

דלק חלופי מבוסס חנקן

החברה שלנו "מכורה" לדלקים וצורכת אותם בקצב מסחרר, על אף שהשפעותיהם ההרסניות על הסביבה ידועות לכל. אך מהן האלטרנטיבות לדלקי המאובנים, בהינתן פרדיגמת הדלקים עתידיים יכולים להוות מפתח לאנרגיות מתחדשות. במאמר זה נציג דלק חלופי חדשני מבוסס חנקן בעל פליטות ידידותיות לסביבה

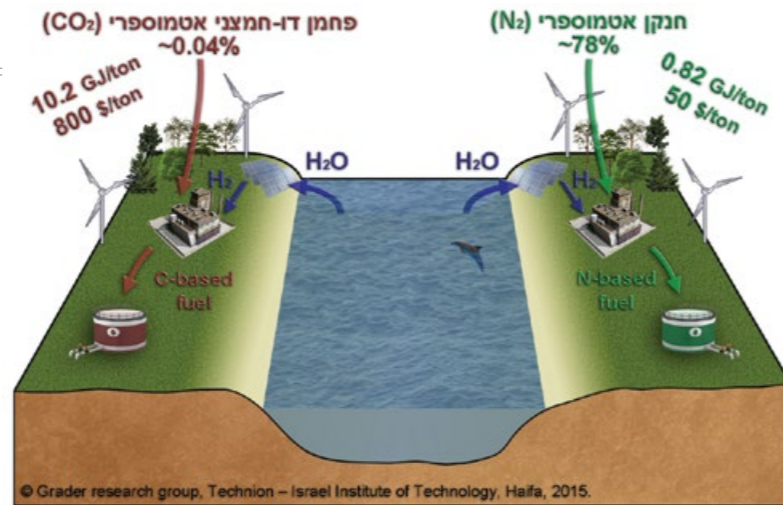
// אלון גרינברג דנה, ד"ר גנדי שטר, פרופ' גדעון גרדר, תוכנית האנרגיה בטכניון ע"ש סטיב ונסי גרנד, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה הפקולטה להנדסה כימית, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה



אלון גרינברג דנה



פרופ' גדעון גרדר



כחמה השוואתית לאגירת מימן באמצעות נתיב כימי פחמני וחנקני



ד"ר גנדי שטר

אחת הדרכים המבטיחות לאחסון אנרגיה היא ייצור דלק חלופי. דלקים אלה, אשר אוגרים באופן כימי מימן שמקורו בפיצול מים, יכולים להיות מבוססי פחמן או חנקן. יש אינטרס כלכלי ואנרגטי לשימוש בדלקים מבוססי חנקן

ומימן הנגזר מפיצול מים נעשתה בהסתמך על הערכות טכנולוגיות ונתונים עדכניים מהספרות. מכיוון שפחמן דו-חמצני מהווה כ-0.04% מהאטמוספירה (לאחר העלייה המ"שמעותית בריכוזו מתחילת העידן התעשייתי), קשה מאוד להשתמש בו כמקור לתהליך הנדסי בקנה מידה גדול, ולמטרת ייצור דלק חלופי בפרט. בעוד שעבור הפרדת טון חנקן מהאטמוספירה יש להשקיע 0.82 ג'גה-ג'אול, על מנת להפריד טון אחד של פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה יש להשקיע 10.2 ג'גה-ג'אול. גם עלות התהליך יקרה בסדר גודל: עלות הפ"רדת טון חנקן מוערכת בכ-50 דולר, בעוד שעלות הפרדת טון פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה הינה כ-800 דולר (ראו איור 1). קל להבין מהיכן נובעים סדרי הגודל האלו כשמשווים בין ריכוזיהם של הגזים באטמוספירה. בדומה להשוואה החלקית המובאת מעלה, השוואה מקיפה של האנרגיה האצורה בדלקים מבוססי פחמן וב"דלקים מבוססי חנקן ביחס לרדישות האנרגיה לתהליכי ההפרדה, הייצור, וההפצה של דלקים אלו נעשתה לא"חרונה בקבוצת המחקר שלנו, וצפויה להתפרסם בקרוב בספרות המקצועית. השוואה זו מראה כי ישנה עדיפות מכרעת מבחינה אנרגטית לדלקים מבוססי חנקן. יש לציין כי השוואה זו מתייחסת גם להפרדת הפחמן הדו-

