서 모의실험을 통해 밝히고자 한다.

방법의 1절에서는 Cohen (1960)의 κ 를 비롯한 기존의 합치도의 정의를 소개하고, 가중 합치도에서의 가중치들을 소개한다. 2절에서는 Feinstein과 Cicchetti (1990)가 제안한 κ 에 대한 역설과 권나영 등 (2009)이 제안한 새로운 역설에 대해서 그림을 통하여 제시하고, κ 의 역설과 주변분포와의 관계에 대해서 설명한다. 모의실험에서는 주변분포의 성격을 균형과 불균형, 대칭과 비대칭, 완전대칭과 불완전대칭 상황으로 구분하여 기존 합치도들을 비교하고 그래프를 통하여 제시한다. 마지막으로 고찰에서는 본 연구의 결과와 의의를 정리한다.

2. 방법

2.1. 합치도와 그 조건

2.1.1. 기호와 조건

두 평정자 A와 평정자 B가 전체 n 개의 개체를 3개의 가능한 반응 범주 중 하나로 평가할 때, 가능한 결과는 표 2.1과 같은 3×3 분할표로 제시된다.

표 2.1 n 개의 개체를 두 평정자가 분류한 결과

	평정자 B			합계	
	1	2	3		
평정자 A	1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{2+}
	3	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{3+}
합계		n_{+1}	n_{+2}	n_{+3}	n

여기서 n_{ij} 는 평정자 A가 범주 i 로, 평정자 B가 범주 j 로 분류한 개체의 수이고, 주변합 n_{i+} 는 평정자 A가 범주 i 로 분류한 개체 수의 합을 나타내며, 주변합 n_{+j} 는 평정자 B가 범주 j 로 분류한 개체 수의 합을 나타낸다.

두 평정자가 같은 범주로 분류한 사건의 표본공간을 식 (2.1)로, 두 평정자가 우연히 범주로 분류한 사건의 표본공간을 식 (2.2)로 각각 나타낼 수 있다.

$$O = \{\text{두 평정자의 의견이 일치하는 사건}\} \quad (2.1)$$

$$E = \{\text{두 평정자의 의견이 우연으로 일치하는 사건}\} \quad (2.2)$$

두 평정자의 합치 정도를 두 평정자의 의견이 일치하는 정도로 정의를 할 경우, 전체사건에서 우연으로 일치하는 사건을 제외하고 의견의 일치정도를 나타내는 조건부 확률로 정의할 수 있다. 이 조건부 확률은 두 평정자의 의견이 일치할 확률 (P_o)과 우연히 일치할 확률 (P_e)의 차이를, 1에서 우연히 일치할 확률을 뺀 것으로 나눈, 식 (2.3)으로 표현된다.

$$P_{O|\bar{E}} = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (2.3)$$

두 평정자가 우연으로 일치할 확률인 P_e 는 두 가지 조건을 만족해야한다. 첫째, 완벽한 합치일 때 즉, $P_o=1$ 인 경우 P_e 에 관계없이 합치도 값은 1이 되어야 하며, 완벽한 불합치일 때 즉, $P_o=0$ 인 경우 합치도는 0이 되어야 하며, 이 조건은 $P_e=0.5$ 일 때만 성립된다. 두 번째 조건은 반응 범주의 수가 R 일 때, P_e 의 범위는 $[0, 1/R]$ 를 가져야한다. 두 평정자가 개체를 독립적이고 랜덤으로 평가할 경우, 우연에 의한 합치 비율의 최대값은 반응 범주 수의 역수가 되기 때문이다.

2.1.2. 명목형 합치도

Cohen (1960)의 κ 는 우연에 의해 기대되는 합치 비율 P_e 를 대응하는 주변확률들의 곱으로 표현한다. Scott (1955)의 π 는 P_e 를 두 평정자가 주어진 범주에 같은 확률로 개체를 분류할 것이라는 가정을 하여, P_e 의 각 항은 각 평정자의 분류 비율의 곱으로 추정되는 것을 제안하였다. 또한 Holly와 Guilford (1964)의 G 는 우연에 의해 기대되는 합치 비율의 가장 좋은 추정치가 반응 범주의 역수라고 정의하였으며, Gwet (2001)의 AC1은 평정자내 변동 (intraobserver variation)을 나타내는 불확실성 계수를 이용하여 P_e 를 정의하고, 박미희와 박용규 (2007)의 H 는 조화평균을 이용하여 평정자들의 평가 비율에 대한 비대칭성과 불균형성을 보정한 P_e 를 제시하였다.

세 개의 반응 범주가 있을 때 명목형 합치도들의 P_e 를 표 2.2에 제시하였다. 여기서 P_i 는 $(n_{i+} + n_{+i})/2n$ 이다.

표 2.2 여러 합치도의 P_e	
우연에 의한 합치 비율	P_e
Cohen의 $Pe(\kappa)$	$(\frac{n_{1+}}{n})(\frac{n_{+1}}{n}) + (\frac{n_{2+}}{n})(\frac{n_{+2}}{n}) + (\frac{n_{3+}}{n})(\frac{n_{+3}}{n})$
Scott의 $Pe(\pi)$	$P_1^2 + P_2^2 + P_3^2$
Holly와 Guilford의 $Pe(G)$	$\frac{1}{3}$
Gwet의 $Pe(AC1)$	$\frac{1}{2}[P_1(1 - P_1) + P_2(1 - P_2) + P_3(1 - P_3)]$
박미희와 박용규의 $Pe(H)$	$3 \left(\frac{3P_1P_2P_3}{P_1P_2 + P_2P_3 + P_1P_3} \right)^2$

2.1.3. 순서형 합치도의 가중치

표 2.1이 순서형 반응 범주로 평가되었다면, 두 평정자간 분류 범주가 가까울수록 합치의 정도가 더 높게 나타나도록 하기 위해 가중치를 사용한다. 가중치 w_{ij} 는 0과 1사이 값으로, 완벽한 합치를 보일수록 1에 가까워지고, 두 평정자간에 대칭적으로 부여된다.

주로 사용되는 가중치는 다음과 같다.

- (i) $w_{ij} = |i - j|$ (Agresti, 2002)
- (ii) $w_{ij} = (i - j)^2$ (Cohen, 1968)
- (iii) $w_{ij} = 1 - \frac{|i - j|}{R - 1}$ (Cicchetti와 Allison, 1971)
- (iv) $w_{ij} = 1 - \frac{(i - j)^2}{(R - 1)^2}$ (Fleiss와 Cohen, 1973)

P_{ij} 를 평정자 A 는 범주 i , B 는 범주 j 로 분류할 확률이라 할 때, 관찰된 가중 합치 비율 $P_{o.w}$ 는 식 (2.4)과 같고, 여러 합치도들의 우연에 의해 기대되는 가중 합치 비율 $P_{e.w}$ 는 표 2.3과 같다.

$$P_{o.w} = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R w_{ij} P_{ij} \quad (2.4)$$

이때 $P_{e.w}$ 가 보정된 가중 합치도는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{P_{o.w} - P_{e.w}}{1 - P_{e.w}}$$

표 2.3 여러 합치도의 $P_{e,w}$

우연에 의한 가중 합치 비율	$P_{e,w}$
Cohen의 $P_{e,w}(\kappa)$	$\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R w_{ij} \left(\frac{n_{i+}}{n}\right) \left(\frac{n_{+j}}{n}\right)$
Scott의 $P_{e,w}(\pi)$	$\sum_{i=1}^R w_{ij} P_i P_j$
Holly와 Guilford의 $P_{e,w}(G)$	$\sum_{i=1}^R w_{ij} \frac{1}{R^2}$
Gwet의 $P_{e,w}(AC1)$	$\frac{1}{R-1} \sum_{i=1}^R w_{ij} P_i (1 - P_j)$
박미희와 박용규의 $P_{e,w}(H)$	$\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^R w_{ij} \left(\frac{R}{\sum_{i=1}^R \frac{1}{P_i}}\right)^2$

2.2. κ 의 역설

Feinstein과 Cicchetti (1990)가 제기한 2×2 분할표에서 κ 의 두가지 역설은 주변 분포의 불균형으로 인해, 높은 합치가 예상되는 경우에 오히려 κ 가 작게 나오는 현상을 말한다.

