

요소수(Urea solution)의 온도변화에 따른 요소 및 뷰렛함량 변화 특성 연구

도진우 · 박태성 · 이유림 · 임의순 · 이정민 · 강형규[†]

한국석유관리원 석유기술연구소

(2018년 12월 3일 접수: 2018년 12월 22일 수정: 2018년 12월 24일 채택)

Study on Characteristics of Change of Urea and Biuret Content by Temperature Variation in Urea Solution

Jin-woo Doe · Tae-sung Park · Yu-rim Lee · Eui-soon Yim
Joung-min Lee · Hyung-kyu Kang[†]

*Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
(Received December 3, 2018; Revised December 22, 2018; Accepted December 24, 2018)*

요 약 : 대기오염에 대한 관심이 증대하면서 대기오염물질의 저감에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 차량용 요소수(Urea solution)를 이용한 디젤 차량의 질소산화물(NOx) 제거는 큰 효과를 나타내고 있다. 요소수의 품질은 국내법으로 엄격히 규정하고 있으나 요소수 내 불순물의 증대는 질소산화물 저감 효과를 감소시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 일정 온도와 시간동안 요소수를 가열한 후 요소수의 물성변화를 분석하였다. 또한, 요소수를 보관하는 저장용기와 저장온도의 변화에 따른 요소수 물성변화도 함께 분석하였다. 요소수를 일정시간 가열한 후 요소수 내 뷰렛함량은 증가하고 요소함량은 감소하였으며, 요소함량 감소에 따라 밀도와 굴절률도 함께 감소하였다. 철제 및 PET 용기와 일정온도(30 °C, 50°C)에서 실시한 저장안정성 시험에서는 물성변화가 나타나지 않았다.

주제어 : 요소수, 뷰렛, 요소함량, 디젤차량, 저장안정성

Abstract : As interests in the air pollution increases, many kinds of researches are underway on the reduction of air pollutants. The removal of nitrogen oxides from the emission gas of diesel vehicles using urea solution has shown a great effect. The quality of urea solution is strictly defined by domestic law, but the increase of impurities in urea solution reduces the effect of reducing nitrogen oxides. Therefore, in this study, the change of physical properties of urea solution was analyzed after heating the urea solution for a certain temperature and time. Also, the changes of physical properties of urea solution were analyzed according to kinds of storage container and temperature for storing the urea solution. After heating the urea solution for a certain period of time, the biuret content in urea

[†]Corresponding author
(E-mail: hyasins@kpetro.or.kr)

solution increased and the content of urea decreased. As the urea content decreased, both density and refractive index decreased. In the storage stability test carried out at a constant temperature with iron and PET containers, no change in physical properties was observed.

Keywords : Urea solution, biuret, Urea content, Diesel vehicles, Storage Stability

1. 서 론

최근 강화되는 자동차 배기가스 환경규제에 대응하기 위해 완성차 업체를 비롯한 자동차 업계에서는 많은 연구가 수행되고 있다. 디젤 기관은 불꽃점화 엔진에 비해 연료의 효율이 높아 중대형 엔진부터 SUV 및 승용차의 엔진까지 폭넓게 적용되고 있다. 디젤 엔진 배기가스의 유해 배출물질 중 PM의 경우 DPF(Diesel Particulate Filter)의 기술 발달로 90 %이상 저감 가능한 것으로 보고되고 있다[1-4]. 반면, 질소산화물(NOx)은 LNT(Lean NOx Trap), LNC(Lean NOx Catalysts), 그리고 SCR(Selective Catalytic Reduction) 등과 같은 후처리 시스템을 통하여 저감할 수 있다. 이러한 기술 중 Urea-SCR 시스템은 연소된 배출가스 상류에서 요소(Urea)를 환원제로 분사함으로써 질소산화물을 선택적으로 환원하여 배출가스 내 질소산화물을 저감시켜주는 시스템으로, 다른 시스템에 비해 상대적으로 정확효율 및 연비특성이 우수하여 중대형 이상의 상용차량에 적용하기에 가장 유리한 방법으로 유럽을 중심으로 EURO-VI 규제에 대응하기 위하여 중대형 상용차량에 적용되고 있다[5-10]. 하지만, Urea-SCR 시스템을 사용하는 디젤차량의 고장사례가 보고되고 있으며, 요소수 제조 시 품질기준 미달, 사용되는 요소(Urea)와 초순수 용액의 순도, SCR장치의 분사노즐 막힘 등 여러 요인들이 있을 수 있으나, 차량용 요소수의 물성에 의한 것으로도 추정된다[11].

본 연구에서는 국내 유통 중인 차량용 요소수의 물성을 분석하고 요소수 품질의 주요 항목 중 뷰렛(Biuret)의 형성 및 제품용기와 온도에 따른 요소수의 물성 변화에 대해 분석하였다.

2. 실험

2.1. 실험대상 및 물성분석방법

국내에 유통 중인 정상제품의 차량용 요소수 2종을 무작위로 선택하여 「대기환경보전법 제74조 자동차연료·첨가제 또는 촉매제의 검사 등」 및 「대기환경보전법 시행규칙 제115조 자동차연료·첨가제 또는 촉매제의 제조기준」에서 규정하는 시험방법을 적용하여 분석하였다. 국내 차량용 요소수의 품질기준, 각 항목별 분석방법과 장비는 Table 1과 2에 각각 나타내었다[12][16].

