

9. යකඩ නිස්සාරණය

යකඩ නිෂ්පාදනය පිළිබඳ ඉපැරණි ඉතිහාසයක් අපට ඇත. මෙරට මුතුන් මිත්තන් දැනට වසර දහස් ගණනකට පෙර යකඩ නිස්සාරණය පිළිබඳ දැන සිටි බැව් පුරාවිද්‍යාත්මක අධ්‍යයන මගින් හෙළිදරව් වී ඇත. ඔවුන් ස්වාභාවික සුළං බලය (wind power) හා දැව පුලුස්සා ලබා ගත් අඟුරු භාවිත කර යකඩ නිස්සාරණය කර ඇත. එංගලන්තයේ එක්සට්ට් විශ්වවිද්‍යාලයේ පුරාවිද්‍යාඥයකු වූ ගිල් ජුලේෆ් (Gill Juleff) නමැති විශේෂඥවරයා බලන්ගොඩ වූ හුළං කපොල්ල ආශ්‍රිතව ඉපැරණි යකඩ නිස්සාරණ උද්‍යානක් ප්‍රතිනිර්මාණය කර යකඩ නිස්සාරණය කිරීමෙන් මෙරට තාක්ෂණය සනාථ කර ඇත. ඒ සනාථ කිරීම —An ancient wind-powered iron smelt in technology~ නමැති ශීර්ෂය යටතේ 'නේචර්' (Nature) සඟරාවේ පළ කර තිබේ.



✚ යකඩ නිෂ්පාදනයට අවශ්‍ය අමුද්‍රව්‍ය

- යපස් - යපස් වර්ග කිහිපයකි.
 - ✓ හීමටයිට් (රතු යපස්) – Fe_2O_3
 - ✓ මැග්නටයිට් (වුම්බක ලෝපස්) – Fe_3O_4 ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)
 - ✓ අයන් පයිරයිට් - FeS_2
 - ✓ කොපර් පයිරයිට් - CuFeS_2 ($\text{CuS} \cdot \text{FeS}$)
 - ✓ ඉල්මනයිට් - $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$
- හුනුගල්
- කෝක් (ගල් අඟුරු)
- වාතය

- 1) පළමුව, යපස් වාතයේ කර කරයි
 - මෙහිදී, යපස් වල ඇති බවට පත් වේ.
 - එහි ඇති අපද්‍රව්‍ය වන තරමක් දුරට වායුමය ඔක්සයිඩ් බවට පත් වී පිටවේ.
 - ප්‍රධාන වශයෙන්, යපස් බවට පත් වීම මෙහිදී සිදු වේ.
 - 2) මේ ද්‍රව්‍ය භාවිත කර යකඩ නිස්සාරණය සඳහා යොදා ගන්නා උද්‍යාන 'ධාරා උෂ්මකය' ලෙස හඳුන්වයි.
 - ඉහළ උෂ්ණත්වයට ඔරොත්තු දෙන ගඩොළු විශේෂයකින් ධාරා උෂ්මකයේ ඇතුළත ආස්තරණය කර ඇත.
 - 3) ධාරා උෂ්මකයේ ඉහළින් වූ දොරටුව හරහා යපස්, හුනුගල් හා කෝක් මිශ්‍රණය අවශ්‍ය අනුපාතයට (8:1:4) මිශ්‍ර කර ධාරා උෂ්මකයට එක් කරයි.
 - 4) ධාරා උෂ්මකයේ පහළින් උණුසුම් වායු ධාරා ($650^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C}$) සපයනු ලබයි. එම වායු ධාරා මගින් තාපය සැපයීම සිදු කරයි.
 - 5) ධාරා උෂ්මකයේ පහළින් ම ද්‍රව යකඩ ඉවත් වේ.
 - 6) ඉහළින් අපවායුව නිදහස් වේ. ද්‍රව යකඩ ඉවත් වන මට්ටමට තරමක් ඉහළින් ලෝ බොර ඉවත් වේ.
- ❖ ධාරා උෂ්මකය තුළ ගුරුත්වාකර්ෂණය යටතේ ඉහළ සිට පහළට ස්කන්ධ ප්‍රවාහනයක් සිදු වේ.
- ඒ සමඟ ම සම්පීඩිත වාතය පහළ සිට ඉහළට ගමන් කරයි.