2.2.1. 첫 번째 역설

평정자 A와 평정자 B의 각 범주에서의 주변분포가 같을 때, 즉 $n_{i+}/n = n_{+j}/n$ 일 때를 대칭이라고 한다. κ 의 첫 번째 역설은 동일한 P_o 를 가진 대칭적 주변분포에서, 두 평정자의 평가가 하나의 범주에 집중되는 불균형적인 경우가 한쪽으로 집중되지 않는 균형적인 경우보다 높은 합치가 예상되지만, κ 값은 작게 나타나는 현상을 말한다. 즉, 불균형적 주변분포인 그림 2.1의 (b)가 균형적인 주변분포인 (a)보다 $P_e(\kappa)$ 가 더 큰 값을 가지게 되어, κ 는 작아진다는 역설이다.

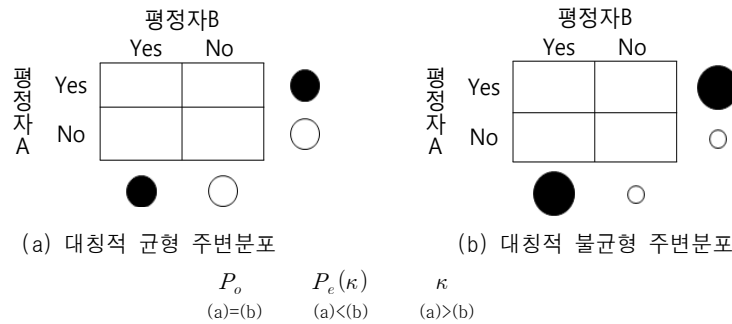


그림 2.1 주변분포와 κ 의 첫 번째 역설에 대한 관계

그림 2.2는 2×2 분할표에서 두 평정자 간의 불합치 정도는 $P_{12}=0.1$, $P_{21}=0.1$ 로 고정시켜놓고, $P_o=0.80$ 일 때 주변분포의 불균형 정도에 따른 각 합치도들의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 불균형의 정도가 커질수록 κ 값은 작아지는 것을 알 수 있다. 한편 H 와 $AC1$ 의 경우에는 불균형이 클수록 P_o 에 가까워지는 것을 볼 수 있다.

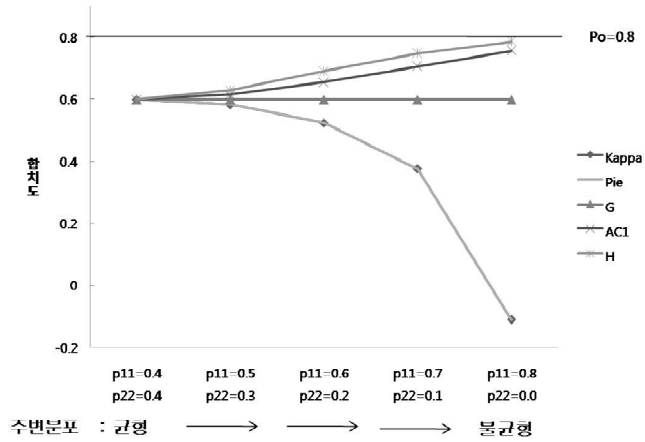


그림 2.2 균형에서 불균형으로 주변분포가 변할 때 합치도들의 변화

2.2.2. 두 번째 역설

κ 의 두 번째 역설은 불균형적 주변분포에서 주변분포가 대칭적일 때가 비대칭적일 때보다, 완전한 대칭일 때가 불완전한 대칭일 때보다 $P_e(\kappa)$ 값이 커서 κ 값이 작아진다는 것으로, 그림 2.3에서 (a)와 (b)는 동일한 P_o 를 갖는다고 할 때, (a)와 같은 대칭적 불균형 주변분포는 (b)와 같은 비대칭적 불균형 주변분포보다 높은 합치가 예상되지만, $P_e(\kappa)$ 값이 커서 κ 값이 작아진다. 또한 (c)와 같이 완전 대칭인 경우가 (d)와 같은 불완전 대칭일 때 보다 $P_e(\kappa)$ 값이 커서 κ 값은 오히려 작게 된다.

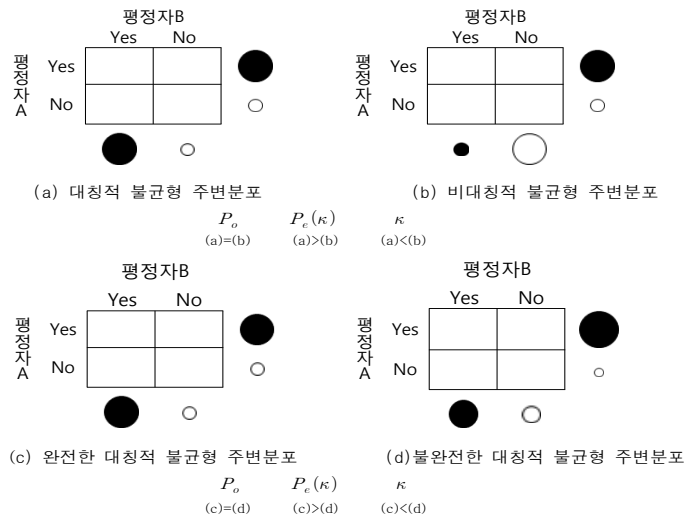


그림 2.3 주변분포와 κ 의 두 번째 역설에 대한 관계

그림 2.4는 2×2 분할표에서 두 평정자 간의 불합치 정도는 $P_{12}=0$, $P_{21}=0.2$ 로 주변분포가 불균형이 되도록 고정시켜놓고, $P_o=0.80$ 에서 비대칭 정도에 따른 합치도들의 변화를 나타낸 것으로, 비대칭의 정도가 커질수록 κ 값은 작아지는 것을 알 수 있다. 한편 비대칭 정도가 커질수록 AC1과 H는 P_o 에 가까워진다. 또한 그림 2.5는 2 × 2 분할표에서 두 평정자의 불합치 정도는 $P_{11}=0.55$, $P_{22}=0.05$ 로 P_o 가 0.60으로 고정시켜놓고, P_{12} , P_{21} 의 변화에 따른 완전 대칭과 불완전 대칭적 불균형 주변분포에서의 합치도 값들을 비교한 것으로, κ 값은 불완전 비대칭의 정도가 심해질수록 값이 커지고, 일정한 값을 가지는 합치도 중에서 H가 가장 높은 합치 값을 가지는 것을 알 수 있다. AC1과 H를 이용하여 주변분포의 불균형과 비대칭으로 인해 발생하는 κ 의 역설을 보완한 예는 박미희와 박용규 (2007)에 제시되어있다.