2.1.1 밀도

각 시료의 밀도는 KS M ISO 12185 시험방법을 적용하였으며, 일정량의 시료를 밀도시험기(DMA 4500, Anton Paar)에 주입하여 측정하였다.

2.1.2 굴절률

각 시료의 굴절률은 KS R ISO 22241-2 Annex C의 시험방법을 적용하였고, 요소(Urea)의 함량별(wt%) 표준물질을 제조하여 검량선을 작성하고 디지털 굴절계(RX-5000 α , ATAGO)에 시료 0.5 ~ 1.0 mL를 주입하여 시료의 굴절률을 측정하였다.

2.1.3 뷰렛(Biuret) 및 알데히드(Aldehyde) 함량

각 시료의 뷰렛, 알데히드 및 인산염의 함량 분석은 KS R ISO 22241-2 Annex E, F, H 시험방법을 적용하였다. 각 항목별로 일정량의 시료를 전처리하여 UV/VIS 분광계(JASCO)를 이용하여 측정하였다.

2.3. 온도변화에 따른 차량용 요소수(Urea solution)의 물성변화 시험

차량용 요소수 탱크는 차량의 위치에 따라 고온의 열을 받을 수 있으며, 요소수를 저장하는 용기 및 보관 온도에 대한 영향을 분석하기 위한 실험을 실시하였다. 먼저 시중에 유통되고 있는

Table 1. Criteria of aqueous urea solution at Clean Air Conservation Act in Korea

Items	Unit	Legal Standard	
		Min	Max
Contents of UREA	wt%	31.8	33.2
Density	g/cm ³	1.087	1.093
Reflective Index	-	1.381 4	1. 384 3
Alkalinity	-	-	0.2
Biuret	wt%	-	0.3
Aldehyde	mg/kg	-	5
Insoluble matter	mg/kg	-	20
Phosphate(PO ₄)	mg/kg	-	0.5
Ca	mg/kg	-	0.5
Fe	mg/kg	-	0.5
Cu	mg/kg	-	0.2
Zn	mg/kg	-	0.2
Cr	mg/kg	-	0.2
Ni	mg/kg	-	0.2
Al	mg/kg	-	0.5
Mg	mg/kg	-	0.5
Na	mg/kg	-	0.5
K	mg/kg	-	0.5

Table 2. Test methods and equipment criteria for analyzing the urea solution

Property	Unit	Analysis Method	Test Instrument (Company)
Contents of UREA	wt%	KS R ISO 22241-2 Annex B, C	-
Density (@ 20 °C)	g/cm ³	ISO 3675 or KS M ISO 12185	DMA 4500 (Anton Paar)
Refractive Index	-	KS R ISO 22241-2 Annex C	RX-5000 α (ATAGO)
Contents of Biuret	wt%	KS R ISO 22241-2 Annex E	UV/VIS Spectrometer (JASCO)
Contents of Aldehyde	mg/kg	KS R ISO 22241-2 Annex F	UV/VIS Spectrometer (JASCO)
Contents of Insoluble Matter	mg/kg	KS R ISO 22241-2 Annex G	-
Contents of Phosphate(PO ₄)	mg/kg	KS R ISO 22241-2 Annex H	UV/VIS Spectrometer (JASCO)
Contents of Heavy metal (Ca,Fe,Cu,Zn,Cr,Ni,Al,Mg,Na,K)	mg/kg	KS R ISO 22241-2 Annex I	Prodigy (Leeman)

정상제품의 차량용 요소수를 일정온도(100 °C)와 일정시간 동안 가열하여 요소 및 뷰렛 함량 등을 분석하였다.

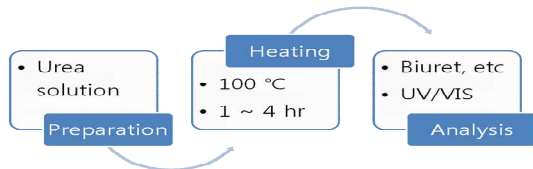


Fig. 1. Procedure of the urea solution analysis by heating process.

2.4. 제품용기 및 온도변화에 따른 차량용 요소수(Urea solution)의 저장안정성 시험

차량용 요소수를 저장하는 용기 및 보관 온도에 대한 영향을 분석하기 위해 저장안정성 실험을 실시하였다. 정상제품의 차량용 요소수를 일정온도(30 °C, 50 °C)와 일정기간(8주) 동안 보관한 후 요소 및 뷰렛 함량 등을 분석하였다.

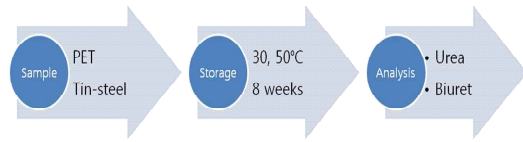


Fig. 2. Procedure of the urea solution analysis by storage experiment.