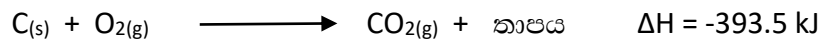
- ප්‍රතිවිරුද්ධ දිශාව ඔස්සේ ද්‍රව්‍ය පරිවහනය (පහළ සිට ඉහළට උණුසුම් වායු ධාරා හා ඉහළ සිට පහළට යපස් + කෝක් + හුනුගල් මිශ්‍රණය) වන නිසා ඝන කලාපය හා වායු කලාපය අතර ප්‍රතික්‍රියා සිදු වීමට ඇති හැකියාව වැඩි වී තිබේ.
- ඇතුළත සිදු වන ප්‍රතික්‍රියා ඉතා තාප දායක බැවින්, ඇතුළත ඉහළ සිට පහළට 200 °C සිට 2000 °C ක පමණ උෂ්ණත්ව අනුක්‍රමණයක් පවත්වා ගැනීමට ද මෙය හේතු වී ඇත.

❖ යකඩ නිෂ්පාදන ක්‍රියාවලියේ දී සැලකිලිමත් විය යුතු කරුණු කීපයක් මෙසේ දැක්විය හැකි ය.

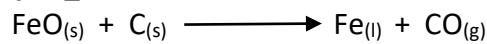
- 1) ලෝපස්, කෝක් හා හුනුගල් මිශ්‍රණයේ වූ එක් එක් සංඝටක අතර අනුපාතය
- 2) ඒ අංශුවල විශාලත්වය
- 3) ඒ මිශ්‍රණය ධාරා උෂ්මකයේ ඉහළින් එක් කරන ශීඝ්‍රතාව
- 4) වායු ධාරාව ගලා යන ශීඝ්‍රතාව හා පීඩනය

❖ මෙහි දී කෝක්වල කාර්යභාරය පහත දැක්වේ.

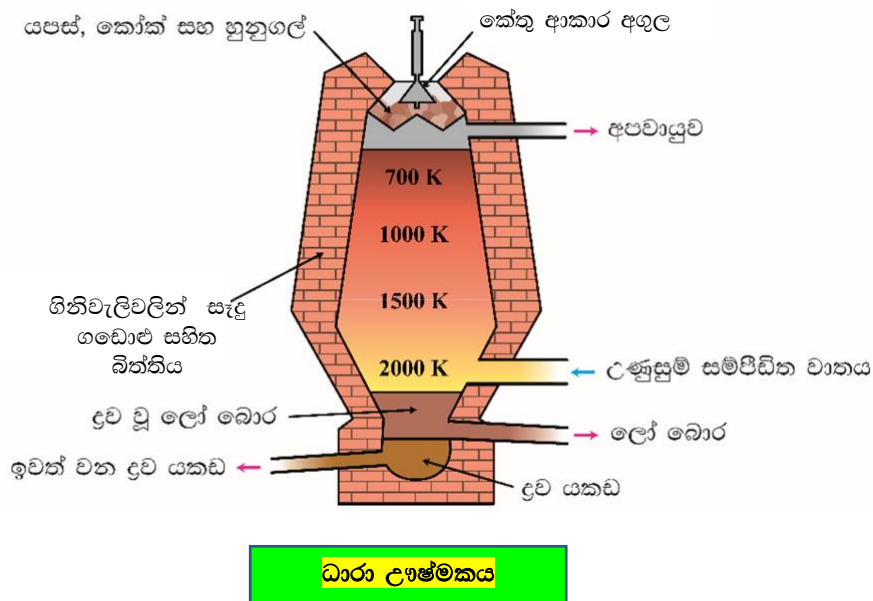
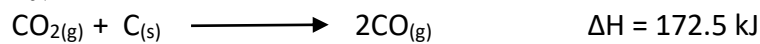
- 1) ඉන්ධනයක් ලෙසට ක්‍රියා කරයි.



