JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(6): 675-687
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.6.675
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Development of Guidelines for Night Visibility Evaluation and Use of Safety Reflectors in Agricultural Machinery

Insoo Kim, Sooin Park, Hye-Seon Chae, Kyungsu Kim, Choungkeun Lee, Seoung-Yeon Kim

National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju-si, 54875

농업기계 안전반사장치 야간 시인성 평가 및 사용 가이드 개발

김인수, 박수인, 채혜선, 김경수, 이충근, 김승연

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Corresponding Author
Seoung-Yeon Kim
National Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration,
Jeonju-si, 54875
Email : kimsy9035@korea.kr

Received : October 31, 2023
Revised : November 07, 2023
Accepted : December 04, 2023

Copyright@2023 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The visibility of safety reflectors mounted on agricultural equipment plays a very important role in preventing collisions with vehicles. In this study, we evaluated the nighttime visibility of safety reflectors on agricultural equipment and proposed guidelines for the specifications and use of safety reflectors in agricultural equipment.

Background: Traffic accidents involving agricultural equipment have a high fatality rate and agricultural equipment has been found to be highly prone to safety hazards when moving on the road. In particular, accidents involving agricultural equipment mainly occur after dark, yet there are no standardized installation guidelines for safety reflectors. Therefore, there is a need to develop installation standards to ensure nighttime visibility of safety reflectors, as well as a user guide to teach users how to effectively install the safety reflectors.

Method: In this study, we measured reflectivity and conducted nighttime visibility experiments and evaluation for three types of safety reflectors applicable to agricultural equipment. Based on these results, recommended installation specifications and user guides were developed. For the reflectivity testing, product samples were measured in the laboratory using a luminance meter, whereas for the night-time visibility experiment, distances for recognition and caution were evaluated as subjects in a rural field according to the distance from the safety reflector.

Results: Results of the study show that the color of the reflector appeared yellow rather than red at night, and a larger reflector area corresponds to a higher luminance value. Through the night-time visibility experiments, we developed recommended specifications for three types of safety reflectors according to the safe stopping distance for a vehicle traveling with a design speed of 80km/h, as well as standard specifications and a user guide for agricultural equipment.

Conclusion: This researcher developed standard specifications and user guide for safety reflectors suitable for agricultural vehicles based on the results of their visibility assessment. Further research will be conducted to evaluate visibility according to the speed of the vehicle and to develop a user guide that can be applied to various agricultural machinery and equipment.

Application: In this study, specifications for safety reflectors of agricultural equipment have been proposed to ensure visibility, which will hopefully help to prevent agricultural equipment-related traffic accidents.

Keywords: Agricultural machinery, Safety reflector, Traffic accidents, Night visibility, Rural area

1. Introduction

농업의 기계화는 생산성 향상을 가져왔으나 도로 주행이 가능한 농업기계의 급격한 보급과 농촌의 도시복합지역(Urban-rural complex area)의 확산은 농업기계와 일반 차량과의 추돌사고 등의 교통사고 위험이 높아졌다(Kim et al., 2018). 최근 5년간(2017~2021년) 농업기계 관련 교통사고 발생 현황에 의하면 연평균 404건이 발생하였고, 치사율이 약 14.5%로 전체 일반 차량 교통사고 치사율 1.6% 대비 약 9배 이상 높아 교통 안전에 매우 취약한 것으로 나타났다(KoROAD, 2022). 농업기계 교통사고 관련 조사결과(RDA, 2020), 차량과의 추돌(26.6%) 및 측면 충돌(25.1%), 농업기계 단독 전도·전복(12.2%) 순위를 보였다. 또한 교통사고 대상 농업기계는 경운기 61.6%, 트랙터 11.3%가 전체의 70% 이상으로, 66.3%가 주로 야간 시간대(18~24시, 01~07시)에 집중적으로 발생하여 농업기계 야간 시인성 확보가 요구된다.

농촌 지역 도로에서 운행이 가능한 농업기계는 농업용 트랙터, 동력 경운기, 농업용 콤바인, 동력 이앙기 등이 있으며, 2022년을 기준으로 약 1,082.6천대 수준으로 매년 증가 추세에 있고, 경운기와 트랙터의 경우 2022년말 기준으로 국내 농업기계 보유대수는 동력 경운기(527.7 천대)가 가장 많고, 트랙터(308.8 천대)로 조사되었다(MAFRA, 2023). 특히 농업기계의 경우 주행 속도가 40km/h 이하의 저속이고, 주행중인 일반 차량 운전자가 농업기계를 미쳐 발견하지 못할 경우 추돌사고 등 교통사고 발생 가능성이 높다(Choi and Choi, 2001; Lee et al., 2003; Oh et al., 2021). 또한 대부분 농촌도로에는 조명 시설이 없어 차량 운전자가 속도감과 원근감이 느끼지 못하는 등 시인성 확보가 어렵다(Woo et al., 2014; Lee et al., 2015). 농업기계 관련 교통사고는 일반 차량이 안전정지거리 이내에서 제대로 감속이 이루어지지 못해 추돌하므로 충격량이 높고, 이로 인해 농업기계 및 자동차 탑승자 모두 사상의 심각도 높아 주의가 요구된다(Kim and Hwang, 2017; Kim et al., 2018). 농업기계 교통사고 손상 사고 자료에 따르면 사망자가 14.7%, 중상자가 41.2%로 중증도 순위를 보였다(RDA, 2020). 이와 같이 교통사고 예방을 위해서는 일반 차량의 안전정지거리에서 감속할 수 있는 야간 시인성이 확보된 농업기계 안전반사장치 설치는 중요하다(Myers, 2002).