3. 결과 및 고찰

3.1. 차량용 요소수(Urea solution)의 물성 분석

국내에서 유통 중인 차량용 요소수 제품에 대한 물성 분석을 실시하였고, 각 제품의 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 실험대상 제품의 분석결과 대부분의 항목은 품질기준에 적합한 것으로 나타났다.

Table 3. Results of the urea solution analysis for using the automotive diesel vehicle

Items	Unit	Legal Standard		Measurement		
		Min	Max	Sample A	Sample B	
Contents of UREA	wt%	31.8	33.2	32.91	33.1	
Density	g/cm ³	1.087	1.093	1.091	1.091	
Refractive Index	-	1.381 4	1.384 3	1.383 6	1.383 8	
Alkalinity	wt%	-	0.2	0.003	0.026	
Biuret	wt%	-	0.3	0.24	0.18	
Aldehyde	mg/kg	-	5	0.18	0.01	
Insoluble matter	mg/kg	-	20	9.2	12.8	
Phosphate(PO ₄)	mg/kg	-	0.5	0.04	0.02	
Heavy metal	Ca	mg/kg	-	0.5	0.0023	0.0001
	Fe	mg/kg	-	0.5	0.0196	0.0180
	Cu	mg/kg	-	0.2	0.0221	0.0440
	Zn	mg/kg	-	0.2	0.0194	0.0001
	Cr	mg/kg	-	0.2	0.0266	0.0391
	Ni	mg/kg	-	0.2	0.0201	0.0345
	Al	mg/kg	-	0.5	0.0835	0.0001
	Mg	mg/kg	-	0.5	0.0001	0.0001
	Na	mg/kg	-	0.5	0.0001	0.1193
K	mg/kg	-	0.5	0.0001	0.0001	

3.2. 온도변화에 따른 요소수의 물성 변화 분석결과

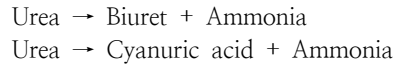
3.2.1. 굴절률(Refractive Index) 및 밀도 (Density) 분석

Fig. 1.과 Table 4는 일정온도(100 °C)로 1시간 단위로 가열시험 한 후 굴절률과 밀도를 분석한 결과이다. 일반적으로 굴절률과 밀도의 경우, 요소함량이 증가함에 따라 함께 증가하는 경향을 보인다. 그러나 가열에 의해 요소의 불순물인 뷰렛의 함량이 증가되어 전체 요소함량이 감소하게 되므로 굴절률과 밀도값은 가열시간에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

3.2.2 뷰렛(Biuret) 분석

Fig. 2.과 Table 5는 일정온도(100 °C)로 1시간 단위로 총 4시간 가열시험 한 후 요소수 내 뷰렛 함량을 분석한 결과이다. 요소(Urea)는 비료의 원료로 쓰이는 물질로서 상온에서 고체로 존재하고 비교적 낮은 온도에서 분해되어 암모니아를 생성하며 독성이 없어 저장이 용이하다[13]. Table 6

은 요소와 뷰렛의 일반적인 물리화학적 특성을 나타내었다. 또한, 요소는 아래의 반응에 의해 쉽게 암모니아(NH₃)로 분해되어 디젤 차량의 배기 가스 내 질소산화물을 효과적으로 제거한다[14] [15].



다만, 요소는 일정온도(150 ~ 170 °C) 이상에서 열분해가 이루어져 뷰렛을 생성하게 되는데 [8], 이는 질소산화물의 저감을 위한 촉매제 기능을 떨어뜨리는 불순물에 해당한다. 따라서, 요소수 내 뷰렛함량은 국내법에서도 일정하게 규제하고 있는 실정이다. 보통의 환경에서는 쉽게 요소수 내 뷰렛의 생성은 일어나지 않으나, 특수하게 밀폐되고 고온의 환경에서는 열에 의한 뷰렛의 생성이 가능할 수 있으며, 본 실험에서는 정상제품 요소수 일정량을 100 °C에서 1 ~ 4 시간까지 가열하여 각 시간단위마다 시료를 채취하여 뷰렛 함량을 분석하였다. Fig. 2.와 Table 4는 뷰렛함

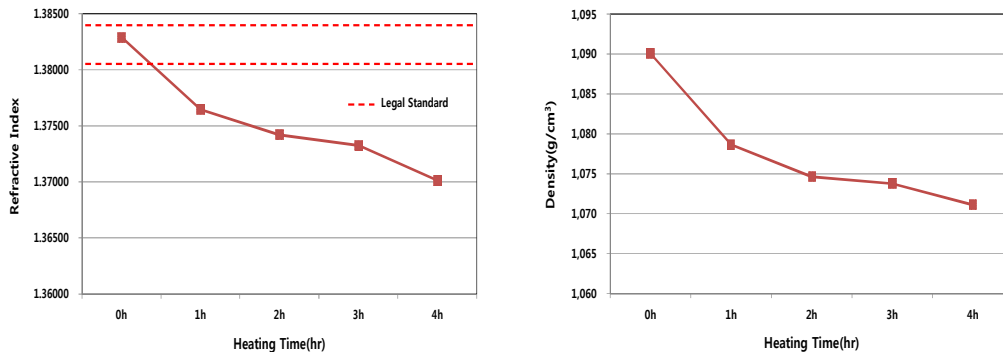


Fig. 1. Results of refractive index and density analysis according to heating time.