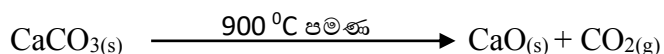
- 2) ඉහළ උෂ්ණත්වයේ දී සෘජු ඔක්සිහාරකයක් ලෙස ක්‍රියා කරයි.



- 3) ප්‍රධාන ඔක්සිහාරකය වූ CO ජනනය කරයි.

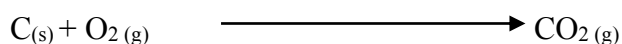


- 7) උෂ්මකය ඉහළදී, CaCO_3 විශෝජනය වීමේ ක්‍රියාවලිය ඇරඹුණත් එය සම්පූර්ණයෙන්ම සිදු වීමට 900 °C ක පමණ උෂ්ණත්වයක් අවශ්‍ය නිසා විශෝජනය සම්පූර්ණ වන්නේ පහළදී ය.



- 8) ධාරා උෂ්මකයේ පහළ ප්‍රදේශයෙන් උණුසුම් සම්පීඩිත වාතය ධාරා උෂ්මකය තුළට විදින විට,
 - කෝක් දහනය වන අතර, ඒ නිසා කෝක් දහනය සිදුවන පාදස්ථ ප්‍රදේශයේ උෂ්ණත්වය එක්වර 1700 °C පමණ වූ උෂ්ණත්වයක් කරා ඉහළ යයි.

දහනය වන කෝක් CO_2 බවට පත්වේ.



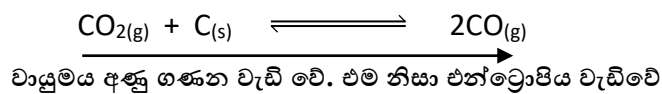
- ඒ දහන ප්‍රතික්‍රියාව වඩාත් වේගවත්ව සිදු වේ.
- උණුසුම් වාතයේ උෂ්ණත්වය, පීඩනය හා කෝක් අංශුවල විශාලත්වය මත දහන ප්‍රතික්‍රියාවේ වේගය තීරණය වේ.

9) දහන ප්‍රතික්‍රියාව වේගවත් නිසාත් හා කෝක් දහනය අධික ලෙස තාපදායක නිසාත් කෙටි කාලයක් තුළ විශාල තාපයක් මුදා හරියි.

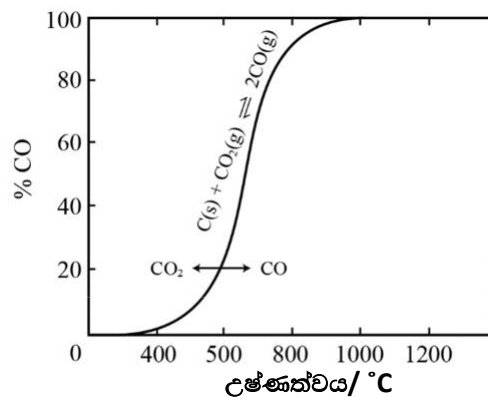
- ඒ නිසා කෝක් දහනය සිදුවන පාදස්ථ ප්‍රදේශයේ උෂ්ණත්වය එක්වර 1700°C පමණ වූ උෂ්ණත්වයක් කරා ඉහළ යයි.
- මෙම පාදස්ථ ප්‍රදේශයේ උෂ්ණත්වය ස්ථාවරව පවත්වා ගැනීම කෙරෙහි දහන ප්‍රතික්‍රියාවේ ශීඝ්‍රතාව හා දහනය වන කෝක් ප්‍රමාණය ඉතා වැදගත් සාධක වේ.
- ඒ සඳහා වාතය පහළ සිට ඉහළට ගලා යන ශීඝ්‍රතාව හා කෝක් සහිත මිශ්‍රණය පහළට ගලා ඒමේ ශීඝ්‍රතා ප්‍රශස්තව පවත්වා ගැනීම වැදගත් වේ.