농업기계 안전반사장치 관련 연구를 살펴보면, 경운기 반사등 부착 시 사고율 감소 영향 연구(Lee et al., 2003), 농업용 트랙터 제동 등광도 안전기준 마련 연구(Kim et al., 2011), 농업기계의 등화장치 야간 시인성과 농업기계 사고 예방에 미치는 영향 연구(Choi et al., 2017), 농업기계 시인성 확보를 위한 안전장치 규격 제언 등의 연구가 수행되었다(Oh et al., 2021). 최근에 농업기계의 야간 반사판 규격, 반사 성능 확보, 설치 표준화의 필요성이 제기되었고(Kim et al., 2021; KoROAD, 2020), Kim et al. (2022) 연구에서 우리나라 농업기계에 적합한 안전반사장치(안전반사판, 저속차량 후부 표지, 안전반사띠)에 대한 설치 기준을 제안하였다. 그러나 농업기계 안전반사장치에 대한 시인성 확보 및 권장 치수 등의 규격을 제시하지 못해 실제 농업기계에 적용하는 데에 한계점이 있었다. 이에 야간 시인성이 확보된 안전반사장치의 설치 규격과 효과적으로 활용할 수 있는 사용 가이드 개발이 요구된다.

이에 본 연구에서는 Kim et al. (2022)의 연구에 제시된 농업기계 안전반사장치 설치 기준안을 기반으로 안전반사장치의 설치 권장 규격을 제시하고자 한다. 이를 위해 농업기계 안전반사장치 반사 성능시험 및 야간 시인성 실험을 수행하여 시인성이 확보된 설치 규격과 이를 활용할 수 있는 이용 가이드를 제시하고자 한다. 이는 농업기계에 적용할 수 있는 안전반사장치의 표준 규격을 제시하는데 의미가 있으며, 농업기계와 일반 차량과의 추돌사고 예방에 기여할 것으로 기대된다.

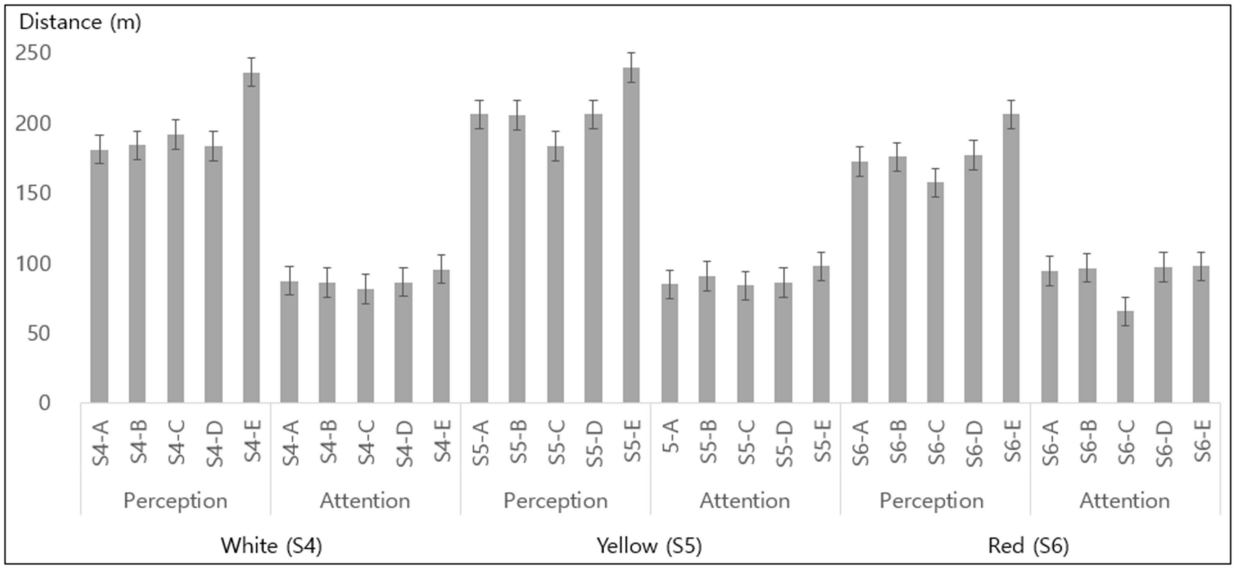
2. Methods

농업기계 안전반사장치의 시인성을 평가하기 위해 안전반사장치의 반사체가 차량으로부터 얻은 빛을 얼마만큼 운전자에게 되돌려주는 가의 정도를 나타내는 반사 성능 측정 분석과 도로 현장에서 차량 운전자가 실제 반응하는 야간 시인성 실험을 통해 안전정

지거리를 측정하고 분석하였다.

2.1 Safety reflector reflection performance measurement

일반적으로 시인 성능은 광도(Luminous intensity) 또는 조도(Illuminance)를 근거로 광원에서 발산된 빛이 특정 입사면에 반사되어 인간의 눈에 도달하는 빛의 세기를 측정하는 휘도(cd/m^2)를 기반으로 측정한다(Choi et al., 2017; Cho, 2017). 본 연구에서는 안전반사장치에 대한 휘도 측정을 위해 고해상도 휘도 분석기(High Resolution Luminancemeter (LMK 6-2), TechnoTeam)를 측정에 활용하였다. 광원의 전조등은 K사의 C 차량의 LED 전조등을 사용하였고, 측정 환경은 온도 12±2℃, 습도 56±5%R.H.이다. 본 실험은 외부 광이 차단된 암실 형태의 실험실(120m(길이) × 30m(높이) × 11m(너비))에서 측정하여 주변 환경에 따른 변수의 최소화가 가능하였으며 이외 실험간 발생할 수 있는 변수를 철저히 통제한 후 시험 측정을 수행하였다. 실험 거리는 최대 60m이고, 측정 장비(검출기)와 측정 시료 사이의 간격은 3m, 5m, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m 단위로 측정하였으며, 10m 이내에서는 상대 거리에 대한 추가적 분석을 위해 5m, 3m에서 측정하였다(Choi et al., 2017). 측정 시료는 바닥에서 100cm 높이에 거치하고, 광원과 검출기의 위치를 고정하였고, 시료와 검출기의 간격 조정을 위해 시료의 위치를 측정 위치로 이동하여 측정하였다. 실험 조건과 실험실은 Figure 1과 같다.