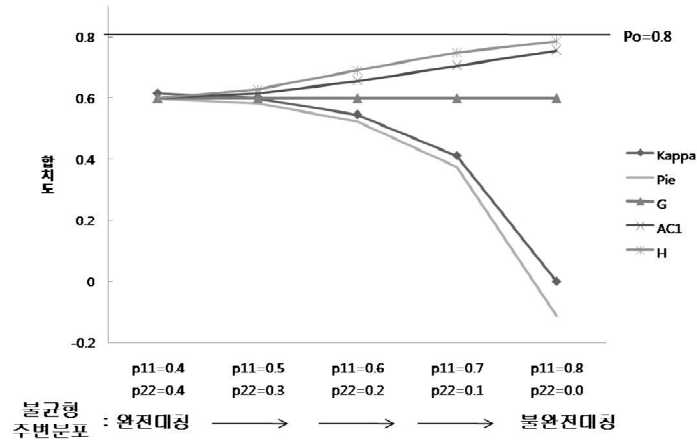


그림 2.4 불균형 주변분포가 비대칭에서 대칭으로 변할 때 합치도들의 변화그림

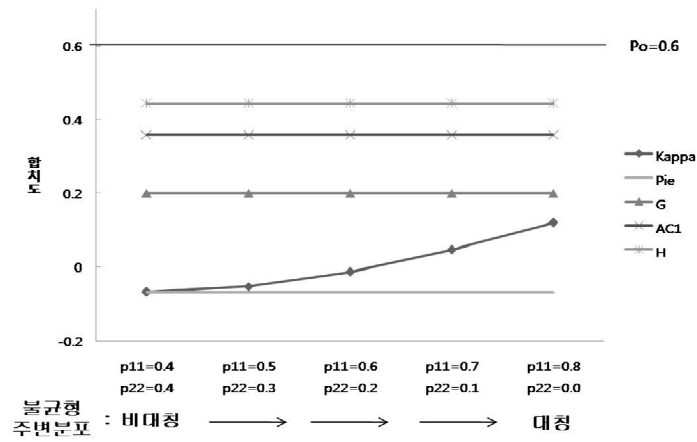


그림 2.5 불균형 주변분포가 완전 대칭에서 불완전 대칭으로 변할 때 합치도들의 변화

2.2.3. κ 의 새로운 역설

권나영 등 (2009)은 κ 에 대한 새로운 역설을 제시하였다. 그림 2.6에서 두 평정자의 주변분포가 모두 비대칭이지만, (b)가 (a)에 비해 상대적으로 더 심한 불균형을 가지고 있으므로, (a)가 (b)보다 더 높은 합치도 값을 가질 것이라 예상된다. 그러나 비대칭적 불균형 분포보다 비대칭적 균형 분포의 κ 값이 더 작게 된다.

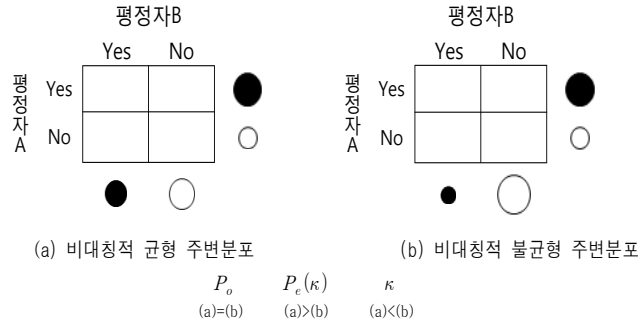


그림 2.6 주변분포와 κ 의 새로운 역설에 대한 관계

3. 모의실험

두 평정자의 주변분포의 변화에 따른 합치도들의 편의와 평균오차제곱을 비교하기 위해 모의실험을 실시하였다. 모의실험은 명목, 순서형에 대해서 반응 범주가 3개의 범주일 때 30, 50, 70, 100으로 표본 수를 변화시켰으며, 순서형 합치도의 비교에서 가중치는 Fless와 Cohen (1973)이 제안한 가중치를 적용하였다. 또한 각 셀에 균일분포의 난수를 부여하여 P_o 가 0.50, 0.67, 0.80일 때 5개의 합치도값들을 비교하였다. 균형적 주변분포일 때는 명목, 순서형 합치도들에 대해서 비교하고, 불균형 주변분포에서는 균형과 불균형, 완전대칭과 불완전대칭에 대해서 명목형 합치도들을 비교하기 위해 모의실험을 다음과 같이 실행하였다.

- 분할표의 각 셀에 일정한 확률을 부여하고 주변분포를 구하였다.
- 주변분포의 구분에 따라서 동일한 성격을 가지는 주변분포를 3가지 경우로 반복하였다.
- 각 모의실험은 10000번씩 반복하였다.

편의와 평균오차제곱 (MSE)은 식 (3.1)과 식 (3.2)로 각각 정의하였다.

$$Bias = \frac{1}{10000} \sum_{i=1}^{10000} (\hat{\theta}_i - \theta) \tag{3.1}$$

$$MSE = \frac{1}{10000} \sum_{i=1}^{10000} (\hat{\theta}_i - \theta)^2 \tag{3.2}$$

여러 합치도들의 상대적인 산포도를 비교하기 위해 (3.3)과 (3.4)로 정의된 식으로 오차와 변이계수를 계산하였다.

$$SE(\hat{\theta}) = \sqrt{MSE - Bias^2} \quad (3.3)$$

$$CV = \frac{SE(\hat{\theta})}{|\hat{\theta}|} \quad (3.4)$$

4. 모의실험 결과

4.1. 명목, 순서형 균형분포

부록의 표 A.1의 명목형 균형적 주변분포에서 κ 와 π 는 음의 편의를 가졌고, $AC1$ 과 H 는 양의 편의를 가졌으며, G 는 다른 합치도에 비해서 편위가 작았다. MSE는 $P_o=0.5$ 일 때 H 가 가장 컸으나 n 이 커질수록 5개의 합치도간에 큰 차이를 보이지 않았으며, SE는 P_o 가 증가할수록 $AC1$ 과 H 가 다른 합치도에 비해서 작아졌고, CV는 모든 경우에서 H 가 가장 작고 π 가 가장 큰 것을 볼 수 있었다.

부록의 표 A.2의 순서형 균형적 주변분포에서 κ , π , G , $AC1$, H 의 가중 합치도를 각각 κ_w , π_w , G_w , $AC1_w$, H_w 로 표현하였다. 이때 G_w 의 편위가 가장 작고, κ_w 와 π_w 는 전체적으로 음의 편의를 가졌으며, κ_w 가 π_w 에 비해서 더 작은 편위를 가졌다. 한편 $AC1_w$ 과 H_w 는 양의 편위를 가졌으며, $AC1_w$ 과 H_w 에 비해서 더 작은 편위를 가졌다. MSE는 P_{ow} 가 0.75일 때는 κ_w 가 가장 작았으나 P_{ow} 가 증가할수록 H_w 가 작아졌다. SE도 MSE와 동일하게 P_{ow} 가 증가할수록 H_w 가 다른 합치도에 비해서 작아졌고, CV는 모든 경우에 H_w 가 가장 작았다.