Table 4. Results of refractive index and density analysis according to heating time

Items		Refractive Index	Density (g/cm ³)
Legal Standard		1,3814 ~ 1,3843	1,087 ~ 1,093
Heating Time (Hours)	0h	1,38291	1,090
	1h	1,37646	1,078
	2h	1,37419	1,074
	3h	1,37325	1,073
	4h	1,37012	1,071

량을 분석한 결과를 나타내었다. Fig. 3.은 뷰렛 분석 시험 시 황산구리용액에 의해 발색된 시료들의 모습이다. Fig. 2.와 Table 5에서 보는 바와 같이 온도를 일정하게 유지하지만 가열시간의 증가에 따라 뷰렛함량도 함께 증가하는 것으로 나타났다. 이는 열에너지에 의한 요소의 열분해에 따라 뷰렛이 생성된 것으로 보인다. 따라서, 실제 차량에 장착된 요소수 탱크 주변 온도가 매우 높고 밀폐된 경우, 열분해에 의한 뷰렛의 생성이 가능할 것으로 보인다. 이러한 요소의 불순물인 뷰렛함량이 높을수록 SCR시스템에서 요소수 분사 시 막힘 등의 고장이 발생할 수 있다.

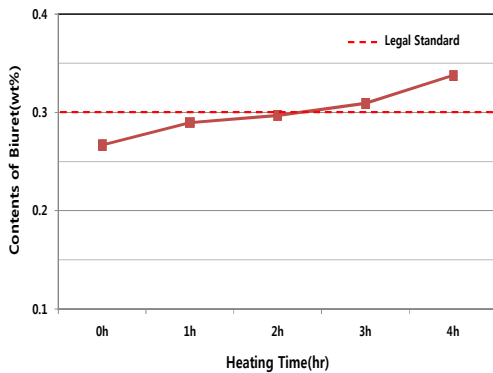


Fig. 2. Results of biuret analysis according to heating time

3.2.3. 요소함량(Contents of Urea) 및 뷰렛, 굴절률과의 비교분석

요소수는 적정순도의 고체요소와 고도로 정제된 이온수를 일정비율로 혼합한 용액으로, 요소수

의 품질 및 질소산화물의 저감효율은 사용된 요소와 이온수의 순도에 따라 결정된다. 따라서 요소수 내 불순물의 함유량은 전체 요소수 내 요소함량에 영향을 미치게 된다. Fig. 4.는 가열시간의 증가에 따른 요소수 내 요소함량 분석결과를 나타내었다. 100 °C에서 1시간을 가열한 이후부터 요소함량은 감소하기 시작하여 차량용 요소수 내 요소함량의 법적 최저기준인 31.8 wt%를 미달하였다. 또한, Fig. 5.와 Fig. 6.에 나타난 것처럼 요소수 내 뷰렛함량은 시험시작 후 2시간을 가열한 경우부터 뷰렛함량 최대기준인 0.3 wt%를 초과하기 시작한다. 따라서, 요소수 내 요소의 열분해로 인해 뷰렛이 생성됨을 유추할 수 있고 이에 따른 요소함량의 감소도 일어나는 것으로 보인다. 요소수 내 요소함량의 감소는 전체 요소수의 순도가 낮아지게 되어 굴절률도 함께 낮아지는 것으로 나타났다.(Fig. 6.)

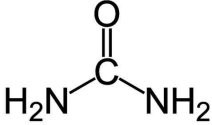
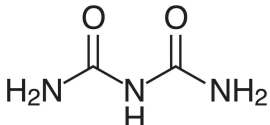


Fig. 3. Samples after biuret analysis according to heating time

Table 5. Results of biuret and urea contents analysis according to heating time

Items		Contents of Biuret (wt%)	Contents of UREA (wt%)
Legal Standard		blow 0.3	31.8 ~ 33.2
Heating Time (Hours)	0h	0.2667	32.20
	1h	0.2897	27.98
	2h	0.2968	26.51
	3h	0.3092	25.94
	4h	0.3377	23.82

Table 6. Physical/chemical properties of urea and biuret

Property	Urea	Biuret
Structure		
Chemical formula	CH ₄ N ₂ O	C ₂ H ₅ N ₃ O ₂
Molar mass	60.06 g/mol	103.08 g/mol
Appearance	White solid	White crystals
Melting point	133 ~ 135 °C	190 °C(decomposes)
Solubility in water	107.9 g/100 ml (20 °C)	2 g/100 ml (25 °C)
Solubility	500 g/L glycerol 50g /L ethanol	-

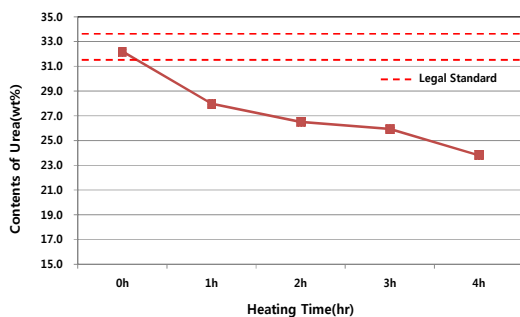


Fig. 4. Results of urea content analysis according to heating time.