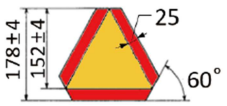


(a) Experiment conditions (b) Laboratory environment (c) Luminance measurement

Figure 1. Examples of experimental conditions, experimental environment, and luminance measurement

실험에 사용된 시료는 KC 인증제품(국가통합인증) 제품으로 Kim et al. (2022)의 연구에서 제시한 3가지의 안전반사판, 저속차량 후부 표지, 안전반사띠를 평가하였다. 반사체의 반사 성능의 휘도 측정을 위해 제작된 시료는 총 20개로 Table 1과 같다. 안전반사판은 농업기계화 촉진법 시행규칙에서 제시한 적색 야간반사판과 자동차 및 자동차의 성능과 기준에 관한 규칙의 후부 반사판 '형식 1'인 황적색 2가지 유형으로 농업기계에 부착이 가능한 2가지를 선정하였다. 저속차량 후부 표지는 농업용 차량 표지판 형식 II (KS B 7749)의 설치 규격으로 하였고(KATS, 2007), 안전반사띠는 자동차 규칙의 설치 기준에 제시된 백색, 황색, 적색의 3가지 유형으로 색상에 따라 농업기계에 부착이 가능한 크기의 5종류의 시료를 실험 대상으로 하였다. 안전반사판과 반사띠의 경우 최소 면적은 농업기계화촉진법의 시행규칙에서 제시한 반사부의 유효 면적(최소 35cm^2)를 만족하는 수준에서부터 농업기계에 부착이 가능한 면적을 고려하여 본 실험에 활용하였다.

Table 1. Measurement sample for luminance testing

Category	Type	Color	Sample			
			No.		Form and shape	Size (width × length)
Night reflective traffic sign plate	Safety reflector**	Red*	S1	S1-A		60 × 60
				S1-B		80 × 160
	Example of format 1 (d)***	Reflector: Amber** Highlighter: Amber**	S2	S2-A		60 × 60
				S2-B		80 × 160
Rear mark of low-speed vehicles	Slow moving vehicle identification board (type of II)**	Reflector: Red** Highlighter: Amber**	S3	S3-A		
Safety reflector band	Type of C***	Front: white*** Side: yellow or white*** Back: yellow or red***	S4	S4-A		25 × 140
				S4-B		25 × 300
				S4-C		50 × 70
				S4-D		50 × 120
				S4-E		50 × 300
			S5	S5-A		25 × 140
				S5-B		25 × 300
				S5-C		50 × 70
				S5-D		50 × 120
				S5-E		50 × 300
			S6	S6-A		25 × 140
				S6-B		25 × 300
				S6-C		50 × 70
				S6-D		50 × 120
				S6-E		50 × 300

Note: *Agricultural mechanization promotion act, **Agricultural Slow-moving Vehicle Identification Emblem (KS B 7749), ***Regulations for motor vehicle safety standards

2.2 Night visibility evaluation experiment

야간 시인성 평가 참여한 피실험자는 양안 교정 시력 1.0 이상이고 운전경력이 5년 이상을 기준으로 선정하였고, 운전 능력에 따른 편차를 최소화하기 위하여 성별을 남성으로 제한하였다. 참가자의 연령대는 30~40대(39.7±5.1세)를 6명을 대상으로 하였다. 현장 실험 장소는 실험 간 외부적인 변수의 최소화 및 안전을 확보하기 위하여 강원도 양양군 일원의 차량의 소통이 적은 500m 직선 구간을 선정하였으며, 실험 구간은 0~240m의 실험 구간을 활용하였다. 실험에 사용한 시료는 Table 1의 휘도 성능 시험과 동일한 시료를 사용하였다. 시료는 국내 농가에서 가장 많이 보유하고 있는 경운기를 선정하여 안전반사판과 저속차량 후부 표지는 후면에 부착하였고, 안전반사띠는 측면에 부착하였다. 또한 실제 농업기계 부착 상황을 고려하여 경운기와 트랙터에 안전반사판과 저속차량 후부 표지를

함께 부착한 조건도 실험 시나리오에 포함하였다. 실험 진행 시에 시나리오 외에 실험결과에 영향이 발생할 수 있는 요인들을 통제하기 위해 실험 차량은 동일한 차량으로 실시하였고, 야간 시간대의 시인성을 확인하기 위해 실험 시간은 일몰 이후 19~22시로 설정하였다. 그리고 달빛 등의 영향을 최소화를 위하여 달이 없는 시간대와 기상 상태는 맑은 일자를 선택하여 실험을 수행하였다. 실험은 동일 구간을 반복 주행함에 따라 발생할 수 있는 학습효과를 통제하기 위하여 운전자별 실험 시나리오 순서를 무작위로 추첨하여 2회를 수행하였다. 실험에 사용된 자동차는 K사로 전조등(하향) 규격(55/35, 램프 종류 H7/D1S)으로 차량 이동 속도는 10km/h 일정 속도로 서행하여 주행하였고, 시인거리는 시점과 종점 사이에 1m 단위로 표기된 거리 정보를 최초 인식거리(Perception distance), 주의거리(Attention distance)에 대한 피실험자 응답을 측정하였다. 최초 인지거리는 반사체를 인식하는 시점이고, 주의거리는 객체를 인지하고 차량 속도 저감을 판단하는 시점으로 본 연구에서는 주의거리는 정지시거(Stopping sight distance)로 위험요소를 인지한 운전자가 제동을 판단하는 시점이다. 정지시거는 안전하게 정지하는 데 필요한 정지거리(Stopping distance)로 설계 속도에 따라 공주거리와 제동거리를 합한 값으로 정의하고 있다(Table 2) (MOLIT, 2017).