4.2. 완전 비대칭, 불완전 비대칭 불균형 주변분포

부록의 표 A.3의 완전 비대칭 불균형 주변분포의 경우, κ 와 H 가 다른 합치도에 비해 컸으며, π 는 작게 나타났다. 한편 κ 와 π 는 음의 편의를, $AC1$ 과 H 는 양의 편의를, G 는 다른 합치도에 비해서 작은 편위를 가졌으며, MSE는 n 이 커질수록 5개의 합치도간에 큰 차이를 보이지 않았다. SE는 $P_o=0.5$ 일 때 κ 가 가장 작았으나, P_o 가 증가할수록 $AC1$ 과 H 가 다른 합치도에 비해서 작아졌고, CV는 모든 경우에서 H 가 가장 작아졌다.

부록의 표 A.4의 불완전 비대칭 불균형 주변분포의 경우, 합치도 값은 H 가 다른 합치도에 비해서 컸으며, π 가 작게 나타났다. 또한 G 의 편위가 가장 작았고, κ 와 π 는 음의 편의를 가졌으며, κ 가 π 에 비해서 더 작은 편위를 가졌다. 한편 H 는 다른 합치도에 비해 큰 편위를 보였다. MSE는 P_o 가 증가할수록 모든 합치도들의 값이 비슷해졌으며, SE는 $P_o=0.5$ 일 때 κ 가 가장 작았으나, P_o 가 증가할수록 H 가 다른 합치도에 비해서 작아졌고, CV는 H 가 모든 경우에서 가장 작았다.

4.3. 완전대칭, 불완전대칭 불균형 주변분포

부록의 표 A.5의 완전 대칭 불균형 주변분포에서, H 가 다른 합치도에 비해서 컸으며, κ 와 π 가 작았다. 한편 κ 와 π 는 음의 편의를, $AC1$ 과 H 는 양의 편의를, G 는 다른 합치도에 비해서 작은 편위를 가졌다. MSE는 n 이 커질수록 5개의 합치도 값이 큰 차이를 보이지 않았으며, SE는 $P_o=0.5$ 일 때 κ 가 가장 작았으나, P_o 가 증가할수록 H 가 다른 합치도에 비해서 작아졌고, CV는 모든 경우에서 H 가 가장 작았다.

부록의 표 A.6의 불완전 대칭 불균형 주변분포에서 H 의 합치도 값이 다른 합치도에 비해서 크고, π 가 가장 작았다. 한편 $P_o=0.5$ 일 때 H 의 편위가 가장 컸으며 P_o 에 관계없이 G 가 작은 편위를 보였다.

MSE는 $P_o=0.5$ 일 때 H 가 컸으나, P_o 가 증가하고, n 이 증가할 때, MSE는 큰 차이를 보이지 않았으며, SE는 $P_o=0.5$ 일 때 κ 가 가장 작았으나, $P_o=0.80$ 일 때 H 가 가장 작고, CV는 AC1과 H 가 다른 합치도에 비해서 작게 나타났다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 명목형 또는 순서형 반응 범주를 가진 3×3 분할표를 대상으로 모의실험을 통해 다섯 종류의 합치도들의 성질을 비교하였다. 그 결과 모든 경우에 있어서 κ 와 π 는 음의 편의를, AC1과 H 는 양의 편의를, G 는 가장 작은 편의를 가진 것으로 나타났다. 그러나 MSE는 표본의 수가 증가할수록 합치도들 간에 거의 차이를 보이지 않았다.

명목형 균형적 주변분포와 완전 비대칭 불균형 주변분포에서는, 관찰 합치 비율이 증가할수록 AC1과 H 의 SE가 다른 합치도에 비해 작게 나타났으며, 순서형 균형적 주변분포와 불완전 비대칭 불균형 주변분포의 경우에는, 가중 관찰 합치 비율 (또는 관찰 합치 비율)이 증가할수록 H_w (또는 H)의 SE가 가장 작게 나타났다. 또한 모든 경우에서 관찰 합치 비율이 증가할수록 AC1과 H 의 값이 관찰 합치 비율에 상대적으로 더 가까운 값을 가져, CV도 가장 작게 나타났다.

따라서 명목형 또는 순서형 균형적 주변분포는 물론, 특히 불균형적 주변분포를 갖는 역설적 상황에서도, 주변분포의 불균형성과 대칭성을 보정한 AC1과 H 가 κ 의 대안으로 사용할 수 있는 유용한 측도임을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 각 합치도들의 P_e 에 대한 기본가정이 모두 다르기 때문에 검정력에 대한 직접적인 비교를 하지 못한 제한점을 가지고 있다.

부록

표 A.1 명목형 균형적 주변분포

합치도	20					40					70					100				
	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H
$P_O = 0.50, \pi_{ii} = \frac{2}{12}o.w\pi_{ij} = \frac{1}{12} P_e = 0.33 \& \text{합치도값}=0.25$																				
Bias	-0.0070	-0.0167	-0.0010	0.0065	0.0264	-0.0019	-0.0077	0.0017	0.0063	0.0191	-0.0035	-0.0077	-0.0009	0.0023	0.0117	-0.0010	-0.0039	0.0008	0.0031	0.0098
MSE	0.0182	0.0193	0.0184	0.0184	0.0191	0.0115	0.0118	0.0116	0.0116	0.0120	0.0081	0.0083	0.0082	0.0082	0.0083	0.0056	0.0057	0.0056	0.0056	0.0057
SE	0.1348	0.1378	0.1358	0.1354	0.1357	0.1071	0.1086	0.1076	0.1075	0.1078	0.0901	0.0910	0.0904	0.0903	0.0905	0.0747	0.0752	0.0748	0.0747	0.0748
CV	0.5550	0.5905	0.5452	0.5280	0.4910	0.4316	0.4481	0.4276	0.4193	0.4008	0.3654	0.3754	0.3628	0.3577	0.3457	0.2999	0.3054	0.2982	0.2951	0.2880
$P_O = 0.67, \pi_{ii} = \frac{4}{18}, o.w\pi_{ij} = \frac{1}{18} P_e = 0.33 \& \text{합치도값}=0.50$																				
Bias	-0.0082	-0.0128	0.0001	0.0059	0.0216	-0.0056	-0.0083	-0.0006	0.0030	0.0132	-0.0037	-0.0055	-0.0002	0.0023	0.0096	-0.0022	-0.0035	0.0003	0.0022	0.0075
MSE	0.0166	0.0173	0.0164	0.0162	0.0163	0.0099	0.0101	0.0098	0.0097	0.0098	0.0073	0.0074	0.0072	0.0072	0.0072	0.0050	0.0051	0.0050	0.0050	0.0050
SE	0.1287	0.1308	0.1281	0.1272	0.1258	0.0994	0.1004	0.0991	0.0987	0.0981	0.0855	0.0860	0.0851	0.0848	0.0843	0.0709	0.0712	0.0708	0.0707	0.0705
CV	0.2616	0.2684	0.2562	0.2515	0.2412	0.2012	0.2042	0.1985	0.1962	0.1912	0.1722	0.1739	0.1703	0.1688	0.1654	0.1424	0.1435	0.1415	0.1407	0.1389
$P_O = 0.80, \pi_{ii} = \frac{8}{30}, o.w\pi_{ij} = \frac{1}{30} P_e = 0.33 \& \text{합치도값}=0.70$																				
Bias	-0.0055	-0.0072	0.0015	0.0055	0.0160	-0.0032	-0.0042	0.0010	0.0034	0.0102	-0.0031	-0.0038	-0.0001	0.0017	0.0067	-0.0022	-0.0027	-0.0001	0.0011	0.0047
MSE	0.0125	0.0128	0.0121	0.0119	0.0115	0.0073	0.0074	0.0071	0.0070	0.0069	0.0052	0.0053	0.0051	0.0051	0.0050	0.0036	0.0036	0.0035	0.0035	0.0035
SE	0.1118	0.1129	0.1099	0.1087	0.1062	0.0851	0.0857	0.0844	0.0838	0.0827	0.0722	0.0726	0.0717	0.0714	0.0707	0.0597	0.0599	0.0594	0.0592	0.0588
CV	0.1609	0.1630	0.1567	0.1541	0.1483	0.1222	0.1231	0.1203	0.1192	0.1165	0.1037	0.1042	0.1025	0.1018	0.1001	0.0856	0.0859	0.0849	0.0845	0.0835