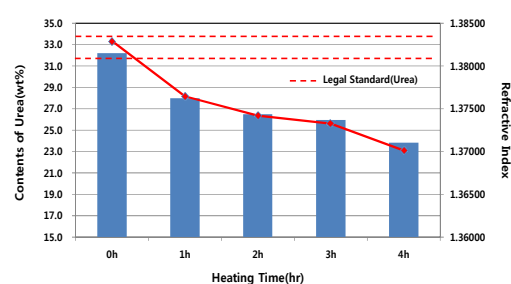


Fig. 6. Comparison of urea content and refractive index according to heating time.

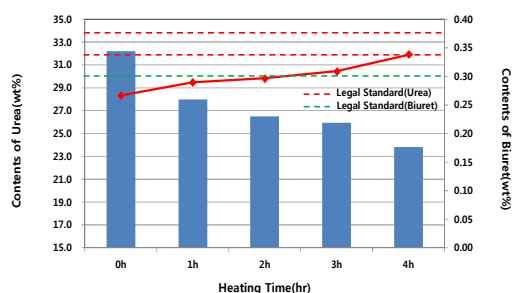


Fig. 5. Comparison of urea and biuret contents according to heating time.

3.3. 저장용기 및 저장온도에 따른 저장안정성 분석

현재 국내에는 차량용 요소수의 보관에 관해서는 별도의 규정이나 지침은 정해져 있지 않다. 따라서 대량 생산된 제품에 대한 저장용기와 저장온도에 따른 요소수의 품질변화 여부를 확인하기 위한 저장안정성 시험을 실시하였다. 본 시험에서는 일반적으로 주변 환경에서 구하기 쉬운 철제(주석함금) 용기와 PET재질의 용기, 2가지를 사용하였다. 또한, 저장온도는 30 °C와 약간 고온에서의 반응성을 확인하기 위한 50 °C, 2종류를 설정하였다. 그리고 저장기간 및 시료분석은 총 8주간, 매주 1회 시료채취 후 시험분석을 실시하

였다. Table 7과 Fig. 7.은 저장안정성 시험기간 동안 저장용기와 온도에 따른 굴절률의 변화를 나타내었다. 저장용기 및 저장온도에 따른 요소수의 굴절률 변화는 크게 나타나지 않았다. 전체 기간 모두 법적기준인 1.3814 ~ 1.3843 범위에 포함되었다.

Table 8과 Fig. 8.은 저장안정성 시험기간 동안 저장용기와 저장온도에 따른 밀도변화를 나타내었다. 저장용기 및 저장온도에 따른 요소수의 밀도변화는 크게 나타나지 않았다. 또한, 전체 기간 모두 법적기준인 1.087 ~ 1.093 g/cm³ 범위에 포함되었다.

Table 7. Results of refractive index analysis according to product container and temperature variation

Items		Refractive Index			
		Tin-steel		PET	
		30 °C	50 °C	30 °C	50 °C
Legal Standard		1.3814 ~ 1.3843		1.3814 ~ 1.3843	
Storage Time (Weeks)	1W	1.38328	1.38346	1.38369	1.38367
	2W	1.38317	1.38326	1.38312	1.38337
	3W	1.38341	1.38328	1.38335	1.38354
	4W	1.38332	1.38323	1.38315	1.38330
	5W	1.38314	1.38310	1.38333	1.38320
	6W	1.38319	1.38311	1.38335	1.38319
	7W	1.38327	1.38313	1.38311	1.38337
	8W	1.38304	1.38314	1.38322	1.38343

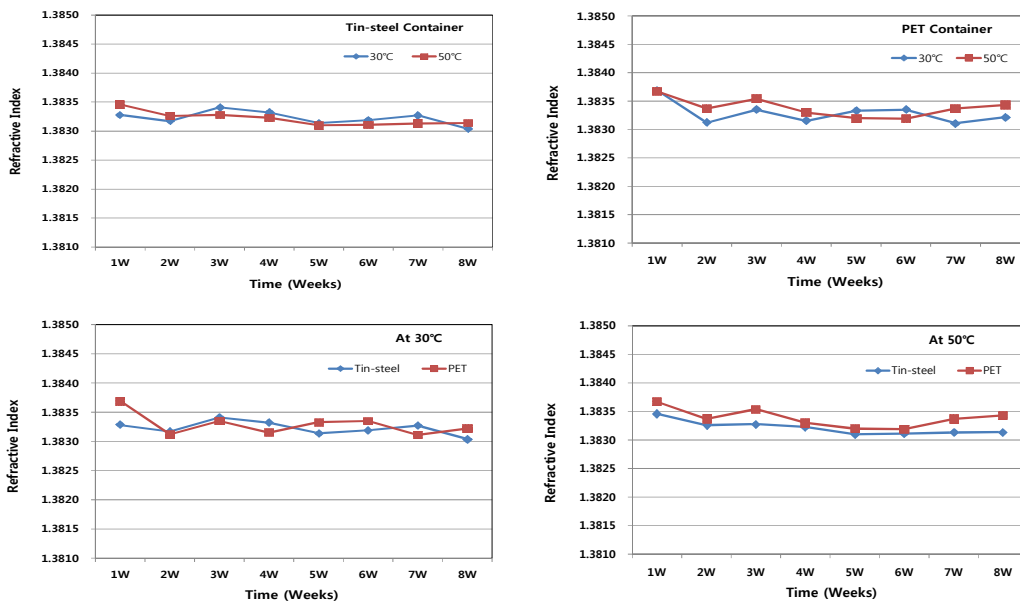


Fig. 7. Results of refractive index analysis according to product container and temperature variation.