Table 2. Relation of driving speed and stopping distance (MOLT, 20017)

Driving speed (km/h)	Free running distance	Braking distance	Stopping distance
20	6	3	9
30	9	6	15
40	11	11	22
50	14	18	32
60	17	27	44
70	19	39	58
80	22	54	76
100	28	84	112

3. Results

3.1 Results of reflection performance measurements

Table 3은 안전반사장치 시료별 휘도(cd/m^2) 측정결과를 보여준다. 안전반사판의 경우 적색(S1)과 황적색(S2)을 측정한 결과, 평균 휘도는 황적색(S2)은 416.2cd/m^{2}로 적색(S1) 125.5cd/m^2 보다 상대적으로 높은 값을 보였다. 적색(S1)의 S1-A의 경우 평균 휘도는 107.1cd/m^2, 최대 휘도는 30m에서 107.1cd/m^2, S1-B는 평균 휘도 1308cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 202cd/m^{2}를 보였고, 황적색(S2) S2-A의 경우 평균 휘도는 321cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 606.4cd/m^2, S2-B는 평균 휘도 441.4cd/m^2, 최대 휘도는 60m에서 855.9cd/m^{2}로 나타났다. S1과 S2 모두 S1-B, S2-B가 S1-A, S2-A 보다 높은 반사 성능을 보여 시료의 크기가 클수록 높은 휘도 값을 보였다. 저속차량 후부 표지(S3-A)의 경우에는 평균 휘도 647.9cd/m^2, 거리에 따라 80~1275cd/m^{2}를 보였고, 최대 휘도는 60m에서 1275 cd/m^{2}로 안전반사판 S1, S2보다 높은 휘도 값을 보였다. 그리고 안전반사띠는 백색(S4), 황색(S5), 적색(S6)에 대한 측정결과, 평균 휘도 측정결과, 백색(S4)는 400.4cd/m^2, 황색(S5)는 306.8cd/m^2, 적색(S6)은 63.1cd/m^2 순으로 나타나 백색과 황색이 적색에 비해 상대적으로 높은 휘도 값을 보였다. 백색(S4)의 경우 S4-A는 평균 휘도 311.7cd/m^2, 최대 휘도는 30m에서 570.7cd/m^2, S4-B는 평균 휘도 355.2cd/m^2, 최대 휘도는 20m에서 622.3cd/m^2, S4-C는 평균 휘도 351.9 cd/m^2, 최대 휘도는 20m에서 605.1cd/m^2, S4-D는 평균 휘도 347.6cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 595.8cd/m^2, S4-E는 평균 휘도 474.9cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 810.1cd/m^{2}로 나타났다. 황색(S5)의 경우 S5-A는 평균 휘도 240.7cd/m^2, 최대 휘도는 30m에서 382.5cd/m^2, S5-B는 평균 휘도 267.5cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 441.9cd/m^2, S5-C는 평균 휘도 279.8cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 448.3cd/m^2, S5-D는 평균 휘도 299.4cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 501.9cd/m^2, S5-E는 평균 휘도 345.3cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 669.9cd/m^{2}로 나타났다. 적색(S6)의 경우 S6-A는 평균 휘도 46.3cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 92.0cd/m^2, S6-B는 평균 휘도 49.6cd/m^2, 최대 휘도는 40m에서 94.8cd/m^2, S6-C는 평균 휘도 56cd/m^2, 최대 휘도는 50m에

서 106.7cd/m^2, S6-D는 평균 휘도 65,3cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 136.7cd/m^2, S6-E는 평균 휘도 69.7cd/m^2, 최대 휘도는 50m에서 143.9cd/m^{2}로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 안전반사장치의 경우 적색보다 황적색, 반사체 면적이 클수록 높은 휘도 값을 보이는 경향을 보였고, 저속차량 후부 표지의 경우는 안전반사판 보다 높은 반사 성능을 보였다. 안전반사띠의 경우 백색과 황색이 적색보다 성능이 우수하였고, 반사제 면적이 클수록 높은 휘도 성능을 보였다(r^2= .44, p< .05).

Table 3. Measurement results of luminance testing (units: cd/m^2)

Sample \ Distance			3m	5m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	Max.	Mean
Night reflective traffic sign plate		S1-A	26.2	37.4	119.0	137.1	166.9	126.1	130.5	113.5	166.9	107.1
		S1-B	19.9	43.3	124.3	131.3	176.7	182.3	202.0	166.8	202.0	130.8
		S2-A	46.0	58.9	130.2	317.0	420.7	487.5	606.4	501.1	606.4	321.0
		S2-B	56.9	65.6	156.9	336.5	501.2	703.0	855.9	855.5	855.9	441.4
Rear mark of low-speed vehicles		S3-A	113.2	80.3	182.0	464.3	864.7	1071.0	1133.0	1275.0	1275.0	647.9
Safety reflector band	White	S4-A	40.7	71.8	201.2	570.7	518.7	271.9	413.2	405.1	570.7	311.7
		S4-B	47.2	71.0	206.2	622.3	500.2	317.5	566.3	510.9	622.3	355.2
		S4-C	39.5	112.5	201.6	605.1	482.6	367.0	505.6	501.6	605.1	351.9
		S4-D	40.8	93.4	206.8	562.1	482.1	439.5	595.8	576.0	595.8	374.6
		S4-E	69.7	72.9	297.0	710.6	543.5	498.1	799.4	810.1	810.1	474.9
	Yellow	S5-A	39.3	51.4	154.9	366.4	382.5	265.5	377.9	287.7	382.5	240.7
		S5-B	81.4	59.5	160.7	361.4	420.1	294.1	441.9	320.6	441.9	267.5
		S5-C	61.0	54.5	153.4	357.8	428.1	297.2	448.3	437.8	448.3	279.8
		S5-D	37.7	57.5	167.6	380.0	423.2	328.1	498.9	501.9	501.9	299.4
		S5-E	50.8	47.9	157.1	448.5	468.6	327.5	592.2	669.9	669.9	345.3
	Red	S6-A	6.9	9.6	20.9	41.7	74.1	77.3	92.0	48.4	92.02	46.3
		S6-B	5.6	9.1	19.8	42.7	80.2	94.8	89.6	55.3	94.83	49.6
		S6-C	5.9	10.1	25.2	46.5	88.8	94.5	106.7	70.7	106.7	56.0
		S6-D	5.9	11.6	20.5	51.1	81.0	90.7	136.7	125.0	136.7	65.3
		S6-E	5.5	9.6	20.1	55.3	89.6	101.2	143.9	132.0	143.9	69.7