표 A.2 순서형 균형적 주변분포

n	20					40					70					100				
합치도	κ_w	π_w	G_w	A_w	H_w	κ_w	π_w	G_w	A_w	H_w	κ_w	π_w	G_w	A_w	H_w	κ_w	π_w	G_w	A_w	H_w
$P_{ow} = 0.75, \pi_{ii} = \frac{2}{12}, o.w\pi_{ij} = \frac{1}{12} P_{ew} = 0.67$ & 가중 합치도값=0.25																				
Bias	-0.0076	-0.0175	-0.0008	0.0091	0.0942	-0.0048	-0.0106	-0.0001	0.0052	0.0621	-0.0033	-0.0074	0.0000	0.0037	0.0466	-0.0027	-0.0055	-0.0006	0.0021	0.0335
MSE	0.0332	0.0349	0.0371	0.0347	0.0439	0.0205	0.0211	0.0226	0.0212	0.0261	0.0150	0.0153	0.0166	0.0156	0.0185	0.0101	0.0102	0.0111	0.0105	0.0123
SE	0.1821	0.1860	0.1926	0.1860	0.1870	0.1430	0.1448	0.1502	0.1457	0.1490	0.1223	0.1234	0.1288	0.1249	0.1279	0.1002	0.1008	0.1056	0.1025	0.1059
CV	0.3670	0.3759	0.3855	0.3709	0.3552	0.2882	0.2925	0.3006	0.2904	0.2831	0.2463	0.2492	0.2578	0.2490	0.2429	0.2019	0.2037	0.2113	0.2042	0.2011
$P_{ow} = 0.83, \pi_{ii} = \frac{4}{18}, o.w\pi_{ij} = \frac{1}{18} P_{ew} = 0.67$ & 가중 합치도값=0.50																				
Bias	-0.0095	-0.0140	-0.0005	0.0072	0.0723	-0.0058	-0.0087	-0.0011	0.0048	0.0492	-0.0050	-0.0069	-0.0003	0.0026	0.0363	-0.0037	-0.0050	-0.0003	0.0016	0.0265
MSE	0.0281	0.0290	0.0287	0.0273	0.0301	0.0170	0.0175	0.0174	0.0167	0.0186	0.0123	0.0125	0.0125	0.0121	0.0134	0.0085	0.0086	0.0087	0.0084	0.0092
SE	0.1672	0.1699	0.1695	0.1650	0.1576	0.1304	0.1318	0.1320	0.1293	0.1272	0.1107	0.1114	0.1118	0.1099	0.1099	0.0920	0.0925	0.0932	0.0916	0.0924
CV	0.2399	0.2438	0.2422	0.2353	0.2196	0.1871	0.1892	0.1887	0.1844	0.1773	0.1587	0.1599	0.1597	0.1567	0.1532	0.1320	0.1327	0.1332	0.1307	0.1288
$P_{ow} = 0.90, \pi_{ii} = \frac{8}{30}, o.w\pi_{ij} = \frac{1}{30} P_{ew} = 0.67$ & 가중 합치도값=0.70																				
Bias	-0.0085	-0.0103	-0.0006	0.0048	0.0475	-0.0043	-0.0053	-0.0004	0.0032	0.0323	-0.0034	-0.0041	-0.0007	0.0026	0.0251	-0.0028	-0.0033	-0.0001	0.0012	0.0176
MSE	0.0201	0.0206	0.0195	0.0187	0.0179	0.0115	0.0117	0.0114	0.0110	0.0110	0.0083	0.0083	0.0082	0.0080	0.0081	0.0059	0.0059	0.0059	0.0057	0.0058
SE	0.1415	0.1430	0.1396	0.1367	0.1251	0.1072	0.1079	0.1068	0.1050	0.0999	0.0908	0.0913	0.0906	0.0894	0.0865	0.0765	0.0768	0.0767	0.0758	0.0744
CV	0.2276	0.2304	0.2237	0.2184	0.1938	0.1724	0.1738	0.1710	0.1678	0.1548	0.1462	0.1470	0.1451	0.1428	0.1339	0.1232	0.1237	0.1229	0.1211	0.1153