10) දහනයේ දී සෑදෙන උණුසුම් CO_2 වායුව ලෝපස් තුළින් ඉහළට ගමන් කරයි.

11) ඉහළ උෂ්ණත්වයේ දී කෝක් (C) සමඟ CO_2 ප්‍රතිවර්තීව ප්‍රතික්‍රියා කරමින් CO සාදයි.

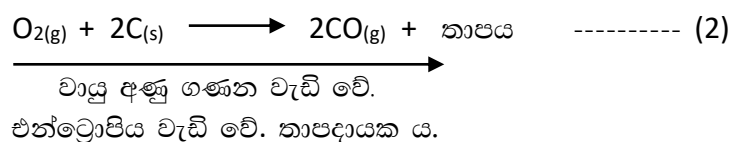
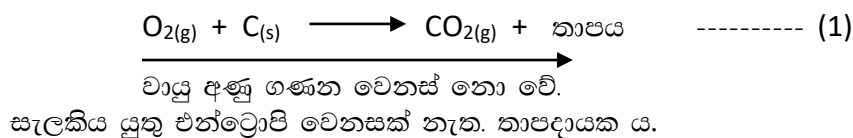


- මේ ප්‍රතික්‍රියාව සඳහා ΔS ධන අගයකි (176.5 J).
- උෂ්ණත්වය වැඩි වන විට $T \Delta S$ හි සංඛ්‍යාත්මක අගයේ විශාලත්වය වැඩි වේ.
- එබැවින් කෝක් (C) හමුවේ ඉහළ උෂ්ණත්වයේ දී CO_2 වායුව CO බවට ඔක්සිහරණය වීමේ ප්‍රවණතාවක් ඇත.
- ඉහළ උෂ්ණත්ව තත්ත්ව යටතේ CO වායුව තාපගතිකව ස්ථායී යැයි කිව හැකි ය.
- උෂ්ණත්වය 1000°C පමණ වන විට දී CO_2 ප්‍රමාණය 100% පමණ CO බවට පරිවර්තනය වේ. පහත රූපය මගින් මේ විචලනය පෙන්වුම් කරයි.



උෂ්ණත්වය ඉදිරියේ $\text{CO}_{(g)}$ හි ප්‍රමාණයේ විචලනය

- කෝක් $\rightarrow \text{CO}_2$ බවට ඔක්සිකරණය වන ප්‍රතික්‍රියාවන් හා නැවත $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ බවට පත් වන ප්‍රතික්‍රියාවන් පිළිබඳව සලකා බැලුවොත්,



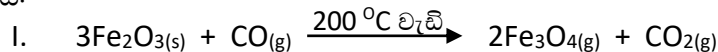
- ✓ $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ ට අනුව,
ප්‍රතික්‍රියා දෙක ම තාපදායක නිසා ΔH හි අගය සෘණ වේ.
- ✓ උෂ්ණත්වය වැඩි වන විට දී $T\Delta S$ අගයේ කැපී පෙනෙන වැඩි වීමක් ඇත්තේ 2 වන ප්‍රතික්‍රියාව සඳහා ය.
- ✓ උෂ්ණත්වය සමඟ ΔG හි සෘණ ස්වභාවය කැපී පෙනෙන වැඩි වීමක් 2 ප්‍රතික්‍රියාව සඳහා අපේක්ෂිත ය.
- ✓ උෂ්ණත්වය අඩු වන විට දී CO හි තාපගතික ස්ථායීතාව අඩු වේ.
- ✓ CO_2 හි තාපගතික ස්ථායීතාව වැඩි වේ.