3.2 Results of night visibility distance analysis

야간 시인성 평가는 현장 실험에서 측정된 최초 인식거리, 주의거리를 분석하였다. 안전반사판 시인성 분석결과, S1-A는 인식거리 96.3±6.4m, 주의거리 64.2±6.3m, S1-B는 인식거리 186.3±12.6m, 주의거리 108.3±8.3m으로 나타났고, 시료의 크기에 따라 인지거리와 주의거리는 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p< .0001). S2의 경우 S2-A는 인식거리 165±10.2m, 주의거리 73.8±5.7m, S2-B는 인식거리 240m, 주의거리 115.0±16.8m으로 인지거리와 주의거리 모두 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(p< .0001). 저속차량 후부 표지(S3-A) 분석결과는 시인거리 200.4±6.9m, 주의거리 97.5±14.2m로 나타나 안전반사판 S1, S2보다 시인성이 높았다(p< .0001). 안전반사띠의 백색(S4), 황색(S5), 적색(S6)에 대한 분석결과, 백색(S4)의 시료에 대한 인식거리는 최소 S4-A (181.3±8.6m)~최대 S4-E (236.7±6.5m)이고, 주의거리는 최소 S4-C (81.7±12.7m)~최대 S4-A (95.8±13.6m)로 나타났다. S4 시료에 대한 시인거리와 주의거리 차이 분

석결과, S4-A는 S4-B와 S4-D와 유의미한 차이가 없고, S4-C (p< .001)와 S4-E (p< .0001)와 유의미한 차이를 보였고, S4-E는 다른 시료 보다 높게 분석되었다(p< .001). 주의거리의 경우 S4-E는 S4-B (p< .005)와 S4-C (p< .005) 보다 주의거리가 높게 나타났고, 그 밖의 시료는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 황색(S5)의 경우 시료에 대한 인식거리는 최소 S4-C (183.8±7.1m)~최대 S4-E (240m)이고, 주의거리는 최소 S4-C (84.2±10.0m)~최대 S4-A (97.9±11.6m)로 나타났다. S5 시료에 대한 시인거리와 주의거리 차이를 분석한 결과 결과, S4-C는 다른 모든 시료보다 인식거리가 낮았고(p< .001), S5-E는 다를 시료 보다 인식거리가 높게 분석되었다(p < .001). 주의거리의 경우 S5-E는 S5-A, S5-C, S5-D보다 주의거리가 높게 나타났고(p< .05), 그 밖의 시료는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 적색(S6)의 경우 시료에 대한 인식거리는 최소 S6-C (157.9±7.8m)~최대 S6-E (206.7±18.7m)이고, 주의거리는 최소 S6-C (65.8±7.6m)~최대 S6-E (97.9±9.4m)로 나타났다. S6 시료에 대한 시인거리와 주의거리 차이 분석결과, S6-C는 다른 모든 시료보다 인식거리가 낮았고(p< .05), S4-E는 다를 시료 보다 인식거리가 높게 분석되었다(p< .0001). 그리고 S6-A, S6-B, S6-D는 유의미한 차이가 없었다. 주의거리의 경우 S6-C는 다른 시료 보다 낮은 것으로 나타났고(p< .0001), 그 밖의 시료는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 전반적으로 안전반사띠의 경우 반사체 면적이 클수록 인식거리(r^2 = .57, p< .05)와 주의거리(r^2 = .37, p< .05)가 높게 나타났다. 적색반사띠의 경우 인식거리는 백색과 황색에 비해 상대적으로 낮게 나타나 반사 성능 휘도 값과 유사한 경향을 보였다. Figure 2는 거리에 따른 야간 시인성 분석 결과를 보여준다.