Table 8. Results of density analysis according to product container and temperature variation

Items		Density (g/cm ³)			
		Tin-steel		PET	
		30 °C	50 °C	30 °C	50 °C
Legal Standard		1.087 ~ 1.093		1.087 ~ 1.093	
Storage Time (Weeks)	1W	1.0908	1.0912	1.0918	1.0915
	2W	1.0906	1.0908	1.0905	1.0909
	3W	1.0910	1.0908	1.0909	1.0913
	4W	1.0913	1.0908	1.0905	1.0909
	5W	1.0906	1.0904	1.0909	1.0906
	6W	1.0907	1.0904	1.0909	1.0906
	7W	1.0905	1.0906	1.0908	1.0910
	8W	1.0904	1.0906	1.0907	1.0912

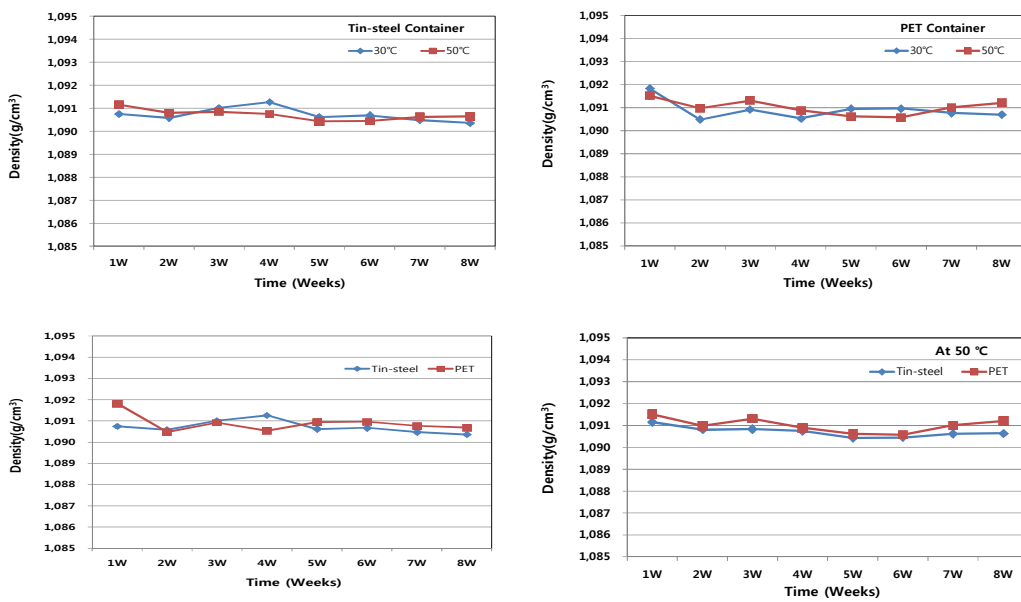


Fig. 8. Results of density analysis according to product container and temperature variation.

Table 9과 Fig. 9는 저장안정성 시험기간 동안 저장용기와 저장온도에 따른 뷰렛함량변화를 나타내었다. 저장용기 및 저장온도에 따른 요소수의

뷰렛함량변화는 크게 나타나지 않았다. 또한, 전체 기간 모두 법적기준인 0.3 wt%이하 범위를 나타내었다.

Table 9. Results of biuret analysis according to product container and temperature variation

Items		Contents of Biuret (wt%)			
		Tin-steel		PET	
		30 °C	50 °C	30 °C	50 °C
Legal Standard		below 0.3		below 0.3	
Storage Time (Weeks)	1W	0.29046	0.29048	0.26087	0.28890
	2W	0.25703	0.27098	0.25733	0.25270
	3W	0.26054	0.26567	0.24949	0.25716
	4W	0.28164	0.26138	0.24919	0.26154
	5W	0.25742	0.24603	0.25785	0.25258
	6W	0.25828	0.24194	0.24726	0.24321
	7W	0.23432	0.24557	0.24557	0.24953
	8W	0.25090	0.26206	0.24402	0.25611