12) එනම්, ධාරා උෂ්මකයේ පාදස්ථ ප්‍රදේශයේ උෂ්ණත්වය 1700 °C තරම් ඉහළ බැවින් සෑදෙන CO_2 වායුව කෝක්, ලෝපස් මිශ්‍රණයේ වූ රත්ත තප්ත වූ (Red hot) කෝක් අංශු සමඟ ගැටෙන විට දී තාප ජනනය කරමින් CO සෑදේ.

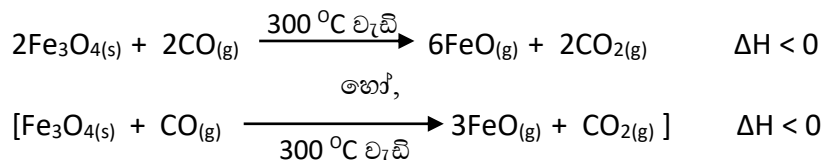
13) ධාරා උෂ්මකයේ ඉහළ උෂ්ණත්වයක් ඇති පහළ ප්‍රදේශයේ දී ඇති වූ CO වායුව, ලෝපස් සහිත මිශ්‍රණය හරහා ඉහළට යන විට උෂ්ණත්වය අඩු වන නිසා CO හි ස්ථායීතාව අඩු වේ.

14) ඒ නිසා ධාරා උෂ්මකයේ මැද කොටසේ දී, CO වායුව CO_2 වීමේ වැඩි නැඹුරුතාවයක් ඇත.

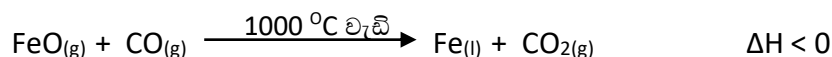
- ධාරා උෂ්මකය තුළ කෝක් දහනය වන ප්‍රදේශයෙන් ඉහළ ප්‍රදේශයේ දී, Fe_2O_3 ඔක්සිහරණය කරමින් CO වායුව CO_2 තෙක් ඔක්සිකරණය වේ. : මෙම ප්‍රදේශයේ කලින් ඔක්සිකරණයට සහභාගි වූ O_2 වායුව නැත. නිබෙන්තේ Fe_2O_3 පමණි. එම නිසා දැන් $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ බවට ඔක්සිකරණය වන්නේ Fe_2O_3 යොදා ගෙනය.
- එහි ප්‍රතිඵලය ලෙසට Fe_2O_3 ක්‍රමානුකූලව ඔක්සිහරණය වේ.
- මේ හෙයින්, කුලුන ඔස්සේ ඉහළට යත්ම හා උෂ්ණත්වය අඩු වත් ම CO මගින් ලෝපස්හි වූ Fe_2O_3 ඔක්සිහරණය සිදු වේ.
- ඒ නිසා 1000 °C ට අඩු උෂ්ණත්වයේ දී පියවර වශයෙන් Fe_2O_3 ඔක්සිකරණය වීම පහත පරිදි දැක්විය හැකි ය:



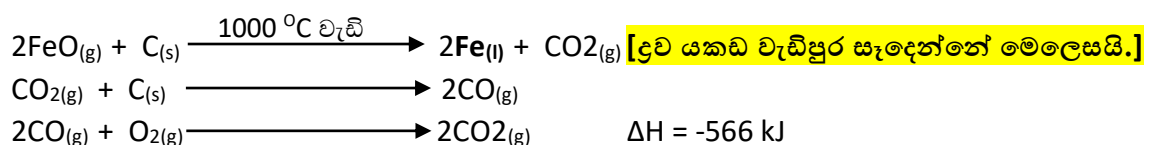
II. සෑදෙන Fe_3O_4 ධාරා උෂ්මකයේ වූ පහළට යන විට, තවදුරටත් CO සමඟ ප්‍රතික්‍රියා කර FeO බවට ඔක්සිහරණය වේ.