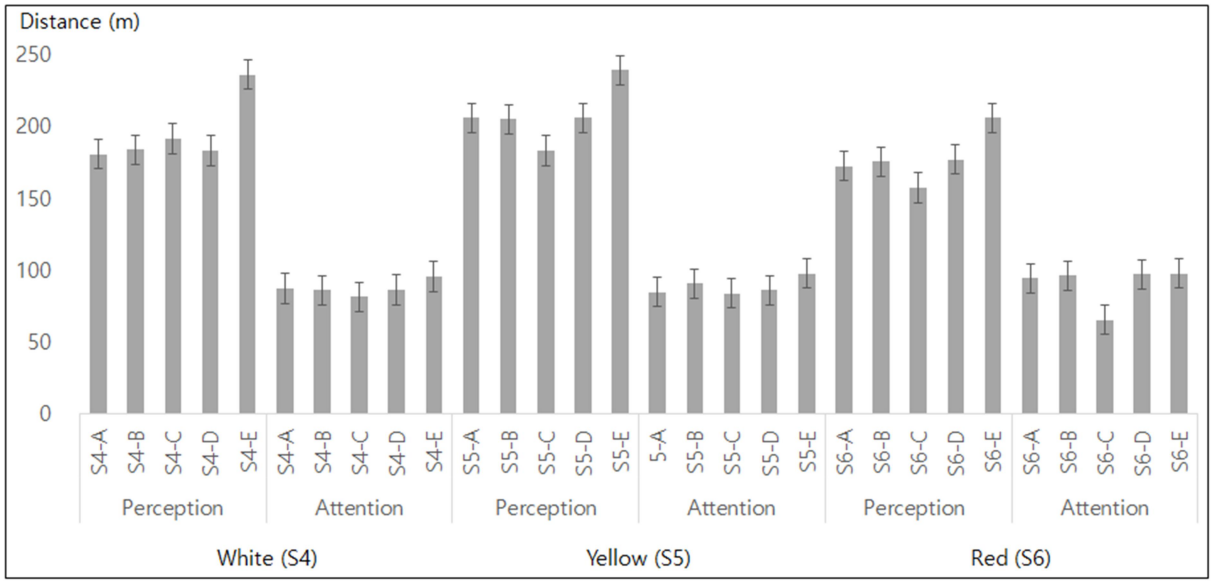


Figure 2. Nighttime visibility experiment and results according to distance

Table 4는 경운기와 트랙터에 안전반사판과 저속차량 후부 표지를 부착 후 야간 시인성 실험결과를 보여준다. 경운기의 경우 인식거

Table 4. Nighttime visibility evaluation results when safety reflector is attached to a safety reflector band

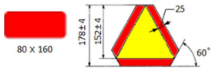
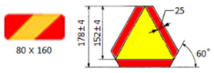
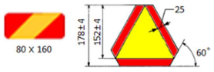
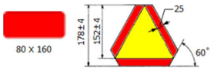
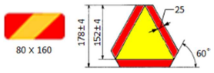
Agricultural machinery	Installation type	Size (width × length)	Initial visibility distance (m)		Attention distance (m)*	
			Mean	SD	Mean	SD
Cultivator			206.7	13.0	124.2	8.2

Table 4. Nighttime visibility evaluation results when safety reflector is attached to a safety reflector band (Continued)

Agricultural machinery	Installation type	Size (width × length)	Initial visibility distance (m)		Attention distance (m)*	
			Mean	SD	Mean	SD
Cultivator			240.0	0.0	135.4	6.9
			209.2	12.4	119.6	6.6
Tractor			240.0	0.0	182.5	14.2
			240.0	0.0	185.0	13.8

*Attention distance: The point in time when an object is recognized and the vehicle speed is reduced

리는 206.7~240m, 주의거리는 119.6~124.2m, 트랙터의 경우에 인식거리는 240m 이상을 보였고, 주의거리는 182.5~185.0m로 분석되었다. 이와 같은 결과는 안전반사판, 저속차량 후부 표지를 각각 부착한 경우 보다 동시에 부착할 인식거리와 주의거리가 향상됨을 알 수 있다.

4. Discussion

4.1 Review of standard specifications for agricultural machinery safety reflectors

농업기계 안전반사장치의 야간 시인성 확보를 위해서는 자동차 주행 속도 규정 및 농촌 지역 도로에 대한 특성이 고려된다. 야간 시인성 거리에 관한 도로교통법 시행규칙(제19조)의 '자동차 등과 노면전차의 속도'에 따르면 일반 도로에서 시속 60km/h 이내, 편도 2차로 이상의 도로에서는 시속 80km/h 이내로 규정되어 있다. 농촌의 경우 일반 도로와 더불어 최근 도시복합지역화로 인해 편도 2차로 이상 도로가 점차 증가하는 추세이므로 주행 차량 시속 80km/h에서의 안전거리 확보가 요구된다. MOLIT (2017)의 연구에서 제시한 자동차 시속 80km/h일 경우 안전거리는 76m로 저속차량 후부 표지(S3-A)의 경우 주의거리 97.5m로 안전확보가 가능하였으나, 안전반사판의 S1-A와 S2-A의 경우 주의거리가 각각 64.2m, 73.8m, 안전반사띠 S6-C의 경우 65.8m로 안전확보에 미치지 못하는 것으로 판단된다. 농업기계촉진법 시행규칙에서 제시된 야간반사판의 반사부 유효면적 35cm^2 수준 이상의 기준과 비교하면 S1-A와 S2-A의 36cm^2, S6-C의 35cm^2 반사부 면적은 차동차 시속 70km/h에서의 안전거리 58m 이하의 상황에 적합한 것으로 보인다. 이와 같은 결과는 휘도측정 실험에서 적색 반사체로 구성된 안전반사판(S1)과 안전반사띠(S6)의 경우 다른 색상의 반사체 보다 낮은 휘도 성능을 보인 결과와 일치되는 것으로 보인다. 따라서 안전반사장치의 반사체 색상에 따른 크기 규격과 휘도 값은 반사체의 면적에 성능 차이가 있으므로 실제 규격 적용 시에 함께 고려가 필요하다. 또한 야간 시인성 결과에서 안전반사장치 부착 시 안전반사판과 저속차량 후부 표지를 함께 부착할 경우 시인거리 및 주의거리가 향상되므로 야간 시인성 확보에 효과적일 것으로 판단된다.

4.2 Safety reflector specifications and guidelines

휘도 성능측정 및 시인성 실험결과를 기반으로 안전반사장치의 치수 규격과 활용 가이드를 개발하였다. Table 5는 본 연구에서 제안하는 농업기계 안전반사장치의 표준 규격을 보여준다. 안전반사장치의 권장 크기는 자동차 제한속도 80km/h에서의 최소 안전정지거리 76m 이상의 거리에서 시인성 확보가 가능한 거리로 하였다. 안전반사판의 크기는 80×160mm, 저속차량 후부 표지는 KS B 7749 (KATS, 2007) II형, 그리고 안전반사띠의 크기는 백색, 황색은 25×140mm 이상, 50×70mm 이상, 백색의 경우에는 25×140mm 이상, 50×120 이상을 권장 크기로 제시하였다. 그리고 반사체의 성능은 자동차 반사판·반사지 관리법의 자동차 및 자동차 부품 자가인증 (KC 인증) 제품 사용을 권고하였다.