תוצאות המחקר

לאחרונה הדגמנו בקנה מידה מע"בדתי בעירה רציפה ויציבה של דלק חלופי מבוסס חנקן בעל תכולת פחמן נמוכה המורכב מתמיסה מימית של אמוניום ניטראט ואוריאה. דלק זה, אשר אינו פציץ או רעיל, יכול לייצר באופן תיאורטי פליטות המורכבות ממים (73.0%), חנקן (21.6%), ופחמן דו-חמצני (5.4%). הדלק הוזרק כנר זל לריאקטור בנפח 500 מ"ל שחומם מראש ל 450°C. בתוך הראקטור התרחשה הצתה תרמית, והבערה יצרה לחץ עבודה יציב של עד 250 אטמוספרות. תוצרי הבערה הגזיים בלחצי העבודה השונים הועברו לאנליזה. במחקר זה נמצא כי פליטות המזהמים (CO, NO, NO2, NH3) יור"דות באופן משמעותי ככל שעולה לחץ העבודה, בעיקר בתחום של 10 עד 50 אטמוספרות. בנוסף, בלחץ עבודה של 250 אטמוספרות ירדה כמות המזהמים מסוג תחמוצות החנקן (NO, NO2, N2O) הנפלטות מהדלק לרמה של 127 מיליגרם לכל מגה-ג'אול, מתחת לסף המותר בארה"ב עבור בעירת גז טבעי בתחנות כוח, העומדת על 290

נטיביים עתידיים, מימן לא יוכל לשמש כמטבע האנרגיה העיקרי. גישה עדיפה לאחסון והפצת אנר"גיה היא אחסון כימי של אטומי מימן בצורה של תרכובות דחוסות יותר כגון דלקים כימיים נוזליים. לדלקים נוז"ליים יש צפיפות אנרגיה נפחית ומשק"לית יחסית גבוהה, ומבחינה לוגיסטית ניתן לשנעם בקלות, ולהשתמש בהם ליישומים בקנה מידה גדול.

נטיביים עתידיים, מימן לא יוכל לשמש כמטבע האנרגיה העיקרי.

גישה עדיפה לאחסון והפצת אנר"גיה היא אחסון כימי של אטומי מימן בצורה של תרכובות דחוסות יותר כגון דלקים כימיים נוזליים. לדלקים נוז"ליים יש צפיפות אנרגיה נפחית ומשק"לית יחסית גבוהה, ומבחינה לוגיסטית ניתן לשנעם בקלות, ולהשתמש בהם ליישומים בקנה מידה גדול.

דלק מבוסס פחמן כנגד דלק מבוסס חנקן

ניתן לאחסן מימן באופן כימי בקנה מידה גדול בצורת דלק נוזלי תוך שי"מוש בפחמן (C) או בחנקן (N) כנשאי המימן על ידי שדרוג פחמן דו-חמצני (CO2) או גז חנקן (N2), בהתאמה. בעוד שאת החנקן, המהווה כ-78% מהרכב אטמוספירת כדור הארץ, אפשר להפריד ישירות מהאוויר, ישנם שני מקורות אפשריים עקרונית לפחמן הדו-חמצני: מקורות טבעיים כגון האטמוספירה, ומקורות אנתרופוגניים כגון תחנות כוח. עם זאת, לכידת פחמן דו-חמצני ממקורות אנתרופוגניים רבים ושינועו לאתרים שבהם מופק מימן ומיוצר דלק חלופי נוזלי יכולים להיחפך במהרה לתהליך יקר מאוד עם עלות אנרגטית לא מבוטלת. בנוסף, בטווח הארוך אנו צופים שיינתן דגש עולמי על פיתוח מקורות אנרגיה מת"חדשים, ובהדרגה ייעשה פחות שימוש בדלקי מאובנים. כלומר, לכידת פחמן דו-חמצני תוכל להיעשות בעיקר מהאטמוספירה.