III. එහි ප්‍රතිඵලය වූ FeO තවදුරටත් CO වායුව සමඟ ප්‍රතික්‍රියා කර ද්‍රව යකඩ $[\text{Fe}(\text{l})]$ තෙක් ඔක්සිහරණය වේ.



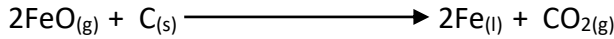
15) 1000 °C ඉක්මවූ විට දී, එනම් ධාරා උෂ්මකයේ තරමක් පහළ ප්‍රදේශයේ දී පහත ප්‍රතික්‍රියා සිදු වේ. එහිදී කෝක් සෘජුවම FeO ඔක්සිහරණය කරයි.



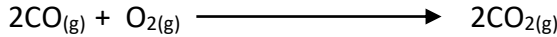
16) එනම්, ඉහත පෙන්වා ඇති පරිදි,

- ධාරා උෂ්මකය තුළ දී, මුළු කෝක් $\text{C}(\text{s})$ ප්‍රමාණයෙන් කොටසක් දහන ප්‍රතික්‍රියාව සඳහා සහභාගි වේ.
 - තව කොටසක් CO_2 සමඟ ප්‍රතික්‍රියා කර CO ජනනයට සහභාගි වේ.
- $$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \xrightarrow{\quad\quad\quad} 2\text{CO}(\text{g})$$

තවත් ප්‍රමාණයක් FeO ඔක්සිහරණයට සහභාගි වේ.



- 17) වාතය (O_2) ඔක්සිකාරකයක් ලෙස ක්‍රියාකර දහන ප්‍රතික්‍රියාව මගින් තාපය ජනනයට හා CO_2 ජනනයට සහභාගි වේ.

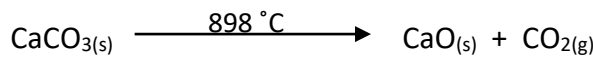


- 18) වැඩිපුර වාතය සැපයීම සිදු වුව හොත් ධාරා උෂ්මකය තුළ දී CO වායුව Fe_2O_3 ප්‍රතික්‍රියා කිරීමට අමතරව O_2 සමඟ ප්‍රතික්‍රියා කර CO_2 බවට පත් වීම සඳහා තාපගතික වශයෙන් ඉඩකඩක් ඇත. එය අවාසියකි.

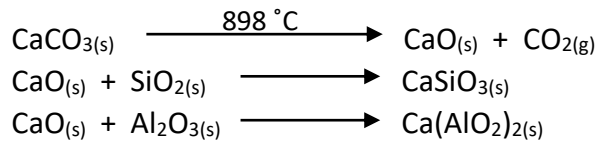
- මේ නිසා,

යකඩ නිස්සාරණයේ දී වාතයේ පරිමාමිතික ගලා යෑමේ ශීඝ්‍රතාව (volumetric flow rate) හා ඉහළින් ලෝපස සහිත ඝන මිශ්‍රණය ගලා යෑමේ ශීඝ්‍රතාව ප්‍රශස්ත මට්ටමක පවත්වා ගැනීමට ඉතා වැදගත් වේ.

- 19) මීට අමතරව CaCO_3 වියෝජනය 1000°C ට වඩා අඩු උෂ්ණත්වයේ දී (898°C) සිදු වේ.