표 A.3 완전 비대칭 불균형 주변분포

n	20					40					70					100				
합치도	κ	π	G	$AC1$	H	κ	π	G	$AC1$	H	κ	π	G	$AC1$	H	κ	π	G	$AC1$	H
$P_O = 0.50, \pi_{ii} = \frac{3}{18}, \pi_{31} = \frac{4}{18} o.w\pi_{ij} = \frac{1}{18}$																				
Pe	0.3241	0.3380	0.3333	0.3310	0.3233	0.3241	0.3380	0.3333	0.3310	0.3233	0.3241	0.3380	0.3333	0.3310	0.3233	0.3241	0.3380	0.3333	0.3310	0.3233
합치도값	0.2603	0.2448	0.2500	0.2526	0.2611	0.2603	0.2448	0.2500	0.2526	0.2611	0.2603	0.2448	0.2500	0.2526	0.2611	0.2603	0.2448	0.2500	0.2526	0.2611
Bias	-0.0057	-0.0165	0.0003	0.0079	0.0273	-0.0044	-0.0103	-0.0002	0.0044	0.0168	-0.0031	-0.0075	-0.0005	0.0028	0.0117	-0.0020	-0.0050	-0.0002	0.0021	0.0083
MSE	0.0177	0.0210	0.0191	0.0187	0.0188	0.0108	0.0124	0.0114	0.0112	0.0111	0.0076	0.0086	0.0080	0.0079	0.0078	0.0053	0.0060	0.0056	0.0055	0.0055
SE	0.1331	0.1439	0.1380	0.1364	0.1344	0.1038	0.1109	0.1069	0.1057	0.1041	0.0868	0.0926	0.0897	0.0888	0.0877	0.0727	0.0773	0.0751	0.0743	0.0734
CV	0.5228	0.6305	0.5514	0.5235	0.4659	0.4057	0.4730	0.4280	0.4112	0.3745	0.3377	0.3903	0.3595	0.3477	0.3216	0.2814	0.3225	0.3005	0.2919	0.2725
$P_O = 0.67, \pi_{ii} = \frac{6}{27}, \pi_{31} = \frac{4}{27} o.w\pi_{ij} = \frac{1}{27}$																				
Pe	0.3292	0.3354	0.3333	0.3323	0.3290	0.3292	0.3354	0.3333	0.3323	0.3290	0.3292	0.3354	0.3333	0.3323	0.3290	0.3292	0.3354	0.3333	0.3323	0.3290
합치도값	0.5031	0.4985	0.5000	0.5008	0.5032	0.5031	0.4985	0.5000	0.5008	0.5032	0.5031	0.4985	0.5000	0.5008	0.5032	0.5031	0.4985	0.5000	0.5008	0.5032
Bias	-0.0076	-0.0129	0.0002	0.0062	0.0218	-0.0062	-0.0092	-0.0012	0.0026	0.0127	-0.0030	-0.0050	0.0005	0.0031	0.0104	-0.0026	-0.0041	-0.0003	0.0015	0.0066
MSE	0.0167	0.0184	0.0170	0.0166	0.0163	0.0099	0.0107	0.0101	0.0099	0.0098	0.0069	0.0074	0.0070	0.0070	0.0069	0.0048	0.0051	0.0049	0.0048	0.0048
SE	0.1291	0.1351	0.1304	0.1288	0.1258	0.0992	0.1029	0.1005	0.0996	0.0981	0.0828	0.0857	0.0840	0.0834	0.0822	0.0689	0.0711	0.0700	0.0696	0.0688
CV	0.2605	0.2782	0.2607	0.2541	0.2396	0.1997	0.2104	0.2014	0.1979	0.1901	0.1655	0.1736	0.1677	0.1654	0.1601	0.1377	0.1439	0.1401	0.1386	0.1350
$P_O = 0.80, \pi_{ii} = \frac{12}{45}, \pi_{31} = \frac{4}{45} o.w\pi_{ij} = \frac{1}{45}$																				
Pe	0.3319	0.3341	0.3333	0.3330	0.3318	0.3319	0.3341	0.3333	0.3330	0.3318	0.3319	0.3341	0.3333	0.3330	0.3318	0.3319	0.3341	0.3333	0.3330	0.3318
합치도값	0.7007	0.6997	0.7000	0.7002	0.7007	0.7007	0.6997	0.7000	0.7002	0.7007	0.6997	0.7000	0.7002	0.7007	0.6997	0.7000	0.7002	0.7007	0.6997	0.7000
Bias	-0.0070	-0.0091	0.0000	0.0041	0.0148	-0.0036	-0.0048	0.0004	0.0028	0.0095	-0.0031	-0.0039	-0.0001	0.0016	0.0066	-0.0017	-0.0022	0.0004	0.0016	0.0052
MSE	0.0122	0.0128	0.0119	0.0116	0.0112	0.0073	0.0075	0.0072	0.0071	0.0069	0.0053	0.0054	0.0053	0.0052	0.0051	0.0035	0.0036	0.0036	0.0035	0.0035
SE	0.1102	0.1126	0.1091	0.1078	0.1050	0.0851	0.0865	0.0848	0.0841	0.0826	0.0726	0.0736	0.0725	0.0721	0.0710	0.0595	0.0603	0.0596	0.0593	0.0587
CV	0.1589	0.1631	0.1559	0.1531	0.1467	0.1221	0.1246	0.1211	0.1197	0.1163	0.1041	0.1058	0.1036	0.1027	0.1004	0.0851	0.0864	0.0851	0.0845	0.0831

표 A.4 불완전 비대칭 불균형 주변분포

n	20					40					70					100				
	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H
	$P_O = 0.50, \pi_{11} = \frac{2}{18}, \pi_{22} = \frac{3}{18}, \pi_{33} = \frac{4}{18}, \pi_{31} = \frac{4}{18} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{18}$																			
Pe	0.3302	0.3441	0.3333	0.3279	0.3140	0.3302	0.3441	0.3333	0.3279	0.3140	0.3302	0.3441	0.3333	0.3279	0.3140	0.3302	0.3441	0.3333	0.3279	0.3140
합치도값	0.2535	0.2376	0.2500	0.2560	0.2711	0.2535	0.2376	0.2500	0.2560	0.2711	0.2535	0.2376	0.2500	0.2560	0.2711	0.2535	0.2376	0.2500	0.2560	0.2711
Bias	-0.0061	-0.0168	-0.0001	0.0071	0.0243	-0.0035	-0.0096	0.0005	0.0048	0.0158	-0.0029	-0.0073	-0.0003	0.0028	0.0107	-0.0028	-0.0059	-0.0009	0.0013	0.0071
MSE	0.0175	0.0207	0.0187	0.0185	0.0189	0.0106	0.0122	0.0113	0.0112	0.0115	0.0076	0.0087	0.0081	0.0080	0.0081	0.0054	0.0061	0.0057	0.0057	0.0058
SE	0.1320	0.1429	0.1369	0.1358	0.1352	0.1027	0.1100	0.1063	0.1058	0.1060	0.0872	0.0929	0.0900	0.0895	0.0896	0.0733	0.0780	0.0757	0.0753	0.0756
CV	0.5336	0.6470	0.5475	0.5161	0.4576	0.4110	0.4822	0.4246	0.4056	0.3695	0.3479	0.4034	0.3602	0.3456	0.3179	0.2924	0.3367	0.3040	0.2928	0.2717
	$P_O = 0.67, \pi_{11} = \frac{5}{27}, \pi_{22} = \frac{6}{27}, \pi_{33} = \frac{7}{27}, \pi_{31} = \frac{4}{27} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{27}$																			
Pe	0.3320	0.3381	0.3333	0.3309	0.3244	0.3320	0.3381	0.3333	0.3309	0.3244	0.3320	0.3381	0.3333	0.3309	0.3244	0.3320	0.3381	0.3333	0.3309	0.3244
합치도값	0.5010	0.4964	0.5000	0.5018	0.5066	0.5010	0.4964	0.5000	0.5018	0.5066	0.5010	0.4964	0.5000	0.5018	0.5066	0.5010	0.4964	0.5000	0.5018	0.5066
Bias	-0.0087	-0.0139	-0.0009	0.0048	0.0191	-0.0062	-0.0094	-0.0014	0.0023	0.0119	-0.0026	-0.0047	0.0008	0.0034	0.0102	-0.0030	-0.0044	-0.0007	0.0010	0.0057
MSE	0.0165	0.0180	0.0167	0.0164	0.0161	0.0099	0.0107	0.0101	0.0099	0.0098	0.0070	0.0075	0.0072	0.0071	0.0070	0.0049	0.0052	0.0050	0.0050	0.0049
SE	0.1280	0.1336	0.1291	0.1278	0.1256	0.0993	0.1031	0.1003	0.0995	0.0982	0.0835	0.0865	0.0847	0.0841	0.0832	0.0700	0.0722	0.0709	0.0705	0.0699
CV	0.2600	0.2768	0.2588	0.2523	0.2390	0.2007	0.2117	0.2012	0.1973	0.1893	0.1676	0.1759	0.1690	0.1664	0.1609	0.1406	0.1467	0.1420	0.1402	0.1364
	$P_O = 0.80, \pi_{11} = \frac{11}{45}, \pi_{22} = \frac{12}{45}, \pi_{33} = \frac{13}{45}, \pi_{31} = \frac{4}{45} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{45}$																			
Pe	0.3328	0.3351	0.3333	0.3325	0.3300	0.3328	0.3351	0.3333	0.3325	0.3300	0.3328	0.3351	0.3333	0.3325	0.3300	0.3328	0.3351	0.3333	0.3325	0.3300
합치도값	0.7002	0.6992	0.7000	0.7004	0.7015	0.7002	0.6992	0.7000	0.7004	0.7015	0.7002	0.6992	0.7000	0.7004	0.7015	0.7002	0.6992	0.7000	0.7004	0.7015
Bias	-0.0081	-0.0103	-0.0012	0.0028	0.0132	-0.0049	-0.0061	-0.0008	0.0017	0.0084	-0.0032	-0.0040	-0.0003	0.0015	0.0064	-0.0018	-0.0024	0.0003	0.0015	0.0051
MSE	0.0123	0.0129	0.0119	0.0116	0.0111	0.0073	0.0075	0.0072	0.0071	0.0069	0.0052	0.0053	0.0052	0.0051	0.0050	0.0036	0.0036	0.0035	0.0035	0.0035
SE	0.1104	0.1130	0.1092	0.1078	0.1048	0.0852	0.0866	0.0847	0.0840	0.0825	0.0719	0.0730	0.0718	0.0714	0.0703	0.0596	0.0604	0.0596	0.0593	0.0586
CV	0.1595	0.1640	0.1562	0.1532	0.1466	0.1225	0.1249	0.1212	0.1197	0.1163	0.1032	0.1050	0.1027	0.1017	0.0993	0.0853	0.0866	0.0851	0.0844	0.0829