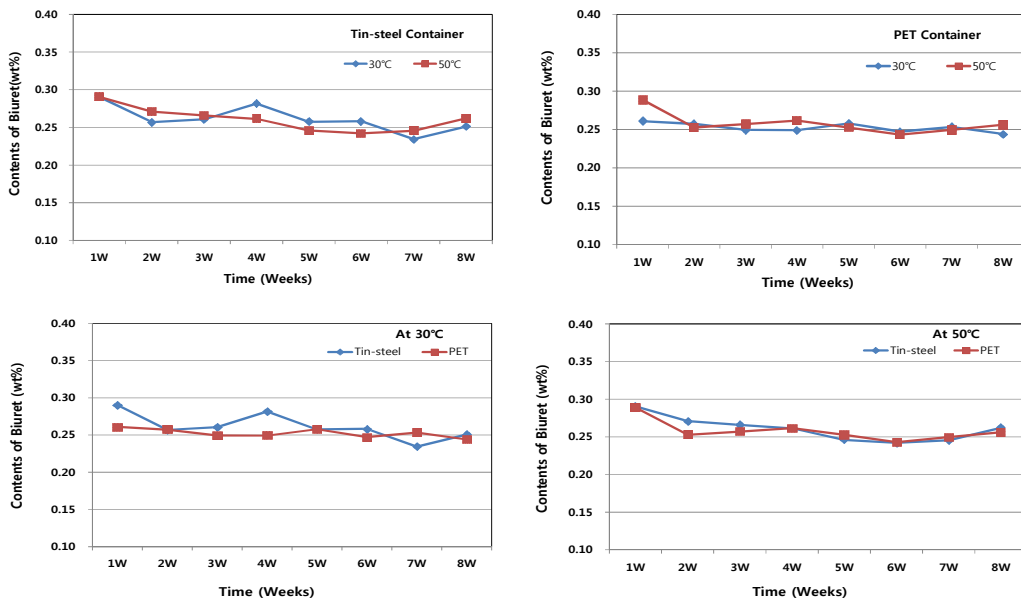


Fig. 9. Results of density analysis according to product container and temperature variation.

Table 10과 Fig. 10.은 저장안정성 시험기간 동안 저장용기와 저장온도에 따른 요소함량변화를 나타내었다. 저장용기 및 저장온도에 따른 요소수

의 요소함량변화는 크게 나타나지 않았다. 또한, 전체 기간 모두 법적기준인 31.8 ~ 33.2 wt% 범위에서 일정하게 유지하는 것으로 나타났다.

Table 10. Results of urea contents according to product container and temperature variation

Items		Contents of UREA(wt%)			
		Tin-steel		PET	
		30 °C	50 °C	30 °C	50 °C
Legal Standard		31.8 ~ 33.2		31.8 ~ 33.2	
Storage Time (Weeks)	1W	32.60	32.72	32.86	32.86
	2W	32.56	32.61	32.53	32.70
	3W	32.72	32.63	32.69	32.81
	4W	32.83	32.60	32.56	32.64
	5W	32.54	32.53	32.67	32.59
	6W	32.58	32.54	32.69	32.59
	7W	32.65	32.55	32.53	32.70
	8W	32.48	32.54	32.61	32.73

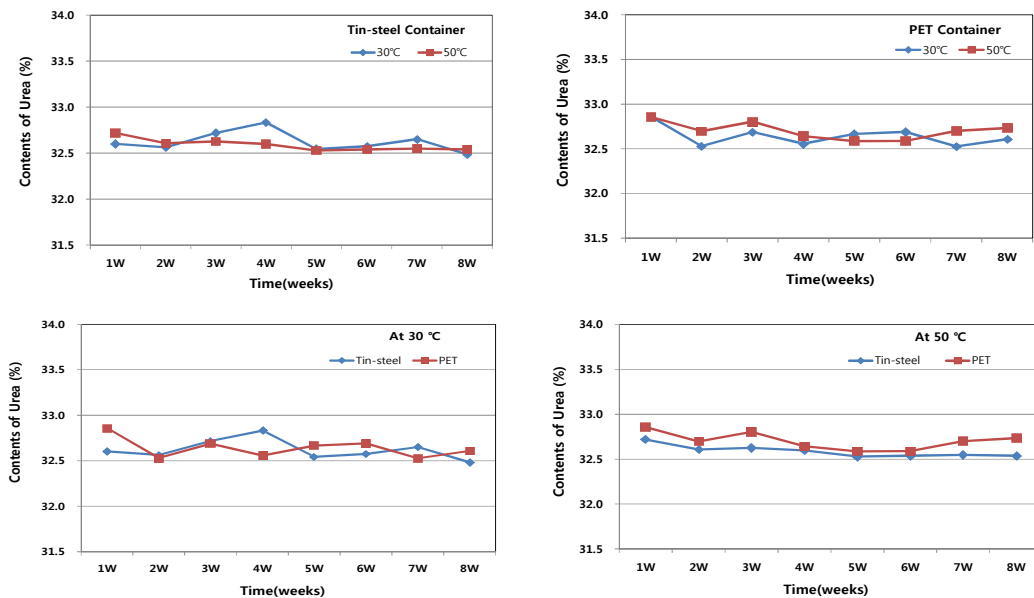


Fig. 10. Results of urea content analysis according to product container and temperature variation.

4. 결론

본 연구에서는 국내 유통 중인 차량용 요소수

에 대해 일정 온도와 시간으로 가열한 후 온도변화에 따른 물성변화 특성을 분석하고, 일정기간 동안 저장용기 및 저장온도에 따른 저장안정성

시험을 실시하였다.