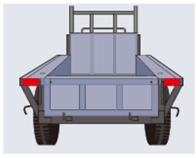
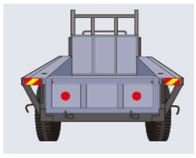
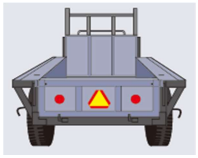
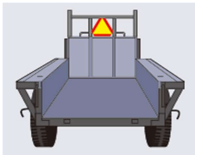
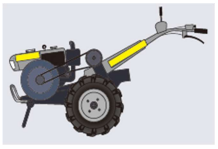
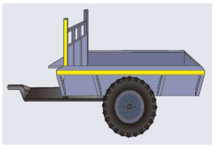
Table 5. Proposal of standard specifications for the installation of safety reflectors on agricultural equipment

	Form and shape	Installation standard				Performance
		Color	Recommended size* (width×Length, mm)	Arrangement		
Night reflective traffic sign plate		Red	80×160	Back	Left-right symmetric	Korea certification mark**
		Reflector: Amber Highlighter: Amber	80×160	Back	Left-right symmetric	
Rear mark of low-speed vehicles		Reflector: Red Highlighter: Amber		Back	Center or left	
Safety reflector band		White	25×140 or more 50×70 or more	Front of side Front of body		
		Yellow	25×140 or more 50×70 or more	Front of side Front of back		
		Red	25×140 or more 50×120 or more	Front of back		

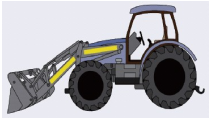
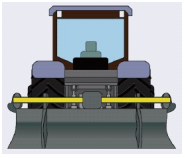
*Recommended size: The minimum safe stopping distance of 76 m or further to ensure visibility when driving at a speed of 80 km/h

**Korea certification mark: vehicle reflector plate /reflector sheet management method 'vehicle and vehicle parts self-certification' product use

본 연구에서는 제안한 농업기계 안전반사장치 표준 규격안 3종에 대하여(안전반사판, 저속차량 후부 표지, 안전반사띠)에 경운기와 트랙터에 대한 활용 가이드라인을 개발하였다(Figure 3). 경운기의 경우 안전반사판은 후미등 여부에 따라 후면의 기체 중심으로 좌·우대칭이 되도록 적색이나 황적색을 부착할 수 있고, 저속차량 후부 표지는 적재함 뒷문 고정에 따라 적재함 뒷문 또는 적재함 프레임 상단 가운데에 부착할 수 있다. 안전반사띠는 측면에는 황색이나 백색, 후면에는 황색이나 적색을 자체 윤곽이 인지될 수 있도록 부착한다(Figure 3 (a)). 트랙터의 경우 안전반사판은 차제 전폭을 충분히 인지할 수 있도록 후미등 여부에 따라 황색 또는 황적색을 부착할 수 있다. 저속차량 후부 표지는 트랙터 본체 뒷면 가운데에 부착할 수 있다. 만약 트랙터의 캡이 없는 경우에는 좌석 뒷면에 부착한다. 안전반사띠의 경우 작업기 옆면, 뒷면에 차체 윤곽을 인지할 수 있도록 부착한다. 옆면은 황색이나 백색, 뒷면은 황색이나 적색을 부착할 수 있으며 구조물 특성상 윤곽 표시가 곤란한 경우 부분적인 선으로 표기가 가능하다(Figure 3 (b)). Figure 4의 경운기(a)와 트랙터(b)는 안전반사장치 사용 가이드를 적용한 사례를 보여준다.

Night reflective traffic sign plate	In order for full recognition of the vehicle body and its entire width, both the left and right sides of the back of the cargo box were attached with 1 reflector each. • Without taillight: red or red-yellow • With taillight: red-yellow		
		Without taillight	With taillight
Rear mark of low-speed vehicles	Reflector attached to the back of the loading box or the front frame of the loading box • When the rear door is fixed: at the back of the cargo box • If the rear door is missing or open: on the front frame		
		Rear door fixed	Rear door missing or open
Safety reflector band	Reflector attached to the back of the loading box or the front frame of the loading box • When the rear door is fixed: at the back of the cargo box • If the rear door is missing or open: on the front frame		
		Main body	Loading box

(a) Cultivator

Night reflective traffic sign plate	In order for full recognition of the vehicle body and its entire width, both the left and right sides of the back of the cargo box were attached with 1 reflector each. • Without taillight: red or red-yellow • With taillight: red-yellow			
		Without taillight	With taillight	With taillight
Rear mark of low-speed vehicles	Reflector attached at the center, on the back of the tractor body • If the body has a cap: on the top or bottom of the rear window • If the body has no cap: on the back of the seat			
		With cap	With cap	Without cap
Safety reflector band	Reflector attached to the sides or back so that the outline of the vehicle can be recognized • Sides: yellow or white • Back: yellow or red Partial outline marking when it is difficult to present a complete outline			
		Sides	Back	Partial outline marking

(b) Tractor

Figure 3. Installation guide for agricultural machinery safety reflectors

(a) Cultivator (b) Tractor

Figure 4. Example of safety reflector attachment

5. Conclusion

본 연구에서는 우리나라 농업기계 안전반사장치 표준 규격과 활용 가이드 개발을 위해 반사 성능시험 및 야간 시인성 실험 평가를 수행하였다. 안전반사장치 반사 성능 휘도 측정결과 반사체 색상과 면적에 따라 성능 차이를 확인할 수 있었고, 야간 시인성 실험을 통해 차량 주행속도 80km/h에서 안전반사장치 3종(안전반사판, 저속차량 후부 표지, 안전반사띠)에 대한 안전정지거리를 도출하였다. 그리고 우리나라 농촌 도로에 적합한 안전반사장치 표준 규격과 이를 농업기계에 적용할 수 있는 활용 가이드를 개발하였다.