표 A.5 완전 대칭 불균형 주변분포

n	20					40					70					100				
	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H	κ	π	G	AC1	H
	$P_O = 0.50, \pi_{11} = \frac{3}{12}, \pi_{22} = \frac{2}{12}, \pi_{33} = \frac{1}{12} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{12}$																			
Pe	0.3472	0.3472	0.3333	0.3264	0.3056	0.3472	0.3472	0.3333	0.3264	0.3056	0.3472	0.3472	0.3333	0.3264	0.3056	0.3472	0.3472	0.3333	0.3264	0.3056
합치도값	0.2340	0.2340	0.2500	0.2577	0.2800	0.2340	0.2340	0.2500	0.2577	0.2800	0.2340	0.2340	0.2500	0.2577	0.2800	0.2340	0.2340	0.2500	0.2577	0.2800
Bias	-0.0088	-0.0190	-0.0033	0.0032	0.0160	-0.0053	-0.0114	-0.0019	0.0021	0.0105	-0.0021	-0.0063	0.0005	0.0034	0.0094	-0.0014	-0.0043	0.0002	0.0022	0.0063
MSE	0.0186	0.0197	0.0192	0.0196	0.0210	0.0111	0.0115	0.0114	0.0117	0.0127	0.0078	0.0080	0.0080	0.0081	0.0090	0.0056	0.0057	0.0057	0.0059	0.0065
SE	0.1360	0.1392	0.1387	0.1398	0.1440	0.1053	0.1068	0.1069	0.1080	0.1124	0.0881	0.0890	0.0892	0.0902	0.0942	0.0747	0.0752	0.0756	0.0765	0.0802
CV	0.6039	0.6471	0.5621	0.5359	0.4865	0.4606	0.4797	0.4309	0.4154	0.3870	0.3800	0.3907	0.3561	0.3452	0.3256	0.3211	0.3274	0.3023	0.2943	0.2800
	$P_O = 0.67, \pi_{11} = \frac{6}{18}, \pi_{22} = \frac{3}{18}, \pi_{33} = \frac{3}{18} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{18}$																			
Pe	0.3519	0.3519	0.3333	0.3241	0.3023	0.3519	0.3519	0.3333	0.3241	0.3023	0.3519	0.3519	0.3333	0.3241	0.3023	0.3519	0.3519	0.3333	0.3241	0.3023
합치도값	0.4857	0.4857	0.5000	0.5068	0.5222	0.4857	0.4857	0.5000	0.5068	0.5222	0.4857	0.4857	0.5000	0.5068	0.5222	0.4857	0.4857	0.5000	0.5068	0.5222
Bias	-0.0073	-0.0121	0.0006	0.0055	0.0159	-0.0050	-0.0078	0.0000	0.0031	0.0099	-0.0036	-0.0056	0.0001	0.0024	0.0075	-0.0027	-0.0040	-0.0002	0.0014	0.0048
MSE	0.0173	0.0180	0.0168	0.0166	0.0163	0.0105	0.0099	0.0099	0.0100	0.0072	0.0073	0.0070	0.0071	0.0051	0.0052	0.0050	0.0050	0.0050	0.0051	0.0051
SE	0.1313	0.1335	0.1294	0.1288	0.1280	0.1013	0.1023	0.0997	0.0994	0.0995	0.0847	0.0854	0.0836	0.0835	0.0839	0.0716	0.0719	0.0706	0.0706	0.0711
CV	0.2744	0.2819	0.2586	0.2515	0.2378	0.2107	0.2141	0.1993	0.1950	0.1870	0.1758	0.1778	0.1671	0.1640	0.1584	0.1482	0.1493	0.1412	0.1389	0.1350
	$P_O = 0.80, \pi_{11} = \frac{10}{30}, \pi_{22} = \frac{8}{30}, \pi_{33} = \frac{6}{30} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{30}$																			
Pe	0.3422	0.3422	0.3333	0.3289	0.3156	0.3422	0.3422	0.3333	0.3289	0.3156	0.3422	0.3422	0.3333	0.3289	0.3156	0.3422	0.3422	0.3333	0.3289	0.3156
합치도값	0.6959	0.6959	0.7000	0.7020	0.7078	0.6959	0.6959	0.7000	0.7020	0.7078	0.6959	0.6959	0.7000	0.7020	0.7078	0.6959	0.6959	0.7000	0.7020	0.7078
Bias	-0.0071	-0.0090	-0.0001	0.0037	0.0121	-0.0051	-0.0061	-0.0010	0.0013	0.0066	-0.0027	-0.0034	0.0003	0.0020	0.0060	-0.0022	-0.0027	-0.0001	0.0011	0.0039
MSE	0.0126	0.0129	0.0119	0.0116	0.0111	0.0075	0.0076	0.0072	0.0071	0.0069	0.0053	0.0053	0.0051	0.0050	0.0049	0.0037	0.0037	0.0036	0.0036	0.0035
SE	0.1120	0.1132	0.1091	0.1077	0.1049	0.0864	0.0870	0.0850	0.0843	0.0830	0.0724	0.0728	0.0713	0.0707	0.0699	0.0609	0.0611	0.0600	0.0596	0.0592
CV	0.1626	0.1648	0.1558	0.1526	0.1457	0.1251	0.1261	0.1215	0.1198	0.1162	0.1045	0.1051	0.1017	0.1005	0.0979	0.0877	0.0881	0.0857	0.0848	0.0831