השוואה ריאליסטית של המסלולים השונים ליצירת דלק חלופי מפח"מן דו-חמצני או חנקן אטמוספריים

רוב האנרגיות המתחדשות, כגון שמש ורוח, הן מקוטעות מטבען, ויש צורך לאחסן אותן על מנת לגשר על פרקי הזמן בהם אינן זמינות. ניתן לעשות זאת על ידי ייצור דלקים חלופיים תוך ניצול אנרגיה מתחדשת כאשר היא זמינה. מימן (H2), לדוג"מא, הינו דלק ידידותי לסביבה הפ"רט לט מים בלבד כאשר הוא מתחמצן. עם זאת, הבעיות הכרוכות באחסון ובהובלת המימן מהוות מכשול להט"מענו כמטבע האנרגיה הישיר. מאידך, ניתן לאחסן את המימן בצורה כימית על ידי ייצור דלקים חלופיים נוזליים בעלי צפיפות אנרגיה גבוהה. במאמר זה נציג דלק חלופי מבוסס חנקן בצ"ורת תמיסה מימית של אמוניום ניטראט ואוריאה, ואת הפליטות שמייצר הדלק. אחד ההישגים הבולטים של עבודה זו הוא הפחתת המזהמים בצורת תחמוצ"ת החנקן (NOx) הנפלטות מהדלק אל מתחת לרגולציה הנהוגה בארה"ב עבור בעירת גז טבעי בתחנות כוח.

כלכלת המימן

מימן נחשב בעיני רבים כדלק ידידותי לסביבה, בעיקר מכיוון שלאחר חמצונו מתקבלים מים ואנרגיה בלבד. בנוסף, מימן הינו יסוד שכיח, ובעתיד ניתן יהיה לייצר גז מימן ישירות ממי ים. כלכלת המימן מתיימרת בסופו של דבר להח"ליף את דלקי המאובנים על ידי שימוש בגז מימן דחוס או במימן מעובה כנשאי אנרגיה. עם זאת, ישנם אתגרים בלתי מבוססים לשימוש במימן באופן ישיר: מימן הינו פציץ, בעל צפיפות אנרגיה נפחית נמוכה, ועלויות התשתית הדר"ושה לאכסונו ושינועו גבוהות. על כן, על אף היותו אלמנט מהותי לדלקים אלטר-

מיליגרם למגה-ג'אול. יש לציין כי עבודה ראשונית זו נעשתה ללא שי"מוש בזור (קטליזטור), וכי הטמעת זרז תפחית את כמות המזהמים הנפלטים אף יותר. ניתן לקרוא עוד על עבודה זו ואחרות באתר האינטרנט של קבוצת המחקר שלנו.

מסקנות

המגמה העולמית למעבר לאנר"גיות מתחדשות ובנות קיימא ולהפ"חת השימוש בדלקי מאובנים חייבת להתמך על ידי טכנולוגיות מתאימות לאחסון ולשינוע האנרגיה לזמנים ולמ"קומות בהם היא אינה זמינה. אחת הד"רכים המבטיחות לאחסון אנרגיה היא ייצור דלק חלופי. דלקים אלו, אשר אוגרים באופן כימי מימן שמקורו בפ"יצול מים, יכולים להיות מבוססי פחמן או חנקן. בעת בחירת סוג הדלק העתידי יש להתחשב בשיקולים של זמינות ח"ו מרי הגלם, היעילות אנרגטית של ייצור הדלק, ענייני בטיחות ולוגיסטיקה הק"שורים בשינוע הדלק שיוצר למקומות רחוקים, ועוד. אנו מראים כי ישנו אינ"טרס כלכלי ואנרגטי לשימוש בדלקים מבוססי חנקן, בעיקר עקב זמינותו של החנקן האטמוספרי. כמו כן, תמיסה מימית של אמוניום ניטראט ואוריאה אופיינה כדלק מודל מבוסס חנקן, אשר הינו בטוח לשימוש לייצור חשמל במקורות נייחים כגון תחנות כוח. על ידי שימוש בדלק זה ניתן לייצר אנר"גיה תוך פגיעה מינימלית בסביבה ואף עמידה ברגולציה מחמירה. ■

ליצירת קשר עם כותבי המאמר: אתר: ceramicenergy.technion.ac.il אימייל: grader@technion.ac.il