1. 100 °C에서 총 4시간 동안 가열한 후 요소수의 주요물성인 굴절률, 밀도, 뷰렛, 요소함량을 측정한 결과, 가열시간이 증가함에 따라 굴절률, 밀도 및 요소함량은 감소하였고 뷰렛함량은 증가하였다. 이는 요소수 내 요소의 열분해에 의한 뷰렛이 생성되는 것으로 보인다.
2. 철제와 PET용기를 이용한 30 °C, 50 °C에서 총 8주간 저장안정성 시험한 결과, 굴절률, 밀도, 뷰렛, 요소함량은 법적기준 범위 내에서 비교적 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.
3. 차량용 요소수는 요소수의 품질이 중요하고, 뷰렛은 일종의 요소 내 불순물로, 뷰렛함량이 증가할수록 요소함량, 밀도 및 굴절률은 감소하며, 요소수의 품질이 저하된다. 또한, SCR시스템에서 분사장치의 막힘 등 고장발생의 원인이 될 수 있을 것으로 보인다.

향후, 요소수의 품질 증대 및 유지를 위해 여러 인자들에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 보다 장시간에 대한 저장 및 보관과 관련한 시험분석을 통한 비교·평가가 필요하다.

References

1. E. J. Gwak, S. Y. Park, "Study on the Flow Characteristics of Urea-SCR Swirl Injector according to the Needle Lift Profile", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.6 pp. 650-655, (2016).
2. R. Snow, G. Cavatatio, D. Dobson, C. Montreuil and R. Hammerle, "Calibration of a LNT-SCR Diesel Aftertreatment System", *SAE(Society of Automotive engineers) International*, 2007-01-124, (2007).
3. Y. Ham and Y. Park, "Development of Map based Open Loop Control Algorithm for Urea-SCR System", *Transaction of KSAE*, Vol.19, No.2 pp. 95-105, (2011).
4. S. J. Jeong, W. S. Kim, J. K. Park, H. K. Lee and S. D. Oh, "The development and Implementation of Model-based Control Algorithm of Urea-SCR Dosing System for Improving De-NOx Performance and Reducing NH₃-slip", *Transaction of KSAE*, Vol.20, No.1 pp. 50-56, (2012).
5. M. Colombo, I. Nova, E. Tronconi, V. Schmeiβer, B. Banbl-Konrad and L. Zimmemann, "NO/NO₂/N₂O-NH₃ SCR Reactions over a Commercial Fe-Zeolite Catalyst for Diesel Exhaust Aftertreatment : Intrinsic Kinetics and Monolith Converter Modeling", *Applied Catalysis b : Environmental*, Vol.111-112, pp. 106-118, (2012).
6. M. Koebel, M. Elesner and M. Kleemann, "Urea-SCR: A Promising Technique to Reduce NOx Emissions from Automotive Diesel Engines", *Catalysis Today*, Vol.59, No.3-4, pp. 334-345, (2000).
7. J. Oh, W. Cha, K. Kim, J. Lee and K. Lee, "A Study on the Characteristics and Droplet Uniformity of Spray Injection to Exhaust Gas Flow from Urea Solution Injector", *Transaction of KSAE*, Vol.19, No.3 pp. 83-89, (2011).
8. K. Kang, J. Doe, I. Hwang, J. Im, J. Ha and B. Na, "A Study on Property of Emission Gas by the Content Variation of Urea", *Journal of Energy Engineering*, Vol.24, No.4 pp. 24-32, (2015).
9. J. Seo, S. Lee, Y. Cho, Y. Kang, "A Study on Effect of NOx and NH₃ Emission Characteristics by Urea-SCR Model for Euro-6 Emission Regulation in Diesel Engine", *The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 479-485, (2012).
10. J. Han, K. Hong, I. Hwang, C. Myung, C. Park and S. Lee, "NO/NO₂ mixture ratio and Catalyst Temperature using Simulated Diesel Exhaust Gases on DeNOx Performance in Urea-SCR System", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 67-72, (2008).

11. J. Mo, T. Chung, "SCR Solution to the Fault of the Passenger car equipped with a Diesel Engine", *Korean Society of Mechanical Technology*, pp. 74-79, (2015).
12. Clean Air Conservation Act, *Ministry of Environment*, (2015)
13. S. Roh, S. Jung, S. Kim, "Selective Catalytic Reduction of NOx by Urea in a Fluidized Bed Reactor", *The Korean Society for Energy*, pp. 35-39, (1999).
14. A. Wynne, "The Thermal Decomposition of Urea", *Journal of Chemical Education*, Vol.64, No.2, pp. 180-182, (1987).
15. W. Wang, Q. Zhong, Y. Zhicheng and B. Ingemar, "Simultaneous Reduction of SO₂ and NOx in an Entrained-Flow Reactor", *Fuel*, Vol.74, No.2, pp. 267-272, (1995).
16. KS R ISO 22241-2, "Diesel engines - NOx reduction agent AUS 32 - Part 2: Test methods", *Korea Standard*, (2013).