- එමගින් ජනනය වන CO_2 වායුවට පවා කෝක් සමඟ ප්‍රතික්‍රියා කර CO ජනනය කිරීමේ හැකියාවක් ඇත.
- එම සෑදෙන CO පවා කුලුන ඔස්සේ ඉහළට යත්ම ලෝපස්හි Fe_2O_3 සමඟ ප්‍රතික්‍රියාවෙන් CO_2 බවට පත් වීමේ ඉඩ කඩක් ඇත.
- එමෙන්ම, ලෝපස් ආශ්‍රිතව වූ සිලිකේට් හා ඇලුමිනේට් ද්‍රව්‍ය අපද්‍රව්‍ය ලෙස යකඩ තුළ තැන්පත් වීම වැළැක්විය යුතු ය. ඒ සඳහා CaCO_3 තාප වියෝජනයෙන් ලැබෙන CaO ප්‍රයෝජනවත් වේ.



- මෙලෙස සෑදෙන CaSiO_3 හා $\text{Ca(AlO}_2)_2$ ලෝ බොර ලෙස හඳුන්වයි. ද්‍රව යකඩවල ඝනත්වයට වඩා ලෝ බොරවල ඝනත්වය අඩු ය. ඒ නිසා ද්‍රව යකඩ මත ද්‍රව ලෝ බොර ස්තරය ඇත.
- ලෝ බොර මගින් ද්‍රව යකඩ පෘෂ්ඨය ආවරණය වන නිසා ද්‍රව යකඩ O_2 සමඟ ප්‍රතික්‍රියා කිරීමට ඇති ඉඩකඩ අඩු වේ.

- ❖ ධාරා උෂ්මකයේ පහළ ප්‍රදේශයේ දී දහනය නිසා O_2 ප්‍රමාණය එක්වර අඩු වන අතර, ඒ ප්‍රමාණයට ගැලපෙන CO_2 ප්‍රමාණයක් ජනනය කරන හෙයින් ම එක්වර CO_2 සාන්ද්‍රණය වැඩි වේ. එසේ ම අධික තාපයක් ජනනය වේ.

- ඉහළ උෂ්ණත්වයක් ඇති ප්‍රදේශයේ වූ මේ CO_2 වායුව පහළට පැමිණෙන ඝන මිශ්‍රණය තුළින් ඉහළට ගමන් කිරීමට නැඹුරු වේ.
- එනිසා ම, ඝන මිශ්‍රණයේ වූ කෝක් සමඟ CO_2 ප්‍රතික්‍රියා කිරීම ඉහළ උෂ්ණත්වයක් පවතින ධාරා උෂ්මකයේ පහළ ප්‍රදේශයේ දී සිදු වේ.
- මේ නිසා CO_2 සාන්ද්‍රණය ක්‍රමයෙන් අඩු වන විට CO සාන්ද්‍රණය වැඩි වේ.
- පහළ ප්‍රදේශයේ දී ජනනය වූ CO වායුව පවා පහළට පැමිණෙන ඝන මිශ්‍රණය තුළින් ඉහළට ගමන් කරයි.
- මේ වන විට, ඉහළට යත් ම උෂ්ණත්වය අඩු වීම නිසා CO වායුවේ තාපගතික ස්ථායීතාව අඩු වී CO_2 බවට පරිවර්තනය වීමේ ප්‍රවණතාව වැඩි වේ.
- O_2 වායුව නැති නිසා Fe_2O_3 හි ඔක්සිජන් ලබා ගනිමින් CO වායුව CO_2 බවට ඔක්සිකරණය වේ.
- එබැවින් ධාරා උෂ්මකයේ ඉහළට යත්ම මේ CO සාන්ද්‍රණය අඩු වෙමින් නැවත CO_2 සාන්ද්‍රණය වැඩි වේ.

- ❖ කෝක් භාවිත කිරීම නිසා ධාරා උෂ්මකයෙන් නිදහස් වන CO₂ වායුව ගෝලීය උණුසුම වැඩි කිරීමට හේතු වේ.
මේ නිසා කෝක් වෙනුවට පුනර්ජනනීය විකල්ප සෙවීම පාරිසරික වශයෙන් වැදගත් වේ.
- ❖ එසේ ම අනවශ්‍ය ලෙස යකඩ භාවිත කිරීමෙන් වැළකීම ද වැදගත් වේ.