안전반사장치 야간 시인성 평가에서 저속 주행 조건에서의 실험을 수행하여 실제 다양한 주행속도에서의 시인성을 고려하지 못한 한계가 있다. 향후 차량 속도에 따른 시인성 평가와 더불어 농업용 콤바인, 동력 이앙기 등 도로 주행이 가능한 다양한 농업기계에 적용이 가능한 활용 가이드에 대한 추가 연구를 수행할 것이다. 본 연구의 결과가 농업기계 교통안전을 위한 안전반사장치 활용을 위한 자료로 활용되기를 기대한다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01599102)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Choi, K.J. and Choi, B.W., A Study on the Visibility Distance of Road Traffic Signs, *Journal of Korean Society of Transportation*, 19(4), 123-137, 2001.

Choi, S.H., Lee, S.Y., Jang, T.Y. and Do, M.S., Effect of Agricultural Machine Lighting systems on Drivers Night Visibility, *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, 16(4), 25-35, 2017.

Cho, W., Appropriateness Assessment of Illuminance-Based Evaluation Method in Automotive Headlight Visibility Performance, *International Journal of Highway Engineering*, 19(6), 165-173, 2017.

KATS (Korea Agency for Technology and Standards), Agricultural Slow-moving Vehicle Identification Emblem, 2007, https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059261231476230 (retrieved October 10, 2023).

Kim, H.K., Kim, Y.Y., Shin Y.S., Kim, B. and Lee, H.S., Evaluation of the Luminous Intensity Distribution of Stop Lamp for Agricultural Tractors, *Journal of Biosystems Engineering*, 36(6), 416-421, 2011.

Kim, I., Kim, K., Kim, HC., Seo, MT., Lee, M., Park, S. and Ko M., A Study of an IoT-based Safety System for Agricultural Machine-related Traffic Accidents in Rural Area, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(5), 575-589, 2018.

Kim, I., Park, S., Chae, HS., Kim, SY. and Kim, K., A Study on Designing Standards for Safety Reflector Installation to Prevent Agricultural Machine's Traffic Accidents, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 41(6), 467-480, 2022.

Kim, I., Park, S.I., Go, M.S. and Jung Y.J., A Study on the Review of the Standards and Application Cases of the Safety Reflector for Agricultural Machinery, Proceedings of 2021 Spring Conference of ESK, P.8, 2021.

Kim, K.B. and Hwang, K.S., A Comparative Study on the Accident Characteristics of the Elderly According to the Urban-Rural Complex Area and Regional Types, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 18(7), 224-236, 2017.

KoROAD (Korea Road Traffic Authority), 2017~2021 Traffic accidents statistical analysis data, 2022.

KoROAD (Korea Road Traffic Authority), Analysis of the causes of traffic accidents in agricultural machinery and preventive measures, 2020.

Lee, D.M., Youn, C.J. and Kim, Y.B., An Analysis of Driver Perception of Nighttime Visibility Using Fuzzy Set Theory, *International Journal of Highway Engineering*, 17(5), 57-66, 2015.

Lee, K.E., Lee, H.J., Gwak, W.G., Ji, M.G., Song, H.S., Hong, S.Y., Kang, M.J., Ju, S., Lee, K., Cheong, K.H. and Lim, H.S., Relationship Between Reflective Light and Traffic Accidents Involving Power - Tillers, *Korean Society for Rural Medicine and Community Health*, 28(2), 61-70, 2003.

MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), Current status of the possession of agricultural machinery 2022, 2023.

MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure, and Transport), Development of simulation platform technology for C-ITS service performance evaluation and certification. Land Infrastructure and Transport R&D Report. 2017.

Myers, M.L., Tractor Risk Abatement and Control as a Coherent Strategy, *Journal of Agricultural Safety and Health*, 8(2), 185-198, 2002.

Oh, J.S., Jeong, M.K. and Jean, J.H., Agricultural Machinery Traffic Safety Measures and Policy Suggestions based on Accidents' Characteristics, *Journal of Transport Research*, 28(2), 33-49, 2021.

RDA (Rural Development Administration), Agricultural machinery traffic accident statistics in Jeollanam-do, 2020, https://farmer.rda.go.kr/portal/menu1/contentMain_B.do?menuId=PS03443&m_id=9004_3911 (retrieved October 10, 2023).

Woo, H.S., Kwon, K.S., Kim, B.G., Yoon, C.J. and Kim, Y.R., A Study on Data Management Systems for Spatial Assessments of Road Visibilities at Night, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, 22(4), 107-115, 2014.

Author listings

Insoo Kim: ergonomist@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Ergonomics, HCI

Sooin Park: sooinpark@korea.kr
Highest degree: B.S., Department of Electronic Engineering, Konkuk University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Electronic Engineering, Ergonomic Tools Design

Hye-Seon Chae: hyeseon@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University
Position title: Senior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Occupational Safety and Health Management, National Statistics

Kyungsu Kim: kks1@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Public Health Sciences, University of Alberta
Position title: Senior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Injury Epidemiology, Agricultural Safety and Health

Choung keun Lee: cklee@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Graduate School of Agriculture, Kyoto University
Position title: Senior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Precision agriculture, Agriculture machinery, Smart Farming

Seoung-Yeon Kim: kimsy9035@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design