표 A.6 불완전 대칭 불균형 주변분포

n	20					40					70					100				
	κ	π	G	$AC1$	H	κ	π	G	$AC1$	H	κ	π	G	$AC1$	H	κ	π	G	$AC1$	H
	$P_O = 0.50, \pi_{11} = \frac{4}{14}, \pi_{22} = \frac{2}{14}, \pi_{33} = \frac{1}{14}, \pi_{31} = \frac{2}{14} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{14}$																			
Pe	0.3571	0.3597	0.3333	0.3202	0.2897	0.3571	0.3597	0.3333	0.3202	0.2897	0.3571	0.3597	0.3333	0.3202	0.2897	0.3571	0.3597	0.3333	0.3202	0.2897
합치도값	0.2222	0.2191	0.2500	0.2645	0.2961	0.2222	0.2191	0.2500	0.2645	0.2961	0.2222	0.2191	0.2500	0.2645	0.2961	0.2222	0.2191	0.2500	0.2645	0.2961
Bias	-0.0063	-0.0171	-0.0010	0.0047	0.0154	-0.0027	-0.0089	0.0010	0.0047	0.0116	-0.0012	-0.0057	0.0011	0.0035	0.0082	-0.0009	-0.0041	0.0004	0.0021	0.0054
MSE	0.0184	0.0200	0.0192	0.0198	0.0211	0.0108	0.0114	0.0111	0.0115	0.0125	0.0077	0.0081	0.0081	0.0084	0.0092	0.0055	0.0057	0.0056	0.0058	0.0064
SE	0.1356	0.1403	0.1386	0.1405	0.1445	0.1039	0.1064	0.1055	0.1070	0.1110	0.0880	0.0899	0.0899	0.0915	0.0954	0.0740	0.0752	0.0751	0.0764	0.0798
CV	0.6282	0.6948	0.5568	0.5216	0.4640	0.4732	0.5060	0.4202	0.3976	0.3609	0.3982	0.4211	0.3580	0.3413	0.3137	0.3343	0.3497	0.2999	0.2864	0.2645
	$P_O = 0.66, \pi_{11} = \frac{7}{21}, \pi_{22} = \frac{4}{21}, \pi_{33} = \frac{3}{21}, \pi_{31} = \frac{2}{21} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{21}$																			
Pe	0.3537	0.3549	0.3333	0.3226	0.2974	0.3537	0.3549	0.3333	0.3226	0.2974	0.3537	0.3549	0.3333	0.3226	0.2974	0.3537	0.3549	0.3333	0.3226	0.2974
합치도값	0.4842	0.4833	0.5000	0.5079	0.5256	0.4842	0.4833	0.5000	0.5079	0.5256	0.4842	0.4833	0.5000	0.5079	0.5256	0.4842	0.4833	0.5000	0.5079	0.5256
Bias	-0.0077	-0.0127	0.0009	0.0060	0.0164	-0.0068	-0.0097	-0.0020	0.0010	0.0073	-0.0023	-0.0044	0.0011	0.0032	0.0078	-0.0028	-0.0042	-0.0005	0.0009	0.0041
MSE	0.0178	0.0187	0.0170	0.0167	0.0165	0.0105	0.0109	0.0101	0.0100	0.0099	0.0073	0.0075	0.0070	0.0070	0.0071	0.0051	0.0052	0.0050	0.0050	0.0050
SE	0.1332	0.1361	0.1302	0.1291	0.1273	0.1022	0.1037	0.1003	0.0998	0.0994	0.0852	0.0864	0.0838	0.0835	0.0836	0.0716	0.0723	0.0706	0.0704	0.0707
CV	0.2796	0.2892	0.2600	0.2512	0.2350	0.2141	0.2190	0.2014	0.1961	0.1866	0.1769	0.1804	0.1673	0.1634	0.1568	0.1488	0.1510	0.1413	0.1384	0.1335
	$P_O = 0.80, \pi_{11} = \frac{11}{35}, \pi_{22} = \frac{9}{35}, \pi_{33} = \frac{8}{35}, \pi_{31} = \frac{2}{35} o.w \pi_{ij} = \frac{1}{35}$																			
Pe	0.3371	0.3376	0.3333	0.3312	0.3255	0.3371	0.3376	0.3333	0.3312	0.3255	0.3371	0.3376	0.3333	0.3312	0.3255	0.3371	0.3376	0.3333	0.3312	0.3255
합치도값	0.6983	0.6981	0.7000	0.7009	0.7035	0.6983	0.6981	0.7000	0.7009	0.7035	0.6983	0.6981	0.7000	0.7009	0.7035	0.6983	0.6981	0.7000	0.7009	0.7035
Bias	-0.0069	-0.0087	-0.0001	0.0038	0.0134	-0.0051	-0.0061	-0.0009	0.0015	0.0077	-0.0034	-0.0041	-0.0003	0.0015	0.0061	-0.0016	-0.0021	0.0006	0.0018	0.0051
MSE	0.0126	0.0129	0.0121	0.0118	0.0114	0.0074	0.0075	0.0072	0.0071	0.0070	0.0053	0.0053	0.0051	0.0051	0.0050	0.0038	0.0038	0.0037	0.0037	0.0036
SE	0.1120	0.1134	0.1098	0.1085	0.1057	0.0859	0.0867	0.0850	0.0844	0.0831	0.0724	0.0729	0.0717	0.0712	0.0704	0.0616	0.0619	0.0610	0.0607	0.0600
CV	0.1620	0.1645	0.1569	0.1540	0.1475	0.1240	0.1253	0.1215	0.1201	0.1169	0.1042	0.1050	0.1024	0.1014	0.0991	0.0884	0.0889	0.0870	0.0863	0.0847

참고문헌

권나영, 김진곤, 박용규 (2009). 가중 합치도 H_w 와 κ 의 새로운 역설. <응용통계연구>, **22**, 1073-1085.
 김진곤, 박미희, 박용규 (2009). $m \times m$ 분할표에서의 합치도 H . <한국통계학회논문집>, **16**, 753-762.
 박미희, 박용규 (2007). COHEN의 합치도의 두 가지 역설을 해결하기 위한 새로운 합치도의 제안. <응용통계연구>, **20**, 117-132.
 Agresti, A. (2002). *Categorical data analysis*, Wiley, New York.
 Cicchetti, D. V. and Allison, T. (1971). A new procedure for assessing reliability of scoring EEG sleep recordings. *American Journal of EEG Technology*, **11**, 101-109.
 Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Education and Psychological Measurement*, **20**, 37-46.
 Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, **70**, 213-220.
 Feinstein, A. R. and Cicchetti, D. V. (1990). High agreement but low kappa: 1. The problems of two paradoxes. *Journal of Clinical Epidemiology*, **43**, 543-549.
 Fleiss, J. L. and Cohen, J. (1973). The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Education and Psychological Measurement*, **33**, 613-619.
 Gwet, K. (2001). *Handbook of inter-rater reliability*, STATAXIS Publishing company, Gaithersburg.
 Holley, J. W. and Guilford, J. P. (1964). A note on the G index of agreement. *Education and Psychological Measurement*, **24**, 749-753.
 Janson, S. and Vegelius, J. (1979). On generalizations of the G index and the PHI coefficient to nominal scales. *Multivariate Behavioral Research*, **14**, 255-269.
 Scott, W. A. (1955). Reliability of content analysis: The case of nominal scale coding. *Public Opinion Quarterly*, **19**, 321-325.

A simulation study of rater agreement measures

Kyung Do Han¹ · Yong-Gyu Park²

¹²Department of Biostatistics, Catholic University

Received 8 November 2011, revised 24 November 2011, accepted 29 November 2011

Abstract

Many statistics, such as Cohen's (1960) κ , Scott's (1955) π , and Park and Park's (2007) H have been proposed as measures of agreement to represent inter-rater reliability. This study compared bias, SE, MSE, and CV of the measures of agreement with nominal and ordinal categories in the balanced marginal distributions, and those with nominal categories in the two paradoxical situations. As a result, in all cases, $AC1$ and H had smaller SE and CV.

Keywords: H, kappa, paradox of kappa, simulation.

¹ Graduate student, Department of Biostatistics, The Catholic University of Korea, Seoul 137-701, Korea.

² Corresponding author: Professor, Department of Biostatistics, The Catholic University of Korea, Seoul 137-701, Korea. E-mail: ygpark@catholic.ac.kr